

TRAITE  
ÉLÉMENTAIRE  
DE MINÉRALOGIE.

---

I.

**DU MÊME AUTEUR.**



**TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE,**  
4<sup>e</sup> édition, 1 gros volume in-8°, orné de 14 planches,  
*Prix, broché, 10 fr.*

---

**IMPRIMERIE D'HIPPOLYTE TILLIARD,**

RUE DE LA HARPE, N° 78.  
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

# TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

# DE MINÉRALOGIE.

**PAR F. S. BEUDANT,**

CHEVALIER DE L'ORDRE ROYAL DE LA LÉGION D'HONNEUR, MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES DE L'INSTITUT, PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'ACADÉMIE DE PARIS, MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATIQUE DE PARIS, ASSOCIÉ DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE LONDRES, DE LA SOCIÉTÉ PHILOSOPHIQUE DE CAMBRIDGE, DE LA SOCIÉTÉ HELVÉTIQUE, DE LA SOCIÉTÉ CÉSARÉENNE-LÉOPOLDIENNE-CAROLINIENNE DES CURIEUX DE LA NATURE, DE L'ACADÉMIE NATIONALE DES SCIENCES DE PHILADELPHIE, etc.

Deuxième Edition.

TOME PREMIER.

---

Paris,

CHÈZ VERDIÈRE, LIBRAIRE - ÉDITEUR,

QUAI DES AUGUSTINS, N° 25.

1850  
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1



---

---

# PREFACE.

---

Si, en 1824, je me déterminai à publier un ouvrage de minéralogie, ce fut parce qu'aucun des traités existants ne se trouvait au niveau de la science. Les uns avaient pour base des méthodes empiriques ; les autres, quoique plus savants, étaient bornés à l'emploi de la cristallisation et de quelques caractères accessoires ; si quelques-uns donnaient de l'importance à la composition des corps, ils avaient été écrits dans un moment où les analyses ne pouvaient être rigoureusement appréciées, et où l'état de la chimie ne permettait pas de les comparer avec précision. Enfin, aucun ouvrage ne faisait connaître les applications importantes que la théorie des proportions définies, le système atomique, l'isomorphisme, les phénomènes de double réfraction, etc., fournissaient à la minéralogie, et le traité même de Haüy dont il venait de paraître une nouvelle édition, n'offrait qu'une nouvelle copie de ce qu'était la science vingt ans auparavant.

Ce fut dans l'intention de remplir le vide que je viens de signaler, de dissiper les incertitudes qui résultaient des idées exclusives des auteurs sur la valeur des caractères

chimiques et cristallographiques, de faire comprendre l'importance de l'application des théories modernes, etc., que j'imaginai de réunir dans un nouvel ouvrage, l'ensemble des faits, souvent mal appréciés, qui doivent former la philosophie de la science, et d'opérer dans la classification des minéraux les changements essentiels qui en étaient le résultat.

Dans la nécessité de faire aujourd'hui une nouvelle édition, je n'ai rien à changer aux théories que j'ai exposées dans la première; j'ai seulement à ajouter les faits dont la science s'est enrichie, et à donner sur différentes parties des détails que mes cours m'ont fait juger nécessaires. Comme faits nouveaux, on trouvera dans cette édition les observations de M. Savart sur l'état élastique des matières minérales, et les applications qui en résultent; les variations que j'ai reconnues dans la pesanteur spécifique des corps suivant leurs diverses structures, et les moyens de rendre à ce caractère l'importance dont il est susceptible; le résultat des recherches de M. Becquerel sur l'électricité par la chaleur, dont la théorie se trouve entièrement changée; le calcul des analyses minérales, d'après mes expériences sur la manière dont les substances se mélangent lorsqu'elles cristallisent ensemble, etc. Comme détails nécessaires pour compléter la partie philosophique de la minéralogie, on reconnaîtra, d'une part, beaucoup d'additions dans l'étude des formes cristallines, dans les tableaux qui présentent les dérivations réciproques des formes de chaque système, dans les oblitérations, dans les groupements, dans la partie géométrique de la cristallographie; de l'autre, on trouvera des notions plus étendues sur les essais chimiques, devenus de la plus grande importance, et un exposé plus régulier des caractères auxquels on peut reconnaître les diverses matières renfermées dans un corps. Les notions géologiques, nécessaires pour apprécier les gi-

sements des minéraux , ont été aussi rédigées de nouveau, suivant les principes qui doivent nous diriger aujourd'hui , et présentées dans le plus grand degré possible de généralités ; j'ai cru devoir y donner une idée générale des expériences de M. Becquerel , sur la formation et la cristallisation de diverses substances dans des appareils électro-chimiques. Enfin , ayant cru devoir donner encore un aperçu de l'emploi des substances dans les arts et les usages de la vie , j'ai tâché de le réduire , autant que possible , aux généralités les plus importantes.

Les additions que je viens de citer ont tellement étendu mon ouvrage , que je n'ai pu réunir dans un seul volume la partie théorique et le tableau méthodique des espèces , auquel il était nécessaire d'ajouter aussi beaucoup de détails. J'ai donc été forcé de faire deux volumes ; mais j'espère que par cela même mon travail deviendra plus utile.

Le premier volume de cette édition est entièrement consacré aux bases philosophiques de la science , et forme la partie vraiment classique de la minéralogie. Il est partagé en cinq livres , qui traitent , d'une manière générale , 1<sup>o</sup> des propriétés physiques des minéraux ; 2<sup>o</sup> des propriétés chimiques ; 3<sup>o</sup> de la théorie de la classification ; 4<sup>o</sup> de la manière d'être des diverses substances dans le sein de la terre ; 5<sup>o</sup> de l'emploi et de l'importance des minéraux dans les arts et les usages de la vie.

Le second volume est un tableau méthodique des espèces minérales , fondé sur la théorie de classification précédemment exposée. N'étant plus borné par l'espace comme dans la première édition , j'ai pu entrer dans beaucoup de détails que j'avais alors négligés , et que beaucoup de personnes m'ont paru désirer. J'ai donné plus d'étendue à l'exposé des caractères des familles , des genres , des espèces ; j'ai formé des tableaux qui établissent les rapports des di-

verses substances ; j'ai assigné la synonymie de chaque espèce, ce que les changements introduits dans la classification rendaient d'une absolue nécessité ; j'ai rassemblé les analyses qui conduisent à la composition théorique de l'espèce, et à la connaissance des variations par mélanges. Enfin, j'ai cherché à donner des notions suffisantes sur les diverses propriétés, sur les gisements, sur les emplois dans les arts, etc. ; mais partant des analogies que les espèces des différents groupes naturels ont les unes avec les autres sous ces différents rapports, j'ai pu éviter les répétitions fastidieuses des méthodes descriptives ordinaires, et réunir beaucoup de détails sous des généralités faciles à savoir.



---

# TABLE ANALYTIQUE.

---

	Pages.
NOTIONS PRÉLIMINAIRES.	
Division des sciences naturelles.	1
Caractères des deux règnes, organique et inorganique.	2
Objet de la minéralogie ; minéralogie et géologie.	6
LIVRE PREMIER.	
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MINÉRAUX.	
CHAPITRE I <sup>er</sup> . <i>Formes régulières des minéraux.</i>	12
Définitions générales.	13
Variations occasionées par la température.	15
Variations occasionées par les mélanges.	16
Mesure des angles, goniomètres divers.	19
Division de toutes les formes cristallines en six groupes.	28
Symétrie et lois de modification.	32
I <sup>er</sup> TYPE CRISTALLIN. — <i>Système tétraédrique</i> , etc.	39
Modifications du tétraèdre.	<i>Ib.</i>
Modifications du cube.	44
Modifications de l'octaèdre régulier.	49
Modifications du dodécaèdre rhomboïdal, etc.	51
II <sup>e</sup> TYPE CRISTALLIN. — <i>Système rhomboédrique.</i>	56
Modifications du rhomboèdre.	59
Modifications du prisme hexagonal.	71
Modifications des dodécaèdres.	75
III <sup>e</sup> TYPE CRISTALLIN. — <i>Système prismatique droit à base carrée.</i>	77
Modifications du prisme.	78
Modifications des octaèdres.	80
IV <sup>e</sup> TYPE CRISTALLIN. — <i>Système prismatique rec-</i>	

	Pages,
<i>tangulaire droit</i> . Modifications du prisme rectangulaire.	83
Modifications des solides dérivés.	87
V <sup>e</sup> TYPE CRISTALLIN. — <i>Système prismatique rectangulaire oblique</i> . Modifications du prisme rectangulaire.	92
Modifications des solides dérivés.	98
VI <sup>e</sup> TYPE CRISTALLIN. — <i>Système prismatique oblique à base de parallélogramme obliquangle</i> .	100
MODIFICATIONS NON SYMÉTRIQUES.	101
OBLITÉRATIONS DES CRISTAUX.	107
CRISTAUX GROUPÉS, OU MACLÉS. Lois des groupements.	113
Groupements directs et inverses.	115
Caractères des groupements.	117
Exemple de groupements directs.	119
Exemples de groupements inverses.	121
Tremies, dernier mode de groupements régulier.	131
CHAPITRE II. <i>Formes irrégulières ou accidentelles des minéraux</i> .	133
Formes produites par groupements irréguliers.	134
Formes produites par mouvements des matières	137
Formes produites par résistance des milieux où les matières se consolident.	142
Formes capillaires accidentelles.	144
Formes produites par agglutination.	146
Formes produites par incrustation sédimentaire et cristalline.	147
Formes produites par moulage.	148
Formes produites par substitution graduelle d'une substance à une autre.	150
Formes produites par retrait.	152
CHAPITRE III. <i>Structure des minéraux</i> .	
Structure propre régulière, ou clivage, et indéterminée.	154
Constance du clivage et importance.	157
Structure irrégulière ou accidentelle.	162
Par agrégation.	164

	Pages.
Par accroissement.	176
Par retrait.	179
Par moulage.	180
Par dégagement de gaz.	181
Par décomposition.	183
Structure organique.	184
Forme de la cassure.	185
<b>CHAPITRE IV. Cause des variations des formes et des structures dans la même substance.</b>	188
Influence des mélanges mécaniques.	189
Influence de la nature du liquide.	190
Influence des mélanges chimiques.	193
Formation de cristaux isolés.	195
Production des formes oblitérées.	196
Structures accidentelles.	201
Cristallisation avec changement de système.	205
<b>CHAPITRE V. Cristallographie géométrique.</b>	209
Choix de la forme primitive.	212
Détermination des dimensions relatives des formes primitives.	214
Calcul particulier des rhomboèdres.	221
Moyens généraux de représenter les formes secondaires.	223
Étant données la forme primitive d'une substance et l'inclinaison des faces qui la modifient, déterminer les lois de modification d'après lesquelles ces faces sont produites.	228
Étant données la forme primitive dans son espèce, et ses dimensions, et telle ou telle loi de modification, déterminer les inclinaisons des faces du solide secondaire soit entre elles, soit avec celle du solide primitif.	233
Signes représentatifs des formes secondaires.	250
<b>CHAPITRE VI. Caractères optiques des minéraux.</b>	
Réfraction simple.	256
Réfraction double.	258
Relation entre les axes de double réfraction et les formes cristallines.	262

	Page
Déterminer si une substance est douée ou non de la double réfraction.	269
Déterminer si une substance possède un axe ou deux axes de double réfraction.	273
Angles de polarisation de diverses substances.	277
Transparence, translucidité, opacité.	278
Éclat des minéraux.	280
Couleurs propres des minéraux.	283
Couleurs accidentelles.	284
Nuances et dessins des couleurs accidentelles, leur théorie.	287
Couleurs irisées.	292
Iris de l'opale.	294
Avanturine.	296
Iris de la pierre de Labrador.	297
Astérie.	299
Polychroïsme.	300
Phosphorescence.	302
CHAPITRE VII. <i>De l'élasticité.</i>	306
Application des modes de vibration à la reconnaissance des formes types, à la détermination des espèces de formes secondaires dans le système rhomboédrique.	309
CHAPITRE VIII. <i>Degré de résistance aux actions mécaniques. Dureté.</i>	314
Ténacité.	318
Flexibilité.	320
Ductilité.	321
CHAPITRE IX. <i>Pesanteur spécifique.</i>	322
Manière d'opérer.	323
Précautions à prendre.	325
Tableau des variations occasionées par la structure.	327
Conséquences de ce tableau.	331
CHAPITRE X. <i>Électricité et magnétisme.</i>	338
Substances isolantes et conductrices de l'électricité, caractères tirés de l'électricité par frottement.	339
Phénomènes de l'électricité par la chaleur; observations de M. Becquerel.	341

	Pages
Substances qui agissent sur l'aimant.	346
CHAPITRE XI. <i>Propriétés diverses.</i>	
Action sur le toucher.	348
Impression de froid produite sur la main.	350
Odeurs propres ou accidentelles.	351
Saveurs.	355
Déliquescence et efflorescence, causes probables de cette dernière propriété.	356

## LIVRE DEUXIÈME,

## PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES SUBSTANCES MINÉRALES.

CHAPITRE 1<sup>er</sup>. *Composition des minéraux, moyen de la représenter.*

Nombre des éléments.	358
Limites des composés binaires, ternaires, etc.	360
Division des corps en électro-positif et électro-négatif.	364
Lois de combinaison, proportions définies.	367
Rapport entre le composant électro-positif et le composant électro-négatif, système atomique.	370
Autres lois dans les composés ternaires.	374
Résumé des lois de combinaison. Observations.	376
Utilité du calcul atomique.	378
Signes représentatifs des combinaisons.	381
Signes minéralogiques.	385
Passer d'une analyse en poids à la formule chimique ou minéralogique du corps. Exemples divers.	388
Passer de la formule chimique ou minéralogique à la composition en poids.	394
Observations sur les mélanges. Substances isomorphes.	398
Calcul des mélanges dans une analyse isolée.	400
Calcul des mélanges dans une analyse accompagnée de renseignements.	415
A. l'analyse pouvant se partager en deux.	416
B. l'analyse renfermant des composés de même base, ou de bases isomorphes, d'ordres différents.	422

	Pages.
<b>CHAPITRE II. <i>Essai chimique des minéraux.</i></b>	
Opération par la voie sèche.	439
Opération par la voie humide.	448
Déterminer à quel corps simple, ou à quel genre de composé un minéral appartient.	450
Déterminer la nature du corps électro-positif, qui entre dans un composé.	461

## LIVRE TROISIÈME.

### DISTINCTION ET CLASSIFICATION DES MINÉRAUX.

Idée générale des classifications.	477
Notion de l'espèce en général.	479
Du choix des caractères:	480
Degrés de permanence des caractères minéralogiques, définition de l'espèce minérale à laquelle ils conduisent.	482
Comparaison des caractères physiques et chimiques, difficultés qui en résultent.	487
Difficultés résultantes du mélange des corps; solution de ces difficultés.	491
Variétés de l'espèce.	495
Du genre en minéralogie.	496
Disposition des espèces dans le genre.	501
Des familles en minéralogie.	504
Manière de grouper les familles.	510
Nomenclature des espèces.	522

## LIVRE QUATRIÈME

### GISEMENT DES MINÉRAUX.

<b>CHAPITRE 1<sup>er</sup>. <i>Notions préliminaires.</i></b>	
Définition des couches, amas, filons, etc.	531
Distinction des dépôts terrestres en deux grandes classes.	538
Les dépôts qui ne renferment pas de débris organiques, sont probablement formés par le feu.	541
Coup-d'œil sur les dépôts qui renferment des débris organiques; division en trois périodes.	549
Variations des débris organiques dans les diverses assises de chaque période.	552

CHAPITRE II. <i>Composition générale des terrains.</i>	
Esquisse générale.	557
Caractères des substances essentielles des formations.	558
Caractères des principales roches composées.	563
Observations sur les difficultés que présentent certaines roches ; porphyrés , variolites , etc.	566
Matières arénacées.	570
Positions relatives des principales roches composées.	572
Gisements du carbonate calcaire, caractères des différents dépôts.	578
Gisement des porphyres, variolites , etc.	589
Gisemens du quartz.	590
Gisemens du carbonate dolomie.	592
Gisemens des sulfates de chaux.	594

### CHAPITRE III. *Substances en dépôts limités.*

Sel commun.	597
Combustibles charbonneux.	600
Gîtes métallifères.	620

### CHAPITRE IV. *Substances disséminées , etc.*

Substances disséminées dans les roches.	637
Substances subordonnées aux gîtes métallifères.	641
Substances en solution dans les eaux.	643
Substances qui se forment journellement.	647

### CHAPITRE V. *Matières aériformes et liquides.*

Acide carbonique.	659
Gaz hydrogène, feux naturels.	662
Eau solide, glaciers.	664
Eau liquide, sources ordinaires et minérales, froides et chaudes. Puits artésiens.	668
Eau en vapeur.	672

## LIVRE CINQUIÈME.

### EMPLOI DES SUBSTANCES MINÉRALES.

Matières employées dans l'art de bâtir.	676
Matières employées dans la décoration des édifices, ou l'ameublement.	692
Matières employées en petits ornements, placages, etc.	701

	Pages.
Matières employées dans la bijouterie, la joaillerie, etc.	704
Matières employées dans l'agriculture.	715
Matières employées comme combustibles:	717
Matières employées pour la préparation des métaux usuels.	718
Produit annuel des métaux.	725
Sels et acides minéraux.	726
Terres cuites et poteries.	729
Verreries.	732
Matières employées pour peinture et dessin.	734
Terre à foulon, pierres à détacher.	737
Pierres à aiguiser, substances à polir.	738
Pierres à moulin, pierres à fusil.	742

Le lecteur est prié de corriger les fautes principales suivantes:

Page.	Ligne.	Au lieu de	lisez :
20,	20,	<i>d'inconmodité,</i>	<i>de commodité.</i>
49,	17,	fig. 54,	fig. 51.
50,	29,	fig. 35,	fig. 25.
66,	29,	fig. 9,	fig. 93.
67,	16,	fig. 60 ;	fig. 61.
67,	27,	fig. 20,	fig. 21.
68,	14 et 28,	fig. 59,	fig. 53.
69 et 71,	19,	fig. 20,	fig. 21.
75,	3,	fig. 59,	fig. 53.
79,	18,	<i>obtenu,</i>	<i>obtus.</i>
80,	24,	17 et 24,	12 et 24
171,	21,	<i>l'aggrégation se,</i>	<i>elle se.</i>
253,	11,	'H',	'H'.
302,	20,	<i>richroïtes,</i>	<i>trichroïtes.</i>
318,	13,	<i>dureté de la,</i>	<i>dureté et de la.</i>
360,	8,	1526,	1326.
368,	23,	<i>leur entier,</i>	<i>leur réunion.</i>
385,	29,	Ca Si <sup>2</sup> ,	Ca <sup>3</sup> Si <sup>2</sup> .
404,	17,	(Pb Ag S <sup>2</sup> ),	(Pb Ag) S <sup>2</sup>
509,	19,	<i>verticale or,</i>	<i>vertical ; or.</i>
511,	note,	ajoutez : tome I, page 295.	



# TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

# MINÉRALOGIE.

---

## NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

---

(1) *Division des sciences naturelles.* — L'histoire naturelle, dans le sens le plus étendu, doit embrasser l'étude de tous les êtres, de tous les corps dont se compose l'univers; mais, divisée nécessairement d'après les différents rapports sous lesquels on peut envisager chaque être, chaque système d'êtres, ou même le système général du monde, elle se trouve partagée en un grand nombre de branches, qui forment autant de sciences particulières, dont chacune exige des méthodes très différentes. Les unes, partant de quelques observations générales, emploient le calcul comme principal instrument dans toutes leurs recherches. Les autres s'appliquent particulièrement à mettre en expérience les corps qui se trouvent à notre portée, soit pour déterminer les fonctions des organes dans les êtres vivants, la marche et la cause des différents phénomènes qu'ils présentent dans le cours de leur existence, soit pour découvrir les propriétés individuelles des corps bruts,

les actions qu'ils exercent les uns sur les autres, pour les réduire en leurs éléments, les recomposer, s'il est possible, ou former de nouveaux corps aux dépens de ceux que la nature nous offre. Enfin, plusieurs branches ont pour objet l'étude de tous les corps qui existent à la surface ou dans l'intérieur de la terre, à l'état où la nature même nous les présente. Uniquement fondées sur l'observation, quoique liées intimement avec les sciences d'expérience et de calcul, elles s'occupent de la description des êtres, les étudient dans toutes les positions où la nature les a placés, les comparent soigneusement les uns aux autres sous le rapport des habitudes, de l'organisation, de la composition, etc. Au lieu de faire des expériences, elles cherchent à profiter de celles que la nature elle-même a préparées, soit en plaçant ses productions dans une multitude de circonstances diverses, dont chacune offre quelques phénomènes particuliers, soit en les compliquant graduellement dans leur organisation ou leur composition, dans leurs facultés ou leurs propriétés. C'est à cette partie des sciences, dont l'observation est le principal instrument, qu'on a particulièrement réservé le nom d'*histoire naturelle*.

(2) *Division de l'histoire naturelle proprement dite.*

— Il suffit de jeter un coup d'œil général sur les corps dont l'étude est l'objet de l'histoire naturelle, pour découvrir qu'ils se divisent en deux classes bien distinctes : les uns jouissent de la vie, les autres en sont privés. Les premiers présentent diverses parties qui diffèrent essentiellement les unes des autres, par leurs formes, par leurs positions respectives, et surtout par les fonctions particulières auxquelles chacune est destinée : c'est de l'ensemble de ces parties que résulte l'existence du tout; elles ne peuvent être désunies sans que le corps soit détruit. Ces parties

agissantes ont été nommées *organes* ; les corps qui en sont pourvus sont désignés sous le nom de *corps organisés*, et la science qui s'occupe de leur étude est l'*histoire naturelle organique*.

Dans les autres corps, toutes les parties se ressemblent, et il n'en est aucune qui soit chargée de fonctions particulières. Leur réunion, de quelque manière qu'elle ait eu lieu, ne forme jamais qu'une masse homogène que l'on peut diviser et sous-diviser sans que le corps soit détruit ; il existe tout entier dans la moindre de ses particules. Ces corps ont été nommés *corps inorganisés* ou *corps bruts*, et la science dont ils sont l'objet, est l'*histoire naturelle inorganique*.

(3) *Caractères divers des deux règnes*. — Si nous poursuivons la comparaison de ces deux classes de corps, nous trouvons encore une foule de caractères qui les distinguent éminemment ; les principaux sont tirés du mode de génération, de la configuration et de l'accroissement.

A. *Sous le rapport du mode de génération*. — Les corps organisés naissent toujours d'individus déjà existants et semblables à eux, dont le premier a été nécessairement créé ; les espèces se perpétuent constamment par la génération, sans subir de modifications essentielles ; aucune circonstance ne donne lieu à ce qu'il s'en forme de nouvelles. Les corps inorganisés nous présentent un ordre de choses tout-à-fait différent : un petit nombre d'entre eux, que nous ne pouvons parvenir à décomposer, sont pour nous des éléments, que nous sommes forcés de considérer aussi comme le résultat d'une création. Ces éléments sont doués de propriétés particulières, en vertu desquelles ils peuvent se combiner les uns avec les autres, et produire de nouveaux corps parfaitement distincts. Ceux-ci se forment immédiatement, chaque fois que quel-

ques particules élémentaires se trouvent en présence, par une cause quelconque, et peuvent agir librement l'une sur l'autre en suivant les lois de l'affinité. Il peut s'en produire de nouveaux toutes les fois que de nouveaux éléments se trouvent en contact, et nous pouvons nous-mêmes en former un grand nombre qui n'existent pas dans la nature, en les combinant de diverses manières.

*B. Sous le rapport de la configuration.* — Le corps organisé, dès qu'il existe, a nécessairement une forme déterminée; parce que la condition d'existence entraîne en lui des parties distinctes, qui ont chacune une forme propre, et dont les positions relatives sont arrêtées

Les corps inorganisés, une fois formés, peuvent souvent encore se trouver à des états différents, solides, liquides, aériformes, suivant les circonstances physiques et chimiques dans lesquelles ils sont placés. La forme ne leur est donc pas essentielle; aussi peut-elle varier suivant certaines lois et d'après diverses circonstances purement extérieures. Ce n'est que par une nouvelle opération, indépendante de la formation, et souvent postérieure, qu'elle peut se manifester: il faut que les particules, d'abord écartées les unes des autres par une cause quelconque, puissent se rapprocher jusqu'à la distance où l'attraction de cohésion l'emporte sur les forces qui les tenaient écartées; elles s'arrangent alors entre elles d'une manière ou d'une autre, suivant que les forces, propres ou accidentelles, qui les sollicitent, agissent plus ou moins librement.

*C. Sous le rapport de l'accroissement.* — Les corps organisés s'accroissent toujours après leur naissance, et toujours suivant les mêmes lois, la plupart jusqu'à un certain terme qu'ils ne peuvent dépasser. Cet accroissement se fait à l'intérieur, par des sucs que les organes préparent et renouvellent continuellement,

au moyen des aliments qu'ils prennent à l'extérieur; ces sucs circulent ou pénètrent dans tous les tissus, et déposent continuellement entre les molécules des matières semblables à elles, ou des éléments qui peuvent s'y assimiler par de nouvelles modifications ou combinaisons. Chaque organe se dilate ainsi peu à peu, s'agrandit dans toutes ses dimensions, et c'est par là que le volume extérieur du corps augmente aussi successivement. Tantôt ce développement ne détermine aucune modification dans la forme et la disposition des organes, en sorte que le corps conserve constamment et la même forme et les mêmes parties extérieures qu'il possédait en naissant; tantôt, au contraire, il détermine ou prépare des changements et de figure et de parties, qui se manifestent au dehors à des époques fixes dans la même espèce, et toujours de la même manière.

Dans les corps bruts, il n'y a pas toujours et nécessairement accroissement après la formation; s'il a lieu, il ne se fait pas toujours suivant les mêmes lois, et il n'a de termes fixes que ceux qui dépendent de circonstances purement accidentelles. Il se fait toujours à l'extérieur, et par un effet pur et simple d'agrégation qui dépend plus ou moins de l'attraction moléculaire. La même cause qui a disposé quelques molécules à s'agréger spontanément, si elle continue d'agir, en amène successivement d'autres semblables, qui se groupent successivement autour des premières: la masse devient de plus en plus volumineuse à mesure que le nombre des particules rassemblées augmente, et elle s'accroîtrait indéfiniment s'il pouvait toujours exister autour d'elle des particules libres de même nature. L'accroissement peut être suspendu pendant plus ou moins de temps, et recommencer ensuite si quelques circonstances amènent

ment de nouvelles molécules; c'est ce que nous pouvons observer, dans nos laboratoires, sur les sels divers que nous composons à volonté. Quelquefois l'agrégation des particules additives se fait de manière que le petit solide qui sert de base s'accroît, sans changer de forme, par des couches successives qui l'enveloppent de toutes parts : dans d'autres cas, elle a lieu de telle sorte qu'il en résulte bientôt une forme toute différente de la première, et souvent même des formes successives diverses. Mais, alors même, les choses se passent bien autrement que dans les corps organisés, car les changements ne se font ni à des époques fixes, ni d'une manière constante; ils sont déterminés par des circonstances accidentelles, et dans quelques substances, nous pouvons en provoquer nous-mêmes de particuliers.

(4) *Sous-divisions du règne organique.* — Telles sont les différences essentielles qui distinguent les deux grandes classes de corps dans lesquelles toute l'histoire naturelle se partage; mais, en considérant chacune de ces classes en particulier, on remarque bientôt qu'elles peuvent être encore divisées d'une manière très naturelle. C'est ce qui a été fait de tout temps dans les êtres organisés, qu'on a partagés en *animaux* et en *végétaux*, ou, ce qui revient au même, en être sensibles, qui peuvent se mouvoir à leur gré en tout ou en partie, et en êtres privés du sentiment et de la faculté de se mouvoir à volonté. Ces grandes divisions constituent la *zoologie* et la *botanique*.

(5) *Sous-divisions du règne inorganique.* — Les divisions dont les corps inorganiques sont susceptibles ne sont peut-être pas aussi frappantes au premier coup d'œil : mais elles ne sont ni moins naturelles, ni moins distinctes. Ceux de ces corps qui sont composés se for-

ment, comme nous l'avons dit (3, A), toutes les fois que quelques particules élémentaires, se trouvant en présence, peuvent agir librement les unes sur les autres en vertu de l'attraction de combinaison. Or, cette liberté d'agir, que la définition exige, n'existe pas toujours, et il faut des circonstances particulières pour qu'elle puisse avoir lieu : c'est dans la nature de ces circonstances qu'on trouve des motifs suffisants de distinction. Une multitude de composés inorganiques paraissent ne pouvoir se former que quand l'affinité des principes élémentaires est aidée par les fonctions vitales; tels sont les sucres, les gommes, les résines, et un grand nombre d'autres matières qui sont journellement produites par les corps organisés, et qui, une fois formées, présentent cependant tous les caractères des corps bruts. D'autres corps, au contraire, se forment constamment, ou se sont formés sans aucune participation des forces vitales; telles sont les substances salines, pierreuses, métalliques, etc., que nous pouvons composer artificiellement, ou que nous tirons du sein de la terre : les circonstances qui déterminent ici la libre action des molécules élémentaires sont purement physiques ou chimiques. Il existe aussi un certain nombre de corps qu'on peut considérer comme mixtes, et qui pourraient former un groupe particulier entre les deux autres : ce sont des matières d'origine organique, mais qui, enfouies dans le sein de la terre, par une cause ou par l'autre, ont subi la plupart diverses altérations, ont pris des caractères particuliers, ou même ont donné lieu à la formation de nouvelles substances : telles sont diverses matières analogues aux résines, des bitumes qui proviennent de la décomposition des matières végétales et animales, des végétaux charbonnés, des sels divers, etc., etc.

Il résulte de ces considérations trois divisions assez

nettement tranchées dans l'ensemble des corps inorganisés : 1<sup>o</sup> les corps qui ne peuvent être formés qu'à l'aide des fonctions vitales; 2<sup>o</sup> les corps formés aux dépens des matières organiques enfouies dans les diverses couches du globe; 3<sup>o</sup> les corps à la formation desquels les forces vitales n'ont participé en aucune manière, et qui comprennent, par conséquent, les corps simples.

(6) *Objet de la minéralogie.* — Nous ne nous occuperons spécialement ici que des deux dernières divisions. Elles constituent la science qu'on désigne sous le nom de *minéralogie*, parce que la plupart des corps qu'elles renferment ont reçu, de temps immémorial, le nom de *minéraux*. Cette dénomination ne doit cependant pas faire exclure, comme on l'a cru souvent, les liquides et les fluides aériformes qui se trouvent naturellement à la surface ou dans l'intérieur de la terre, parce que, si le nom de minéraux paraît peu leur convenir, ils n'en sont pas moins des corps bruts, et ne peuvent être compris parmi ceux qu'on doit regarder comme formés à l'aide des forces vitales.

(7) *Division de la minéralogie.* — Les corps qui sont l'objet des recherches du minéralogiste peuvent être considérés sous deux rapports différents, qui constituent deux branches distinctes dans la science. Dans l'une, on a pour but d'étudier les espèces individuellement, dans leur état parfait, dans leurs variations, leurs altérations; d'établir les caractères qui les distinguent, et peuvent servir à les faire reconnaître; de les classer de la manière la plus conforme possible aux analogies que la connaissance de leurs propriétés fait découvrir. C'est là la *minéralogie proprement dite*; mais, pour terminer l'histoire de chaque espèce, il convient encore de faire connaître sa manière d'être dans le sein de la terre, et ses associations naturelles, quoique ces



considérations appartiennent plutôt à la division suivante ; enfin , il est important de donner quelques idées générales des divers genres d'utilité que ces substances peuvent avoir.

Dans l'autre partie , qu'on désigne sous le nom de *géologie* ou *géognosie* , on considère les corps bruts sous des rapports plus généraux. On ne s'occupe plus des propriétés individuelles des espèces, mais on considère le rôle qu'elles jouent dans la nature ; on étudie les grandes masses qui constituent la surface du globe , leur élévation , leur forme extérieure , les déchirements et les dégradations qu'elles ont éprouvés , leur structure intérieure , leur composition , les rapports de position qu'elles affectent les unes à l'égard des autres , et ceux des diverses assises dont elles sont souvent formées : tout ce qui est relatif aux phénomènes volcaniques , aux tremblements de terre , à la chaleur intérieure du globe , etc., etc. , est encore du domaine de cette partie des sciences naturelles. Mais quelle que soit l'étendue des objets dont elle s'occupe , quelles que soient les considérations auxquelles elle s'élève , la géologie actuelle ne présente que des faits positifs , qu'elle cherche seulement à classer dans l'ordre de leurs rapports naturels , et dont elle tire les conséquences immédiates : elle ne peut être confondue avec ces dissertations chimériques , auxquelles on ne s'est que trop long-temps livré , pour remonter aux causes premières de la formation du monde , et qui n'ont conduit qu'à prouver l'orgueilleuse faiblesse de l'esprit humain , lorsqu'il perd de vue la grande cause de tout.

(8) D'après les définitions que nous avons données , c'est nécessairement à l'étude de la minéralogie proprement dite qu'on doit d'abord s'attacher. On ne pourrait , en effet , se livrer avec succès à la plupart des

recherches qui font l'objet de la géologie, sans, préalablement, s'être assez familiarisé avec les espèces minérales, pour pouvoir les reconnaître dans tous les cas, malgré les nombreuses variations dont elles sont susceptibles : on s'exposerait, autrement, à commettre une foule d'erreurs, d'autant plus faciles, que dans les grandes masses qui constituent la surface du globe, les caractères ordinaires des substances peuvent être masqués, modifiés par une multitude de circonstances. Nous allons donc maintenant nous occuper spécialement des corps bruts, en les considérant sous les rapports qui font l'objet de la minéralogie; mais avant de nous livrer à l'étude spéciale de chacun deux, nous devons considérer d'une manière générale leurs propriétés physiques et chimiques, pour en déduire les caractères propres à les faire distinguer les uns des autres, et établir les analogies ou les différences qui conduisent à la classification. Nous devons aussi présenter des généralités sur leur manière d'être dans le sein de la terre, ce qu'on nomme leur gisement, sur leur formation, leurs altérations, etc. Ces observations générales constituent ce qu'on peut appeler la partie philosophique de la science, qui doit entrer dans toute bonne éducation, et que chacun peut apprendre, sans pour cela se livrer à l'étude spéciale des minéraux. En joignant à ces généralités quelques détails sur les matières principales qui sont applicables aux arts et aux usages de la vie, on aura tout ce qu'il est essentiel de retenir pour son agrément ou son utilité, dans quelque position que l'on se trouve placé.

---

## LIVRE PREMIER.

### ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MINÉRAUX.

(9) Sous le nom de propriétés physiques, ou caractères physiques des minéraux, on peut comprendre 1<sup>o</sup> les *formes*, qui peuvent être régulières ou irrégulières, tenir à la nature des corps ou être accidentelles; 2<sup>o</sup> les *structures*, qui sont dans le même cas que les formes; 3<sup>o</sup> les *propriétés optiques*, dont les unes sont propres aux corps, et dont les autres tiennent à l'agrégation moléculaire ou à des circonstances étrangères; 4<sup>o</sup> la *phosphorescence*; 5<sup>o</sup> la *pesanteur spécifique*; 6<sup>o</sup> l'*élasticité*; 7<sup>o</sup> les *propriétés électriques et magnétiques*; 8<sup>o</sup> le plus ou moins de résistance aux actions mécaniques, qui constitue la *dureté*, la *tenacité*, la *flexibilité*, la *ductilité*; 9<sup>o</sup> l'action sur le toucher, qui comprend le plus ou moins de douceur ou de sécheresse des corps, leur faculté conductrice pour la chaleur; 10<sup>o</sup> l'*odeur*; 11<sup>o</sup> la *saveur*; 12<sup>o</sup> la faculté d'absorber ou d'émettre l'humidité, qui offre le *happement à la langue*, la *déliquescence* ou liquéfaction dans l'eau prise à un air humide, et l'*efflorescence* ou réduction en poussière par l'exposition à l'air.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### FORMES RÉGULIÈRES DES MINÉRAUX.

(10) Dans les corps organisés, les formes, quoique multipliées à l'infini, semblent avoir été définitivement arrêtées par la volonté du créateur; elles se perpétuent constamment par la génération, sans qu'aucune circonstance extérieure puisse y apporter aucun changement notable, ou en provoquer de nouvelles. Dans les corps bruts, au contraire, les formes semblent avoir été seulement réglées d'une manière générale, et comme pour que rien dans le monde ne soit abandonné au hasard. Les molécules de ces corps ont été soumises à des lois, ou disposées à céder à l'action de diverses forces étrangères, en vertu desquelles elles tendent à s'arranger symétriquement, lorsque cédant à l'attraction de cohésion, elles se réunissent pour constituer des corps solides. La matière est contrainte alors à prendre des formes particulières, qui se rapportent à un certain nombre de types, entre lesquels toutes les espèces oscillent; mais, dans chacun de ces types, il peut encore se présenter un nombre presque infini de variétés, qui semblent démontrer que les lois auxquelles l'arrangement moléculaire est soumis agissent tantôt seules, tantôt concurremment avec une multitude de causes secondaires qui en modifient les résultats. Lorsque les causes étrangères balancent suf-

fisamment la tendance à l'arrangement symétrique, l'annulent, ou agissent tout-à-fait seules, la matière prend des formes qui dépendent uniquement des circonstances dans lesquelles les molécules s'agrègent; ce sont alors des formes accidentelles qui n'ont plus aucune liaison entre elles, et dont le même corps peut offrir un nombre plus ou moins considérable.

(11) Les formes qui résultent de l'agrégation libre des molécules matérielles, suivant les lois symétriques auxquelles elles sont soumises, et qui sont les plus remarquables par leur ensemble, leur nombre, leurs variations, sont celles que nous nommons ici *formes régulières*, et que l'on désigne aussi sous le nom de *cristaux*. Elles offrent des polyèdres, terminés par des facettes planes, unies, régulières, quelquefois aussi brillantes que si on les eût fait tailler par un lapidaire, qui sont placées symétriquement les unes par rapport aux autres, et dont les inclinaisons mutuelles suivent des lois invariables. Ce sont là les formes propres de la nature inorganique, celles que la matière tend toujours à prendre, et qu'elle prend en effet toutes les fois que les lois qui la régissent ne sont troublées par aucune cause étrangère. Ces formes sont très nombreuses; car, d'un côté, la plupart des espèces en ont de particulières, et de l'autre, elles en affectent souvent un grand nombre qui ne sont que des modifications d'un même type principal. On reconnaît, parmi ces formes naturelles, plusieurs des polyèdres réguliers de la géométrie, comme le tétraèdre (cuivre gris, helvine.), pl. I, fig. 1; le cube, (sel marin, galène, etc.), fig. 14; l'octaèdre régulier, (alun, etc.) fig. 4; mais il existe en outre des prismes et des pyramides de toute espèce, et un grand nombre de polyèdres simples, qui ne se rapportent à aucun de ceux que la géométrie avait considérés jusqu'au

moment où ils ont été découverts dans la nature : enfin, il existe une multitude de formes composées, dont chacune offre la réunion d'un nombre plus ou moins grand de polyèdres simples de différents genres.

(12) Il y a long-temps que ces formes polyédriques ont été observées par les naturalistes ; les anciens mêmes en ont connu quelques-unes, entre autres celles du cristal de roche et du diamant, qui ont excité leur admiration ; mais jusqu'au milieu du siècle dernier, elles furent généralement regardées comme des accidents, de simples jeux du hasard. Linnæus paraît avoir senti le premier qu'elles devaient être le résultat de causes constantes, et que leur observation pourrait être d'une grande importance dans l'étude des minéraux ; mais il n'en connut qu'un très petit nombre, et ne les considéra pas même sous le point de vue qui pouvait avancer leur étude. C'est à Romé de Lisle, savant minéralogiste français, qu'on doit le premier travail sur cet objet. Il rassembla un grand nombre de cristaux dans toutes les substances connues, les examina avec soin, mesura leurs angles, et établit qu'ils étaient constants. Il compara entre elles les formes les plus disparates qu'une même espèce était susceptible d'affecter, et parvint à reconnaître qu'elles se rattachaient toutes les unes aux autres, qu'elles dérivait d'une ou de plusieurs formes fondamentales dans lesquelles les angles solides ou les arêtes se trouvaient remplacés par une ou plusieurs facettes, tantôt fort étroites, tantôt assez grandes pour faire disparaître le premier solide, et en produire un autre souvent très différent. Ce sont ces découvertes importantes, publiées pour la première fois en 1772, qui ont jeté les bases de la science cristallographique : ce sont elles qui nous guideront encore pour arriver aux théories mathématiques dont nous devons l'idée à Haüy.

(13) *Remarques sur la constance des angles.* — La première observation importante de Romé de Lisle est la constance des angles, d'après laquelle on devait conclure que les cristaux ne sont pas des résultats du hasard. On a admis pendant long-temps cette donnée sans restriction, parce qu'on ne possédait, pour mesurer les angles, que des instruments trop imparfaits pour reconnaître de petites différences; aujourd'hui que l'on peut apprécier des différences de quelques minutes, on a reconnu que cette constance n'avait rigoureusement lieu que pour des températures égales et des compositions identiques.

*Variations occasionées par la température.* — M. Mitscherlich a fait le premier l'importante observation que certains cristaux subissent des variations dans leurs angles à différentes températures, ce qui doit être le résultat d'une inégalité de dilatation dans le sens des différents axes du corps; et ce qui le prouve, c'est que ces variations n'ont lieu que dans les formes qui ne se rapportent pas à l'un des polyèdres réguliers de la géométrie, où tous les axes sont égaux. (Voyez aussi à l'article de l'élasticité l'influence de ces axes.) Ces variations sont tantôt en plus, tantôt en moins, c'est-à-dire que dans certains corps l'angle dièdre de deux faces diminue, tandis que dans d'autres cet angle, pris entre deux faces semblables aux premières, augmente. Elles s'élèvent de  $10'$  à  $12'$ , entre  $0^{\text{d}}$  et  $100^{\text{d}}$ , et vont au-delà de  $20'$ , à la température de l'huile bouillante. Il résulte de là que quand on veut comparer rigoureusement différents cristaux les uns avec les autres sous le rapport de l'inclinaison mutuelle de leurs faces, il est nécessaire d'opérer à la même température, pour en prendre les angles. Mais comme les variations sont peu considérables pour une différence de  $100^{\text{d}}$  de température, il en résulte qu'elles sont insensibles pour les dif-

férences de température atmosphérique : par conséquent il est vrai de dire que l'observation de Romé de Lisle reste dans toute sa force dans les circonstances où nous opérons ordinairement.

*Variations occasionées par la diversité de composition.* — Dans tous les cristaux de même forme dont la composition est identique, les angles sont exactement de même valeur; mais lorsqu'il se trouve quelques principes accidentels, j'ai reconnu qu'il y a différence plus ou moins sensible et constante. Ainsi, par exemple, dans le carbonate de chaux le plus pur de l'Islande, l'angle dièdre obtus des faces est de  $105^{\text{d}} 5'$ , mais, dans différents échantillons qui renferment une plus ou moins grande quantité de carbonate de magnésie, de carbonate de fer, de carbonate de manganèse, il y a variation bien marquée: l'angle augmente progressivement pour une addition de l'un ou de l'autre des premiers carbonates, et diminue pour une addition du troisième. L'angle qu'on observe dans ces cas de mélanges paraît être généralement la moyenne entre les angles propres à chaque substance, et proportionnel à la quantité de l'une et de l'autre. Ainsi, par exemple, lorsqu'il y a 10 particules de carbonate de chaux avec une seule particule de carbonate de magnésie, l'angle se trouve être la 11<sup>e</sup> partie de la somme formée par 10 angles de  $105^{\text{d}} 5'$  et 1 angle de  $107^{\text{d}} 25'$ , (angle du carbonate de magnésie,) c'est-à-dire  $105^{\text{d}} 17' 43''$ . Lorsqu'il y a cinq particules de carbonate de chaux et une seule particule de carbonate de fer, l'angle du cristal est la 6<sup>e</sup> partie de la somme formée par cinq angles de  $105^{\text{d}} 5'$  et un angle de  $107^{\text{d}}$ , (angle du carbonate de fer), c'est-à-dire  $105^{\text{d}} 24' 10''$ . J'ai, en effet, observé ces angles pour ces compositions, ainsi que plusieurs autres pour des compositions différentes: M. Mitscherlich, de son côté, a fait des observations



tout-à-fait analogues. Pour citer un exemple déjà connu des minéralogistes, je prendrai le double carbonate de chaux et magnésie : l'examen chimique de cette substance fait voir qu'elle est composée d'une particule de carbonate de chaux, avec une particule de carbonate de magnésie; l'angle doit donc être la moyenne entre un angle de  $105^{\text{d}} 5'$  et un de  $107^{\text{d}} 25'$ , c'est-à-dire  $106^{\text{d}} 15'$ , comme Wollaston l'a reconnu depuis long-temps par des mesures directes. J'avais d'abord déduit l'angle du carbonate de magnésie de la mesure et de l'analyse du double carbonate de chaux et magnésie; mais depuis on a trouvé des cristaux de carbonate de magnésie pure, et la mesure directe a donné également  $107^{\text{d}} 25'$ .

Cette loi de proportionalité paraît être assez générale, car dans un grand nombre de mesures que j'ai prises sur des cristaux que j'ai ensuite soumis à l'analyse, je n'ai trouvé que deux exceptions, et je n'en connais qu'une autre qui m'a été communiquée. J'ai cru apercevoir dans les deux exceptions que j'ai observées, qu'il y avait plutôt mélange des deux matières que combinaison; or les mélanges mécaniques de diverses matières dans un cristal d'une substance donnée, ne m'ont jamais paru influencer sur la valeur des angles.

Il résulte, sans doute, de ces observations que la constance des angles dans une substance, n'est vrai que quand la matière est rigoureusement pure, ce qui a rarement lieu dans les substances naturelles, qui, par conséquent, présentent sous ce rapport beaucoup de variations. Mais, quoique ainsi restreint, le caractère n'en est pas moins remarquable, et de plus, il nous offre cet autre genre d'importance que, si la loi continue à se vérifier, il peut servir à déterminer le rapport des particules de matière qui se trouvent réunies en un cristal, lorsqu'on connaît la nature du

mélange et les angles de chaque substance à l'état de pureté. Réciproquement, il fournit le moyen de déterminer l'angle d'une des substances lorsqu'on connaît l'angle de l'autre, celui du mélange, et la quantité de particules réunies. En effet, soient pour le premier cas  $x$  et  $y$  les quantités relatives de matière dont il faut déterminer le rapport; soit  $a$  l'angle connu de la substance dont la quantité est  $x$ , et  $b$  l'angle connu de l'autre; enfin soit  $c$  l'angle du mélange cristallisé: on aura, d'après la loi,

$$\frac{ax+by}{x+y} = c, \text{ d'où } x = y \frac{c-b}{a-c}.$$

Supposons qu'on ait trouvé par observation  $c=105^{\text{d}} 17'$ , que l'on sache que le mélange est formé de carbonate de chaux, dont l'angle  $a = 105^{\text{d}} 5'$  et de carbonate de magnésie dont l'angle  $b = 107^{\text{d}} 25'$ , on aura

$$x = y \frac{2^{\text{d}} 8'}{12'} = y \frac{128}{12} = (10,66) y.$$

d'où l'on voit que le rapport de  $x$  à  $y$  est sensiblement 10 à 1, la différence tenant à ce que la mesure de l'angle  $c$  n'est pas assez rigoureuse; et, en effet, en prenant la détermination inverse, nous avons vu qu'avec 10 particules de carbonate de chaux, et 1 de carbonate de magnésie, l'angle du mélange devait être  $105^{\text{d}} 17' 43''$ , qui même n'est pas rigoureux.

Pour le second cas, soit  $x$  l'angle cherché; soit  $a$  l'angle connu d'une des substances,  $b$  l'angle mesuré du mélange,  $c$  la quantité relative de la substance dont l'angle est  $a$ , et  $d$  la quantité relative de celle dont on veut connaître l'angle, on aura

$$b = \frac{ca+dx}{c+d}, \text{ d'où } x = \frac{b(c+d)-ca}{d}.$$

Maintenant supposons que l'on ait un mélange de carbonate de chaux dont l'angle  $a = 105^{\text{d}} 5'$ , et de carbonate de fer; que l'angle du mélange  $b = 105^{\text{d}} 24' 10''$  et que les quantités relatives de matière soient  $c = 5$ ,  $d = 1$ , on aura l'angle du carbonate de fer.

$$x = 6 (105^{\text{d}} 24' 10'') - 5 (105^{\text{d}} 5') = 107^{\text{d}}.$$

(14) *Mesure des angles. Goniomètre ordinaire.*— On voit d'après ce qui précède, que toutes les fois qu'on s'occupe de cristaux, on est dans le cas de mesurer les angles que les faces font entre elles. On se sert pour cela de divers instruments qu'on nomme goniomètres: il y en a de plusieurs sortes. Le plus simple consiste principalement en deux lames d'acier, pl. I, fig. 2, réunies par un axe  $a$  autour duquel elles peuvent tourner, et aussi glisser au moyen des rainures  $b$ , pour s'allonger ou se raccourcir suivant le besoin. On applique ces lames sur les deux faces dont on veut mesurer l'inclinaison mutuelle ou angle dièdre, perpendiculairement à leur intersection, ou sur les deux arêtes dont on veut connaître l'angle plan. On obtient ainsi l'angle que l'on cherche, et l'on trouve sa valeur en appliquant les lames sur un rapporteur de cuivre, fig. 1, disposé à cet effet. La virole  $a$ , fig. 2, entre exactement dans une cavité  $c$ , fig. 1, préparée au centre du cercle dont le rapporteur fait partie, et un petit taquet  $d$ , fig. 2, entre dans la rainure  $f$ , fig. 1, pour achever de maintenir les lames dans une position constante. Il ne s'agit plus alors que de lire sur le limbe, le degré d'ouverture de ces lames. Ce limbe est ordinairement divisé en degrés, et rien n'est plus facile que d'apprécier un quart de degré; mais M. Gillet de Laumont a imaginé de le diviser en dixièmes; il fait tracer, à cet effet, 7 cercles concentriques, à égale distance l'un de l'autre, comme fig. 1, et tirer des dia-

gonales entre les deux cercles extrêmes, d'un degré à l'autre. L'alidade marque alors un degré exact, ou un degré 10, 20, 30, 40, 50 minutes, suivant qu'elle correspond exactement à l'un des rayons tracés de degré en degré, ou à l'intersection de la diagonale avec le 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> cercle concentrique; ou bien, comme les rayons ne sont pas marqués partout, pour éviter la confusion, l'alidade indique le degré exact, ou 1 degré plus 10, 20, 30, 40, 50 minutes, suivant qu'elle correspond aux extrémités opposées des deux diagonales voisines, ou à l'intersection de la diagonale la plus rapprochée de 180<sup>d</sup> avec le 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> cercle. L'instrument que nous venons de décrire, est un perfectionnement de celui qui a été imaginé du temps de Romé-Delisle par Carangeot, et qu'on trouve le plus communément entre les mains des minéralogistes. Dans celui-ci, les alidades sont fixées au cercle, qui est divisé simplement en degrés, et qui n'offre pas de lignes diagonales; mais la séparation des deux pièces offre plus d'inconvénients, et la division en diagonales, permet plus d'exactitude.

*Inconvénients du goniomètre ordinaire.* Quelle que soit la perfection que l'on donne à l'instrument que nous venons de décrire, et l'attention avec laquelle on opère, on ne peut jamais être parfaitement sûr de l'exactitude des résultats. Tout ici se fait, en effet, par des tâtonnements qui sont d'autant plus difficiles, que l'on est obligé de tenir le cristal d'une main, l'instrument de l'autre, et d'en porter l'ensemble devant l'œil, pour observer au jour, ce qui est fort gênant et produit des vacillements continuels, dont on ne s'aperçoit même pas. Quelque habitude que l'on ait, rien ne peut assurer que les alidades ont été placées rigoureusement perpendiculaires à l'arête de jonction des deux faces dont on veut déterminer l'inclinaison,

ni assez bien appliquées sur ces faces, pour en prendre exactement l'angle. Dans les petits cristaux, il faut considérablement raccourcir les alidades, pour pouvoir mesurer les angles, et il est alors difficile de bien juger de l'exactitude de leur application sur une si petite longueur. Dans les grands cristaux, qui paraissent devoir offrir plus de facilité, il est rare que les faces ne soient pas bombées ou inégales, ce qui présente une autre cause d'erreurs, que l'on ne peut éviter.

(15) *Goniomètre fixe*. — Pour éviter autant que possible les inconvénients que nous venons de signaler, M. Adelman a imaginé de rendre l'instrument fixe, et de fixer aussi le cristal sur un support, de sorte que l'on a les deux mains libres pour opérer, et qu'après avoir effectué la coïncidence de l'alidade avec la face du cristal, on peut s'arrêter, et vérifier de nouveau si elle est exacte, ou faire vérifier par d'autres. Ce nouvel instrument est représenté pl. I, fig. 3. On y voit un demi-cercle fixé sur une règle  $ab$ , soutenue par les colonnes  $pp$ , qui peut se mouvoir à droite et à gauche, en passant dans les rainures  $cc$ , où se trouvent de petites roulettes destinées à adoucir le mouvement. Ce demi-cercle fixe en porte un autre  $fg$ , qui se meut au centre  $o$ , et qui est divisé en degrés;  $hik$  est un nonius qui se meut également au centre, mais en arrière, entre le cercle et la règle, et que l'on peut à volonté fixer en quelque endroit que ce soit, au moyen d'une vis de pression  $k$ : ce nonius donne les minutes.  $lm$  est l'alidade, dont le mouvement entraîne le cercle  $fg$ .  $q$ , est une petite tige destinée à supporter le cristal en  $r$ , où on le fixe solidement avec de la cire; elle est tellement disposée qu'elle peut être allongée ou raccourcie, penchée en avant ou en arrière, ou tournée sur elle-même; elle est supportée par un petit charriot  $u$ , qui entre à frottement, et à queue d'aronde, entre les petites tringles

*s s.* La pièce *tn*, que l'on voit sur le côté de l'appareil, est une *mire* que l'on applique contre une des tringles *s*, lorsque le charriot *u* est suffisamment tiré en avant, et au moyen de laquelle on peut juger de l'horizontalité de l'arête formée par les deux faces du cristal qu'on veut mesurer, et de sa perpendicularité au plan du cercle.

Lorsqu'on veut mesurer un cristal, on le fixe solidement en *r*; on tire le petit charriot en avant, et on approche la mire, dont on élève ou on abaisse la partie supérieure, suivant le besoin. En regardant en dessus, on voit si l'arête du cristal est parallèle au bord *v*, auquel cas elle est perpendiculaire au plan du cercle. Si le parallélisme n'a pas lieu, on fait tourner la tige *g* autour de son axe, jusqu'à ce qu'on l'ait amené. On regarde alors par l'ouverture *x*, pour disposer cette même arête horizontalement, ce que le mouvement d'avant en arrière permet toujours.

Le cristal disposé, on pousse le charriot sous le cercle. On fait alors mouvoir l'alidade, et en même temps marcher la règle, de manière à ce que cette alidade s'applique exactement sur la face sans laisser aucun vide. Lorsqu'après plusieurs tâtonnements, on s'est assuré de la juxta-position de l'alidade sur le cristal, on amène le nonius jusqu'au bout du demi-cercle mobile, où un petit taquet l'arrête exactement à zéro, et on le fixe par le moyen de la vis de pression. •

Cela fait, on tire le charriot en avant, on fait passer l'alidade dans l'autre sens, on repousse le charriot, et on cherche à opérer la coïncidence sur la seconde face; cette seconde opération fait tourner le demi-cercle, et le point où il s'arrête indique la mesure de l'angle, qu'on lit en degrés sur son limbe, et dont on cherche les minutes sur le nonius.

Cet instrument que j'ai essayé sur plusieurs sortes de

cristaux, présente un assez grand degré d'exactitude et ne m'a pas donné d'erreur plus de 3 à 4 minutes, soit en plus, soit en moins, ce dont il est impossible de répondre, de quelque manière que l'on mesure. Il a l'avantage de pouvoir être appliqué immédiatement à des cristaux dont les faces sont ternes, pourvu qu'elles soient lisses, comme à ceux qui ont des faces réfléchissantes; seulement il exige que le cristal que l'on mesure ne soit pas par trop petit, pour avoir le plus de certitude possible de la coïncidence de l'alidade avec les faces. Il a encore cet autre avantage très précieux, qu'il peut être appliqué à la mesure des angles plans, ou de l'inclinaison de la face sur une arête, ce qui est souvent très utile.

(16) *Mesure des angles par la réflexion de la lumière.* Quoique l'instrument que nous venons de décrire, permette un assez grand degré de précision, il offre pourtant encore la difficulté de bien juger de la coïncidence de l'alidade sur une surface qui est toujours d'une petite étendue, car, comme nous l'avons remarqué, on ne peut prendre de gros cristaux par la raison que les faces en sont ordinairement irrégulières (voyez plus loin les formes produites par groupements). Mais il existe encore un autre moyen de mesurer les angles avec beaucoup d'exactitude; ce moyen est fourni par les lois de la réflexion de la lumière sur les corps dont la surface est plane, lisse et brillante, ce qui existe précisément dans un grand nombre de cristaux, surtout dans ceux de très petite dimension, que l'on peut alors employer. Pour mesurer un cristal par ce moyen, on peut l'assujettir avec de la cire, et de manière que l'arête de jonction des deux faces soit verticale, au centre de l'alidade mobile d'un cercle disposé horizontalement, et au-devant duquel se trouve une petite lunette dans une position fixe. On fait alors

tourner l'alidade jusqu'à ce qu'une des deux faces dont on veut mesurer l'inclinaison réfléchisse l'image d'un objet très éloigné, et on note le degré auquel elle répond. On continue ensuite à tourner jusqu'à ce que l'autre face vienne se placer aussi de manière à réfléchir le même objet. L'angle compris entre cette nouvelle position et la première est le supplément de l'angle que font entre elles les deux faces du cristal. En effet; soit ABC, fig. 5, la base du cristal dans lequel on veut mesurer l'angle A que font entre elles les faces AB, AC; supposons le cristal placé, par le premier mouvement de l'alidade, de manière à réfléchir en D, par la face AB, l'image de l'objet S, qui arrive alors à l'œil par la lunette L. Si on fait tourner le cristal, pour que l'image du même objet soit réfléchi par la face AC, on amènera, en général, cette face dans une position C'A' parallèle à AB, et ce parallélisme pourra être considéré comme une coïncidence parfaite des deux lignes si l'objet est, comme nous le supposons, très éloigné: or, dans le cas de coïncidence, les deux rayons OA, OC' se confondent, et les deux arcs CC', AA', l'un décrit par le point C, l'autre par le point A, se trouvent sur un même cercle; alors l'angle  $\text{ioC}$ , mesuré par l'arc Ci devient le supplément de l'arc CoA: or, cet angle  $\text{ioC}$  est alors égal à CAB, dont la mesure devient aussi l'arc Ci, moitié de CA'.

Nous avons dit qu'il fallait placer le cristal de manière à ce que l'arête de jonction fût verticale sur le plan du cercle: c'est à quoi l'on parvient rigoureusement de la manière suivante, en partant du principe de catoptrique que l'image d'un objet vertical, réfléchi par un miroir vertical, est elle-même verticale. On fait garnir la petite lunette d'un fil vertical; on place l'instrument devant une fenêtre d'où l'on découvre au loin des objets verticaux, comme des che-



minées, des clochers, des paratonnerres, etc. On tourne le cristal jusqu'à ce qu'une de ses faces réfléchisse l'image de l'objet; et si cette image n'est pas verticale, auquel cas elle ne coïncide pas avec le fil de la lunette, on fait mouvoir le cristal sur son support de cire, jusqu'à ce que la condition soit satisfaite. On fait ensuite la même opération sur la seconde face, et lorsque, après quelques épreuves successives, on s'est assuré que les deux faces réfléchissent l'image verticalement, on est sûr qu'elles sont toutes deux verticales, et par conséquent que l'arête est aussi verticale (géométrie).

(17) *Goniomètre de Wollaston.* — Le docteur Wollaston, à qui les sciences physiques doivent tant de procédés ingénieux, a imaginé un instrument fort commode pour cette opération, et d'une grande simplicité. Il se compose, fig. 4, d'un cercle de cuivre gradué, placé verticalement, et tournant autour d'un axe horizontal; cet axe est percé dans toute sa longueur, pour laisser passer un autre axe intérieur dont l'extrémité porte plusieurs pièces mobiles. Pour se servir de cet instrument, on place d'abord le cercle à zéro, ou à  $180^{\text{d}}$ , parce qu'il est divisé en deux fois  $180^{\text{d}}$ . On dispose ensuite le cristal sur la petite plaque *a*, en l'assujettissant avec de la cire, de manière que l'arête soit à peu près perpendiculaire au plan du cercle, et dans l'axe de rotation. Cela fait, on place le goniomètre à une fenêtre ouverte, devant un bâtiment assez éloigné qui présente plusieurs lignes horizontales, comme une ligne de toits, une ligne de balcons, etc., et de manière que le plan du cercle soit à peu près perpendiculaire à la face du bâtiment. Plaçant alors l'œil très près du cristal, on fait tourner l'axe intérieur par le moyen de la virole *b*, et on amène une des faces dans une position telle, qu'elle puisse réfléchir la plus haute de

ces lignes : puis on continue à tourner lentement jusqu'à ce que l'œil aperçoive à la fois cette image réfléchie et une autre ligne horizontale, plus basse que la première, vue directement. Si ces deux lignes coïncident, la face du cristal est horizontale; si elles ne coïncident pas, on fait varier doucement soit la position du cercle, soit celle du cristal, au moyen des pièces mobiles de l'extrémité extérieure de l'axe, jusqu'à ce que l'on parvienne à la coïncidence indiquée. On fait ensuite la même opération sur l'autre face, puis on revient à la première pour la vérifier, etc. Lorsque, après quelques essais, on est parvenu à obtenir successivement la coïncidence de ces lignes par les deux faces, on est sûr que la ligne d'intersection, ou arête du cristal, est exactement horizontale.

Parvenu à ce point, il ne faut plus toucher au cristal, et faire en sorte de ne pas déranger l'instrument. On procède alors à la mesure de l'angle : pour cela, on fait d'abord tourner le cristal par la virole *b*, jusqu'à ce qu'une des faces réfléchisse la ligne supérieure du bâtiment et la mette en coïncidence avec une ligne inférieure; puis, au moyen de la virole *c*, on fait tourner le cercle lui-même, qui entraîne alors le cristal dans sa rotation, jusqu'à ce que la réflexion et la coïncidence des mêmes lignes aient eu lieu sur l'autre face. Le cristal a décrit alors un angle qui est le supplément de celui qu'on cherche; mais, au lieu de faire marquer cet angle par le limbe, on lui a fait marquer directement celui du cristal, en le divisant en sens inverse de son mouvement.

Cet instrument n'est destiné qu'à mesurer de très petits cristaux, parce que l'œil n'étant point fixe, la distance des objets de mire n'étant pas très grande, il faut que la dimension du cristal et sa distance à l'œil puissent être considérées comme infiniment petites pour

que l'opération soit exacte; mais c'est un avantage réel, parce que les plus petits cristaux sont toujours ceux dont les faces sont les plus nettes. Dans les gros cristaux, qui résultent presque toujours d'agrégation, il est très rare de rencontrer des faces bien planes et bien lisses.

Cette manière de déterminer les angles dièdres des cristaux ne peut rien laisser à désirer sous le rapport de l'exactitude; pour avoir une raison positive de la réfuter, il faudrait démontrer que dans la réflexion de la lumière l'angle de réflexion n'est pas égale à l'angle d'incidence, ce qui est contre les expériences les plus exactes. Ce procédé est d'autant plus avantageux qu'on peut toujours s'assurer rigoureusement qu'on a bien opéré, en vérifiant les coïncidences indiquées des images directes et réfléchies, ou les faisant vérifier par d'autres. On est d'autant plus sûr de ces coïncidences, que les lignes horizontales que l'on choisit pour points de mire sont plus longues et plus éloignées.

On peut reprocher à cette méthode de n'être pas applicable aux cristaux dont les surfaces ne sont pas réfléchissantes; mais on peut obvier, jusqu'à un certain point, à cet inconvénient, pourvu que les faces soient lissées, et obtenir des mesures toujours beaucoup plus précises qu'avec le goniomètre ordinaire. D'un côté, on peut appliquer sur les faces du cristal une légère couche de vernis qui les rend quelquefois suffisamment réfléchissante; de l'autre, on peut faire faire une petite plaque de verre très mince, dont les surfaces soient bien planes et bien parallèles, la briser ensuite en petits fragments que l'on conserve avec soin. Pour mesurer un cristal, il suffit d'appliquer sur chacune des faces un petit fragment de cette lame de verre, que l'on colle, en l'appuyant fortement, avec un peu d'huile de térébenthine épaissie: chaque fragment fait

alors l'office d'un petit miroir parallèle à la face, et on ne peut avoir d'erreurs que celles qui résultent du défaut de parallélisme, qu'on doit avoir préalablement vérifié, ou des petites inégalités que peut produire la couche de térébenthine, qui pourrait n'avoir pas la même épaisseur partout, ce que l'on évitera, en grande partie, en appuyant la lame fortement sur la face.

Si les faces du cristal qu'on a entre les mains sont raboteuses, il n'y a alors aucun moyen de le mesurer exactement, pas plus avec le goniomètre ordinaire que par la réflexion.

(18) *Divisions de toutes les formes cristallines en groupes.*— Venons maintenant à l'étude particulière des cristaux. Nous avons déjà fait remarquer que ces formes sont très nombreuses, et en effet, on en connaît aujourd'hui plusieurs milliers; par conséquent il semble au premier abord, que leur étude doit être extrêmement pénible. Cependant en examinant avec quelque attention une série assez considérable de cristaux, on ne peut tarder à remarquer qu'il en est qui passent les uns aux autres; ainsi, en prenant la forme pk. II, fig. 32, on voit d'un côté que dans différents cristaux les facettes *a* deviennent de plus en plus petites, et que, réduites à zéro, on a la forme fig. 41. D'un autre côté, on trouve au contraire des cristaux où ces mêmes facettes *a* sont de plus en plus grandes; en sorte qu'on arrive bientôt à une forme comme fig. 23, où les facettes *c* et *p* qui ont successivement diminué, sont réduites à de petits triangles. Partant de là, on trouve encore d'autres cristaux où les facettes *c* et *p* deviennent plus petites, et les formes se rapprochent de plus en plus de la fig. 14. Dans d'autres cristaux on reconnaît la fig. 14, dont les arêtes présentent une légère facette, que l'on voit s'agrandir de plus en plus comme fig. 15; ail-

leurs, ces facettes s'agrandissent encore, et les facettes  $a$  diminuent, de sorte qu'on arrive jusqu'à une forme comme fig. 24, puis à une autre où les facettes  $a$  sont encore plus petites, et enfin à un solide, fig. 51. Au près de celui-ci on trouvera à en ranger d'autres où l'on remarque seulement des petites faces triangulaires  $\{c$  et  $p$ , fig. 42, par lesquelles on est conduit à un cristal comme fig. 33, qui ne diffère lui-même de la fig. 41 que par des facettes  $d$ , souvent fort étroites, placées sur les arêtes. En étudiant ainsi la série de cristaux que nous supposons, on trouvera à grouper autour de ces formes, fig. 14, 41, 51, un grand nombre d'autres formes qui en diffèrent plus ou moins dans les extrêmes. Mais on verra en même-temps qu'il y a beaucoup de formes qui n'offrent aucun passage à celle-ci; par exemple, on ne trouvera aucun passage entre le cube ou l'octaèdre et un prisme à base d'hexagone régulier, pl. III, fig. 43. D'après cela, il est clair que le prisme hexagone n'appartient pas au groupe que nous venons de faire; mais on trouve à le rattacher à beaucoup d'autres formes, et à grouper autour de lui un très grand nombre de cristaux très différents. Ainsi on trouve des prismes modifiés sur les arêtes des bases, comme fig. 92; d'autres où les facettes  $p$  et  $d$  deviennent plus grandes; d'autres où elles sont tellement étendues, qu'elles font presque disparaître la face  $k$ , et on arrive alors à un prisme terminé par une pyramide, comme fig. 87. De celui-ci on passe à d'autres, où les facettes  $s$  deviennent plus courtes, puis encore plus courtes, et on parvient par degrés à des formes comme fig. 86, d'où il n'y a plus qu'un pas à faire jusqu'au solide, fig. 29. Partant de ce dernier solide, on en trouve d'analogues où les faces  $p$  se sont étendues aux dépens des facettes  $d$ , comme fig. 12. Dans d'autres, ces facettes  $d$  deviennent encore plus petites, et lorsqu'elles

finissent par disparaître, on arrive à la fig. 11. De proche en proche, on trouve encore à réunir un grand nombre de figures diverses qui ont des rapports entre elles, et n'en ont aucun avec les formes du groupe que l'on a fait précédemment.

En étudiant de même les autres cristaux, on trouve à les placer dans l'un ou l'autre des deux groupes précédents, ou à en former quatre autres groupes tout aussi distincts. Ainsi, toutes les formes cristallines, on peut dire connues ou à connaître, se divisent en six groupes, dont les éléments sont représentés dans les planches 2, 3, 4, 5 et 6.

(19) *Réduction de toutes les formes, à six formes types.*—En étudiant les passages des différentes formes les unes aux autres pour les réunir en groupe comme nous venons de le voir, on s'aperçoit promptement qu'en partant d'une des formes simples quelconques on peut arriver à toutes les autres par des modifications des arêtes ou des angles solides. De là, il résulte que dans chaque groupe une forme simple, quelle qu'elle soit, peut être regardée comme un type autour duquel toutes les autres viennent se ranger; c'est ce que nous allons bientôt démontrer clairement en étudiant chacun des groupes en particulier. Il faut conclure de là que tous les cristaux peuvent être ramenés à six formes que l'on peut choisir à volonté, une dans chaque groupe, et dont les plus simples sont le *tétraèdre*, pl. II, fig. 1, le *rhomboèdre*, pl. III, fig. 11, le *prisme à bases carrées*, pl. IV, fig. 3, le *prisme rectangulaire droit*, pl. V, fig. 1, le *prisme rectangulaire oblique*, pl. VI, fig. 1, et le *prisme oblique à bases de parallélogrammes obliquangles*, pl. VII, fig. 1.

(20) *Définitions relatives aux parties des cristaux.*—Dans tout cristal on distingue des faces, des arêtes et des angles solides.

Une face est de même espèce qu'une autre lorsqu'elle lui est égale et qu'elle se trouve dans la même position relative.

Une arête est de même espèce qu'une autre lorsqu'elle se trouve à l'intersection de deux plans de même espèce et de même inclinaison mutuelle que ceux qui déterminent celles-ci ; elle est différente, lorsque les plans qui la déterminent ne sont pas de même espèce que ceux qui forment l'arête à laquelle on la compare, ou lorsqu'étant de même espèce, ils sont inclinés différemment l'un sur l'autre. Ainsi dans un cube toutes les arêtes sont de même espèce, parce que tous les plans sont égaux, et tous inclinés entre eux de  $90^\circ$ . Dans un prisme à bases carrées, les arêtes du prisme sont toutes de même espèce, parce qu'elles sont formées par l'intersection de plans égaux, tous inclinés entre eux de  $90^\circ$ . Les arêtes des bases sont différentes parce qu'elles se trouvent à l'intersection de deux plans, dont l'un est un des premiers, et dont l'autre est différent ; mais elles sont toutes de même espèce, parce qu'elles sont formées par l'intersection de l'une des bases avec un des pans du prisme, et que l'intersection se fait sous le même angle de  $90^\circ$ . Dans un prisme rhomboïdal, les huit arêtes des bases sont de même espèce, et les arêtes du prisme en sont différentes ; mais celles-ci se divisent elles-mêmes en deux espèces, parce que si elles sont toutes les quatre formées par des intersections de plans de la même espèce, il y en a deux qui sont à la réunion de ces plans sous un angle obtus, et les deux autres à leur réunion sous un angle aigu. Nous pourrions donner beaucoup d'autres solides pour exemple, mais ceux-ci paraissent être suffisants pour bien présenter les identités ou les différences.

Un angle solide est de même espèce qu'un autre,

lorsque les angles plans qui le forment sont égaux, chacun à chacun, à ceux qui déterminent celui-ci.

Ajoutons que les modifications sont de même espèce, lorsqu'ayant lieu sur des parties analogues, toutes sur des arêtes ou toutes sur des angles, elles font, avec les plans qu'elles rencontrent dans un cas, des angles égaux à ceux qu'elles forment avec les plans qu'elles rencontrent dans un autre.

(21) *Symétrie et lois des modifications.* — Le peu d'observations que nous avons jusqu'ici réunies, nous indiquent que les formes cristallines d'un même groupe, passent les unes aux autres par des modifications de leurs arêtes ou de leurs angles solides, qui se trouvent remplacées par une ou plusieurs facettes, tantôt fort petites, tantôt assez grandes pour retrécir considérablement les premières faces, et enfin les faire disparaître, et donner lieu à un solide différent. L'étude de ces modifications, dont nous allons bientôt nous occuper en détail, a conduit à quelques règles générales, que nous devons faire connaître avant tout. Ces règles se réduisent toutes à ceci, *que, dans tout cristal, les parties de même espèce sont toutes modifiées à la fois, et de la même manière, et que les parties d'espèces différentes sont modifiées d'une manière différente*; mais cet énoncé général se compose de quatre cas, qu'il faut établir pour le bien comprendre.

1<sup>o</sup> *Les arêtes ou les angles solides de même espèce sont toutes modifiées à la fois et de la même manière.* C'est-à-dire, que quand un cristal éprouve une modification sur une de ses arêtes ou sur un de ses angles solides, cette modification se répète sur toutes les autres arêtes ou sur tous les angles solides de même espèce. Si l'on considère le cube, par exemple, les arêtes étant toutes de même espèce, restent toutes intactes à la fois, ou sont toutes modifiées à la fois de



la même manière : il en est de même de tous les angles solides. Dans un prisme à bases carrées, les huit arêtes des bases étant toutes égales, se trouvent toutes modifiées à la fois de la même manière, ou restent toutes intactes.

Cette règle présente peu d'exceptions, en comparaison du nombre des faits qui l'établissent; il est à remarquer même que ces exceptions ne sont pas constantes, et qu'elles ne suivent aucune loi, ce qui paraît démontrer qu'elles ne tiennent qu'à des circonstances accidentelles. Haüy a comparé ingénieusement ses anomalies apparentes à celles qui ont lieu dans les plantes, lorsqu'une cause accidentelle fait avorter quelques étamines dans une fleur, où le nombre de ces organes est déterminé par les lois de la végétation.

2<sup>o</sup> *Les arêtes, ou les angles solides, d'espèces différentes sont modifiées différemment.* C'est-à-dire, que si dans un cristal il y a différentes sortes d'arêtes ou différentes sortes d'angles, les parties d'une même espèce étant modifiées d'une certaine manière, celles d'espèces différentes sont modifiées autrement, ou restent toutes intactes. Par exemple, dans un prisme rhomboïdal, les arêtes latérales qui correspondent à l'angle obtus peuvent être modifiées d'une certaine manière, tandis que les deux autres, qui correspondent à un angle aigu, restent intactes ou sont modifiées tout autrement. Dans le prisme à bases carrées, les arêtes des bases, qui sont d'une espèce, se trouvent modifiées autrement que les arêtes du prisme qui sont d'espèces différentes.

Cette règle n'offre pas d'exceptions, du moins rigoureusement établies, ce qui est fort remarquable, car théoriquement parlant, on conçoit très bien que dans certains cas des arêtes ou des angles solides, d'espèces

différentes, puissent être modifiées exactement de la même manière. Ainsi, on conçoit très bien qu'il pourrait exister sur les arêtes des bases d'un prisme à bases carrées, des modifications de même espèce que celles qui se trouvent sur les arêtes latérales.

3<sup>o</sup> *Lorsqu'une arête ou un angle solide sont formés par des plans de même espèce, les modifications produisent le même effet sur chacun de ces plans.* C'est-à-dire que si une arête formée par deux faces de même espèce est modifiée par une seule facette, cette facette est également inclinée sur chacun des plans adjacents. S'il y a deux facettes, l'une fait avec le plan correspondant précisément le même angle que l'autre avec le second plan; ce qui signifie qu'une facette qui serait inégalement inclinée sur les deux plans, entraîne une seconde placée en sens inverse.

De même si un angle solide est formée par des plans de même espèce, une facette unique qui modifie cet angle s'incline de la même manière sur tous les plans. S'il y a plusieurs facettes, leur nombre est toujours égal à celui des plans qui composent l'angle, et elles sont toutes également inclinées sur ces plans; ce qui signifie qu'une facette inégalement inclinée sur des plans voisins de même espèce, ne peut exister seule, et entraîne autant d'autres facettes qu'il y a de plans de même espèce dans l'angle, et qui font avec ces plans des angles de même valeur.

Dans un cube, par exemple, dont toutes les faces sont égales, les arêtes sont toujours modifiées par une seule facette également inclinée sur les plans adjacents, pl. II, fig. 15, ou par deux facettes de même espèce, fig. 16, qui sont inclinées de même sur les faces correspondantes. Les angles solides, formés de trois angles plans égaux, sont modifiés par une seule facette fig. 23 également inclinée sur les trois plans, ou

par trois facettes, fig. 12 et 13, qui sont également inclinées sur les trois plans, etc.

Il y a à cette partie de la règle générale des exceptions plus importantes que celles que nous avons citées précédemment, en ce qu'elles se manifestent constamment. Ainsi, il arrive fréquemment qu'il n'existe qu'une seule facette sur une arête ou sur un angle déterminé, quoiqu'elle n'offre pas la condition d'égalité d'inclinaison sur les faces ou les arêtes adjacentes. Plusieurs de ces exceptions, comme nous le verrons plus tard, tiennent à ce que, dans les substances où elles existent, on a mal choisi la forme qui doit servir de type à toutes les autres; mais il en est d'autres qui ont toujours lieu, quelle que soit la forme que l'on prenne pour point de départ.

4° *Lorsqu'une arête ou un angle solide se trouvent formés par des plans d'espèces différentes, les modifications produisent des effets différents sur chacun de ces plans.* C'est-à-dire que si une arête formée par deux plans d'espèces différentes est modifiée par une facette, cette facette est inégalement inclinée sur les plans adjacents, et elle n'entraîne pas de seconde facette inclinée sur l'un des plans comme elle l'est elle-même sur l'autre. Si un angle solide est formé de plans d'espèce différente, une facette produite sur cet angle est inclinée différemment sur chacun des plans, et elle n'en entraîne pas d'autres qui fassent avec les autres plans des angles égaux à ceux qu'elle fait elle-même avec un plan déterminé. Lorsque dans cet angle solide il se trouve quelques plans de même espèce, une facette modifiante se trouve toujours également inclinée sur ces plans, ou bien entraîne autant de facettes qu'il y a de plans semblables.

Pour faire voir l'application de cette règle, prenons le prisme à bases carrées; s'il y a une modification sur

les arêtes supérieures, qui se trouvent formées chacune par des faces d'espèces différentes, on remarque que cette facette, pl. IV, fig. 5, ne fait pas le même angle avec chacun des plans. S'il y a une modification sur l'angle solide, fig. 6, la facette qui en résulte est également inclinée sur les pans du prisme qui sont de même espèce, et s'incline différemment sur la base qui est d'espèce différente.

Cette règle, qui correspond à la deuxième, n'offre comme elle aucune exception, ce qui est aussi fort remarquable, parce que, théoriquement, on peut concevoir dans beaucoup de cas que des modifications produisent des effets semblables, sur des faces différentes, ou entraîne une seconde facette qui produise sur un plan l'effet de la première sur l'autre. Ainsi, dans le prisme à bases carrées on conçoit très bien une position telle de la facette *d*, fig. 5, qu'il y ait égalité d'inclinaison sur les deux faces adjacentes, et une position telle de la facette *i*, fig. 6, qu'il y ait égalité d'inclinaison sur les trois plans qui composent l'angle solide; mais ces conceptions rationnelles ne sont pas avouées par la nature.

Ces réflexions nous conduisent à faire connaître une autre loi à laquelle les modifications des cristaux sont soumises. Toutes les observations qui ont été recueillies nous montrent qu'une facette ne se trouve pas placée indifféremment, d'une manière ou d'une autre, sur telle ou telle partie du solide qu'elle modifie, ou, en d'autres termes, qu'elle ne fait pas indifféremment toute espèce d'angle avec les plans de ce solide. La position d'une facette est toujours soumise à cette condition, que si on complète ce solide par la pensée, les parties *ia*, *ib*, pl. I, fig. 6, qui appartiennent au prisme triangulaire, qu'il faut ajouter dans le cas d'une modification sur une arête, sont entre elles, comme un

certain nombre de fois l'arête totale  $ik$  est à un certain nombre de fois l'arête totale  $im$ ; c'est-à-dire qu'on a toujours

$$ia : ib :: n (ik) : n' (im)$$

$n$  et  $n'$  étant des nombres entiers dont le rapport peut varier à l'infini.

Les parties d'arête  $ia$ ,  $ib$ ,  $io$  qui appartiennent à la pyramide qu'il faut ajouter pour compléter le solide, dans le cas d'une modification sur un angle, fig. 7, sont entre elles dans des rapports analogues; de sorte qu'on a toujours

$$ia : ib : io :: m (ik) : m' (im) : m'' (il)$$

$m$ ,  $m'$   $m''$  étant aussi des nombres entiers dont les rapports peuvent varier de toutes les manières.

C'est par suite de ces conditions imposées par la nature, qu'il doit être rare, quoiqu'il ne soit pas impossible, que des facettes produites sur des parties de même genre, mais d'espèces différentes, produisent le même effet sur les faces qui leur correspondent; en effet, dans les modifications sur les arêtes d'un prisme rectangulaire, par exemple, la face  $abcd$ , fig. 6, est placée d'après la condition

$$ia : ib :: n (ik) : n' (im)$$

La faceite  $orst$ , produite sur une arête différente, est soumise à la condition

$$ok : kr :: m (ik) : m' (ku)$$

Pour que le même effet ait lieu dans un cas comme dans l'autre, il faut qu'on ait

$$n (ik) : n' (im) :: m (ik) : m' (ku)$$

ou  $m = n(ku)$  et  $m' = n' (im)$ ; plus le rapport entre  $ku$  et  $im$  sera compliqué, plus la circonstance que nous sup-

posons sera rare. Il y aurait encore une difficulté de plus pour qu'une facette produite sur l'arête *ki* présentât aussi la même inclinaison que les premières, car il faudrait remplir une troisième condition : on voit donc qu'il doit être très rare de trouver les différentes espèces d'arête d'un prisme rectangulaire, modifiées de la même manière, et on n'en a pas d'exemple.

On peut concevoir de même qu'il soit rare de trouver une facette qui s'incline également sur des plans d'espèces différentes; il faut alors qu'on ait, pour les modifications sur une arête,  $ia = ib$ , ce qui ne peut être, pour rentrer dans la condition  $ia : ib :: n \cdot ik : n' \cdot im$ , que dans le cas où  $n = im$ ,  $n' = ik$ . Plus le rapport entre  $im$  et  $ik$  sera compliqué, plus l'égalité que nous supposons sera rare.

On concevra de même que deux formes de même genre, si elles n'ont pas exactement les mêmes dimensions relatives, doivent présenter rarement des modifications identiques. Ainsi, un prisme à base carrée, dont le rapport entre la hauteur et le côté de la base est de 5 à 3, ne donnera pas, en général, des formes identiques avec celles que produira le solide dont les mêmes dimensions seront dans le rapport de 3 à 2 : il y aura analogie entre les solides dérivés de la même manière; mais il différeront généralement entre eux par les angles. C'est ainsi que beaucoup de substances présentent des formes du même genre, qui cependant sont incompatibles les unes avec les autres : par exemple, le cristal de roche, l'émeraude, le saphir, etc., etc., présentent des formes qui ont entre elles beaucoup d'analogie, et qui peuvent être dérivées les unes et les autres d'un prisme hexagonal; mais ces formes diffèrent plus ou moins par leurs angles, ce qui tient à ce que dans le prisme qu'on peut prendre pour type, le rapport entre la hauteur et le côté de la base est

différent pour chaque substance ; d'où il suit que les modifications doivent produire aussi, en général, des angles différents.

Les différentes lois que nous venons d'indiquer ont été senties plus ou moins par Romé de Lisle, dès le premier moment qu'il s'est livré à l'étude des cristaux ; mais c'est à Haüy que l'on doit de les avoir généralisées, et surtout d'en avoir tiré parti pour descendre des formes les plus compliquées, à celles dont elles dérivent, pour établir les rapports qui existent entre les dimensions du solide qu'on peut prendre pour type de cristallisation dans telle ou telle substance, pour démontrer enfin la convenance ou l'incompatibilité de certaines formes les unes avec les autres. Essayons maintenant d'exposer en détail tous ces résultats, en étudiant chacun des groupes que nous avons établis.

1<sup>er</sup> TYPE. SYSTÈME CRISTALLIN TÉTRAÉDRIQUE, OU CUBIQUE, OCTAÉDRIQUE, etc.

A. Modifications du tétraèdre.

(22) — *Le tétraèdre régulier*, pl. II, fig. 1, est un solide à quatre faces triangulaires, équilatérales, qui font entre elles des angles dièdres, de  $70^{\text{d}} 31' 44''$  ; il a quatre angles solides égaux, et six arêtes égales et semblablement placées ; ces arêtes sont inclinées de  $35^{\text{d}} 15' 51''$  à chacun des quatre axes, et les faces sont inclinées, à ces mêmes axes, de  $19^{\text{d}} 28' 16''$ .

(23) *Modifications des arêtes*. Les modifications d'un cristal devant avoir lieu sur toutes les parties semblables, il en résulte que dans le tétraèdre elles se feront à la fois, de la même manière, sur les six arêtes ou sur les six angles solides. Les modifications sur les

arêtes peuvent résulter du remplacement de chacune d'elles par une facette *a*, fig. 5, également inclinée sur les faces adjacentes, ou par deux facettes *b*, fig. 2, qui se réunissent en biseau. Dans le premier cas, les facettes *a*, prolongées suffisamment, donneront naissance à un parallépipède, et il est facile de démontrer que ce parallépipède est le cube, fig. 14 (*a*). En effet les faces *a* doivent être inclinées à l'axe du tétraèdre, précisément comme les arêtes qu'elles remplacent, c'est-à-dire de  $35^{\text{d}} 15' 51''$ ; or, cette inclinaison est précisément celle des faces du cube à la diagonale menée intérieurement d'un des angles solides à son opposé.

Dans le second cas, le prolongement des faces donnera lieu au dodécaèdre triangulaire, fig. 3. Chaque pyramide qui se trouve ajoutée au tétraèdre peut être plus ou moins surbaissée entre certaines limites, telles que l'angle dièdre des faces *b* et *b'* soit plus petit que  $180^{\text{d}}$ , où elles se réuniraient en un seul plan, comme *a*, fig. 5, dont le cube est le résultat, et plus grand que  $70^{\text{d}} 31' 44''$  où elles se confondraient avec les faces du tétraèdre. Dans celui qu'on trouve le plus communément dans la nature, les faces *b* et *b'* font entre elles  $109^{\text{d}} 28'$ ; *b* sur *b* est de  $146^{\text{d}} 46'$ .

(24) *Modification des angles solides.* — Les modifications sur les angles solides peuvent résulter du remplacement de chacun d'eux, 1<sup>o</sup> par une facette *c*, fig. 50, également inclinée sur les trois faces contiguës; 2<sup>o</sup> par trois facettes *d*, fig. 6, correspondantes aux faces du

(1) La fig. 14 représente le cube placé sur une de ses faces, ce qui est la position la plus naturelle; mais pour le voir comme il dérive du tétraèdre, il faut le placer de manière que l'angle A soit tourné vers le haut de la planche, et l'angle B vers le bas.



tétraèdre; 3<sup>o</sup> par trois facettes correspondantes aux arêtes, fig. 10; 4<sup>o</sup> enfin par six faces, fig. 7.

1<sup>o</sup> *Par une seule facette.* Les faces qui résultent de cette modification, et qui se trouvent au nombre de quatre, sont des triangles équilatéraux. Lorsqu'elles sont convenablement prolongées, elles produisent un tétraèdre régulier inverse du premier. Prolongées jusqu'à réduire les faces primordiales à des triangles, qui seront équilatéraux, parce qu'ils sont inscrits dans les premiers triangles et ont leurs côtés parallèles aux leurs, elles produiraient l'octaèdre régulier, fig. 41. En effet, nous avons dit que les faces du tétraèdre sont inclinées à l'axe de ce solide de  $19^{\text{d}} 28' 16''$ ; soit donc  $abc$ , pl. I, fig. 8, la coupe du tétraèdre par un plan qui passe par l'axe et une des arêtes,  $bd$  sera l'axe,  $ab$  la trace d'une face,  $fg$  la trace d'une des facettes  $c$  de la fig. 50, et l'angle  $gfa$  sera l'inclinaison de cette facette sur une face du tétraèdre. Or si on tire  $fi$  parallèlement à l'axe, l'angle  $gfa$  se composera d'un angle droit  $= 90^{\text{d}}$ , et de l'angle  $afi = abd = 19^{\text{d}} 28' 16''$ ; il sera donc de  $109^{\text{d}} 28' 16''$ , ce qui est le caractère de l'octaèdre régulier (a).

2<sup>o</sup> *Par trois facettes correspondantes aux faces.* Cette modification, fig. 6, donne des solides à douze faces, ou dodécaèdres, dont les faces sont des quadrilatères. Il peut en exister un très grand nombre, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes; mais parmi tous ceux qui sont possibles, il en est un que présentent plusieurs substances minérales, et qui est remarquable

(1) La fig. 41 offre l'octaèdre dans une position relative à la manière dont il est dérivé du cube; pour le voir dans la position relative à la manière dont il dérive du tétraèdre, il faut placer l'arête A parallèlement aux côtés supérieur et inférieur de la planche.

par son espèce de régularité; c'est celui où les faces *d* sont tellement inclinées, qu'elles font le même angle avec les faces du tétraèdre direct et du tétraèdre inverse, c'est-à-dire avec *p* et avec *c*, fig. 50 : cette circonstance a lieu pour l'inclinaison de  $144^{\text{d}} 44' 8''$ . Dans ce cas, les pyramides trièdres qui se forment au-dessus de *p* par la rencontre des faces, sont égales et semblables à celles qui se forment au-dessus de *c*; dès lors les faces du dodécaèdre sont des rhombes égaux et semblables, fig. 51, et sont toutes également inclinées les unes sur les autres. On trouve facilement cette inclinaison d'après l'angle de  $144^{\text{d}} 44' 8''$ , qui existe en *d* et *p*; elle est de  $120^{\text{d}}$ . Ce polyèdre a huit angles solides triples, qui correspondent aux huit faces de l'octaèdre (les deux tétraèdres inverses), six angles solides quadruples qui correspondent aux six arêtes du tétraèdre, par conséquent aux faces du cube, et vingt-quatre arêtes.

3<sup>o</sup> *Par trois facettes correspondantes aux arêtes*, fig. 10. Cette sorte de modification produit encore des dodécaèdres, mais ils sont à plans triangulaires et tout-à-fait analogues à celui fig. 3; seulement d'après la manière dont ils sont produits, ils se trouvent naturellement en sens inverse comme fig. 11. Ces dodécaèdres peuvent aussi varier à l'infini comme les premiers, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes, qui peuvent prendre toutes les positions entre celle où elles seraient couchées tout-à-fait sur les arêtes du tétraèdre, auquel cas les deux qui sont situées aux extrémités de la même arête se confondent et donnent naissance à la face *a* dont le cube est le résultat, et celle où elles seraient perpendiculaires à l'axe du tétraèdre, auquel cas elles se confondraient trois à trois avec les faces du tétraèdre inverse. On peut toujours obtenir par cette modification sur les angles, des dodécaèdres

triangulaires identiques avec ceux qui résultent de la modification des arêtes.

4<sup>o</sup>. *Par six facettes.* Les angles solides du tétraèdre peuvent être aussi modifiés par six facettes, comme fig. 7, qui, d'après les lois de symétrie, doivent être égales et toutes également inclinées sur les faces  $p$ . Ces facettes, prolongées suffisamment, donnent des solides à 24 faces triangulaires, qui offrent en général la forme fig. 25; mais qui peuvent varier à l'infini, suivant que les facettes  $o$  sont plus ou moins inclinées sur les faces et sur les arêtes du tétraèdre. On doit voir qu'il y a ici plusieurs sortes de limites à ces formes; l'une a lieu lorsque les facettes  $o$ , s'allongeant de plus en plus le long des arêtes du tétraèdre, finissent par avoir leurs côtés parallèles à cette arête: les facettes situées aux deux extrémités de la même arête, se confondant alors, il en résulte un dodécaèdre triangulaire comme fig. 3. Une autre limite a lieu pour le cas où les facettes  $o$ , prises deux à deux, formant entre elles un angle de plus en plus obtus, finissent par se confondre en un seul plan, qui peut être tourné sur les arêtes comme fig. 10, ce qui conduit à un dodécaèdre triangulaire fig. 11, ou sur les faces, fig. 6, ce qui conduit à un dodécaèdre à plans quadrilatères. Enfin, une autre limite a lieu lorsque les faces, devenant de plus en plus inclinées à l'axe, finissent par se confondre avec les faces du tétraèdre inverse. Tous les solides qu'on peut obtenir entre ces limites, offrent toujours ce caractère, d'avoir six angles quadruples correspondants aux arêtes du tétraèdre, et par conséquent aux faces du cube, et huit angles sextuples qui correspondent aux faces des deux tétraèdres inverses, et par conséquent aux huit faces de l'octaèdre, ou aux huit angles solides du cube.

On conçoit que ces divers solides fondamentaux, ainsi que les espèces qui résultent de la variation des

angles dièdres dans plusieurs d'entre eux, peuvent se combiner les uns avec les autres, et produire un très grand nombre de polyèdres composés de diverses sortes. Les substances minérales nous en présentent, en effet, beaucoup; mais l'énumération de toutes ces combinaisons ne peut appartenir qu'à un ouvrage de minéralogie descriptive : devant nous borner ici aux généralités, il nous suffit d'avoir indiqué les genres de solides qui dérivent des divers genres de modifications. Examinons maintenant les modifications du cube, pour faire voir leurs rapports avec celles du solide précédent.

*B. Modifications du cube.*

(25) Le *cube*, fig. 14, est un solide à six faces carrées, inclinées entre elles de  $90^{\text{d}}$ ; il a huit angles solides égaux et 12 arêtes égales et semblablement placées. Les faces sont inclinées à chacune des quatre diagonales, ou axes, qu'on peut mener d'un angle solide à son opposé, de  $35^{\text{d}} 15' 52''$ ; les arêtes sont inclinées aux mêmes axes de  $54^{\text{d}} 44' 8''$ .

(26) *Modifications sur les arêtes.* — Les arêtes, étant toutes égales et semblables, seront toutes modifiées en même temps; elles peuvent l'être par une seule facette ou par deux.

1<sup>o</sup> *Par une seule facette.* La plus simple des modifications sur les arêtes a lieu par une facette qui remplace chacune d'elles en s'inclinant également sur les faces adjacentes, fig. 15. Ces facettes, au nombre de 12, prolongées jusqu'à ce qu'elles se rencontrent, donnent lieu à la formation du dodécaèdre rhomboïdal, fig. 51, dont nous avons déjà parlé, et qui est le seul, entre tous ceux que nous avons annoncés comme possibles sur le tétraèdre, qui puisse avoir lieu ici.

2<sup>o</sup> *Par deux facettes.* La modification sur chaque arête du cube par deux facettes, fig. 16, conduit à des solides à 24 faces triangulaires, fig. 25, comme ceux que nous avons déduits du tétraèdre par la modification de ses angles par six faces. Ils peuvent de même varier à l'infini sur le cube, suivant que les facettes  $\alpha$  sont plus ou moins inclinées. Les conditions d'existence sont que l'angle de  $\alpha$  sur  $\alpha'$  soit plus petit que  $180^\circ$ , auquel cas les deux faces se réuniraient en un seul plan qui donnerait le dodécaèdre rhomboïdal, et plus grand que  $90^\circ$  degré, auquel cas elles se confondraient avec les faces du cube.

(27) *Modifications sur les angles.* — Les huit angles solides du cube étant égaux, seront tous modifiés à la fois de la même manière : ils peuvent l'être par une seule facette, par trois facettes correspondantes à celles du cube, par trois facettes correspondantes aux arêtes, ou enfin par six facettes.

1<sup>o</sup> *Par une seule facette.* Une facette unique qui modifie l'angle solide d'un cube doit être également inclinée sur les faces adjacentes ; chacune produit alors un plan triangulaire équilatéral, fig. 23, et leur ensemble conduit à l'octaèdre régulier, fig. 41. En effet, soit pl. I, fig. 9, la coupe d'un cube par deux arêtes opposées  $ab$ ,  $cd$ , en passant par les diagonales qui seront alors  $ac$ ,  $bd$ . Les lignes  $ad$ ,  $cb$  seront les axes ;  $fg$  et  $hi$  seront les traces des facettes modifiantes dont les plans doivent être perpendiculaires aux axes. Menons  $fk$  parallèle à  $ag$ , et  $hm$  parallèle à  $ib$ . Les angles  $gfk$ ,  $ihm$  seront égaux aux angles  $fak$ ,  $hbm$ , dont chacun étant l'inclinaison de l'arête à l'axe, est de  $54^\circ 44' 8''$ . Or, l'inclinaison de  $gf$  sur  $hi$ , c'est-à-dire des deux faces  $c$  et  $p$ , fig. 23, sera la somme des angles  $gfk$ ,  $ihm$ , c'est-à-dire le double de  $54^\circ 44' 8''$ , ou  $109^\circ 28' 16''$ , ce qui est le caractère de l'octaèdre régulier.

2<sup>o</sup> *Par trois facettes correspondantes aux faces du cube.* Les trois faces qui constituent l'angle solide d'un cube étant égales, les facettes modifiantes seront également inclinées sur chacune d'elles. Les modifications se présenteront comme fig. 12, et les facettes *v* seront plus ou moins inclinées sur les faces du cube; si elles se prolongent suffisamment, elles produiront un nouveau solide composé de 24 faces, qui seront toutes des trapèzes, comme fig. 20, et qu'à cause de cela on a nommé un *trapézoèdre*. Cette espèce de polyèdre a huit angles solides quadruples qui correspondent aux faces du cube, douze angles, également quadruples, mais d'une autre espèce, qui correspondent aux arêtes du cube, par conséquent aux faces du dodécaèdre rhomboïdal, et enfin six angles triples qui correspondent aux angles solides du cube, et par conséquent aux faces de l'octaèdre. Les variations dont il est susceptible sont infinies, ce qui dépend de l'inclinaison des facettes modifiantes, sur les faces du cube. Cette inclinaison peut varier entre  $180^{\text{d}}$ , auquel cas les facettes se confondent avec les faces du cube, et  $125^{\text{d}} 15' 52''$ , auquel cas elles se confondent avec les faces de l'octaèdre. Dans la nature, on ne connaît encore qu'un seul de ces solides; il a lieu par une modification dans laquelle les faces *v* font avec celle du cube  $144^{\text{d}} 44'$ , et entre elles, fig. 20, des angles de  $146^{\text{d}} 46'$  et  $131^{\text{d}} 48'$ .

Il est à remarquer que cette espèce de solide ne peut pas être produit par une modification simple sur le tétraèdre; il est alors le résultat de la combinaison des modifications sur les arêtes par deux faces, fig. 2, avec celles des angles solides par trois faces correspondantes aux arêtes, fig. 10. Il présente la régularité qu'il possède en dérivant du cube, lorsque les deux dodécaèdres inverses, fig. 3 et fig. 11, qui se combinent, sont identiques par les inclinaisons mutuelles des faces.

3<sup>o</sup> *Par trois facettes correspondantes aux arêtes*, fig. 13. Il est clair que cette sorte de modification produira encore des solides à 24 faces ; mais ces faces sont toujours triangulaires, fig. 40, ce qui tient à ce que la position des facettes modifiantes est tout-à-fait analogue à celle des facettes *c* et *p*, fig. 23, au-dessus desquelles elles s'élèvent, et qu'elles sont alors limitées à leurs intersections comme les faces de l'octaèdre : aussi doit-on remarquer que le solide résultant, fig. 10, présente, en général, plus ou moins l'empreinte de l'octaèdre, si ce n'est dans le cas où les facettes *i* approchent beaucoup de se coucher entièrement sur l'arête du cube. Ces solides peuvent varier à l'infini, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes *i*, qui peuvent prendre toutes les positions entre celle où elles seraient tout-à-fait couchées sur les arêtes du cube, auquel cas les deux qui sont situées aux extrémités de la même arête se confondraient et donneraient naissance à la facette *d*, fig. 15, et celle où elles se réuniraient trois à trois en un même plan, comme *c* ou *p*, fig. 23, d'où résulterait l'octaèdre régulier.

Ces sortes de solides ne peuvent pas encore être produits par une modification simple du tétraèdre ; ils résultent alors de la réunion de deux modifications de même genre des angles de ce solide, par des facettes qui correspondent à ses faces comme fig. 4. Mais il faut encore une condition pour qu'ils aient la régularité de ceux qui sont produits sur le cube ; cette condition est que la facette *d'*, fig. 4, soit tellement placée, qu'elle fasse avec le tétraèdre inverse, c'est-à-dire avec les faces *c*, fig. 50, le même angle que la face *d* fait avec les faces du tétraèdre direct, c'est-à-dire avec *p*.

4<sup>o</sup> *Par six facettes* qui seront placées comme fig. 17. Cette modification ayant lieu à la fois sur les huit angles solides du cube, donnera toujours lieu à des polyèdres formés de 48 faces, qui seront toujours triangulaires, fig. 9, 26 et 27. Ces polyèdres peuvent varier aussi à l'infini, suivant la position que prennent les facettes; ils présentent plus ou moins l'empreinte du cube, comme fig. 26, lorsque les facettes approchent de se coucher sur l'arête de ce cube; ils offrent plus ou moins l'empreinte de l'octaèdre, fig. 27, lorsque les facettes approchent plus ou moins de se confondre avec les plans  $c$  et  $p$ , fig. 23; enfin dans les positions moyennes ils sont plus ou moins sphéroïde, fig. 9. On doit voir facilement qu'il y a plusieurs limites de ces solides à 48 faces; l'une est fournie par la condition que les facettes  $n$  ne se couchent pas entièrement sur les arêtes du cube, ce qui ramènerait à la modification fig. 16, et au solide fig. 25; une autre est donnée par la condition que ces facettes ne se confondent pas deux à deux en une seule face, comme  $i$  fig. 13, ou comme  $v$ , fig. 12, ce qui ramènerait aux solides fig. 40, ou fig. 20; enfin une troisième limite aurait lieu par la condition que toutes les facettes ne se confondent pas en un plan, comme fig. 23, ce qui ramènerait à l'octaèdre.

Ce solide à 48 faces est aussi au nombre de ceux qui ne peuvent pas être produits par une modification simple du tétraèdre. Il faut, pour qu'il ait lieu, deux modifications comme celle fig. 7, placées l'une sur l'autre, fig. 8; mais pour que le résultat de cette combinaison ait la régularité des solides produits sur le cube, il faut en outre que les facettes  $o'$  soient tellement placées, qu'elles produisent sur le tétraèdre inverse précisément le même effet que les faces  $o$  sur les faces  $p$  du tétraèdre direct.



## C. Modifications de l'octaèdre régulier.

(27) *L'octaèdre régulier*, fig. 41, est un solide à huit faces triangulaires équilatérales, inclinées entre elles de  $109^{\text{d}} 28' 16''$ . Leur inclinaison à chacun des axes qu'on peut concevoir d'un angle solide à son opposé, est de  $35^{\text{d}} 15' 52''$ ; les arêtes sont inclinées à ces mêmes axes, de  $45^{\text{d}}$ . Il y a six angles solides, composés de 4 plans, et 12 arêtes.

(28) *Modifications sur les arêtes*. — Toutes les arêtes de l'octaèdre étant égales, seront toutes modifiées à la fois, de la même manière. Elle peuvent l'être par une seule facette, ou par deux facettes.

1<sup>o</sup> *Par une seule facette*, fig. 33. Ces facettes seront également inclinées sur chacun des plans adjacents; étant au nombre de 12, elles donneront lieu à un dodécaèdre, qui est encore le dodécaèdre rhomboïdal, fig. 54, le seul qui puisse avoir lieu ici, comme nous l'avons déjà remarqué pour le cube. Ses six angles solides quadruples correspondent au sommet de l'octaèdre, et ses huit angles triples correspondent à ses faces.

2<sup>o</sup> *Par deux facettes*, fig. 31. Il en résultera un solide à 24 faces qui sera précisément celui, fig. 40, que nous avons déduit du cube par les modifications des angles, et qui pourra varier à l'infini; l'angle des facettes *i*, au-dessus de l'arête, sera toujours compris entre  $180^{\text{d}}$ , où les faces se confondraient en une seule *d*, fig. 33, et  $109^{\text{d}} 28' 16''$ , où elles se confondraient avec les plans même de l'octaèdre.

(29) *Modifications sur les angles*. — Les six angles solides de l'octaèdre étant égaux, seront tous modifiés à la fois et de la même manière; ils peuvent l'être par une seule facette, ou par quatre facettes qui

correspondent aux quatre faces de l'octaèdre ou aux quatre arêtes, en produisant des solides à 24 faces, ou enfin par huit facettes.

1<sup>o</sup> *Par une seule facette*, fig. 32, qui sera également inclinée sur les plans adjacents; cette modification reconduira au cube, fig. 14, en passant par la variété, fig. 23, à mesure que les facettes *a* prendront plus d'étendue.

2<sup>o</sup> *Par quatre facettes correspondantes aux faces*. Cette modification, fig. 30, reconduira à des solides à 24 faces trapézoïdales, fig. 20, en passant par la fig. 29, comme ceux qui proviennent du cube par la modification des angles solides, fig. 12. Ces polyèdres pourraient varier indéfiniment suivant que les facettes *v* seraient plus ou moins inclinées sur celles de l'octaèdre; mais la nature n'en offre qu'une seule espèce, pag. 46.

3<sup>o</sup> *Par quatre facettes correspondantes aux arêtes*, comme fig. 34; il en résulte des solides à 24 faces triangulaires, fig. 25, qui, ici comme sur le cube, peuvent varier indéfiniment suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes *o*, dont les limites sont encore le dodécaèdre rhomboïdal et le cube.

4<sup>o</sup> *Par huit facettes*, fig. 35. La modification ayant lieu à la fois sur les six angles, il en résultera des solides à 48 faces, fig. 9, 26 et 27, comme ceux que nous avons déduits du cube. Les limites seront, comme pour la modification sur le cube, 1<sup>o</sup> le cas où les facettes se réunissent deux à deux en un plan *o*, fig. 34, qui conduit à la fig. 35, ou en un plan *v*, fig. 30, qui conduit au trapézoèdre; 2<sup>o</sup> le cas où s'allongeant le long de l'arête de l'octaèdre, les facettes modifiantes finissent par se confondre pour donner des facettes *i*, fig. 31, qui conduisent au solide fig. 40; 3<sup>o</sup> enfin le cas où les facettes se réunissent toutes en un seul plan *a*, fig. 32.

## D. Modifications du dodécaèdre rhomboïdal.

(30) Nous avons déjà défini le dodécaèdre rhomboïdal, fig. 51, qui se rencontre fréquemment dans les minéraux; c'est un solide à 12 faces rhombes toutes égales, et inclinées entre elles de  $120^{\text{d}}$ . Il a 24 arêtes égales, 8 angles solides triples, et 6 angles solides quadruples. Les facettes qui composent l'angle triple sont inclinées à l'axe passant par un de ces angles et son opposé de  $54^{\text{d}} 44' 8''$ , comme les arêtes du cube. Celles qui composent les angles quadruples sont inclinées à l'axe qui passerait par un de ces angles et son opposé de  $45^{\text{d}}$ , comme les arêtes de l'octaèdre.

(31) *Modifications sur les arêtes.* — Toutes les arêtes étant égales, seront modifiées à la fois de la même manière. Elles peuvent l'être par une facette également inclinée sur les plans adjacents, ou par deux facettes.

1<sup>o</sup> *Par une facette*, fig. 47. Puisqu'il y a 24 arêtes, il en résultera un solide à 24 faces, et il est facile de voir quel est son genre. En effet, ce solide aura 8 angles triples correspondants aux angles triples du dodécaèdre, qui correspondent eux-mêmes aux angles solides du cube, ou aux faces de l'octaèdre; six angles quadruples correspondants aux angles quadruples du dodécaèdre, et par conséquent aux faces du cube ou aux angles de l'octaèdre; enfin 12 angles solides, aussi quadruples, qui s'élèvent au-dessus de chaque face du dodécaèdre, et par conséquent correspondent aux 12 arêtes de l'octaèdre: c'est donc un des solides qui peuvent être produits sur le cube par la modification, fig. 12, ou sur l'octaèdre, par la modification, fig. 30; c'est un trapézoèdre, fig. 20.

Remarquons maintenant qu'il ne peut exister qu'un

seul trapézoèdre dérivé du dodécaèdre par la modification de ses arêtes; c'est celui qu'on trouve dans la nature, dont les faces font entre elles des angles de  $146^{\text{d}} 46'$  et  $131^{\text{d}} 48'$ . Mais nous verrons que d'autres modifications en peuvent aussi produire de différents.

2<sup>o</sup> *Par deux facettes*, fig. 52. Il en résulte des solides à 48 faces qui seront triangulaires, dont il peut exister un grand nombre suivant les inclinaisons des facettes  $n$  sur  $d$ , mais qui sont toujours plus ou moins globulaires, comme fig. 9.

(32) *Modifications sur les angles.*—Les modifications sur les angles se partagent nécessairement en deux genres, puisqu'il y a deux sortes d'angles. Elles peuvent se faire par une seule facette ou par plusieurs.

1<sup>o</sup> *Par une seule facette.* Si la modification a lieu sur les angles quadruples, par une facette également inclinée sur les arêtes adjacentes, fig. 24, elle conduira au cube; si elle a lieu de la même manière sur les angles solides triples, fig. 42, elle conduira à l'octaèdre.

2<sup>o</sup> *Par plusieurs facettes.* Elles peuvent se trouver sur les angles quadruples ou sur les angles triples. Les angles solides quadruples peuvent être remplacés par 4 facettes inclinées sur les faces, fig. 43, ou sur les arêtes, fig. 46; il en résultera, dans l'un et l'autre cas, des solides à 24 faces. Les premiers, ayant des angles solides quadruples qui correspondent aux faces du cube, et des angles sextuples qui correspondent aux faces de l'octaèdre, trouveront leurs analogues dans les modifications du cube, fig. 16 et 25, ou les modifications de l'octaèdre, fig. 34. Les seconds, ayant aussi des angles solides quadruples correspondants aux faces du cube, mais des angles triples correspondants à celles de l'octaèdre, donneront des trapézoèdres qui peuvent ici varier à l'infini.

Si les mêmes genres de modification ont lieu sur les

angles solides triples, fig. 37 et 49, il en résultera encore des solides à 24 faces. Dans le premier cas, où les facettes modifiantes sont tournées vers les arêtes, fig. 37, le solide résultant aura 6 angles solides quadruples correspondants aux angles solides quadruples du dodécaèdre, et par conséquent aux faces du cube, 12 angles aussi quadruples, formés par la réunion des facettes modifiantes au-dessus des faces du dodécaèdre, et par conséquent des arêtes du cube, et enfin 8 angles triples correspondants aux angles triples du dodécaèdre, et par conséquent aux angles solides du cube, ou aux faces de l'octaèdre. Ce solide sera donc encore un trapézoèdre qui pourra différer plus ou moins de celui fig. 20, et qui pourra offrir un grand nombre de variétés, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes  $v$ , fig. 37, sur les arêtes auxquelles elles correspondent.

Lorsque les facettes modifiantes sont tournées vers la face, fig. 49, le solide résultant présente 8 angles triples qui correspondent aux 8 angles de même espèce dans le dodécaèdre, et par conséquent aux faces de l'octaèdre; il a 6 angles solides composés de 8 faces qui correspondent aux 6 angles quadruples du dodécaèdre, par conséquent aux faces du cube ou aux angles solides de l'octaèdre. Enfin les faces  $i$  se réunissent deux à deux, en une arête au-dessus des faces du dodécaèdre et par conséquent des arêtes de l'octaèdre. Ce solide est donc du genre de celui qui est représenté fig. 40. •

Enfin il pourrait aussi se faire sur chaque espèce d'angle des modifications plus compliquées : savoir par 6 faces sur les angles triples, fig. 53, et par 8 sur les angles quadruples, fig. 44. Dans l'un et l'autre cas, il en résultera des solides à 48 faces qui pourront varier à l'infini, suivant le plus ou moins d'inclinaison des

facettes qui les produisent, et qui trouveront leurs analogues parmi ceux fig. 9, 26 et 27.

Remarquons maintenant qu'il existe trois moyens généraux d'obtenir un trapézoèdre en partant du dodécaèdre rhomboïdal, savoir : 1<sup>o</sup> par la modification des arêtes par une seule facette, fig. 47, c'est le cas de la nature; 2<sup>o</sup> par la modification des angles solides triples, fig. 37; 3<sup>o</sup> par la modification des angles solides quadruples, fig. 46. Ces trois genres de modifications se rattachent complètement l'un à l'autre; celui fig. 37, n'est autre chose que le cas où les facettes *v*, fig. 47, au lieu d'être parallèles à l'arête, s'inclinent sur l'angle triple, et celui, fig. 46, est un des cas où ces mêmes facettes s'inclinent vers l'angle quadruple.

Il y a aussi trois moyens généraux d'obtenir les solides à 48 faces; savoir : 1<sup>o</sup> par modification des arêtes par deux facettes, fig. 52; 2<sup>o</sup> par modification des angles triples par 6 facettes, fig. 53; et 3<sup>o</sup> enfin par la modification des angles quadruples par 8 facettes, fig. 44. Ces trois genres de modifications se lient entre eux comme les précédents.

#### *E. Modifications du trapézoèdre.*

(33) Si nous prenons maintenant les trapézoèdres, fig. 20, pour base, nous pourrons en tirer les mêmes formes par différentes modifications. Ces solides ont six angles quadruples qui correspondent aux faces du cube, douze autres angles quadruples qui correspondent aux faces du dodécaèdre, dont les arêtes sont de deux espèces, et huit angles triples qui correspondent aux faces de l'octaèdre. Nous en tirerons donc ces trois sortes de solides, cube, dodécaèdre et octaèdre, en remplaçant chacun des angles cités par un plan éga-

lement incliné sur les plans adjacents, comme fig. 21, fig. 38 et fig. 29.

Les modifications sur les angles quadruples qui correspondent au cube, reproduiront des trapézoèdres, si elles sont tournées vers les faces, ou des solides à 24 faces triangulaires, fig. 25, si elles sont tournées vers les arêtes, comme fig. 19. Dans ce cas, les facettes  $o$  peuvent s'incliner plus ou moins sur les arêtes correspondantes, s'appliquer sur ces arêtes, dont elles deviendront des modifications simples, et enfin s'abaisser en sens inverse, où elles modifieront deux arêtes de même espèce du second angle quadruple, fig. 28. Dans tous ces cas, il en résultera toujours des solides du genre de celui fig. 25.

Les modifications sur les angles triples reproduiront d'autres trapézoèdres, si elles correspondent aux faces, ou des solides à 24 faces triangulaires, fig. 40, si elles correspondent aux arêtes, comme fig. 39. Remarquons aussi que, dans ce cas, les facettes  $i$  peuvent s'étendre plus ou moins le long des arêtes sur lesquelles elles sont tournées, qu'elles peuvent s'y coucher entièrement, auquel cas elles en deviendront des modifications, et enfin se pencher en sens inverse, où elles deviendront des modifications du second angle solide quadruple sur les deux arêtes de même espèce, différentes de celles qui se trouvent modifiées, fig. 28.

Ces modifications tournées sur les arêtes, peuvent se faire par deux facettes sur chaque arête, et, quel que soit l'angle sur lequel elles auront lieu, il en résultera toujours des solides à 48 faces, dont les analogues se retrouveront dans les fig. 9, 26 et 27. Si l'on part de la modification des angles quadruples, correspondants au cube, fig. 19, où chaque facette  $o$  se partage en deux, on remarquera qu'elles peuvent s'éten-

dre sur les arêtes auxquelles elles correspondent, en devenir des modifications par deux facettes, ou se placer en sens inverse, comme les facettes simples dans la fig. 28. Si elles ont lieu sur les angles triples, comme les facettes simples *i*, fig. 39, dont chacune alors sera double, on fera la même observation; ces facettes pourront se coucher sur l'arête, ou se placer en sens inverse sur l'angle quadruple. La fig. 54 représente le cas de position sur ces angles quadruples.

On voit, par ces observations, que sur le trapézoèdre il y a trois manières de produire des solides analogues à celui fig. 25, ou à celui fig. 40, et six manières de reproduire les solides à 48 faces,

*F. Modifications des solides à 48 faces.*

(34) Il ne serait pas plus difficile de tirer toutes les modifications des solides à 48 faces; on voit, par les figures seules, qu'il y a des angles solides qui correspondent aux faces du cube, d'autres aux faces de l'octaèdre, et d'autres enfin aux faces du dodécaèdre: on en tirera donc ces solides par des plans correspondants, comme fig. 18, 36, 45.

Nous ne pousserons pas plus loin ces considérations; si nous nous sommes bien fait comprendre, on doit pouvoir dériver tous les solides de l'un quelconque des solides simples compris dans la planche.

2<sup>o</sup> TYPE. SYSTÈME CRISTALLIN RHOMBOÉDRIQUE.

(35) *Un rhomboèdre*, pl. III, fig. 11, 15, 46, etc., est un solide à six faces rhombes toutes égales et semblables, qui se trouvent disposées symétriquement au-



tour d'un axe passant par deux angles solides opposés, et égaux (1); trois arêtes aboutissent ainsi à chaque sommet, et les six autres sont disposées latéralement. Les angles dièdres des faces qui forment les arêtes du sommet, sont tous égaux entre eux; ceux des faces qui forment les arêtes latérales sont différents, mais encore égaux entre eux, et suppléments des premiers. La disposition des arêtes latérales est telle, que leur projection horizontale donne un hexagone régulier, lorsque l'axe est vertical.

(36) *Limites des rhomboèdres.* — Il peut exister un nombre infini de rhomboèdres, puisqu'on peut faire un nombre infini de plans rhombes dont chacun peut produire deux solides, l'un aigu et l'autre obtus : la nature nous en présente, en effet, une grande variété; cependant il existe certaines limites hors desquelles cette espèce de solide ne peut plus avoir lieu. Il est clair d'abord que l'angle dièdre de deux faces du sommet doit être plus petit que  $180^{\text{d}}$ , car autrement les faces seraient sur un même plan;  $180^{\text{d}}$  est donc la limite *maximum* de l'angle possible. Nous allons voir que la limite *minimum* est de  $60^{\text{d}}$ , par conséquent tous les rhomboèdres possibles sont compris entre  $60^{\text{d}}$  et  $180^{\text{d}}$ , pour l'angle de deux faces vers un même sommet; il peut en exister un très grand nombre entre ces deux limites.

---

(1) Six faces rhombes toutes égales ne peuvent être disposées entre elles que de deux manières. Dans l'une, on réunira trois angles plans aigus pour former un angle solide, et les trois autres ne pourront alors être placés que de manière à former un angle solide semblable, opposé au premier, et six angles égaux entre eux, composés de deux angles plans obtus et d'un aigu. Dans la seconde manière, on réunira trois angles plans obtus pour former un angle solide, qui en entraînera un autre semblable et opposé, et six angles composés chacun de deux angles aigus et un obtus.

Pour reconnaître cette limite minimum, il faut remarquer qu'à mesure que l'angle dièdre de deux faces du sommet diminue, le solide devient plus aigu, et que dès lors les faces sont de moins en moins inclinées à l'axe. Or il est clair que quand les faces sont devenues parallèles à l'axe, il n'y a plus de rhomboèdre, et le solide à six faces que l'on obtient est un prisme à bases d'hexagone régulier; mais dans ce solide l'inclinaison mutuelle des faces, qui correspond alors à celle de deux faces situées de part et d'autre d'une arête latérale de rhomboèdre, est de  $120^{\text{d}}$ . Le supplément de cet angle, qui représenterait l'inclinaison de deux faces au-dessus d'une arête du sommet, serait de  $60^{\text{d}}$ ; mais alors le sommet serait l'infini: donc  $60^{\text{d}}$  est au-dessous du plus petit angle dièdre qui puisse exister entre les faces du sommet.

(37) *Parties diverses d'un rhomboèdre; Genres de modifications.* — D'après les définitions que nous venons de donner, le rhomboèdre présente deux sortes d'arêtes et deux sortes d'angles: savoir, six arêtes semblables, qui aboutissent trois à trois aux sommets symétriques, et six arêtes latérales aussi semblables; deux angles solides égaux, aux extrémités de l'axe, et six angles d'une autre espèce, tous égaux entre eux, disposés latéralement autour de l'axe. Il y aura donc aussi quatre genres de modifications: 1<sup>o</sup> modifications sur les arêtes culminantes; 2<sup>o</sup> modifications sur les arêtes latérales; 3<sup>o</sup> modifications sur les angles culminants; 4<sup>o</sup> modifications sur les angles latéraux. Chacun de ces quatre genres peut fournir plusieurs espèces de modifications, qui elles-mêmes sont susceptibles d'un grand nombre de variétés, suivant le plus ou moins d'inclinaison des nouveaux plans: il en résulte que le rhomboèdre est un des solides qui peut présenter le plus de formes différentes; et c'est, en effet, celui que

la nature a pris pour type dans les substances qui offrent le plus de variations. On y reconnaît, en général, quatre sortes de formes, dont plusieurs peuvent offrir un assez grand nombre d'espèces, par suite de la valeur des angles dièdres qu'elles affectent : ces formes sont des *rhomboèdres*, des *dodécaèdres* à plans *triangulaires isocèles*, des *dodécaèdres* à plans *triangulaires scalènes*, et des *prismes hexagonaux*.

*A. Modifications du rhomboèdre.*

(38) *Modifications qui conduisent à des rhomboèdres.*  
— En partant d'un rhomboèdre quelconque, on peut produire par des modifications un nombre infini d'autres rhomboèdres qui diffèrent du premier, et aussi les uns des autres, soit par l'inclinaison mutuelle de leurs faces, soit par les positions de ces faces comparées d'un solide à l'autre. Ainsi en partant, par exemple, du rhomboèdre, fig. 11, on peut arriver aux divers rhomboèdres, fig. 60, 77, 61, 46, 47 et 15, qui diffèrent les uns des autres par les angles, et qui sont tous différents des premiers, en ce qu'ils ont tous leurs faces en sens inverse des siennes ; c'est-à-dire que là où sont les faces du premier, se trouvent les arêtes des autres, et réciproquement. On peut arriver également à une autre série de rhomboèdres, fig. 33, 48, 64, 78, qui sont fort différents des premiers, non par les angles qui peuvent être les mêmes dans plusieurs, mais par la position respective des faces. En effet, dans tous ces derniers solides, les faces sont tournées précisément comme celle du rhomboèdre, fig. 11, dont nous supposons que l'on est parti.

Un rhomboèdre conduira à d'autres rhomboèdres, toutes les fois que les facettes modifiantes de même

espèce, sans être parallèles, se trouveront au nombre de six : ainsi il s'en produira par la modification des arêtes du sommet, par la modification des angles du sommet, et par celle des angles latéraux.

1<sup>o</sup> *Modification sur les arêtes du sommet.* — Ces arêtes étant au nombre de six, trois en dessus, trois en dessous, une seule facette modifiante sur chacune d'elles, fig. 28 et 66, donnera un rhomboèdre. Ce rhomboèdre sera toujours plus surbaissé que celui d'où l'on est parti, et de plus aura ses faces placées en sens inverse, fig. 60 et 47. Une telle modification, qu'on a quelquefois nommée modification *tangente*, parce qu'elle est couchée sur l'arête sans la couper en aucun de ses points, ne peut produire qu'une seule espèce de rhomboèdre en partant d'un rhomboèdre donné. Mais si la tangence n'a plus lieu, si les facettes se relèvent vers le sommet, ou s'abaissent vers les angles latéraux, on pourra obtenir un nombre infini de solides différents. Ces solides seront encore des rhomboèdres, parce que, d'une part, les angles culminants au nombre de deux, sont composés chacun de trois arêtes égales, et que, de l'autre, les angles latéraux sont au nombre de six.

2<sup>o</sup> *Modifications sur les angles supérieurs correspondantes aux arêtes.* — Les modifications sur les angles supérieurs d'un rhomboèdre par des facettes tournées vers les arêtes, fig. 49, 93, donneront toujours des rhomboèdres plus obtus que ceux d'où ils proviennent, plus obtus que ceux qui sont produits par la modification des arêtes, et toujours en sens inverse du solide dont on est parti, fig. 46 et 77. Ces rhomboèdres peuvent varier à l'infini, en partant d'un même rhomboèdre donné, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes modifiantes sur les arêtes.

3<sup>o</sup> *Modifications sur les angles latéraux.* — Les modifications sur les angles latéraux peuvent varier aussi à

l'infini. Elles produisent des solides tantôt plus obtus, tantôt plus aigus que celui qui fait le point de départ ; tantôt tournés en sens inverse, tantôt tournés dans le même sens : tout cela dépendant de la position des facettes modifiantes.

Plus les facettes modifiantes placées sur les angles solides latéraux d'un rhomboèdre, approchent d'être tangentes aux arêtes supérieures de ce rhomboèdre, plus le solide résultant est obtus ; il prend plus d'acuité à mesure que ces facettes s'éloignent de la tangence, jusqu'à un certain terme, passé lequel les solides deviennent de plus en plus obtus. Tous les rhomboèdres produits par des facettes modifiantes dont la position est comprise entre la tangence et ce terme, que nous allons bientôt fixer, sont tournés en sens inverse du solide que l'on a pris pour point de départ. Tous ceux qui sont produits par les facettes qui ont dépassé ce terme, sont au contraire tournés dans le même sens.

Parmi tous les rhomboèdres qui sont dans le premier cas, il peut toujours en exister un, quel que soit l'espèce de rhomboèdre que l'on prend pour point de départ, qui est tout-à-fait identique avec ce rhomboèdre par l'inclinaison mutuelle de ses faces, mais qui se trouve en sens inverse. Cette circonstance a lieu lorsque l'intersection de la facette modifiante avec la face du solide modifié est parallèle à la ligne tirée du sommet au milieu de l'arête opposée ; c'est-à-dire lorsque l'arête  $x$ , fig. 12, est parallèle à la ligne  $ab$  : il en résulte le solide, fig. 61, tout-à-fait semblable à celui fig. 11, mais en sens inverse. Une propriété remarquable de ces solides identiques, mais inverses l'un de l'autre, c'est que se trouvant combinés ensemble, de manière à ce que leurs faces se réduisent mutuellement à des triangles, c'est-à-dire lorsque les facettes  $d$ , fig.

12, sont suffisamment étendues pour réduire les faces  $p$  à des triangles, comme fig. 29, il en résulte un dodécaèdre à plans triangulaires isocèles. Tout rhomboèdre peut avoir son rhomboèdre identique inverse, et de là la possibilité d'avoir tous les dodécaèdres à plans triangulaires isocèles imaginables, plus ou moins aigus, plus ou moins obtus, tel que fig. 67, et beaucoup d'autres.

A mesure que les facettes modifiantes des angles latéraux d'un rhomboèdre sont moins inclinées sur les arêtes auxquelles elles correspondent, les rhomboèdres deviennent plus aigus, tels que fig. 46, 47 et même fig. 15, sans cesser d'être inverses; mais dans toutes ces positions, il arrive bientôt que la facette devient parallèle à l'axe, et dès lors il n'y a plus de rhomboèdre, les faces ne pouvant plus se rencontrer en un sommet. C'est là la limite de tous les rhomboèdres aigus, tournés en sens inverse de celui qu'on prend pour point de départ.

Arrivés au parallélisme que nous venons d'indiquer, on conçoit que la facette modifiante peut s'incliner en sens inverse. Tout change alors; toutes ces facettes, en s'étendant, s'élèvent au-dessus des faces du rhomboèdre dont on est parti, et au lieu de produire, comme auparavant, des arêtes au-dessus de ses faces, elles y produisent des plans, de manière que le solide résultant a ses faces tournées dans le même sens que le premier. Plus la facette modifiante se rapproche du parallélisme à l'axe, plus les rhomboèdres qu'on obtient sont aigus, comme fig. 64; mais à mesure que, fig. 16, 17, elle s'incline davantage sur la face, les rhomboèdres deviennent plus obtus, comme fig. 48, 33.

4<sup>o</sup> *Modification des angles supérieurs correspondant aux faces.* — Il ne nous reste plus à parler que d'une espèce de modification conduisant à un rhomboèdre, c'est celle qui a lieu au sommet par des facettes tour-

nées vers les faces du solide modifié, fig. 32, 62, 94. Les rhomboèdres-résultants, fig. 11, 61, 78, sont toujours tournés de la même manière que ceux qui sont modifiés.

*Dérivations réciproques.* — Tous les rhomboèdres dont nous venons de présenter les figures, et beaucoup d'autres intermédiaires, peuvent être dérivés de l'un quelconque d'entre eux; ainsi on peut tous les faire dériver de la fig. 11, comme nous l'avons supposé; réciproquement celui-ci peut être dérivé de tous les autres par des modifications sur les angles latéraux, sur les arêtes du sommet, ou à l'angle de ce sommet, par des modifications tournées vers les arêtes, lorsque celui que l'on choisit est en sens inverse de celui qu'on veut obtenir, comme on le voit fig. 30, 31, 32, 44, 45. En général, un rhomboèdre quelconque pourra être dérivé d'un autre quelconque; la dérivation a lieu par une modification au sommet, soit sur l'angle solide, soit sur les arêtes culminantes, si le dérivé doit être plus obtus que le premier: la modification sur l'angle solide est tournée vers les faces, fig. 32, 62, si le solide produit doit être tourné comme celui que l'on prend pour type, et sur les arêtes, fig. 49, 79, s'il doit être tourné en sens inverse. Si le rhomboèdre dérivé doit être plus aigu, la dérivation se fait sur les angles latéraux; les modifications penchent vers les arêtes, si le solide dérivé est tourné en sens inverse du premier, fig. 80; elles penchent vers les faces s'il doit être tourné de même, comme  $q$ , fig. 65.

*Combinaisons de rhomboèdre.* — Tous ces rhomboèdres peuvent être combinés les uns avec les autres dans le même solide, et former quelquefois des polyèdres que l'on a peine à reconnaître au premier abord. On en voit quelque exemple, fig. 63, 65, 95, 96, 97.

*Modification des angles du sommet par un plan.* — Nous avons fait remarquer que les solides qu'on peut obtenir par la modification des angles du sommet d'un rhomboèdre, peuvent varier considérablement, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes modifiantes. La condition d'existence est ici, comme dans tout rhomboèdre, que l'inclinaison mutuelle des facettes vers le sommet soit plus petite que  $180^{\text{d}}$ . Lorsqu'elle arrive à ce terme, on n'a plus qu'un plan également incliné sur les faces adjacentes, qui remplace l'angle du sommet, comme  $k$ , fig. 3. Ce plan peut s'étendre considérablement, arriver jusqu'aux diagonales horizontales du rhomboèdre, comme fig. 2, auquel cas le solide résultant a une fausse apparence d'octaèdre, d'autant plus trompeuse que l'inclinaison des faces  $t$  sur  $t$ , de part et d'autre d'une arête latérale, approche plus de  $109^{\text{d}} 28' 16''$ . Ce plan peut même dépasser la diagonal, ce qui réduit le rhomboèdre modifié à des lames plus ou moins minces, s'il est obtus, ou à un solide d'apparence prismatique, s'il est aigu, comme le rhomboèdre fig. 64, remplacé profondément au sommet, fig. 1.

(39) *Modifications qui conduisent au prisme hexagonal.* — Le prisme hexagonal régulier peut être produit de deux manières sur un rhomboèdre quelconque. 1<sup>o</sup> Par le remplacement des arêtes latérales (dont la projection horizontale, comme nous l'avons fait remarquer, est un hexagone régulier), par une seule facette  $r$ , fig. 9, également inclinée sur les faces adjacentes. Ces facettes, prolongées suffisamment, donnent lieu à un prisme terminé par des sommets rhomboédres, comme fig. 26, et au prisme hexagonal simple, fig. 42, lorsqu'elles sont combinées avec le plan  $k$ , qui résulte de la modification du sommet par une seule face. 2<sup>o</sup> Le prisme peut être produit par la modification des angles



par une seule face parallèle à l'axe, comme  $s$ , fig. 10. Ces faces prolongées donnent lieu à un prisme terminé par un rhomboèdre, fig. 27, et au prisme simple, fig. 43, lorsqu'elles sont réunies à la modification du sommet par le plan  $k$ .

Ces deux sortes de prisme existant en même temps sur le rhomboèdre, conduisent au prisme à 12 faces régulières, fig. 88.

(40) *Modifications qui conduisent à des dodécaèdres.*

— Outre les dodécaèdres à triangles isocèles que nous venons d'indiquer, qui sont composés de deux rhomboèdres identiques et inverses réunis ensemble, il peut encore en exister plusieurs autres, qui résultent de diverses modifications dont nous allons nous occuper.

Un rhomboèdre donnera naissance à un solide à douze faces, toutes les fois que les facettes modifiantes de même espèce, seront au nombre de douze, ce qui a lieu lorsque six parties semblables d'un rhomboèdre sont modifiées chacune par deux facettes. Ces sortes de modifications peuvent avoir lieu sur les arêtes qui concourent au sommet, sur les angles solides du sommet, sur les angles latéraux, et sur les arêtes latérales.

1<sup>o</sup> *Modifications sur les arêtes supérieures.*—Sur les arêtes qui concourent au sommet, les modifications par deux facettes, fig. 7 et 81, ne peuvent pas conduire à des dodécaèdres plus aigus que le rhomboèdre dont on part; mais elles peuvent en donner un nombre infini, suivant qu'elles sont plus ou moins inclinées sur les faces de ce rhomboèdre : il en résultera en général, des solides à triangles scalènes, fig. 24 et 41. Les limites de ces dodécaèdres sont d'une part l'angle de  $180^{\circ}$  entre les faces  $i$  ou  $n$ , qui, dès lors, se réunissent en un plan qui appartient au rhomboèdre tangent; d'une autre l'angle même des faces du rhomboèdre modifié. Entre ces deux limites, il peut se faire toutes

les variations imaginables; mais il faut remarquer que plus l'angle approche d'être égal à celui que font entre elles les faces du rhomboèdre dont on part, plus les arêtes latérales du dodécaèdre, fig. 24, 41, approchent de la direction que présentent celles même de ce rhomboèdre; et qu'au contraire, plus il s'en éloigne, en se rapprochant de  $180^d$ , plus ces mêmes arêtes approchent de la direction que présentent les arêtes du rhomboèdre inverse, tel que fig. 61, inverse de celui qui est modifié fig. 7. Or, pour passer d'une de ses directions à l'autre, il y a nécessairement un point où ces arêtes se trouvent toutes sur un même plan, et alors le dodécaèdre présente des faces triangulaires isocèles. Ainsi, quel que soit le rhomboèdre que l'on prend pour point de départ, il est toujours possible, en modifiant les arêtes culminantes par deux faces, d'obtenir un dodécaèdre à plans triangulaires isocèles; mais, pour chaque rhomboèdre, il n'y a qu'un seul dodécaèdre possible.

2<sup>o</sup> *Modifications sur les angles solides supérieurs.* — Les modifications sur les angles du sommet par six faces, telles que fig. 5, ne peuvent pas non plus conduire à des dodécaèdres plus aigus que le rhomboèdre qui sert de type; mais elles peuvent en donner aussi un nombre infini qui seront encore, en général, à triangles scalènes, comme fig. 22. Une condition d'existence est que les faces adjacentes  $v$ , fig. 5, fassent entre elles un angle plus petit que  $180^d$ ; car elles se réuniraient alors en un simple plan, correspondant à une arête, comme fig. 9, ou à une face, fig. 94, et dans les deux cas il en résulterait un rhomboèdre. Une autre condition, c'est que l'angle de deux facettes adjacentes à l'arête du solide modifié, soit plus grand que l'angle même des faces de ce solide, car alors les facettes se confondraient avec ces faces. Enfin il y a encore ces autres conditions, que l'arête de jonction  $b$ , fig. 5, des

deux facettes adjacentes à l'arête du rhomboèdre, ne se confonde pas avec l'arête de ce solide, car alors on retomberait sur la modification fig. 7, et qu'elle ne soit pas perpendiculaire à l'axe du rhomboèdre, parce que les six facettes modifiantes se confondraient en un plan  $k$ , fig. 3. Entre les limites déterminées par ces conditions, il y a un nombre infini de solides possibles. Or, remarquons que plus l'angle des deux faces adjacentes à l'arête du solide modifié approchera d'être égal à celui que font entre elles ces mêmes faces, plus les arêtes latérales  $a$  du dodécaèdre, fig. 22, approcheront de prendre la direction des arêtes du rhomboèdre; et qu'au contraire, plus cet angle approchera de  $180^\circ$ , plus les arêtes  $a$  du dodécaèdre approcheront de prendre la direction des arêtes du rhomboèdre inverse, fig. 60. Donc ici, comme dans le cas précédent, il y a nécessairement un point où les arêtes latérales se trouvent toutes sur un même plan, et donnent lieu à un dodécaèdre à plans triangulaires isocèles; mais il y a cette différence, qu'on peut avoir plus d'un dodécaèdre de cette espèce: il y en a autant de possibles qu'on peut avoir d'inclinaisons différentes de l'arête  $b$ , fig. 5, sur celle du rhomboèdre.

3<sup>o</sup> *Modifications sur les angles latéraux.*—Les modifications des angles solides latéraux, par deux facettes, fig. 4 et 82, peuvent produire aussi des dodécaèdres généralement à triangles scalènes, fig. 20, 41, qui peuvent varier à l'infini, et bien plus encore que ceux dont nous nous sommes jusqu'ici occupés; il peut s'en produire d'obtus comme de très aigus. Pour bien concevoir l'existence de ces divers solides de même genre, remarquons qu'il y a deux sortes de limites. L'une est fournie par cette condition que l'inclinaison des deux facettes formées à chaque angle soit plus petite que  $180^\circ$  et plus grande que l'inclinaison mutuelle

des faces du rhomboèdre de part et d'autre de l'arête du sommet ; car dans le premier cas les facettes se réuniraient en un seul plan, et on retomberait sur tous les rhomboèdres que nous avons déduits de la modification des angles latéraux ; dans le second cas les facettes se confondraient avec les faces du rhomboèdre. Une autre limite est fournie par la condition que l'arête de jonction des deux facettes ne soit pas parallèle à l'axe du rhomboèdre, et ne se confonde pas non plus avec les arêtes culminantes de ce solide ; dans le premier cas, il en résulterait un solide à 12 faces, dont le sommet serait à l'infini, et qui, combiné avec la modification du sommet par une seule face  $k$ , produirait un prisme, comme fig. 59 ; dans le second cas, on retomberait sur la modification fig. 7.

Cela posé, on doit concevoir la multitude des variations dont cette sorte de dodécaèdre est susceptible. Pour chaque inclinaison mutuelle que l'on peut supposer entre les facettes  $o$ , fig. 4, ou  $n$ , fig. 82, dont le nombre est infini, on obtiendra un nombre infini de dodécaèdres ; savoir, d'une part pour chaque inclinaison que l'on peut concevoir entre l'arête des deux faces et celle du rhomboèdre, depuis la coïncidence jusqu'au parallélisme à l'axe, et de l'autre pour toutes les inclinaisons en sens inverse. Il faut encore remarquer que, pour chacune de ces inclinaisons mutuelles des facettes  $o$  ou  $n$ , il peut exister aussi un prisme à 12 faces, comme fig. 59.

En raisonnant ici comme dans le cas précédent, on verra que plus l'angle des facettes modifiantes  $o$  ou  $n$  approche de  $180^\circ$ , plus les arêtes latérales du dodécaèdre approcheront de prendre une direction inverse de celle des arêtes latérales du rhomboèdre modifié, si l'ensemble de ces facettes est incliné vers l'arête de ce solide. Plus cet angle s'approchera de celui que font les arêtes latérales - Les faces  $l$  de ce rhomboèdre, plus,

dans le même cas, les arêtes latérales du dodécaèdre tendront à prendre la direction même de celles du rhomboèdre. Les choses se passeront en sens inverse, dans le cas où l'ensemble des facettes modifiantes s'inclinera vers la face du rhomboèdre. Dans l'un et l'autre cas, il y aura un point intermédiaire où les arêtes latérales du dodécaèdre seront sur un même plan, et donneront lieu à un solide à plans triangulaires isocèles. Ces sortes de dodécaèdres seront très nombreux, car il y en a un possible pour chacune des inclinaisons que l'on peut concevoir de l'arête de jonction des deux facettes  $o$  ou  $n$ , sur l'arête du rhomboèdre, depuis le parallélisme jusqu'à la coïncidence avec cette arête, et un pour chacune des inclinaisons qui peuvent avoir lieu en sens contraire.

*4<sup>o</sup> Modification sur les arêtes latérales.* — Lorsque les arêtes latérales d'un rhomboèdre se trouvent modifiées par deux facettes, comme fig. 8 et 98, il en résulte encore des dodécaèdres, fig. 41 et 20, qui sont toujours à triangles scalènes, et dont les arêtes latérales sont celles mêmes du rhomboèdre modifié. Il ne peut pas en exister d'aussi surbaissés que le rhomboèdre sur lequel ils sont produits; mais il peut s'en former de très aigus. Les limites de tous ces solides sont fournies par la condition que l'angle des facettes  $n$  ou  $o$ , fig. 8 ou 98, soit plus grand que l'inclinaison mutuelle des faces du rhomboèdre, et plus petit que  $180^d$ , auquel cas il y aurait réunion en un seul plan, et production du prisme hexaèdre régulier comme fig. 9; entre ces deux limites, il peut se former des dodécaèdres de toutes les espèces.

*Remarques générales.* — Dans tout ce qui précède, nous avons, en général, fait dériver les divers genres de dodécaèdre du rhomboèdre, fig. 11, et cela afin de pouvoir comparer, les uns aux autres, les solides produits par les modifications sur les diverses parties.

Mais on conçoit qu'un des dodécaèdres quelconque peut être dérivé tout aussi bien de l'un ou de l'autre des rhomboèdres tirés eux-mêmes de celui fig. 11, comme nous en avons donné quelques exemples, fig. 81, 82, 98; seulement la position des modifications qui conduisent à telle espèce de dodécaèdre pourra n'être plus la même dans les rhomboèdres dérivés que dans celui qui leur a servi de type.

Pour bien concevoir, sans entrer dans de grands détails, comment les diverses modifications se présentent sur les rhomboèdres différents de celui qu'on a pris pour type, remarquons que, dans tous les dodécaèdres, de quelque manière qu'ils dérivent du rhomboèdre qui a servi de point de départ, fig. 4, 5, 6, 7, 8, il y a deux sortes d'arêtes culminantes, les unes placées vers les arêtes du rhomboèdre type, les autres vers ses faces. Cela posé, tous les rhomboèdres que l'on peut avoir sont tournés de la même manière que celui qui sert de point de départ, comme fig. 33, 48, 64, 78, ou tournés en sens inverse, comme fig. 15, 46, 47, 60, 61, 77. Dans la série des premiers, s'il s'en trouve un dont les arêtes supérieures coïncident avec les arêtes qui, dans un dodécaèdre s'élèvent au-dessus de l'arête du rhomboèdre type, il est clair que ce dodécaèdre sera produit sur le nouveau solide par une modification des arêtes supérieures : c'est ainsi que nous avons représenté le dodécaèdre, fig. 41, sur les arêtes supérieures d'un rhomboèdre aigu, fig. 81. Pour des rhomboèdres plus aigus, le même dodécaèdre se trouvera produit par une modification du sommet; et pour des rhomboèdres plus obtus, il se trouvera produit par une modification des angles latéraux.

Si nous prenons les rhomboèdres parmi les inverses de celui qui a servi de type, nous ferons le même raisonnement; s'il s'en trouve un dont les

arêtes supérieures coïncident avec les arêtes qui, dans un dodécaèdre, s'élèvent au-dessus de la face du rhomboèdre dont on l'a d'abord dérivé, il est clair que ce dodécaèdre sera produit sur ce nouveau solide par une modification de ses arêtes supérieures par deux facettes. Pour tous les autres rhomboèdres, la modification se trouvera à l'angle supérieur, s'ils sont plus aigus que le premier, ou à l'angle latéral s'ils sont plus obtus.

Observons encore que, dans tous les dodécaèdres à triangles scalènes, il y a des arêtes d'une troisième espèce; ce sont les arêtes latérales, qui sont toujours obliques. Si parmi les rhomboèdres, directs ou inverses, il s'en trouve un dont les arêtes latérales puisse coïncider avec les arêtes latérales d'un quelconque des dodécaèdres, il est clair que ce dodécaèdre sera produit sur ce rhomboèdre par la modification des arêtes inférieures par deux facettes: c'est ainsi que nous avons représenté le dodécaèdre, fig. 20, sur les arêtes latérales d'un rhomboèdre, fig. 98.

On voit donc que, pour un dodécaèdre quelconque, il peut exister deux rhomboèdres sur lesquels il soit produit par la modification des arêtes supérieures, et deux autres rhomboèdres, où il peut être produit par la modification des arêtes inférieures. Il peut en exister un nombre infini sur lesquels il soit produit par la modification du sommet ou par celles des angles latéraux.

*B. Modifications du prisme hexagonal.*

(41) *Modifications conduisant à des rhomboèdres.* — Puisque nous avons pu passer du rhomboèdre à deux espèces de prismes à bases d'hexagone régulier, il est clair qu'on doit pouvoir réciproquement passer de l'un ou de l'autre de ces prismes à divers rhomboèdres. C'est en effet ce qui a lieu; mais il est à remarquer que

ces passages ne se font pas par des modifications symétriques, car dans ces prismes, les parties de même espèce sur lesquelles les modifications peuvent se faire pour qu'il en résulte un solide pyramidal, sont au nombre de douze, et le rhomboèdre n'ayant que six faces, il est clair qu'il ne peut être produit que quand il manque la moitié des modifications. Ces modifications doivent avoir lieu alors ou sur trois des arêtes des bases, ou sur trois des angles solides pris alternativement, fig. 58, 59, 75 et 76.

On a pu voir que les deux prismes que l'on peut obtenir d'un rhomboèdre donné, diffèrent entre eux en ce que les arêtes de l'un correspondent aux faces de l'autre, et réciproquement. De là nous devons conclure que les modifications qui, pour l'un, se trouvent sur les arêtes des bases, se trouveront, pour l'autre, sur les angles solides. Ainsi, lorsqu'une facette se manifeste sur l'arête de l'un de ces prismes, comme  $p$ , fig. 59, elle se trouvera sur l'angle solide de l'autre, comme fig. 58.

Maintenant, en modifiant par une seule facette trois arêtes supérieures et trois inférieures prises alternativement, fig. 59 et 76, ou bien trois angles solides d'une base, et trois de l'autre sous la même condition, fig. 58 et 75, on obtiendra des rhomboèdres qui pourront varier de toutes les manières, du plus aigu au plus obtus, suivant que les facettes modifiantes seront plus ou moins inclinées sur les faces du prisme. Les rhomboèdres les plus aigus sont limités par la condition que les facettes  $p$  ou  $d$ , etc., fassent avec la base un angle plus grand que  $90^{\text{d}}$ , auquel cas elles se confondraient avec les faces ou les arêtes du prisme; les plus obtus sont limités par la condition que le même angle soit plus petit que  $180^{\text{d}}$ , auquel cas les facettes se confondraient avec la base. Remarquons aussi, que tous les rhomboèdres qu'on obtiendra par des modifications



sur les mêmes arêtes, où les mêmes angles, seront tous tournés de la même manière, et que tous ceux qu'on obtiendra par la modification des autres arêtes, ou des autres angles, seront tournés en sens inverse. Ainsi, par des facettes placées comme *p*, fig. 58, 59, on obtiendra tous les rhomboèdres tournés comme celui fig. 11; au contraire par des facettes placées comme *d*, fig. 75, 76, on obtiendra tous les rhomboèdres inverses. On conçoit que plusieurs rhomboèdres peuvent se trouver placés les uns au-dessus des autres, soit sur les arêtes soit sur les angles, comme fig. 57, 90. On conçoit de même qu'il peut se trouver à la fois sur le même prisme, des rhomboèdres d'une certaine espèce, et des rhomboèdres inverses; c'est-à-dire que toutes les arêtes des bases, ou tous les angles solides peuvent être modifiés à la fois, comme fig. 73, 91, 92, et que même les deux sortes de modifications peuvent se trouver ensemble, comme fig. 74.

(42) *Modifications conduisant aux dodécaèdres isocèles.* — Lorsque les rhomboèdres, dont les traces se trouvent sur les arêtes ou sur les angles d'un prisme hexagonal, étant inverses l'un de l'autre, sont en même temps identiques, c'est-à-dire lorsque ces parties sont toutes modifiées à la fois de la même manière, fig. 92 ou 91, les facettes prolongées conduisent à la formation d'une pyramide à six faces triangulaires isocèles à chaque extrémité du prisme, comme fig. 87 ou 70. Si les faces se prolongent de manière à masquer aussi les pans du prisme, on parvient alors à des dodécaèdres à faces triangulaires isocèles, comme fig. 29, 67. Ces solides peuvent aussi varier ici à l'infini, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes modifiantes sur le prisme.

(43) *Modifications conduisant au dodécaèdre scalène.* — Ce n'est encore que par des modifications non symétriques, que les dodécaèdres à triangles scalènes

peuvent être dérivés du prisme. Ces modifications ont lieu sur les angles solides, par des facettes irrégulièrement inclinées sur les faces adjacentes, comme fig. 55 et 56. Les solides qu'on obtient ainsi peuvent varier à l'infini, suivant le plus ou moins d'inclinaison de ces facettes, et leur plus ou moins d'allongement le long des arêtes du prisme : plus elles s'allongent le long de ces arêtes, comme fig. 54, plus le solide est aigu ; plus elles s'inclinent au contraire vers la base, plus il est obtus.

Il n'est pas inutile d'observer que, dans ces sortes de modifications, les facettes sont toujours inclinées deux à deux de la même manière, sur un même pan du prisme, fig. 54, 55, ou de part et d'autre d'une même arête, fig. 56.

S'il arrivait que chaque angle solide, au lieu d'être modifié par une seule facette, qui n'est pas placée symétriquement, le fût par deux facettes, fig. 72, on obtiendrait des solides à 48 faces, comme fig. 38, qui ne sont autre chose que la combinaison de deux dodécaèdres à triangles scalènes. Ces deux dodécaèdres sont indentiques, si les facettes sont de même espèce, et ils sont différents, si les facettes sont d'espèces différentes.

(43) *Modifications conduisant à des prismes à douze faces.*— On conçoit que ce sont des modifications sur les arêtes latérales du prisme hexagone, qui conduisent à ces solides ; mais il y en a de plusieurs sortes. D'un côté l'un ou l'autre des prismes peut être modifié sur ses arêtes latérales, par une seule facette également inclinée sur les deux pans adjacents : c'est ainsi qu'en partant d'un des prismes on peut obtenir l'autre, et lorsqu'ils existent tous deux en même temps, on a un prisme régulier à douze pans.

On peut aussi obtenir des prismes à douze pans,

mais qui ne sont plus réguliers, par la modification de chacune des arêtes latérales du prisme hexagone, par deux facettes, fig. 71, ce qui conduit au solide, fig. 59. Ces sortes de prismes à douze pans peuvent varier à l'infini, suivant le plus ou moins d'inclinaison des facettes qui les produisent sur les pans du prisme modifié.

C. Modifications des dodécaèdres.

(44) *Modifications du dodécaèdre à triangles isocèles.*  
— Il y a à l'égard de ces solides la même observation à faire qu'à l'égard du prisme à bases d'hexagone régulier, on ne peut en obtenir de rhomboédres que par des modifications non symétriques, en ne prenant que la moitié des faces qui conduisent à d'autres dodécaèdres.

Les dodécaèdres, également à triangles isocèles, que l'on peut tirer de l'un quelconque d'entre eux, sont infinis. En effet, on peut en obtenir déjà un très grand nombre par la modification des arêtes des bases par deux facettes, fig. 85, qui peuvent être plus ou moins inclinées; on en obtiendra d'autres par la modification des angles du sommet, soit par des faces tournées vers celles du solide modifié, dont la fig. 85 peut donner une idée, en regardant les faces *d'* et *p'* comme les restes du solide modifié au sommet par les faces *d* et *p*, soit par des faces tournées vers les arêtes, comme fig. 84; on en obtient d'autres encore par la modification des arêtes culminantes par une seule facette, fig. 83; enfin on peut en produire un nombre infini, par la modification des angles solides latéraux par deux faces tournées vers le sommet, fig. 68, dont les inclinaisons peuvent varier de toutes les manières.

Quant aux dodécaèdres à triangles scalènes, ils ne

sont obtenus du dodécaèdre à triangles isocèles, que par des modifications non symétriques; ils ont lieu par des facettes situées soit aux angles latéraux, fig. 51, soit aux sommets, et qui sont diversement inclinées sur les faces adjacentes.

Les prismes hexagones sont donnés, l'un par la modification des arêtes des bases, fig. 86, l'autre par la modification des angles solides, fig. 69. Enfin le prisme dodécaèdre régulier est le produit de la réunion des deux modifications précédentes, et les prismes dodéca-gones irréguliers résultent de la modification des angles solides latéraux, par deux facettes également inclinées sur les faces adjacentes, comme fig. 52.

(45) *Modifications des dodécaèdres à triangles scalènes.*—Nous avons déjà fait remarquer (pag. 70) qu'il y avait dans ces solides deux sortes d'arêtes culminantes, qui correspondent à des inclinaisons différentes des faces; il y a six arêtes d'une espèce, et six d'une autre, trois à chaque sommet. On conçoit, d'après cela, qu'on peut obtenir un nombre infini de rhomboèdres par des modifications parfaitement symétriques; en effet, il s'en formera par la modification de l'une ou de l'autre espèce d'arête, par une seule facette tangente, comme *t* fig. 35; il s'en formera d'autres, qui peuvent varier à l'infini, par des modifications des sommets, par trois facettes qui peuvent être tournées vers une arête ou vers l'autre, fig. 25, et qui peuvent être inclinées de toutes les manières. Enfin, il se formera encore des rhomboèdres par la modification des six angles solides latéraux par des facettes, comme fig. 6 et 34, dont la plus grande inclinaison peut être vers une arête ou vers l'autre, et qui peuvent varier à l'infini.

On conçoit qu'il se formera des dodécaèdres à triangles isocèles, toutes les fois qu'il se produira des facettes tendantes au rhomboèdre, les unes vers une espèce

d'arêtes, les autres vers une espèce d'arêtes différentes, et que les rhomboèdres inverses résultants seront identiques. La modification se trouvera au sommet, fig. 19, pour des solides plus obtus que celui dont on part, et sur les arêtes des bases pour des solides plus aigus.

Il se formera de même des dodécaèdres à triangles scalènes, soit par la modification d'une espèce d'arêtes ou d'une autre par deux facettes, comme fig. 20, soit par les modifications du sommet, fig. 36, qui peuvent varier à l'infini; soit par la modification des angles solides latéraux, fig. 23 et 37, dont les variations peuvent être extrêmement nombreuses; soit enfin par la modification des arêtes latérales par deux facettes.

Quant aux prismes hexagones, ils se formeront l'un par la modification des arêtes latérales par une seule facette parallèle à l'axe, fig. 40, l'autre par la modification des angles latéraux, fig. 39. Le prisme dodécagone régulier sera produit par la réunion des deux modifications précédentes, et les prismes dodécagones irréguliers résulteront de la modification des angles latéraux, chacun par deux facettes parallèles à l'axe.

### 3° TYPE. SYSTÈME PRISMATIQUE DROIT, A BASES CARRÉES.

(46) La définition du prisme droit à bases carrées, pl. IV, fig. 3, se trouve tout entière dans sa dénomination; nous devons seulement remarquer que la hauteur n'étant pas limitée par la position des faces, peut être plus ou moins considérable, et qu'ainsi il peut en exister un nombre infini; la nature nous en offre, en effet, plusieurs espèces, qui diffèrent entre elles par le rapport de la base à la hauteur. Ces différents prismes donnent tous lieu, par leur modification, à

des solides du même genre, mais qui diffèrent constamment par la valeur des angles, par suite du principe que nous avons énoncé précédemment (page 38).

Il n'y a dans un prisme à bases carrées qu'une seule espèce d'angles solides; mais on doit y distinguer deux sortes d'arêtes : les arêtes latérales, qui se trouvent entre des faces égales et semblables, et les arêtes des bases, qui résultent de l'intersection de deux faces inégales.

*A. Modifications du prisme carré.*

(47) *Modifications sur les arêtes latérales.* — Modifié sur les arêtes latérales par une seule facette *a*, fig. 4, qui doit être également inclinée sur chacune des faces adjacentes, le prisme à bases carrées peut fournir, soit un prisme octogonal, fig. 4, soit un autre prisme carré, inverse du premier, fig. 15, si les nouvelles facettes sont suffisamment prolongées. Si les mêmes arêtes sont modifiées par deux facettes *c*, fig. 2, qui peuvent être alors plus ou moins inclinées, il en résultera, soit un prisme à 12 pans, fig. 2, soit un prisme à 8 pans, fig. 13, suivant que les nouvelles faces seront combinées avec les primordiales ou les feront disparaître.

(48) *Modifications sur les arêtes des bases.* — Les modifications sur les arêtes de la base, qui correspondent à des faces inégales, auront lieu par une seule facette *d*, fig. 5, qui pourra être plus ou moins inclinée entre deux limites fournies par les conditions suivantes : l'une que l'inclinaison sur les pans du prisme soit plus petite que  $180^{\text{d}}$ , et l'autre qu'elle soit plus grande que  $90^{\text{d}}$ , où la face se confondrait avec la base.

Quelle que soit l'inclinaison des facettes *d* sur les pans du prisme, il en résultera toujours, lorsque ces facettes seront suffisamment étendues, un octaèdre à

base carrée, comme par exemple fig. 60, dont on voit le passage au prisme, fig. 27, mais qui peut être plus ou moins aigu, et varier sous ce rapport, de toutes les manières imaginables.

On conçoit qu'en général il ne se présentera pas parmi ces solides un octaèdre régulier; cependant la chose n'est pas impossible, car il suffit que la facette  $d$  soit également inclinée sur les faces adjacentes, et que, par conséquent, dans la relation  $ia : ib :: n. ik : n' im$ , on ait  $n = im$  et  $n' = ik$ , page 38; mais cette circonstance ne paraît encore avoir été observée dans la nature.

(49) *Modifications sur les angles par une face.* — Le prisme à bases carrées peut être modifié sur chacun de ses huit angles solides par une facette unique  $i$ , fig. 6, qui, étant suffisamment prolongée, donnerait encore un octaèdre comme fig. 61, à base carrée, qui peut aussi varier à l'infini, du plus aigu au plus obtenu imaginable. Cet octaèdre est en sens inverse du précédent, ses arêtes se trouvant là où sont les faces de l'autre.

(50) *Modifications sur les angles par deux faces.* — Enfin les angles solides du prisme à bases carrées peuvent être remplacés chacun par deux facettes, comme  $n$ , fig. 7, plus ou moins inclinées. Ces facettes, en se prolongeant suffisamment, donneront des solides à 16 faces, comme fig. 9, qui peuvent varier à l'infini, d'une part, suivant que les facettes  $n$  sont plus ou moins inclinées sur les pans du prisme, ce qui en conserve plus ou moins l'empreinte sur le solide résultant; de l'autre suivant qu'elles s'allongent plus ou moins sur les arêtes latérales, ce qui rend les solides plus ou moins aigus: on voit que la limite, dans ce cas, est la modification par deux facettes sur l'arête latérale, comme fig. 2.

## B. Modifications des prismes dérivés.

(51) *Prisme carré inverse.* — Tout ce que l'on a obtenu du prisme, fig. 3, pourra s'obtenir également de son dérivé, fig. 15; mais celui-ci étant en sens inverse, ce qui se faisait sur les arêtes du premier, se fera sur les angles du second, et réciproquement. Ainsi la modification *d*, fig. 5, qui se faisait sur les arêtes, aura lieu sur l'angle du second prisme, comme fig. 16; la modification *i*, qui avait lieu sur les angles, fig. 6, aura lieu au contraire sur les arêtes, fig. 17. Enfin la modification *n*, fig. 7, se trouvera plus ou moins tournée vers la face du second prisme, comme fig. 18.

(52) *Prismes octogones.* — Le prisme octogone, fig. 4, sera modifié comme chacun des solides qui le composent; ainsi au-dessus de *p* se trouveront les faces *d*, et au-dessus de *a* les faces *i*; de leur réunion résultera la modification par un rang de facettes annulaires, fig. 25, qui, en se prolongeant jusqu'à leurs rencontres mutuelles, pourront donner lieu à la double pyramide octogone, fig. 36.

Quant aux autres prismes octogones, toutes les modifications que nous avons déjà indiquées s'y feront sur les angles solides, comme on le voit dans les figures 1, 17 et 24.

## C. Modifications des octaèdres.

(53) Dans un octaèdre à base carrée, il y a deux sortes d'arêtes, les arêtes des bases et les arêtes culminantes, et aussi deux sortes d'angles solides, les angles du sommet et les angles de la base: il y a donc plusieurs genres de modifications sur les arêtes, et plusieurs genres de modifications sur les angles.



(54) *Modifications des octaèdres directs.* Si l'on a bien suivi la manière dont ces octaèdres sont dérivés du prisme carré, on verra facilement que les modifications par une face sur les arêtes de la base, comme fig. 59, reconduiront au prisme, et le donneront complet, lorsqu'étant combinées avec la modification du sommet par une face, fig. 27, toutes ces faces seront suffisamment prolongées. Les modifications sur les angles solides des bases par une seule facette  $a$ , fig. 49, reproduiront le prisme carré inverse, par leur combinaison avec la modification du sommet, fig. 38; la modification par deux facettes tournées vers les arêtes latérales, fig. 23, reproduira un prisme octogone.

Les modifications sur les arêtes des bases par deux facettes, fig. 58, donneront des octaèdres tournés tous de la même manière que le premier, mais tous plus aigus, et qui pourront, comme on voit, varier à l'infini. Il se formera des octaèdres du même genre, par la modification des sommets, par des facettes tournées vers les faces, fig. 57; mais ils seront tous plus obtus que celui qu'on prend pour point de départ.

La modification sur les arêtes culminantes par une seule facette, fig. 46, donnera un octaèdre inverse. Il en sera de même de la modification des angles de la base, par des facettes tournées vers les arêtes culminantes, fig. 47, il en résultera des octaèdres inverses du premier, qui pourront varier à l'infini, et qui seront tous plus aigus. La modification du sommet par des facettes tournées vers les arêtes, fig. 35, donnera de même des octaèdres inverses, qui pourront aussi varier à l'infini, mais qui seront tous plus obtus que celui dont on part.

La modification des arêtes culminantes par deux facettes, fig. 45, reproduira les solides pyramidaux à 16 faces, fig. 9; il s'en formera de même, qui pour-

ront varier à l'infini, par la modification des sommets par huit facettes, fig. 34, ou des angles latéraux, par quatre facettes, fig. 56.

(55) *Modifications des octaèdres inverses.* D'après ce que nous venons de dire sur les octaèdres directs, on trouvera facilement tout ce qui doit arriver à ceux-ci, qui ne diffèrent des premiers que par la position. Il faut seulement remarquer que c'est le prisme direct qu'on obtiendra par la modification des angles solides de la base, fig. 62, et le prisme inverse par la modification des arêtes, fig. 50; du reste, l'étude des figures en dira plus qu'une longue description. Il n'est pas inutile de faire remarquer que les modifications qui produisent ces prismes, peuvent être plus ou moins étendues; il résulte de là que des cristaux réellement de même espèce, présentent souvent une apparence toute différente. Ainsi les cristaux, fig. 62, 63, 64, sont de la même espèce, malgré l'apparence qui tient au plus ou moins d'étendue des faces  $p$ . Les cristaux, fig. 42 et 43, sont encore de même espèce, et la différence tient à ce que les faces  $p$  sont très étendues dans la fig. 43; enfin les cristaux, fig. 44 et 55, sont encore identiques. On voit par là que, pour comparer deux cristaux entre eux, il faut faire une grande attention à l'étendue relative des faces dans chacun d'eux.

#### D. Modifications des solides à seize faces.

(56) Si l'on remarque qu'il y a deux sortes d'arêtes culminantes, et deux sortes d'angles solides latéraux, on reconnaîtra facilement comment les modifications de ces solides peuvent avoir lieu. D'abord la modification par une face parallèle à l'axe, de quatre des angles latéraux, fig. 8, reproduira le prisme, fig. 3, et une

modification semblable des quatre autres angles, fig. 19, reproduira le prisme, fig. 15. La modification des mêmes angles par des facettes tournées vers les arêtes des bases, fig. 21, reproduira un prisme octogone. La modification de huit des seize arêtes culminantes, fig. 22 ou 30, reproduira ou un octaèdre inverse ou un octaèdre direct; les modifications aux angles de la base, par des facettes tournées vers l'une ou l'autre des mêmes arêtes, fig. 11 ou fig. 20, reproduiront un nombre infini d'octaèdres inverses ou directs, plus aigus que le solide dont on part, et les modifications au sommet, fig. 31 ou fig. 32, en reproduiront d'autres, en nombre infini, qui seront plus obtus. Enfin les modifications sur ces mêmes parties par des facettes doubles, produiront un nombre infini d'autres solides pyramidaux à seize faces.

#### 4<sup>e</sup> TYPE. SYSTÈME PRISMATIQUE RECTANGULAIRE DROIT.

##### *A.* Modifications du prisme rectangulaire.

(57) Dans un prisme droit rectangulaire, pl. V, fig. 1, il n'y a qu'une seule espèce d'angle solide; mais il s'y trouve trois sortes d'arêtes. Les arêtes latérales sont toutes égales; mais les arêtes des bases sont de deux sortes et différentes des premières: les unes correspondent aux plus larges faces du prisme, et les autres aux plus étroites. C'est par le rapport entre les trois arêtes contiguës à un même angle, qu'on exprime les dimensions relatives du solide.

(58) *Modifications des arêtes latérales.* — Les modifications sur les arêtes latérales, par une seule facette *a*, fig. 2, qui, en général, est inégalement inclinée sur les faces adjacentes, donnent lieu à un prisme octogonal irrégulier, fig. 2, lorsqu'elles restent combinées avec les faces P et L. Elles donnent un prisme à base

rhombe, fig. 15, si elles sont suffisamment prolongées, parce que les facettes *a* devant être toutes également inclinées sur les faces du solide primordial, doivent être, par conséquent, toutes égales entre elles. Si les nouvelles faces *a* sont parallèles aux plans des diagonales des bases, on aura le prisme rhomboïdal inscrit dans le prisme rectangulaire; mais, dans tout autre cas, il se formera des prismes rhomboïdaux fort différents, et qui pourront varier à l'infini. Les limites sont fournies par la condition que l'inclinaison de la facette *a* sur la face P, par exemple, soit plus petite que  $180^\circ$ , et plus grande que  $90^\circ$ : dans le premier cas, la facette se confondrait avec P; dans le second, elle se confondrait avec L. Plusieurs de ces modifications peuvent se trouver réunies en même temps, soit sur le prisme rectangulaire, où elles peuvent être tournées toutes sur une même face, fig. 53, ou les unes vers P, les autres vers L, fig. 40, soit entre elles, comme fig. 28 et 41.

Il peut aussi se former un prisme hexagonal, soit par le prolongement des faces *a*, au-dessus de L, fig. 27, avec conservation des faces P, soit par le prolongement des mêmes faces au-dessus de P, avec conservation des faces L, fig. 14. Ces sortes de prismes sont en général irréguliers, et varient comme le prisme rhomboïdal; mais il est un cas où l'on peut en avoir un régulier; c'est lorsque les côtés de la base du rectangle sont dans un rapport tel, que le rhombe inscrit ou circonscrit a ses angles de  $60^\circ$  et  $120^\circ$ , ce qui arrive lorsque ce rapport est celui de 1 à  $\sqrt{3}$ : un tel prisme rhomboïdal, combiné avec les facettes restantes L, fig. 14, donnerait un prisme hexagone dont tous les angles seraient de  $120^\circ$ .

(59) *Modifications des arêtes des bases.* — Les arêtes qui limitent les bases d'un prisme rectangulaire étant

inégales, il y en aura quatre, parallèles les unes aux autres, qui pourront être modifiées d'une certaine manière, tandis que les quatre autres, également parallèles entre elles, resteront intactes ou seront généralement modifiées d'une manière différente.

Nous avons donc, d'un côté, la modification fig. 3, par des facettes sur les quatre grandes arêtes, et de l'autre la modification fig. 5, par des facettes sur les quatre arêtes différentes. Ces facettes, *b* et *c*, peuvent varier de position à l'infini, en faisant tous les angles imaginables avec les faces du solide modifié. Lorsqu'elles seront étendues au point de masquer le prisme rectangulaire, elles donneront lieu à des prismes rhomboïdaux, fig. 4 et fig. 6, ou bien à des prismes à bases hexagones, fig. 17 et 30, 7 et 19. Tous ces prismes pourront varier à l'infini, comme ceux que nous avons tirés de la modification des arêtes latérales, et ils pourront de même se trouver réunis plusieurs ensemble.

Remarquons maintenant que les facettes *b* et *c*, qui correspondent aux faces du prisme rectangulaire, devront se trouver sur les angles des prismes rhomboïdaux, à axe vertical, comme le font voir les fig. 16 et 18. Cette circonstance nous conduit à reconnaître l'existence de deux sortes d'octaèdres rectangulaires, différents l'un de l'autre : l'un, fig. 42, résulte du prolongement des facettes *b*, qui font disparaître les faces *B*, et réduisent les faces *a* à des triangles; l'autre, fig. 44, résulte de la réunion des facettes *c* avec *a* sous la même condition. Ces deux octaèdres, qui peuvent varier à l'infini, d'après le plus ou moins d'inclinaison des faces *b* ou *c*, ont leur axe horizontal. Dans l'un, fig. 42, cet axe est perpendiculaire au plan du tableau; dans l'autre, il est parallèle à ce plan. Ces sortes d'octaèdres peuvent être allongés dans un sens, comme fig. 55 et 57, ou dans l'autre, comme

fig. 68 et 70; auxquels cas les cristaux présentent, comme on voit, des aspects fort différents.

Quoique chacune des modifications *b* et *c* des arêtes basiques du prisme rectangulaire, puisse exister seule, rien n'empêche cependant qu'elles ne se trouvent réunies, comme fig. 8. Dans ce cas, si elles se prolongent suffisamment, elles pourront donner lieu à un troisième genre d'octaèdre, fig. 60, également rectangulaire, mais dont l'axe est vertical, ce qui le distingue des deux premiers, dont il diffère en outre par l'espèce de faces qui le composent. Ces octaèdres peuvent aussi varier à l'infini, suivant le degré d'inclinaison des faces *b* et *c*; par conséquent il peut en exister de très aigus, comme de très obtus.

(60) *Modification des angles solides.* — Les huit angles solides étant tous égaux, seront tous modifiés à la fois, de la même manière, par une facette *d*, fig. 12, qui peut prendre toutes les positions imaginables, se tournant principalement tantôt vers une face, tantôt vers l'autre; d'où il suit qu'il pourra parfois s'en trouver un grand nombre sur le même angle.

Ces facettes, suivant leur position sur le prisme rectangulaire, se trouveront diversement placées sur un prisme rhomboïdal déterminé: elles seront tantôt tangentes aux arêtes des bases, fig. 25, tantôt sur les angles solides obtus, fig. 24, et enfin sur les angles solides aigus, fig. 22. Mais on conçoit qu'il sera toujours possible d'avoir un prisme rhomboïdal qui corresponde tellement à une position donnée des facettes *d*, que ces facettes, quelles qu'elles soient, se trouvent sur les arêtes, comme fig. 25.

D'après ces remarques, on doit concevoir que si les facettes, de quelque manière qu'elles soient placées, viennent à s'étendre assez pour masquer entièrement le solide qu'elles modifient, il en résultera un qua-

trième genre d'octaèdres, fig. 64, fort différent des trois autres. Ici ce sont des octaèdres à base rhombe qui peuvent aussi varier à l'infini, suivant la position des facettes  $d$ ; ils seront aigus ou obtus, suivant que les facettes s'inclineront davantage sur l'arête ou sur la base B; ils seront allongés horizontalement, dans un sens ou dans l'autre, suivant que les facettes s'inclineront plus vers la face P ou vers la face L.

*B. Modifications des solides dérivés simples.*

(61) Les relations que nous avons fait successivement connaître entre la position des modifications sur le prisme rectangulaire et sur le prisme rhomboïdal, nous dispensent d'examiner actuellement les divers genres de modifications de ce dernier; seulement nous ferons remarquer, que dans le prisme hexaèdre, fig. 14, les arêtes du prisme rhomboïdal pouvant être modifiées par un plan  $d$ , celle des faces L par les plans  $c$ , il en résulte qu'il peut se trouver un rang de facettes annulaires sur la base de ce prisme, comme fig. 13, et que, d'après cela, on peut avoir une espèce de dodécaèdre bipyramidal, à triangle isocèle, fig. 26. Ce dodécaèdre aura la régularité de ceux que l'on tire des rhomboèdres, lorsque le rhombe sur les bords duquel s'appuient les faces  $d$ , aura ses angles de  $60^{\text{d}}$  et  $120^{\text{d}}$ .

(62) *Modifications des octaèdres rectangulaires.* — Dans ces octaèdres, les arêtes culminantes sont toutes de même espèce, mais les arêtes de la base sont de deux sortes. Les premières seront donc toutes modifiées à la fois de la même manière; les autres ne seront modifiées que deux à deux d'une manière identique. Les angles solides sont aussi de deux sortes; les deux angles culminants sont d'une espèce, les quatre angles de la base sont d'une autre et tous égaux entre eux.

Il faut remarquer encore que, dans tous ces octaèdres, les faces culminantes étant d'espèces différentes, les modifications n'agiront pas sur elles de la même manière.

Dans l'octaèdre, fig. 42, la modification des arêtes latérales de la base produira la face L du prisme rectangulaire, et celle des arêtes horizontales produira la face B, fig. 43. La modification du sommet, fig. 56, produira la face P, et c'est de ces trois modifications que résultera le prisme rectangulaire, qui sera toujours unique, parce que les facettes L et B, fig. 63, doivent être également inclinées sur les plans adjacents. Les prismes rhomboïdaux résulteront, l'un de la modification B, combinée avec les faces *a*, étendue jusqu'à faire disparaître les faces *b*; d'autres de la modification des arêtes latérales de la base par des facettes, comme *a'*, fig. 54, combinée avec la modification B, fig. 43; d'autres encore seront produits par la modification des sommets par deux facettes correspondantes à *a*, fig. 42.

Il se produira d'autres octaèdres rectangulaires, à axe horizontal et perpendiculaire au plan du tableau, de plusieurs manières: d'un côté, par des facettes *b'*, fig. 54, qui masqueraient les faces *b*, et se combineraient avec les faces *a*; d'un autre, par des facettes *a'*, qui feraient disparaître *a* et se combineraient avec *b*. Il s'en formera encore par les modifications simultanées des arêtes horizontales et des arêtes verticales, par les facettes *b'* et *a'*, qui masqueront les premières. Enfin, il pourra s'en former par des facettes correspondantes à *b*, fig. 42, ou à *a*, ou à ces deux sortes de faces à la fois.

Les octaèdres à axe horizontal parallèle au plan du tableau, se reproduiront également, soit seulement par la modification des angles de la base par des fa-



cettes  $c$ , fig. 67, et l'élargissement des facettes  $a$ , de manière à faire disparaître les faces  $b$ ; soit par la réunion de ces facettes  $c$  avec des facettes qui modifieront les arêtes verticales, ou le sommet en se tournant vers  $a$ , et qui, dès lors, produiront un prisme rhomboïdal différent.

Les octaèdres rectangulaires à axe vertical, fig. 60, seront produits par la modification des angles de la base par des facettes  $c$ , fig. 67, qui resteront combinées avec les faces  $b$ , ou bien avec des faces  $b'$  produites sur l'arête horizontale ou au sommet, et feront disparaître les faces  $a$ .

Les octaèdres à base rhombe pourront aussi être obtenus de diverses manières, dont chacune est susceptible de beaucoup de variations. D'un côté on en obtiendra par la modification de chacun des angles de la base par deux facettes  $d$ , l'une en avant, l'autre en arrière, fig. 66; mais ces facettes peuvent s'incliner principalement vers  $b$ , comme l'indique la figure, ou bien vers  $a$ , et se placer aussi dans toutes les positions intermédiaires : de là la possibilité d'un grand nombre d'octaèdres différents. D'un autre côté, on obtiendra des octaèdres de ce genre par la modification des arêtes, fig. 79, par des facettes qui pourront également s'incliner vers  $b$  ou vers  $a$ , ou se placer dans toutes les positions intermédiaires, ce qui fournit encore une multitude d'espèces de solides. Enfin on en obtiendra par la modification du sommet, fig. 80, par des facettes qui peuvent de même s'incliner vers les faces  $b$  ou vers les faces  $a$ , et se placer dans toutes les positions moyennes. Il résulte de cette faculté des facettes  $d$  de s'incliner d'un côté ou de l'autre, qu'il peut se trouver à la fois, sur la même partie, plusieurs modifications du même genre; par conséquent les arêtes culminantes ou les angles de la base peuvent paraître modifiés

chacun par deux facettes, et le sommet peut paraître modifié par huit facettes semblables.

L'octaèdre, fig. 44, conduira également à tous les autres solides. La face P sera produite par une modification sur les arêtes verticales de la base, fig. 32 ; la face L résultera de la modification des sommets, fig. 45 ; et la face B sera produite par une modification sur l'arête horizontale de la base, fig. 31. La réunion de ces modifications conduira au prisme rectangulaire. Les prismes rhomboïdaux résulteront de la réunion de la facette B, soit avec  $a$ , soit avec des modifications par deux facettes des arêtes verticales, soit enfin avec des modifications de l'angle solide du sommet, par des facettes correspondantes à  $a$ , le tout avec disparition des faces  $c$ .

Il se formera des octaèdres, comme fig. 42, par la modification des angles solides par des facettes  $b$ , fig. 33, soit qu'il y ait conservation des faces  $a$ , soit qu'il se forme en même temps un autre prisme rhomboïdal. C'est par la même modification qu'il se formera des octaèdres, comme fig. 60.

On aura des octaèdres du même genre que celui dont on part ici, par les modifications  $a'$  et  $c'$ , fig. 71, soit qu'elles existent ensemble, soit qu'elles se manifestent chacune séparément.

Enfin on obtiendra les octaèdres à base rhombe par la modification des angles de la base par deux facettes, fig. 46 et 59, ou par la modification des arêtes culminantes, fig. 72 et 85, ou enfin par la modification des sommets, fig. 84. On voit que ces octaèdres pourront varier singulièrement, puisque, outre la position générale des modifications, les facettes peuvent s'incliner de toutes les manières vers  $c$  ou vers  $a$ .

L'octaèdre rectangulaire droit, fig. 60, n'offre pas plus de difficultés dans ses modifications. Avec ce qui précède, l'étude des figures doit suffire pour mon-

trer comment on repassera au prisme rhomboïdal, fig. 34, au prisme rectangulaire, fig. 47, à des octaèdres, comme fig. 42 et 44, à d'autres octaèdres rectangulaires droits, fig. 48, aux octaèdres à base rhombe, fig. 49, 61, 62, 74, et comment il arrivera que les arêtes culminantes seront modifiées par deux facettes, fig. 75.

(63) *Modification des octaèdres à base rhombe.* — Dans ces octaèdres, les arêtes de la base sont toutes les quatre de même espèce, et pourront par conséquent être modifiées toutes à la fois de la même manière; les arêtes culminantes sont de deux espèces, et les angles solides de la base également.

C'est par la modification des angles solides de la base, fig. 37, qu'on repassera au prisme rectangulaire; la modification des arêtes de la base, fig. 38, donnera le prisme rhomboïdal inscrit; mais les autres prismes rhomboïdaux, qui pourront varier à l'infini, s'obtiendront par la modification des angles solides de la base, soit des angles aigus, fig. 62, soit des angles obtus, fig. 50.

Les octaèdres rectangulaires droits s'obtiendront par la modification simultanée des deux angles de la base, par deux facettes, fig. 52, ou par celle des arêtes culminantes, fig. 65, ou enfin par la modification du sommet, fig. 91, et l'on voit que l'on pourra ainsi en obtenir d'extrêmement variés.

Les octaèdres à axe horizontal seront le résultat, le premier, fig. 42, de la modification par le prisme rhomboïdal, fig. 38, 50, 63, combinée avec celle qui donne les facettes *b*, fig. 52, 65, 78, 91; le second, fig. 44, résultera des mêmes modifications rhomboïdales, combinées avec la modification qui produit les faces *c*.

On obtiendra d'autres octaèdres à base rhombe, par la modification des arêtes de la base, par deux facettes, fig. 51, par celles des arêtes culminantes obtuses, fig. 90, et celles des arêtes culminantes aiguës; d'autres

seront donnés par la modification des angles obtus de la base, par les doubles faces, fig. 89, ou par celle des angles aigus de la même manière. D'autres encore résulteront de la modification des sommets par des doubles facettes correspondantes à l'arête obtuse, fig. 76, ou bien à l'arête aiguë; enfin, on en obtiendra aussi par la modification du sommet, par des facettes correspondantes aux faces de l'octaèdre dont on part.

Remarquons maintenant que les modifications *c*, fig. 52, pouvant exister seules, il pourra arriver qu'elles se prolongent de manière à obtenir l'espèce de dodécaèdre, fig. 26, dont nous avons déjà parlé.

(64) *Observations générales.* — Tous les genres de solides dont nous venons de parler, toutes les variations dont ils sont susceptibles, et qui sont à l'infini, peuvent se combiner de toutes les manières les unes avec les autres. Il en résulte une multitude innombrable de formes composées, dont le règne minéral nous offre un très grand nombre d'exemples : tantôt ce sont les prismes qui dominant; tantôt c'est l'un ou l'autre des quatre octaèdres que nous avons indiqués; mais il y a aussi des cas où toutes les faces sont tellement proportionnées, qu'il en résulte un ensemble particulier dans lequel on ne peut apercevoir aucune forme dominante. Nous donnerons des exemples de ces combinaisons dans les planches du second volume.

## 5<sup>e</sup> TYPE. SYSTÈME PRISMATIQUE RECTANGULAIRE OBLIQUE.

### A. Modifications du prisme rectangulaire

(65) Quatre arêtes latérales semblables, trois sortes d'arêtes à la base (l'arête à l'angle *b*, obtus des faces obliques P et B, l'arête *c* à l'angle aigu, et les deux arêtes *d*,

qui correspondent aux faces de côté, L), et deux sortes d'angles solides ( $n$  et  $i$ ), telles sont les propriétés générales du prisme rectangulaire, oblique, pl. VI, fig. 1. Il en résulte que ce solide est susceptible d'un grand nombre de modifications qui peuvent exister indépendamment les unes des autres, et aussi se combiner entre elles de toutes les manières, et donner lieu à un grand nombre de formes différentes qui offrent souvent beaucoup d'irrégularités.

(66) *Modifications des arêtes latérales.* — Les quatre arêtes étant égales, seront nécessairement toutes modifiées à la fois de la même manière. Ces modifications donneront d'abord le prisme octogone oblique irrégulier, fig. 2, si elles restent combinées avec les faces primordiales. Elles pourront aussi produire un prisme hexagone, généralement irrégulier (\*), soit en faisant disparaître les faces L, comme fig. 16, avec conservation des faces P; soit, au contraire, en faisant disparaître les faces P, comme fig. 31. Enfin, en faisant à la fois disparaître ces deux faces, elles donneront naissance au prisme rhomboïdal oblique, fig. 17.

On conçoit que rien ne limitant, jusqu'à un certain point, l'inclinaison des faces  $a$ , il peut en exister un grand nombre de positions différentes, qui donnent lieu à autant de prismes rhomboïdaux particuliers. Ces prismes peuvent se trouver réunis plusieurs ensemble, exister en même temps avec les deux faces latérales primordiales, et dès lors, donner lieu à des prismes à douze pans, ou bien avec l'une de ces faces, et donner lieu à des prismes à dix pans.

---

(1) Dans le cas où les côtés de la base du prisme rectangulaire sont dans le rapport de 1 à  $\sqrt{3}$ , ce qui produit le prisme rhomboïdal oblique de  $60^\circ$  et  $120^\circ$ , le prisme hexaèdre peut être régulier : c'est ce qui a lieu dans le feldspath.

(67) *Modifications des arêtes de la base.* — Ces arêtes étant de plusieurs espèces, éprouvent des modifications différentes, qui peuvent exister isolément, ou bien se trouver réunies. Isolément, on obtient sur les différentes parties les facettes *b*, *c*, *d*, fig. 3, 4, 5, qui peuvent varier indéfiniment de position, et qui donnent lieu à de nouveaux prismes hexagones fig. 3 et 4, ou octogones fig. 5, mais placés dans un autre sens que ceux que nous avons cités. Les facettes *d* peuvent encore donner deux autres genres de prismes hexagones, suivant qu'elles se prolongent, de manière à se rencontrer au-dessus de B fig. 6, ou au-dessus de L, fig. 36. Enfin elles donnent lieu à un autre prisme rhomboïdal oblique, fig. 21, lorsqu'elles masquent à la fois les deux faces B et L.

Les facettes *c* peuvent aussi varier considérablement de position; mais parmi toutes celles dont elles sont susceptibles, nous devons particulièrement faire remarquer le cas où elles se trouveraient perpendiculaires à la face P, et à son opposée; dans ce cas, elles réduiraient le prisme oblique à un prisme rectangulaire droit, et, de même, elles redresseraient le prisme hexagone, comme fig. 91.

Remarquons maintenant que ce qui se fait sur les arêtes des bases, dans le prisme rectangulaire, se fera sur les angles solides des prismes rhomboïdaux qui en sont dérivés, comme fig. 18, 19, 20, où les mêmes facettes *b*, *c* et *d* se trouvent placées. Or ces facettes peuvent être plus ou moins étendues, et il arrive fréquemment qu'elles le sont suffisamment pour réduire les faces du solide qu'elles modifient à des triangles: de là, il résulte trois sortes d'octaèdres différents. L'un de ces octaèdres fig. 32, provient de l'élargissement de la face *b*, fig. 18, et l'on doit sentir que c'est un octaèdre oblique dont la base est un rectangle formé de deux arêtes opposées

du prisme rhomboïdal , et des deux diagonales horizontales. Un autre octaèdre , fig. 34 , résulte de la combinaison des faces *c* avec un prisme rhomboïdal et les restes des faces *B* réduites à des triangles ; il offre encore la même base rectangulaire que le précédent. Enfin le troisième octaèdre , fig. 35 , résulte de la combinaison des faces *d* avec le prisme rhomboïdal ; ce n'est autre chose que la fig. 20 , où la face *B* est masquée , et où les faces *a* sont réduites à des triangles.

Il est clair qu'il pourra exister un très grand nombre d'octaèdres de ces différents genres , puisque , d'une part , les prismes rhomboïdaux peuvent être de diverses espèces , par suite de l'inclinaison mutuelle de leurs faces , et que de l'autre , les faces *b c* et *d* peuvent être plus ou moins inclinées. On doit concevoir aussi que ces octaèdres pourront être allongés dans certains sens ; ainsi l'octaèdre fig. 34 peut être allongé dans le sens du prisme fig. 49 , ou dans l'autre sens , fig. 64 , ce qui donnera aux cristaux des apparences très différentes : l'octaèdre fig. 35 peut être allongé dans le sens du prisme fig. 50 , ou dans un autre sens. Il est à remarquer que ce sont presque toujours des octaèdres allongés , surtout dans le sens vertical , que l'on observe dans les cristaux naturels.

Quoique les trois modifications sur les arêtes des bases puissent exister isolément , il peut arriver néanmoins qu'elles se trouvent réunies , et il en résulte encore trois autres genres d'octaèdres différents des premiers.

1<sup>o</sup> Les facettes *d* et *b* se trouvant réunies comme fig. 7 , et prolongées de manière à faire disparaître la base *B* , et à réduire la face *P* à un triangle , il en résulte l'octaèdre fig. 37 , qui est oblique et à base rectangle.

2<sup>o</sup> Les facettes *d* et *c* se trouvant réunies comme

fig. 8, et prolongées de la même manière que les précédentes, il en résulte l'octaèdre analogue, fig. 38.

3<sup>o</sup> Enfin, les faces *b*, *c*, *d* se trouvant toutes réunies, comme fig. 9, il en résulte le troisième octaèdre oblique à base rectangulaire, fig. 39.

On conçoit que ces trois nouveaux genres d'octaèdres peuvent aussi présenter un nombre infini d'espèces, qui dépendent des différents degrés d'inclinaison des facettes *b*, *c*, et *d*, qui peuvent varier isolément ou toutes à la fois.

(68) *Modifications des angles solides.* — Les angles solides étant de deux espèces, pourront être modifiés séparément, comme fig. 10 et 12; mais rien n'empêche encore qu'ils le soient simultanément, comme fig. 14. Les modifications isolées donnent lieu à deux nouvelles espèces d'octaèdres: d'abord, si les angles solides obtus sont modifiés par des faces *i*, fig. 10, ces facettes nécessairement triangulaires, pourront s'étendre de manière à masquer les faces *L*, et à réduire les faces *B* et *P* à des triangles; il en résultera alors la septième espèce d'octaèdre, fig. 40, qui sera à base rectangle. De même, si les angles solides aigus sont modifiés par des faces *n*, ces facettes pourront aussi faire disparaître les faces *L*, et se combiner avec le reste des faces *B* et *P*, réduites à des triangles; il en résulterait un huitième octaèdre, fig. 42, également à base rectangle.

Si les quatre faces produites par la modification des angles existent en même temps, comme fig. 14, elles pourront, en se prolongeant de manière à masquer toutes les faces primordiales, produire la neuvième sorte d'octaèdre, fig. 44, qui, dès lors, sera à base rhomboïdale.

Tous ces octaèdres fourniront un grand nombre d'espèces, suivant que les facettes modifiantes qui les produisent seront plus ou moins inclinées.



Remarquons aussi que les facettes *i* et *n* peuvent se combiner avec les prismes rhomboïdaux ; les faces *i* se trouveront sur les arêtes obtuses de ces prismes, fig. 25, ou sur les angles obtus, fig. 26, ou enfin sur les angles aigus, fig. 11, mais tournées sur les arêtes obtuses, ces positions dépendant et de l'inclinaison des facettes *i*, et de la nature du prisme rhomboïdal. Les facettes *n* se trouveront au contraire sur les arêtes aiguës, fig. 27, ou sur les angles aigus et tournées vers les arêtes aiguës, fig. 28, ou enfin sur les autres angles aigus, fig. 13.

D'après cela, on conçoit comment il peut arriver que les prismes rhomboïdaux soient modifiés sur toutes leurs arêtes, fig. 29, et que les prismes à base d'hexagone soient modifiés sur les arêtes du prisme rhomboïdal, fig. 76, ou sur toutes leurs arêtes, fig. 61, par l'existence simultanée des facettes *i*, *n*, *b*, *c*, ou seulement sur une partie des arêtes, fig. 46, par les faces *i* et *b*, auxquelles peuvent se joindre aussi les facettes *d*, etc.

Ces combinaisons des faces *i* ou *n* avec les prismes rhomboïdaux peuvent conduire aussi à deux nouveaux genres d'octaèdres. On conçoit que les facettes *i*, fig. 25, 26, et 11, peuvent se prolonger de manière à masquer la face *B*, et à réduire alors les faces *a* à des triangles ; dès lors on aura un octaèdre rhomboïdal, comme fig. 41. De même les facettes *n*, fig. 27, 28, et 13, peuvent se prolonger en restant combinées seulement avec les faces *a*, et produire dès lors l'octaèdre rhomboïdal, fig. 43.

Enfin, observons que les facettes *d* et *n* peuvent se trouver réunies, soit sur le prisme rectangulaire, soit sur le prisme rhomboïdal, fig. 15, et que si elles viennent à se prolonger de manière à rester seules, il en résultera un douzième genre d'octaèdre, fig. 30, qui est encore rhomboïdal.

*B. Modifications des solides dérivés.*

(69) *Prismes rhomboïdaux.* — Les détails que nous avons déjà donnés suffisent pour faire voir comment se modifieront les prismes rhomboïdaux, lorsqu'on les substituera au prisme rectangulaire. Tout ce qui se fait sur les quatre arêtes latérales du prisme rectangulaire, se fera sur deux arêtes seulement d'un prisme rhomboïdal, soit sur les deux arêtes obtuses, soit sur les deux arêtes aiguës. Tout ce qui se fera sur les arêtes de la base du prisme rectangulaire, se fera sur les angles des prismes rhomboïdaux, et réciproquement ce qui se fera sur les angles du premier se fera sur les arêtes correspondantes des autres, ou aux angles par des facettes tournées vers ces arêtes.

(70) *Octaèdre rectangulaire.* — Les divers genres d'octaèdres rectangulaires que nous avons obtenus, fig. 34, 35, 37, 38, 39 et 40, sont aussi susceptibles de se modifier chacun de telle manière, qu'en partant de l'un quelconque d'entre eux on puisse obtenir tous les solides possibles du système. L'octaèdre, fig. 34, donnera le prisme rectangulaire oblique, fig. 1, par la modification des arêtes latérales par la face L, fig. 33, combinée avec la modification du sommet par la face P, comme fig. 48. Il reproduira une multitude d'autres prismes par la modification de l'angle solide par des faces *b* tournées vers B, ou des facettes *c'* tournées vers *c*, ou enfin par des facettes *c* placées sur l'arête horizontale, et parmi lesquelles il pourra s'en trouver une qui rendra le prisme droit. Les modifications *d* se feront sur les angles solides, fig. 79; cette modification seule, en faisant disparaître la face B, reproduira l'octaèdre, fig. 35, et si elle est com-

binée avec la modification de l'angle solide par la face P, et la face *b*, elle conduira à l'octaèdre, fig. 37 ; si, au lieu de *b*, c'est la face *c* qui est produite au sommet, on sera conduit à l'octaèdre, fig. 38. Enfin, ces facettes *d* et *b*, fig. 79, en faisant disparaître B et *a*, mais restant avec *c*, conduiront à l'octaèdre, fig. 39.

Les facettes *i* et *n* se trouveront soit aux angles solides de la base, fig. 78, à l'angle du sommet, fig. 77, soit entre ces deux positions, et couchées sur les arêtes culminantes. Il est facile de voir que, si les facettes *i* font disparaître B et *c*, en restant combinées avec *a*, on aura l'octaèdre, fig. 41, et que, dans les mêmes circonstances, les facettes *n* reproduiront l'octaèdre, fig. 43. Enfin, si *n* et *i* se trouvent réunis, on arrivera à l'octaèdre, fig. 44. La facette *i* restant avec B, et combinée avec la modification du sommet par P, donnera l'octaèdre, fig. 40; et les facettes *n*, dans le même cas, reproduiront l'octaèdre, fig. 42.

Il nous semble qu'il suffit de suivre les figures, pour voir comment tous les autres octaèdres, si variés dans ce type cristallin, se modifieront, pour donner des prismes rectangulaires, des prismes rhomboïdaux, tous les octaèdres de genres différents de celui dont on part, et toutes les espèces d'octaèdres du même genre. Beaucoup de ces sortes de modifications se présentent dans des cristaux naturels, plus ou moins analogues par les angles à ceux que nous avons figurés. L'étude de ces figures doit en apprendre autant que les plus amples descriptions, si l'on a bien saisi les lois générales des modifications, dont nous avons vu jusqu'ici tant d'exemples.

6<sup>e</sup> TYPE. SYSTÈME PRISMATIQUE, OBLIQUE, A BASES DE  
PARALLÉLOGRAMME OBLIQUANGLE.

(71) Si le prisme oblique rectangulaire nous présente déjà beaucoup d'irrégularités, il s'en trouve encore plus dans le prisme oblique à bases de parallélogramme obliquangle. Tout ici devient irrégulier; il y a deux sortes d'arêtes latérales; toutes les arêtes des bases sont inégales, et les angles solides sont de quatre espèces à chaque base. Il peut donc se faire sur ce solide beaucoup plus de modifications que dans les solides précédents; mais chaque modification donnant au plus deux facettes, il est clair que pour obtenir de nouveaux solides simples, comme des octaèdres de différents genres, il faut le concours d'un plus grand nombre de lois que nous n'en avons même dans le type précédent. Aussi la nature se refuse-t-elle en quelque sorte à cette complication; elle nous présente très peu de substances qui se rapportent à ce type, encore n'est-il pas bien certain qu'on ne puisse les rapporter au prisme rhomboïdal oblique, et elle ne les modifie que légèrement sur les arêtes, ou sur les angles solides, en sorte que le prisme primordial domine toujours. Au reste, d'après les détails que nous avons vus dans le type précédent, il ne peut être difficile de nous figurer toutes les transformations dont le prisme oblique à bases parallélogrammiques obliquangles est susceptible. On doit sentir facilement sa transformation en un ou plusieurs autres prismes de même genre par les modifications des arêtes latérales, et la manière dont il pourra se former des octaèdres d'un grand nombre d'espèces, par la combinaison de toutes les

faces produites sur les arêtes des bases, soit entre elles, soit avec les faces du prisme primordial ou des prismes secondaires du même genre ; la formation d'autres octaèdres par la combinaison des faces produites sur les angles solides, tant entre elles qu'avec les faces du prisme, etc. n'est pas plus difficile. On trouvera sans doute qu'il serait superflu d'entrer à ce sujet dans de plus longs détails, et d'autant plus que la nature ne nous a encore rien offert qui puisse se rapporter à toutes les combinaisons qu'on pourrait imaginer.

#### MODIFICATIONS NON SYMÉTRIQUES,

(72) Nous avons déjà remarqué que les lois de symétrie, dont nous avons présenté l'ensemble ( 21 ), étaient sujettes à quelques exceptions ; mais nous avons avancé aussi que ces exceptions étaient peu nombreuses : or pour faire voir en quoi elles consistent, nous allons examiner ici celles qu'on a purement reconnues parmi les cristaux naturels. Ces anomalies n'ont encore été observées que dans le système cubique, dans le système rhomboédrique et dans le système prismatique carré ; il y en a de plus importantes les unes que les autres.

(73) *Dans le système cubique.* — Les formes non symétriques de ce système sont le *dodécaèdre pentagonal*, l'*icosaèdre*, le *triacontaèdre* et toutes les modifications dont ils sont susceptibles.

*Le dodécaèdre pentagonal* est un solide à douze faces pentagonales, pl. VII, fig. 6, qui pourrait varier à l'infini, mais dont on ne connaît encore qu'une seule espèce, qui diffère beaucoup du dodécaèdre pentagonal de la géométrie. Dans celui-ci les pentagones sont réguliers

c'est-à-dire ont tous leurs angles égaux, et de  $108^{\text{d}}$ , et tous inclinés entre eux de  $116^{\text{d}} 33' 32''$ . Dans celui de la nature, les pentagones sont irréguliers; ils offrent un angle plan d'environ  $121^{\text{d}} 30'$ , deux angles d'environ  $106^{\text{d}} 37'$ , et deux angles d'environ  $102^{\text{d}} 38'$ ; l'inclinaison mutuelle de deux faces voisines est, pour les unes, d'environ  $127^{\text{d}}$ , et, pour les autres, d'environ  $113^{\text{d}} 30'$ .

Ce solide est produit par la moitié des modifications qui conduisent au polyèdre à vingt-quatre faces triangulaires, pl. II, fig. 16; par conséquent il est placé sur le tétraèdre comme pl. VII, fig. 1, sur le cube comme fig. 3, sur l'octaèdre comme fig. 2. On voit que dans toutes ces figures, comparées aux figures 7, 16, 34 de la pl. II, il ne reste que la moitié des facettes nécessaires pour avoir des modifications symétriques.

L'*icosaèdre* de la minéralogie, dans toute sa régularité, est un solide à vingt faces triangulaires, fig. 5. Il résulte de la combinaison des faces de l'octaèdre régulier avec celles du dodécaèdre pentagonal, les faces *o* et *p* étant réduites à des triangles: il peut cependant arriver que les faces *o* soient très petites, comme fig. 2. Ce solide diffère de l'icosaèdre de la géométrie, en ce que ses faces ne sont pas toutes égales et triangulaires équilatérales, comme l'exigerait la régularité; parmi ces faces, il y en a huit qui sont des triangles équilatéraux, et douze qui n'offrent que des triangles isocèles. Ce genre de solide pourrait offrir une grande variété d'espèces qui dépendraient du plus ou moins d'inclinaison des faces *o* entre elles; mais on n'en connaît encore qu'une seule dans laquelle les faces *o* sont inclinées entre elles, à leur jonction en une arête, d'environ  $127^{\text{d}}$ , comme dans le dodécaèdre pentagonal.

Le *triacontraèdre*, dans sa plus grande régularité,

fig. 7, est un solide à trente faces quadrilatères, dont six sont des rhombes et vingt-quatre des trapèzes, mais qui, au premier abord, semble avoir toutes ses faces égales et se rapporter au solide à trente faces rhombes, qu'on peut concevoir géométriquement par la modification de l'icosaèdre régulier sur ses trente arêtes. Dans la nature, ce polyèdre est le résultat de la combinaison des faces du cube avec la moitié de celles qui conduisent au solide à quarante-huit faces; par conséquent il est produit sur les divers solides, que l'on peut prendre pour type, par la suppression de la moitié des facettes  $n$ , fig. 8, 17, 35, 44, pl. II, en les prenant sur chaque partie alternativement. Il peut être tel que toutes les faces soient bien proportionnées, comme dans la fig. 7; ou bien tel que les faces du cube soient très étendues, comme fig. 4. On conçoit qu'il pourrait exister un très grand nombre de ces solides, puisque les facettes  $n$ , en modifiant les différentes formes, peuvent être plus ou moins inclinées; mais on n'en connaît qu'une seule espèce, dans laquelle les faces  $n$  sont inclinées sur les faces du cube d'environ  $143^{\text{d}} 15'$ , et entre elles de  $141^{\text{d}} 45'$  et  $149^{\text{d}}$ . Dans le triacontaèdre dont toutes les faces seraient des rhombes, l'inclinaison mutuelle de deux faces voisines serait de  $144^{\text{d}}$ .

Il peut arriver aussi que les faces  $n$  de ce solide soient tellement étendues, qu'elles fassent disparaître le cube; dans ce cas, il en résulte un solide à vingt-quatre trapèzes, fig. 10, assez analogue à celui que nous avons indiqué pl. II, fig. 20, et qui peut varier à l'infini.

Quoique ces diverses formes ne soient pas produites par des modifications symétriques, elles peuvent cependant être modifiées elles-mêmes symétriquement, et donner lieu à toutes les formes que nous avons dé-

duites de tous les autres solides simples du système cubique. Ainsi le dodécaèdre pentagonal donnera le cube par la modification des six arêtes qui correspondent aux faces de ce solide, comme fig. 3. Il donnera l'octaèdre par la modification des angles triples composés d'angles plans égaux par une seule face, fig. 5, et fig. 2, ce qui fournit aussi l'icosaèdre lorsque les nouvelles faces restent combinées avec les anciennes. On obtiendra le dodécaèdre rhomboïdal par la modification des autres angles solides par une seule face *d*, fig. 9. Les trapézoèdres se produiront par les modifications du premier de ces angles par trois facettes, fig. 11, qui peuvent être plus ou moins inclinées sur les arêtes, et même leur être tangentes, et par la modification des secondes par deux facettes, fig. 12. Enfin on obtiendra les solides à quarante-huit faces par la modification de ces mêmes parties par six facettes ou par quatre.

On doit voir facilement comment l'icosaèdre se modifiera pour passer au cube, fig. 8, au dodécaèdre rhomboïdal, au trapézoèdre, etc.; il suffit pour cela de le comparer au dodécaèdre pentagonal, dont il conserve les faces.

Toutes les formes dont nous venons de parler, et qui sont les plus importantes parmi celles dont nous nous occupons, se font remarquer, en grand nombre, dans deux substances; l'une est le sulfure de fer, vulgairement pyrite de fer, l'autre le sulfo-arséniure de cobalt, ou cobalt gris. Le dodécaèdre pentagonal et l'icosaèdre sont les formes que l'on trouve le plus fréquemment dans ces deux corps, où l'on reconnaît cependant quelques formes parfaitement symétriques, mais généralement plus rares.

Indépendamment des manques de symétrie que nous venons de signaler dans le système cubique, il en existe encore quelques autres que nous devons au moins citer. On reconnaît, d'une part, sur les angles du



cube, simple ou modifié sur ses arêtes, des modifications par une facette, fig. 14 et 15, ou par plusieurs facettes, fig. 18, qui n'affectent que la moitié des parties sur lesquelles elles devraient avoir lieu, et qui, par conséquent, conduisent au tétraèdre régulier ou aux solides à douze faces, pl. II, fig. 2 et 11, que nous en avons déduits. Dans le dodécaèdre rhomboïdal, on voit aussi quelquefois la moitié des angles composés de trois plans, modifiés par une facette, fig. 16, qui produit encore le tétraèdre, ou bien la moitié des arêtes modifiées par des facettes tangentes, fig. 17, ce qui reconduit encore au dodécaèdre triangulaire. Ces diverses circonstances se présentent dans le borate de magnésie, et nous devons faire remarquer qu'elles doivent avoir lieu nécessairement pour que le cube ou le dodécaèdre rhomboïdal, etc., puissent produire le tétraèdre, ou les divers solides qui en conservent l'empreinte.

Enfin, on connaît dans l'octaèdre régulier (dans les cristaux artificiels d'alun) des modifications tangentes qui n'affectent que quatre arêtes, fig. 19, tandis que pour être symétriques, elles devraient avoir lieu également sur les huit autres. Ces sortes de modifications conduisent, par conséquent, à une sorte de prisme à bases carrées.

(74) *Dans le système prismatique carré.* — Il y a dans ce système peu d'exemples de dissymétrie, et peut-être même n'est-il pas bien certain que les substances dans lesquelles on les rencontre s'y rapportent rigoureusement : d'une part, on connaît des prismes qui semblent être à bases carrées, et qui offrent sur leurs arêtes latérales deux facettes modifiantes opposées, fig. 20, (sulfate de magnésie, sulfate de zinc), lorsque, pour avoir la symétrie, il devrait en exister sur les quatre arêtes : d'un autre côté, on connaît (harmonic) des

modifications qui n'ont lieu que sur les deux arêtes opposées de l'octaèdre qui termine le prisme, fig. 21, lorsque, pour suivre les lois de symétrie, elles devraient avoir lieu sur les quatre arêtes à la fois.

(75) On connaît encore dans le système prismatique carré, un exemple plus important de dissymétrie, qui se présente dans l'oxide de titane; ce sont des prismes rhomboïdaux, qui proviennent de ce que, dans les modifications du prisme à bases carrées, par deux facettes en biseau sur les arêtes latérales, pl. IV, fig. 13, il y en a quatre qui se sont étendues, et ont fait disparaître les quatre autres.

(76) *Dans le système rhomboédrique*, il existe deux grandes exceptions : l'une se fait remarquer dans le quartz (cristal de roche), l'autre dans les substances désignées sous le nom de tourmaline.

Nous avons déjà fait remarquer que les rhomboèdres et les dodécaèdres à triangles scalènes ne pouvaient pas être obtenus d'un prisme hexagone (41, 43) ou d'un dodécaèdre à triangles isocèles (44) par des modifications symétriques; de plus, nous avons fait remarquer que les modifications qui conduisent à des triangles scalènes, et qui ont toujours lieu sur les angles, se trouvoient tournées deux à deux vers un même pan du prisme, pl. III, fig. 54 et 55 : c'est en quelque sorte là la symétrie dans ces circonstances. Or, dans le quartz, cette symétrie n'existe même pas, il y a des cristaux qui sont modifiés comme fig. 22 et 24, par des facettes tournées seule à seule vers un pan du prisme; dans les uns les faces sont couchées en tournant de gauche à droite, fig. 22; dans d'autres elles sont couchées de droite à gauche, fig. 24, en sorte qu'il est clair que dans chaque cas les cristaux ne présentent que la moitié des facettes qui résulteraient d'une modification symétrique par deux facettes, fig. 26. Il y a des cas où les cristaux pré-

sentent plusieurs modifications du même genre les unes sur les autres, toutes tournées dans un sens, fig. 28, ou toutes tournées dans l'autre. Ces sortes de modifications dissymétriques sont assez communes dans la nature, et il est très rare, au contraire, de rencontrer les modifications complètes, comme fig. 26; cependant il en existe des exemples dans la collection du Collège de France.

Dans la tourmaline, la dissymétrie se manifeste autrement : d'un côté, les prismes hexagones se combinent entre eux de manière à ce que tantôt l'un, tantôt l'autre, n'offre que la moitié de ses faces, et qu'il en résulte des prismes à neuf pans, comme fig. 27, 29, 30, 31, 32, 33. Dans d'autres cas, ce sont des rhomboèdres qui se trouvent à l'un des sommets, et qui n'existent pas à l'autre, fig. 27, 30, 33, ou bien c'est la modification du sommet par une seule face perpendiculaire à l'axe fig. 23, 25, 31, 32, ou enfin ce sont des modifications sur les bords, comme fig. 29. Ces sortes de dissymétries se manifestent dans presque tous les cristaux, et il est extrêmement rare d'en trouver de complets.

#### OBLITÉRATIONS DES CRISTAUX.

(77, *Oblitération par élargissement de faces.* — Si la matière tend, en général, à prendre des formes régulières, il arrive fréquemment que ces formes sont oblitérées, et au point même de devenir tout-à-fait méconnaissables. Dans certains cas, ces oblitérations résultent de ce que certaines faces se sont considérablement élargies, relativement aux autres, et quelquefois même les ont fait entièrement disparaître. Ainsi, dans le système cubique, on voit l'octaèdre régulier avoir quatre faces beaucoup

plus larges que les autres, fig. 34, et quelquefois tellement élargies, que les quatre autres sont réduites à de très petits triangles, fig. 38. Ailleurs, il n'y a que deux faces opposées qui s'élargissent, fig. 42; mais quelquefois au point de réduire le solide à une lame mince, fig. 46, qui est alors hexagonale, et dont les bords présentent des facettes inclinées alternativement d'un côté et de l'autre. Ces mêmes oblitérations se présentent dans les octaèdres modifiés, fig. 48, etc., qui, dès lors, offrent encore en apparence plus d'irrégularité. Le dodécaèdre rhomboïdal offre aussi des variations analogues, quoique peut-être moins frappantes; il est tantôt allongé, fig. 52, tantôt raccourci, fig. 55, parallèlement à l'axe qui passerait par deux angles opposés composés de trois plans; quelquefois, mais rarement, l'allongement se fait parallèlement à une ligne qui passerait par deux angles opposés composés de quatre plans, et il en résulte des solides comme pl. IV, fig. 64. Ces oblitérations d'octaèdres et de dodécaèdres se font principalement remarquer dans le spinelle (rubis balais) et dans le diamant. Le grenat offre quelquefois des dodécaèdres allongés dans l'un ou l'autre des deux sens que nous avons indiqués.

Dans le système rhomboédrique, il y a un assez grand nombre d'oblitérations plus ou moins remarquables. Il y a d'abord des rhomboèdres remplacés profondément au sommet par une face qui s'élargit considérablement, et qui réduit le solide à une lame biselée sur ses bords, fig. 35, analogue à celle que nous avons fait remarquer dans l'octaèdre, fig. 46. Dans les prismes terminés par des dodécaèdres triangulaires isocèles, pl. III, fig. 87, il se présente un grand nombre de variations, comme fig. 39, 43, 47, 49, 56, 36. Dans la fig. 43, quatre des faces d'une pyramide sont réduites à de très petits triangles, et quelquefois disparaissent

entièrement, en sorte que le cristal ressemble à une pierre de fusil. Dans la fig. 47, une des faces seulement de la pyramide a pris de l'accroissement, et les cinq autres sont réduites à des petits quadrilatères, et quelquefois à rien, comme fig. 49. Dans la fig. 56, c'est une face du prisme qui s'est élargie, et qui déforme aussi la pyramide, de manière que le cristal se présente, comme l'on dit, sous la forme d'un burin. Toutes ces variations sont très communes dans le quartz (cristal de roche).

Les dodécaèdres à triangles scalènes présentent aussi des oblitérations considérables, qui se font particulièrement remarquer dans le carbonate de chaux. Il arrive que quatre des faces s'élargissent considérablement, fig. 40, et que les huit autres restent très petites, ou quelquefois à peine visibles; il arrive même que quatre de ces faces disparaissent entièrement, fig. 44 ou fig. 50, et il en résulte des lames tranchantes sur certaines parties, portant des biseaux sur les autres, dont on a toujours peine à reconnaître le type. Ailleurs, ces cristaux déformés sont modifiés au sommet par des rhomboèdres qui subissent la même irrégularité, fig. 51, et qui conduisent aux lamelles, fig. 58, lorsque quelques-unes des petites faces ont disparu. Enfin, ces mêmes cristaux peuvent être modifiés par les faces du prisme hexagone, dont alors quelques-unes s'agrandissent beaucoup plus que les autres, fig. 54; de sorte que quand il y a disparition de huit faces du dodécaèdre, il reste des lames à deux tranchants, fig. 53, qui quelquefois conservent, d'un côté, une face du rhomboèdre, et se présentent comme fig. 57.

Ces dodécaèdres scalènes offrent encore un autre genre d'oblitérations; huit des faces s'élargissent comme fig. 37, 41, et les quatre autres restent très petites; quelquefois ces quatre petites faces disparaissent, et il

reste un solide à huit faces, aplati, comme fig. 45.

Les cristaux de ces types ou des autres, offrent un nombre infini de variations, par suite desquelles il est souvent difficile de les reconnaître au premier moment; mais nous ne pouvons présenter ici tous ces détails, et nous devons nous borner à indiquer quelques-unes des oblitérations les plus remarquables qui nous paraissent devoir mettre sur la voie de toutes les autres.

Nous venons de voir des oblitérations qui donnent des cristaux très aplatis; or il arrive souvent que l'on ne fait pas alors attention à la régularité qui reste dans ces cristaux, et l'on dit que la matière est devenue *lamelliforme*. Ces lamelles peuvent être aussi des rhomboèdres, des prismes de toute espèce, des octaèdres modifiés au sommet, etc., etc., dont deux faces opposées sont très larges, relativement aux autres. Il y a aussi d'autres cas où, ne faisant point attention à la forme réelle, et se bornant à la première apparence, on dit que la substance est *aciculaire*, ou même *capillaire*: ces sortes de formes sont ou des rhomboèdres, des dodécaèdres, ordinairement scalènes et très aigus, ou des prismes de toute espèce, extrêmement longs relativement à leurs diamètres.

(78) *Oblitérations arrondies*. — Si les cristaux peuvent se déformer, prendre de l'irrégularité par suite de l'élargissement trop considérable de quelques-unes de leurs faces, il est une autre cause d'oblitération qui n'est pas moins digne d'attention. Il arrive que certains cristaux se trouvant modifiés sur leurs arêtes ou sur leurs angles solides par un grand nombre de facettes, ou ayant seulement, au moment de leur formation, une tendance à se modifier ainsi, s'arrondissent dans toutes leurs parties, et qu'au lieu de produire des formes régulières, ils ne présentent plus que des configurations *sphéroïdes, ovoïdes, lenticulaires, cylin-*

*droides*, etc., dans lesquelles on reconnaît plus ou moins la forme qui a servi de type. Les configurations *sphéroïdes*, fig. 59, 60, 62, 63, 74, proviennent, en général, des cristaux du système cubique, ou des cristaux analogues des autres systèmes. On reconnaît dans ces configurations l'empreinte de l'octaèdre, du cube, du dodécaèdre rhomboïdal, du trapézoèdre, des solides à quarante-huit faces, etc.; mais il arrive aussi que des octaèdres déformés, des dodécaèdres raccourcis, fig. 65, ou allongés, fig. 68, des solides à quarante-huit faces, également allongés, fig. 71, ou raccourcis, fig. 76, se trouvent arrondis sur leurs arêtes et sur leurs angles, et il en résulte encore des configurations plus bizarres. Ces sortes d'oblitérations se font remarquer particulièrement dans le diamant, dans le fluor et dans le grenat.

Les configurations plus ou moins ovoïdes proviennent des cristaux réguliers qui ont naturellement cette forme; on les observe dans des dodécaèdres scalènes modifiés au sommet par un rhomboèdre, et sur les angles latéraux par les faces du prisme, fig. 66, ou par ces derniers seulement, fig. 69, ou bien sur les arêtes inférieures par des solides du même genre, fig. 73, 78.

Les modifications cylindroïdes proviennent des cristaux prismatiques à 6, 8 et 12 pans, etc., qui sont modifiés sur leurs arêtes par les faces d'autres prismes, comme de l'un des prismes hexagones, fig. 75, modifiés par l'autre et par les prismes à douze pans; il est clair qu'alors il en résulte un cylindre plus ou moins uni, fig. 77.

Les modifications des prismes par des solides pyramidaux conduisent à des configurations en forme de petits tonneaux, fig. 72. Il en est de même des dodécaèdres scalènes ou isocèles, modifiés au sommet par un plan perpendiculaire à l'axe.

Les configurations lenticulaires proviennent des cristaux naturellement aplatis, ou qui sont devenus tels par l'élargissement de quelques-unes de leurs faces. C'est ainsi que certains rhomboédres obtus donnent la configuration lenticulaire, fig. 70 ; le cristal déformé, fig. 45, donne une autre espèce de lentilles, fig. 67, Les dodécaèdres rhomboïdaux, très aplatis, comme fig. 65, deviennent lenticulaires, et il en est de même des solides à quarante-huit faces raccourcis, fig. 76. Enfin il se forme des cristaux lenticulaires par tous les octaèdres du système prismatique rectangulaire, droit ou oblique, comme fig. 61, qui se rapporte au cristal, pl. V, fig. 67, et comme fig. 64, qui se rapporte au cristal, pl. VI, fig. 88, que présentent les pyroxènes.

(79) *Cristaux à faces creuses.* — Les cristaux présentent encore un autre genre d'oblitération qu'il n'est pas inutile d'indiquer ; leurs faces, au lieu d'être planes, unies, comme on les voit le plus ordinairement, se trouvent quelquefois creuses dans leur milieu, et offrent alors ordinairement une suite de lames qui décroissent successivement avec plus ou moins de régularité, comme nous l'avons représenté dans les fig. 27, 28 et 29, pl. X. Il n'y a alors de bien conformées que les petites portions de faces adjacentes aux arêtes. Cette sorte d'oblitération se présente ordinairement sur toutes les faces de même espèce ; mais il arrive assez souvent que si le cristal présente des faces d'espèces différentes, toutes celles d'une espèce se trouvent intactes, tandis que les autres sont creusées comme nous l'avons indiqué. On connaît de ces oblitérations dans tous les systèmes, et il s'en produit également, sous certaines conditions, dans les sels que nous faisons cristalliser dans les laboratoires : il est seulement à remarquer qu'on les observe particulièrement dans les substances naturelles les plus communes, et



nous verrons que ce sont celles qu'on trouve le plus souvent dans les circonstances de gisement convenables.

## CRISTAUX GROUPÉS.

(80) Les cristaux sont rarement isolés dans la nature ; le plus souvent ils sont groupés entre eux de différentes manières , et offrent une multitude de dispositions plus ou moins remarquables. Dans un grand nombre de cas , le groupe n'offre à l'extérieur que des configurations accidentelles sans importance ; mais dans d'autres il offre des formes déterminées qu'il est nécessaire de faire connaître , et que nous allons examiner.

(81) *Lois générales des groupements.* — Des corps irréguliers pourraient se grouper entre eux de toutes les manières imaginables ; mais des corps dont toutes les faces ont des inclinaisons déterminées , comme les cristaux , ne peuvent évidemment se réunir que sous certains angles également déterminés. Ainsi , dans tous les groupements de cristaux , quelque bizarres même qu'ils puissent être , il doit toujours y avoir une certaine régularité. En examinant les groupements , on reconnaît dans tous les différentes lois suivantes :

1<sup>o</sup> *Les plans de jonction de deux cristaux sont toujours parallèles à des faces existantes ou possibles :* c'est-à-dire que le plan qui joint deux cristaux , ou le plan par lequel un cristal se pose sur un autre corps , est toujours un de ceux qui forment les cristaux , ou qu'ils pourraient affecter d'après les lois de cristallisation. Cette circonstance se manifeste dans le groupement des cristaux d'une même substance , comme dans le groupement de ceux qui appartiennent

à des substances différentes; on la reconnaît même dans le groupement des cristaux sur des corps irréguliers; car si on fait cristalliser un sel, on voit toujours les cristaux s'appliquer sur les parois des vases par une des faces qu'ils possèdent ou qu'ils peuvent posséder.

Il arrive fréquemment que les faces par lesquelles les cristaux s'unissent entre eux, ou s'appliquent sur un autre corps, n'existent pas sur leurs parties extérieures, ou, si elles existent, elles sont infiniment plus étroites que la jonction. Cela paraît tenir, en grande partie, à l'accroissement des cristaux, postérieurement à leur réunion ou leur application sur un corps. On peut concevoir, en effet, que deux cristaux, par exemple *a* et *b*, pl. VIII, fig. 1, se soient trouvés réunis dans un certain moment par un seul point mathématique, ou par une ligne, et dans certaine position relative, en rapport avec les lois de cristallisation qui déterminaient leur équilibre instantané; la première couche d'accroissement aura soudé définitivement ces cristaux, et les couches suivantes enveloppant leur ensemble, auront nécessairement déterminé un plan de jonction de plus en plus étendu, comme le représente la figure.

C'est cet élargissement des faces à la jonction de deux cristaux, qui rend souvent les groupements très difficiles à reconnaître, du moins au premier moment. On conçoit que si, dans la réunion, les cristaux conservaient toutes leurs faces bien conformées, on les reconnaîtrait au premier abord; ainsi on verrait tout de suite que le groupe fig. 37 est formé de deux octaèdres, que les groupes fig. 14, 15, 17, etc., pl. IX, sont formés de rhomboèdre simples ou prismés, ou de dodécaèdres à triangle scalène. Ces circonstances de groupement se présentent quelquefois; mais il n'en

est pas toujours ainsi, et les plans de jonction se trouvent très étendus, comme si les cristaux se fussent re-foulés sur eux-mêmes, par leur pression mutuelle; leurs réunions se présentent comme pl. VIII, fig. 38, et pl. IX, fig. 24, 26, 29, qui se trouvent auprès de celles que nous avons citées: on reconnaîtra les mêmes effets dans tous les groupes dont nous nous occuperons.

2<sup>o</sup> *Pour qu'il y ait régularité dans un groupement, il faut que les cristaux se réunissent par des faces et des côtés homologues de même étendue.* Sans doute des cristaux peuvent se joindre par des faces quelconques, et se placer l'un sur l'autre dans une multitude de positions relatives; mais lorsque la condition que nous venons d'exprimer n'a pas lieu, il arrive que l'un des cristaux dépasse l'autre, et que les angles solides de l'un font saillie au-dessus des faces de l'autre; alors il n'y a point de régularité.

Lorsque les cristaux n'ont de faces que d'une seule espèce, et qu'elles sont toutes bien proportionnées, ils offrent toujours des groupements de même figure, de quelque manière qu'ils se réunissent; mais il n'en est pas de même lorsqu'ils ont plusieurs espèces de faces, puisqu'alors ils peuvent se réunir par les unes ou par les autres, ou encore lorsqu'ayant toutes leurs faces de même espèce, les unes sont très élargies aux dépens des autres, auquel cas ils peuvent se réunir ou par les grandes faces ou par les petites. Dans tous les cas il en résulte des groupements ou d'espèces différentes ou d'apparence très différente.

(82) *Groupements directs et inverses.* — Certains cristaux peuvent se réunir entre eux de deux manières, d'une manière directe et d'une manière inverse, c'est-à-dire qu'en supposant un cristal dans une certaine position, un autre peut venir se joindre

à lui en se plaçant exactement de la même manière, comme le prisme rhomboïdal B, pl. VIII, fig. 2, par rapport au prisme A, ou bien dans une position inverse, fig. 3. Mais avec un peu de réflexion, on sentira bientôt que ce double mode d'accrolement ne peut avoir lieu que dans les solides prismatiques rhomboïdaux, ou dans les prismes obliques lorsqu'ils se réunissent par leur base; qu'il ne peut y avoir que des groupements directs dans les solides rectangulaires, lorsqu'ils se réunissent par leur face naturelle, et enfin que quand des cristaux se réunissent par des faces qui appartiennent à des pyramides, il y a toujours inversion. Ce dernier cas tient à ce qu'il faut que la réunion ait lieu par des faces égales et des côtés égaux.

Dans le groupement que nous venons de prendre pour exemple, on peut remarquer que le cristal B, fig. 3, se trouve placé comme si, étant d'abord dans la même position que A, il avait fait une demi-révolution qui ait amené sa base supérieure en bas et l'inférieure en haut, d'où serait résulté l'inversion. La différence de position n'est jamais plus grande que la demi-révolution; car si le cristal B faisait un tour plus grand, il arriverait ou que les cristaux se croiseraient, ou bien qu'après une révolution complète, ils se retrouveraient tous deux dans la position directe. Mais si cette différence ne peut pas être plus grande, elle est souvent plus petite, et dans les cristaux dont les faces ont tous leurs côtés égaux, elle n'est que d'un sixième de circonférence; c'est ce qui a lieu par exemple dans les groupements d'octaèdres réguliers.

Dans tous les groupements réguliers, si l'on considère seulement deux cristaux, on remarque toujours que les choses se passent comme si un cristal avait été coupé en deux et qu'une des moitiés eût tourné sur

l'autre en faisant une demi-révolution ou un sixième de révolution. Ainsi dans le groupe fig. 27, pl. VIII, les choses se passent comme si un cristal fig. 25, eût été coupé en deux par le plan *bide*, et que la moitié qui se trouve en arrière eût fait une demi-révolution sur l'autre. Dans le groupe fig. 38, les choses se passent comme si l'octaèdre, fig. 36, eût été coupé en deux parties égales par le plan *abcd*, et que la moitié inférieure eût fait un sixième de révolution sur l'autre; on retrouvera des circonstances analogues dans un grand nombre de groupements.

(83) *Caractère des groupements.* — On doit concevoir, d'après ce que nous venons dire, et l'inspection de la plupart des figures des planches VIII et IX le fait voir suffisamment, que dans les groupements, il y a une certaine régularité qui leur donne une apparence plus ou moins analogue à celle des cristaux simples. Dans un grand nombre de groupes, on peut remarquer qu'il y a des angles rentrants, comme pl. VIII, fig. 27, 38, 49, pl. IX, fig. 13, 19, etc., et cette circonstance les fait reconnaître dès le premier abord; mais cela n'a pas toujours lieu, et en effet les fig. 29, pl. VIII, les fig. 26, 27, 30, pl. IX, sont des groupements sans angles rentrants, et qui, par cela même, ont encore plus l'apparence de cristaux simples. Dans ce cas, ce n'est que le défaut de symétrie qui peut servir à les faire reconnaître; et en effet, toutes les fois qu'il y a inversion, la symétrie naturelle doit être évidemment dérangée; aussi dans les groupements de rhomboèdres, comme fig. 14, voit-on que les faces d'un sommet au lieu de correspondre aux arêtes de l'autre, comme cela a lieu dans le rhomboèdre simple, sont tournées vis-à-vis l'une de l'autre: on verra facilement qu'il y a des dérangements analogues dans tous les groupements. D'après cela, toutes les fois qu'on verra une dissymétrie entre

les sommets d'un cristal, on pourra en conclure qu'il y a groupement avec inversion; ainsi dans la fig. 29, pl. VIII, on voit qu'il y a quatre facettes d'un côté et deux seulement de l'autre, et l'on doit apercevoir facilement que cela résulte de la réunion de deux cristaux, fig. 28, en sens inverse, ou, si l'on veut de ce que le cristal, fig. 28, a été coupé en deux par le plan  $b c d$ , et que la moitié antérieure a tourné sur l'autre. De même dans les cristaux, fig. 26, 27 et 30, pl. IX, on voit que les rhomboèdres terminaux ont leurs faces tournées l'une vers l'autre, tandis que dans les cristaux simples, fig. 25, 28 et 29, une face du sommet supérieur correspond à une arête du sommet inférieur; on conclura donc qu'il y a groupement avec inversion dans les premiers cristaux. Il y a cependant des cas où il ne serait plus possible de reconnaître s'il y a groupement; ce serait dans des réunions de cristaux terminés par des pyramides hexaèdres à triangles isocèles, parce que l'inversion ramènerait toujours une face sur une autre semblable; la symétrie ne paraîtrait pas alors dérangée, quoiqu'elle le fût dans la réalité, puisque ces pyramides pouvant être considérées comme formées de deux rhomboèdres inverses l'un de l'autre, il y aurait une face d'une espèce vis-à-vis d'une autre de même espèce, tandis que, dans un cristal naturel, une face d'une espèce correspond à une face d'espèce différente au second sommet.

(84) *Désignation des groupements.* — Les minéralogistes désignent fréquemment les groupes réguliers sous le nom de *macles*, sans doute parce que ceux qu'on a observés les premiers appartiennent aux dispositions qui offrent des angles rentrants, comme fig. 49, 53, etc., dont la forme en losanges facettés rappelait celles des mailles, ou macles, des anciennes armures. Haiüy parlant de l'observation que dans certains grou-

pements les choses se passent comme si une des moitiés du cristal avait fait une demi-révolution sur l'autre, leur a donné le nom d'*hémitropie* (demi-retournement), et a désigné par le nom de *transposition*, les groupements dans lesquels un cristal a fait seulement un sixième de révolution sur l'autre.

On peut aussi distinguer les groupements par le nombre de cristaux réunis: il y a des réunions de deux, de trois, de quatre, etc., cristaux, ce que l'on a quelquefois désigné par les expressions, *bijugué*, *trijugué*, *quadrjugué*, ou par des mots analogues dans les langues étrangères.

(85) *Exemples de groupements directs.*—Ces groupements, qui sont assez nombreux dans la nature, surtout dans le quartz (cristal de roche), dans le carbonate de chaux, dans le fluor, présentent des cristaux accolés les uns aux autres par des faces homologues, dont l'ensemble présente une forme régulière plus ou moins nette, tantôt semblable aux cristaux composants, tantôt différente. On rencontre assez fréquemment des petits cristaux cubiques dont la réunion, fig. 4, produit un cube plus ou moins volumineux (dans le fluor), des dodécaèdres à triangles isocèles, simples, ou présentant des indices du prisme, qui se groupent les uns sur les autres par le sommet, fig. 12, ou par les faces du prisme, fig. 13, ou à la fois de l'une et de l'autre manière, fig. 14 (dans le cristal de roche). C'est ainsi que se forment des cristaux plus ou moins allongés relativement à leur diamètre, fig. 12, des cristaux dont deux faces opposées sont très larges relativement aux autres, fig. 13, ou enfin des cristaux plus ou moins volumineux, fig. 14. On connaît également (dans le carbonate de chaux) des groupements de petits dodécaèdres scalènes, fig. 15, qui produisent des cristaux plus ou moins volumineux de la même forme. Enfin,

dans tous les systèmes cristallins il existe des groupements analogues qui reproduisent des cristaux semblables à ceux qui les composent; c'est ainsi que, dans presque tous les gros cristaux, à quelque système qu'ils appartiennent, on reconnaît, soit immédiatement, soit par divers moyens que nous verrons par la suite, des réunions de cristaux plus petits. Les cristaux allongés sont produits par des empilements analogues à celui fig. 12, et les cristaux déformés par l'élargissement considérable de certaines faces, qui se présentent souvent comme des plaques dans lesquelles on reconnaît à peine une forme régulière, sont produits par des accolements analogues à celui fig. 13.

Ces sortes de groupements produisent souvent aussi, comme nous l'avons annoncé, des formes différentes de celles des cristaux composants. Ainsi on connaît dans le fluor, des réunions de cristaux cubiques, qui produisent des octaèdres, fig. 5, des dodécaèdres rhomboïdaux, fig. 6; on connaît dans le carbonate de chaux, des groupements de rhomboèdres, d'une certaine espèce, qui forme des rhomboèdres d'une espèce différente, des dodécaèdres à triangles scalènes, fig. 16; ou bien des dodécaèdres à triangles scalènes qui produisent des rhomboèdres, fig. 17. Il peut exister des groupements analogues dans tout les systèmes, et on conçoit facilement des réunions de prismes rectangulaires, produisant des octaèdres rectangulaires ou rhomboïdaux, ou bien des octaèdres de toutes espèces qui produisent des solides de différents genres, etc.

Remarquons que dans tous ces groupements, soit qu'ils offrent des formes semblables aux cristaux composants, soit qu'ils en offrent de différentes, il est souvent impossible que les cristaux se joignent de manière à ne laisser aucun vide; aussi aperçoit-on fréquemment dans les gros cristaux, des cavités dont la forme



est en rapport avec celle des cristaux composants, et qui sont plus ou moins apparentes et plus ou moins nombreuses. Il faut remarquer aussi qu'il arrive fréquemment que les accollements ne se font pas avec une grande précision, que les cristaux ne sont pas rigoureusement placés dans le même ordre et de manière que les arêtes ou les angles solides de l'un ne débordent pas sur les faces de l'autre. Il résulte de ces irrégularités de groupements, que les gros cristaux offrent plus ou moins de défauts dans leurs différentes parties; que les faces sont rugueuses, creuses ou bombées, et que les arêtes sont incomplètes : c'est ce que nous avons déjà fait observer sans en indiquer la cause.

(86) *Exemples de groupements inverses.*—Les groupements inverses sont bien plus variés, bien plus remarquables que ceux que nous venons de décrire; pour les faire connaître plus facilement, on peut les partager en trois sections, en *groupement par des faces prismatiques*, ou parallèle à l'axe des solides, *groupement par des faces pyramidales* ou parallèle à des faces inclinées à l'axe, et *groupement perpendiculairement à l'axe*.

*Les groupements par des faces prismatiques* produisent les différentes configurations, pl. VIII, fig. 7 à 11 et 17 à 31. Dans le système rectangulaire droit, les groupements les plus remarquables de cette espèce sont ceux des prismes rhomboïdaux, qu'on observe particulièrement dans l'arragonite et dans le carbonate de plomb. Le mode de réunion le plus simple est celui fig. 7, où deux prismes A et B, sont accolés par l'arête obtuse; ils laissent alors entre eux des espaces triangulaires dont chacun est rempli par la moitié d'un prisme de même espèce. Il résulte de là un prisme hexagone qui a deux angles opposés d'une espèce et quatre d'une autre, qui serait régulier, si les prismes composants avaient leurs angles de  $60^{\text{d}}$  et  $120^{\text{d}}$ . Dans

l'arragonite, ces angles sont, les deux opposés de  $116^{\text{d}} 5'$ , et les quatre autres de  $121^{\text{d}} 57' 30''$ .

Au lieu de se réunir de cette manière, les deux prismes A et B peuvent s'accoler par leurs faces comme fig. 8; l'espace angulaire étant alors rempli par un autre prisme que l'on peut toujours déduire des premiers, il en résulte encore un prisme hexagone qui a aussi deux angles d'une espèce, et quatre d'une autre, et qui serait régulier si les prismes rhomboïdaux étaient de  $60^{\text{d}}$  et  $120^{\text{d}}$ . Dans l'arragonite, il y a deux angles de  $127^{\text{d}} 50'$ , et quatre de  $116^{\text{d}} 5'$ .

On peut aussi concevoir ces réunions d'une autre manière, qui semble être souvent admise par la nature, en supposant les cristaux groupés par l'angle aigu. Quatre cristaux, A, B, C, D, étant réunis comme fig. 9, laissent entre eux deux vides opposés, qui peuvent être remplis par des prismes secondaires. Si ces prismes, au lieu d'être entiers, sont modifiés très profondément par une seule face sur l'arête aiguë extérieure, qui fasse disparaître la moitié du solide, on retombe sur un groupe, fig. 10, qui présente les mêmes angles que fig. 7. Si les vides angulaires de l'étoile, fig. 9, sont remplis comme fig. 11, quatre par des prismes comme A, B, etc., deux par des prismes dérivés, on retombe sur un prisme hexagonal qui présente encore les mêmes angles que fig. 8. Ce dernier groupement une fois produit, d'une manière ou d'une autre, peut servir de base à des réunions de divers genres, comme par exemple fig. 20, d'où résulte un prisme hexagonal qui, dans l'arragonite, a tous ses angles de  $116^{\text{d}} 5'$ , mais avec deux angles rantrants de  $168^{\text{d}} 5'$ ; c'est à quoi Haüy est parvenu en imaginant un autre groupement que je crois moins simple, ou plutôt moins naturel.

L'arragonite présente un autre groupement, fig. 21, qui n'est autre chose que la réunion de trois prismes

hexagones, provenant de la modification du prisme rhomboïdal par une face sur les arêtes aiguës, dont les vides sont remplis par des demi-prismes rhomboïdaux ; il y a alors six angles de  $127^{\text{d}} 57' 30''$ .

Ce que nous faisons ici avec le plus petit nombre possible de prismes, se fait dans la nature par des réunions d'une infinité de cristaux. C'est de là, et aussi de ce que souvent les cristaux réunis sont terminés par des facettes en biseaux, que résulte cette multiplicité de rides, ou stries, qu'on remarque sur les bases des prismes, et qui divergent du centre à la circonférence.

Les prismes rectangulaires, en se réunissant par les faces des modifications qui conduisent au prisme rhomboïdal, produisent des groupes en croix, fig. 22 (Bourbonite, etc.). Il en est de même des prismes carrés, lorsqu'ils se réunissent par les faces qui conduisent au prisme carré dérivé, comme fig. 18 (Harmotome, etc.). Ces sortes de groupements peuvent être simples à la base, comme fig. 18 et 22, mais ils peuvent aussi être terminés par des pyramides, comme fig. 19 (Harmotome), qui peuvent être tournées vers les faces ou vers les arêtes, ce qui tient à ce que les prismes groupés sont eux-mêmes pyramidés de cette manière, et que dans chaque prisme, une face de la pyramide est étendue jusqu'à faire disparaître les autres. On doit voir que s'il n'y avait que deux cristaux accolés, comme cela arrive quelquefois, on n'aurait que deux branches de la croix, et les choses se passeraient comme si le prisme simple avait été coupé en deux par un plan parallèle à une face résultante de la modification des arêtes latérales, et qu'une des moitiés eût tournée sur l'autre : le groupement de deux cristaux étant considéré de cette manière, il faudrait regarder le groupement complet en croix, comme résultant de la réunion de deux groupements simples.

Les cristaux du système rectangulaire oblique peuvent se grouper de la même manière que les précédents, mais on ne connaît guère dans ce système, en accollement par des faces prismatiques, que des groupements de deux cristaux. Il y a d'abord des groupements de prismes rhomboïdaux simples, fig. 30, par des faces parallèles à celles qui résulteraient de la modification des arêtes latérales obtuses, et dans lesquels l'hémitropie, fig. 31, se présente comme si le cristal, fig. 30, avait été coupé en deux par le plan *a b c d*, et qu'une moitié eût tourné sur l'autre. Les octaèdres qui résultent de la combinaison du prisme rhomboïdal avec les facettes produites sur les angles aigus, pl. VI, fig. 35, 50, soit qu'ils restent simples, soit qu'ils se trouvent modifiés sur l'arête obtuse du prisme, pl. VIII, fig. 25, ou sur l'arête aiguë, fig. 23, peuvent aussi se grouper deux à deux par des faces parallèles à P, comme fig. 26, et il en résulte le solide à angles rentrant à l'un des sommets, fig. 27 (Augite), ou le solide, fig. 24 (Gypse), qui diffère du premier par la présence des faces L au lieu de P sur la partie extérieure des cristaux. Les choses se passent ici comme si les solides, fig. 23 et 25, avaient été coupés en deux parties égales par le plan *b c d e*, et qu'une moitié ait fait une demi-révolution sur l'autre.

(87) *Les groupements par des faces obliques à l'axe* sont très nombreux et se présentent dans tous les systèmes. Dans le cube ou dans les systèmes prismatique, l'accolement se fait le plus souvent par des faces d'octaèdre; ils peuvent avoir lieu entre des octaèdres simples ou entre des octaèdres modifiés, ou enfin entre des prismes par des faces parallèles à des octaèdres. Les octaèdres simples, en se réunissant, comme fig. 37, produisent, lorsque la face

de jonction est très élargie, les groupements, fig. 38 (Spinelle, Diamant, dans le système cubique, oxide d'étain, dans le système prismatique carré, sulfure blanc de fer, dans le système prismatique rectangulaire); les octaèdres modifiés, comme fig. 39, produisent des groupements, fig. 40, qui sont ordinairement très aplatis, la face de jonction étant excessivement large (Diamant, dans le système cubique): et lorsqu'il arrive que les faces  $i$ , fig. 39, sont assez étendues pour donner un dodécaèdre triangulaire, comme pl. I, fig. 40, il en résulte le groupement, fig. 41.

Les octaèdres qui se réunissent, au lieu d'avoir seulement une de leurs faces très élargie, peuvent en avoir quatre très grandes, et les quatre autres fort petites, comme fig. 42, ce qui arrive dans les octaèdres rectangulaires, et ils donnent alors lieu à des groupements encore plus remarquables. On conçoit qu'il peut se réunir seulement deux de ces octaèdres, comme fig. 43; mais il peut aussi s'en réunir un plus grand nombre, limité seulement par l'angle qui existe entre deux faces opposées à un même sommet. Si l'angle de ces faces était de  $120^{\text{d}}$ , il pourrait s'en réunir trois qui formeraient un solide complet à base de triangle équilatéral; si l'angle était de  $90^{\text{d}}$ , il s'en réunirait quatre, comme fig. 45, qui offriraient une pyramide quadrangulaire surbaissée, ayant à son centre une cavité à quatre pans et des angles rentrants à ses angles solides. Pour un angle de  $72^{\text{d}}$ , il s'en réunirait cinq, comme fig. 46, dont il résulterait une double pyramide à base de pentagone, creuse à son centre avec des angles rentrants à ses angles solides; on conçoit que si les quatre petites faces de l'octaèdre disparaissaient, on aurait des pyramides tétragone, pentagone, etc., comme celle fig. 47 :

enfin pour l'angle de  $60^{\text{d}}$  on aurait une pyramide à base d'hexagone régulier.

Dans la nature les angles n'ont pas toujours les mesures exactes que nous avons supposées ici, en sorte que dans les réunions de trois, de quatre, de cinq cristaux, etc., il reste souvent un espace angulaire plus ou moins considérable qui est vide, ou qui se remplit irrégulièrement de cristaux.

La Bournonite, le sulfure blanc de fer, nous offrent des exemples des différents groupements que nous avons indiqués fig. 43 à 47.

Les octaèdres à base carrée qui se réunissent entre eux, sont quelquefois aussi modifiés sur les arêtes latérales par les faces du prisme, comme fig. 48, et alors, par l'élargissement de la face de jonction, le groupement se présente, comme fig. 49 : c'est ce que l'on voit fréquemment dans l'oxide d'étain, où quelquefois l'élargissement de la face de jonction est assez considérable pour faire disparaître les petites faces *d*. Il y a aussi des cas où les prismes carrés, les prismes octogones, réguliers ou irréguliers, qui en dérivent, se réunissent également par des faces d'octaèdre, mais dont il n'existe pas de traces à l'extérieur; il en résulte des groupements, comme fig. 50, qui peuvent être simples comme le représente la figure, et que l'on voit quelquefois réunis avec des groupements de même espèce, de plus en plus petits, qui s'appliquent en gradins les uns sur les autres et au centre du groupe principal, en produisant alors une espèce de pyramide : l'oxide d'étain, l'oxide de titane nous présentent des groupements de ce genre.

Les prismes rectangulaires et rhomboïdaux nous offrent aussi des groupements en croix, qui résultent de la jonction de quatre cristaux par des plans parallèles aux modifications des arêtes supérieures du

prisme rectangulaire, comme fig. 51 (Bournonite), ou des angles solides aigus du prisme rhomboïdal, fig. 52 et 53 (Staurotide); cette dernière figure n'est que la précédente dont les prismes sont réduits à la partie terminée en biseau. Ces groupements en croix peuvent être considérés comme des réunions de quatre cristaux, ou des réunions de deux groupes de deux cristaux : ces groupements de groupes peuvent se faire par des faces de même espèce que celles qui unissent deux cristaux, auquel cas les croix sont elles-mêmes rectangulaires, ou par des faces plus ou moins inclinées qui produisent alors des croix obliques, fig. 54; c'est ce qui a lieu aussi dans la staurotide.

Les mêmes groupements se présentent dans les prismes obliques, et sont tantôt des réunions de cristaux simples, tantôt des réunions de cristaux déjà groupés suivant les plans parallèles à l'axe, comme fig. 55, où l'on reconnaît en outre du groupement cruciforme, un groupement semblable à celui fig. 27 (Augite).

Il existe, dans le système prismatique rectangulaire oblique, un très grand nombre de groupements, dont les plans de jonction sont parallèles à des faces produites sur les arêtes des bases, ou sur les angles solides des prismes rectangulaires ou rhomboïdaux; le feldspath et l'albite en offrent un grand nombre de variétés, dont nous avons représenté deux, fig. 33 et 35. Le premier est un groupement de deux cristaux, fig. 32, par un plan parallèle à des faces produites sur l'arête  $x$ ; les choses s'y passent comme si le cristal, fig. 32, avait été coupé par un plan  $bcd$ , et qu'une moitié eût tourné sur l'autre. Il résulte de ce groupement un prisme rectangulaire, dont les extrémités présentent deux faces  $P$ , deux faces  $a$ , et deux faces  $a'$  réunies en angles saillants et deux portions de faces  $a$  et  $a'$  en

angles rentrants. Le groupement, fig. 35, est la réunion de deux cristaux, fig. 34, par un plan parallèle aux arêtes  $x$ , dans lesquelles il existe des faces  $a$  et  $n$ , qui sont extrêmement élargies relativement aux autres; les choses se passent encore ici comme si le cristal, fig. 34, avait été coupé par un plan  $b c d$ ; et qu'une moitié eût tourné sur l'autre. Une des extrémités du groupe n'offre que des angles saillants, l'autre n'offre que des angles rentrants.

Les prismes obliques se réunissent fréquemment aussi par leurs bases, comme les prismes rhomboïdaux, pl. IX, fig. 31, soit qu'ils conservent toutes leurs parties intactes, soit qu'ils se trouvent modifiés sur quelques-unes, par exemple sur l'arête latérale obtuse, fig. 32, ou sur l'angle obtus, auquel cas ils produisent à leur réunion une gouttière plus profonde, fig. 35. Ils peuvent aussi se réunir par des faces plus ou moins inclinées que leur base naturelle, et jusqu'à la limite où la face modifiante serait perpendiculaire à l'axe, auquel cas le groupement deviendrait direct.

Ces groupements deux à deux, peuvent aussi se réunir plusieurs ensemble, en s'accolant par des faces plus ou moins obliques, produites sur les angles antérieurs du prisme rhomboïdal. Ces réunions peuvent avoir lieu entre des groupes binaires formés de cristaux complets à l'extérieur sur les angles antérieurs, fig. 33, ou bien des groupes binaires formés de cristaux modifiés d'une ou de plusieurs manières, comme fig. 34 et 36. Le silicio-titaniate de chaux est très remarquable par la variété de groupements de ce genre qu'il présente.

Il existe beaucoup de groupements par les faces pyramidales dans le système rhomboédrique. Le quartz (cristal de roche) nous offre un groupement, pl. IX, fig. 1, qui est le résultat de l'accrolement de deux



cristaux très élargis, par les faces de la pyramide à triangles isocèles qui, comme nous l'avons remarqué (38), est une réunion de deux rhomboédres identiques inverses l'un de l'autre. Le carbonate de chaux en présente aussi plusieurs du même genre: il y en a qui résultent de l'accolement de deux cristaux prismatiques terminés par des rhomboédres, fig. 2, 3 et 4, par des faces qui appartiennent à un rhomboèdre inverse différent; dans l'un, fig. 2, il n'existe qu'un rhomboèdre  $a$  au sommet du prisme  $s$ ; dans l'autre il existe, en outre, les faces  $n$  d'un dodécaèdre à triangles scalènes. Lorsque les cristaux réunis sont assez courts, relativement à leur diamètre, il en résulte le groupement en cœur, dit *mâcle en cœur*, fig. 4, qui offre une configuration d'autant plus agréable, que les faces  $n$  sont plus inégales entre elles. Dans ce groupement, les choses se passent comme si le cristal, fig. 5, à facettes  $n$  inégales, avait été coupé par le plan  $bcdf$ , et qu'une moitié eût tourné sur l'autre.

Il existe aussi, dans le système rhomboédrique, des groupements par les faces des dodécaèdres à triangles scalènes: c'est ce que l'on voit dans les fig. 6, 7 et 8. Dans la fig. 6, le groupement est facile à reconnaître, parce que les faces ne sont pas très déformées; mais s'il l'est moins dans la fig. 7, parce que quatre des faces sont très élargies, et comme elles existent dans la nature, on le reconnaît encore lorsque le groupe est placé, comme dans la figure, dans une position convenable. Dans la fig. 8, l'angle rentrant inférieur est détruit par la présence des faces  $s$  du prisme hexagone.

Les mêmes solides se réunissent aussi par des faces de rhomboédres, fig. 9 et 22; mais dans les exemples que la nature nous fournit, la symétrie des cristaux composants est entièrement dérangée; ces cristaux ne sont plus que des lames dans lesquelles quatre des

faces de chaque dodécaèdre ont disparu, fig. 9, ou même dix, comme fig. 22, dont quatre sont remplacées par les faces du prisme.

(88) *Les groupements par des faces perpendiculaires à l'axe* sont surtout remarquables dans le système rhomboédrique. Ce sont des groupements de rhomboèdres simples, fig. 14, 24, 13; des groupements de rhomboèdres terminés par d'autres rhomboèdres, fig. 23; des groupements de prismes terminés par des rhomboèdres, fig. 15 et 26, des groupements de dodécaèdres à triangles scalènes, fig. 17, 19; des groupements de dodécaèdres modifiés par des rhomboèdres et les faces du prisme  $r$ , fig. 29 et 30, etc.

Dans les groupements de rhomboèdres, les choses se passent comme si un des rhomboèdres composants, fig. 12, par exemple, avait été coupé en deux par un plan  $abcd$ , passant par le milieu des arêtes latérales, et qu'une des moitiés eût tourné sur l'autre. Dans les groupements fig. 26 et 27, les choses se passent comme si les cristaux simples, fig. 25 et 28, avaient été coupés par un plan  $bcd$ , et qu'une moitié eût tourné sur l'autre. Dans le groupement, fig. 30, les choses se passent comme si le cristal, fig. 29, avait été coupé par le plan  $abcd$ . Quant au groupement fig. 18, s'il se trouve dans la nature comme dans la figure, les faces rentrantes prolongées jusqu'à l'angle saillant voisin, on ne pourra pas se le représenter par le cristal complet fig. 16, coupé en deux; il faudra nécessairement se le représenter comme un accollement de deux cristaux comme fig. 17, avec plus d'élargissement à la face de jonction. Ce n'est que dans le cas où les facettes rentrantes seraient plus petites et auraient chacune de leurs arêtes égale à la moitié de l'arête inférieure de la fig. 16, qu'on pourrait se le représenter comme provenant d'une coupe de cette figure par le

plan *abcd*, et du mouvement d'une des moitiés sur l'autre; au reste, il en est à peu près de même de tous les groupements, et ce n'est que sous des conditions analogues, qu'on peut théoriquement les regarder comme des cristaux coupés en deux, dont une moitié aurait tourné sur l'autre.

Dans les groupements, fig. 13, 19, 23 et 24, il y a des angles rentrants; mais dans cette fig. 26, 27, 30, il n'y en a point, à cause de la présence du prisme hexagone, dont toutes les faces sont verticales. Dans tous ces groupements, il n'y a, comme nous l'avons déjà fait remarquer, que des transpositions.

Nous pourrions citer beaucoup d'autres groupements de diverses espèces dans les divers systèmes cristallins; mais ils se rapportent tous à peu près aux différents genres que nous avons cités, et les détails, peut-être déjà trop longs, dans lesquels nous sommes entrés, suffiront pour donner la clef de tous ceux que l'on pourra rencontrer.

(89) *Des trémies.* — Au dernier terme des groupements qui conservent quelque régularité, nous devons parler de ceux que l'on nomme *trémies*. Ce sont des pyramides creuses, pl. IX, fig. 37, qui semblent être formées de cadres, diminuant successivement de grandeur, appliqués les uns sur les autres, et qui ont de l'analogie avec les creux que nous avons fait remarquer (79) sur les faces des cristaux; il y en a de carrées, de rhomboïdales, etc., suivant la forme des cristaux qui se réunissent, et l'espèce des faces par lesquelles ils s'accolent. Ces trémies ne se trouvent pas dans la nature, mais elles se forment journellement dans les ateliers où l'on prépare les différentes espèces de sels, et principalement à la surface des chaudières d'évaporation. On voit d'abord paraître un petit cristal *a*, fig. 37, à la surface du liquide, dans lequel il

s'enfonce presque en totalité, ne laissant qu'une de ses faces à découvert : ce cristal devient un centre, autour duquel il s'en forme continuellement de nouveaux qui, en se joignant de manière que leurs bords inférieurs touchent les bords supérieurs du cristal initial, produisent ainsi une espèce de cadre. Il résulte de là une petite masse creuse qui s'enfoncé un peu plus dans le liquide, et dont les bords s'élèvent encore par la réunion de nouvelles molécules autour des précédentes, et ainsi de suite.

L'angle que ces espèces de pyramides présentent au sommet, dépend du plus ou moins de densité du liquide à la surface duquel elles se forment ; plus ce liquide est dense, moins le cristal initial s'enfoncé, et plus les petits cristaux qui forment le premier cadre se placent près de ses bords inférieurs ; le même effet a lieu pour la petite masse creuse que produit ce premier groupement, et de là il résulte que l'angle de la pyramide est plus obtus que si le liquide avait été moins dense, et que le cristal initial ait pu s'y enfoncer davantage.

---

---

## CHAPITRE II.

### DES FORMES IRRÉGULIÈRES, OU ACCIDENTELLES, DES MINÉRAUX.

(90) Si les substances minérales affectent un grand nombre de formes qui offrent toute la régularité géométrique, elles en présentent aussi beaucoup d'autres qui en sont tout-à-fait dépourvues, et qui peuvent être généralement regardées comme accidentelles, quoique dans plusieurs d'entre elles on aperçoive encore des traces de cristallisation plus ou moins troublées par des circonstances extérieures. Ces formes irrégulières sont produites par des groupements irréguliers, par certains mouvements imprimés aux liquides chargés de particules matérielles, ou à la matière même réduite à l'état pâteux, par la résistance des milieux où les matières se consolident, par l'agglutination des matières meubles, par des solutions chargées de diverses substances, par incrustation sur des corps étrangers, par moulage des matières dans des cavités préexistantes, par des décompositions chimiques en vertu desquelles une matière se substitue à une ou à plusieurs autres. Ces dernières circonstances donnent lieu à des formes étrangères au minéral qui les présente, que l'on peut nommer *formes empruntées*. Enfin il y a des formes qui sont produites par retrait. Nous allons fair

connaître les diverses modifications que présentent les matières inertes, en les prenant à peu près dans l'ordre que nous venons d'indiquer.

(91) *Formes produites par groupements irréguliers.* — Les cristaux, en se groupant irrégulièrement, donnent lieu à des *masses globuleuses*, pl. IX, fig. 39, plus ou moins hérissées de pointes cristallines à la surface, qui sont *arrondies*, plus ou moins *ovoïdes*, tantôt isolées, tantôt réunies plusieurs ensemble, et produisant des configurations *réniiformes*, *uviformes*, etc., tantôt appliquées sur d'autres corps, et n'offrant que des demi-globules, quelquefois en grand nombre, les uns à côté des autres, et que l'on désigne alors par l'épithète *mamelonné*. Ces sortes de groupements, qui sont produits par des cristaux de tous les systèmes cristallins, sont fort communs dans la nature, et se présentent particulièrement dans le sulfure de fer, le carbonate bleu de cuivre, le quartz, l'arragonite, etc., etc.

Il arrive quelquefois que les globules, en se groupant les uns sur les autres, se déforment par leur pression mutuelle, et que quand ils viennent à se séparer, ils présentent des faces plus ou moins irrégulières qui les font ressembler plus ou moins à des cristaux. Le double carbonate de chaux et magnésie nous en offre un très bel exemple.

Ailleurs ces groupements produisent des configurations *lenticulaires* (Prehnite), *doliforme* (Carbonate de chaux), *cylindroïde* et *bacillaire*, par la réunion d'une multitude de prismes accolés parallèlement à leurs axes (Epidote, Tourmaline, Actinote, etc.). Dans tous ces cas, les cristaux, même à la surface extérieure du groupe, sont déformés, et plus ou moins arrondis sur leurs arêtes et sur leurs faces. Dans d'autres circonstances, les cristaux se groupent entre eux de manière à produire une espèce de petit arbre, fig. 38,

et leur réunion est alors désignée sous le nom de *dendrites* (de  $\Delta\epsilon\nu\delta\rho\sigma\nu$ , arbre). Tantôt les ramifications sont saillantes de toutes parts, et forment une touffe dont la masse offre les trois dimensions; tantôt elles s'étendent à la surface d'autres corps, précisément comme les *arborisations* ou *herborisations*, que nous voyons souvent se former sur nos vitres pendant l'hiver, par la congélation (cristallisation) de l'eau à leur surface. Quelquefois elles forment sur ces corps une pellicule assez épaisse; mais, dans d'autres cas, elles ne produisent qu'un enduit infiniment mince, qui ne se distingue que par la couleur, et dans lequel on ne peut reconnaître, du moins à la vue simple, aucuns cristaux. Il arrive quelquefois que l'herborisation se trouve dans la masse même d'un autre corps, comme si elle avait été enveloppée, après coup, par une matière qui se serait consolidée autour d'elle; ailleurs on voit qu'elle est le résultat d'une infiltration de liquide dans une fissure étroite, et l'on serait alors porté à croire que les ramifications sont plutôt l'effet d'une action mécanique que celui de la cristallisation.

On doit rapprocher des groupements dendritiques, certaines configurations que l'on a comparées à des têtes de choux-fleurs, de champignons, aux folioles et aux bractées des plantes; d'autres qui ressemblent à des lames d'épée (configuration désignée par l'épithète *spiculaire*), ou qui rappellent d'une manière plus ou moins grossière des rhomboédres, des dodécaèdres aigus, etc., etc. Toutes ces masses ne sont en effet que des groupements de cristaux, comme les dendrites dont nous avons parlé, mais plus ou moins émoussés, plus confus, plus défigurés par les circonstances qui accompagnent ou produisent le groupement: ce sont plutôt des aiguilles entrelacées, que des cristaux déterminés. C'est encore au même mode de groupement qu'on doit rapporter les

configurations minérales, qu'on désigne par l'épithète *coralloïde* : ce sont des accumulations de petites aiguilles qui sont comme implantées plus ou moins obliquement autour d'un axe, et dont la réunion donne lieu à des petits cylindres, tantôt droits, tantôt contournés, qui s'anastomosent les uns sur les autres dans tous les sens, et dont l'ensemble constitue une masse branchue, irrégulière, comme les rameaux de corail, fig. 40. Ces touffes, qui ressemblent à certaines végétations, s'élèvent à la surface du sol, dans les galeries de mines, ou pendent aux parois latérales des cavités souterraines; rarement, à ce qu'il paraît, elles se forment aux parois supérieures. On ne connaît guère de groupements coralloïdes, que dans le carbonate de chaux, arragonite, dans le sulfate de chaux des solfatares, et dans quelques sels solubles, qui se forment dans les mines par la décomposition de diverses matières.

Enfin il faut rapprocher des configurations accidentelles produites par groupements, et en quelque sorte comme variétés oblitérées des groupements en tremies, certains cornets calcaires, qui se forment dans les cavités souterraines très aérées, à la surface des eaux chargées de carbonate de chaux. Ces petits godets arrondis, plus ou moins profonds, quelquefois semblables à des petites coupes, se forment absolument comme les tremies; il paraît d'abord à la surface de l'eau une rondelle extrêmement petite, dont les bords s'élargissent successivement à mesure qu'elle s'enfonce dans le liquide, et qui peu à peu devient un cône dont l'angle est plus ou moins obtus.

Telles sont les principales configurations produites par des groupements: elles nous présentent en quelque sorte les dernières traces de la cristallisation plus ou moins troublée par des causes étrangères; car dans les formes qu'il nous reste à faire connaître, nous verrons



les lois qui sollicitent les particules des corps à se réunir symétriquement, être tout-à-fait interrompues, et la matière abandonnée entièrement à l'influence des causes extérieures.

(92) *Formes produites par mouvement des liquides chargés de particules matérielles.* — Ces formes sont les stalactites, les stalagmites, et les globules à couches concentriques.

On nomme *stalactites* (du grec  $\sigma\tau\alpha\lambda\alpha\zeta\omega$ , tomber goutte à goutte) des dépôts qui se forment, à peu près verticalement, à la paroi supérieure des cavités souterraines, par la stillation des eaux chargées de diverses matières. Ce sont ordinairement des cônes allongés, des cylindres creux ou pleins, le plus souvent droits, rarement courbes, dont la surface est tantôt lisse, tantôt onduleuse ou garnie de cristaux confus. Ces formes tiennent uniquement au mouvement de haut en bas de l'eau qui suinte de la paroi, et qui dépose dans cette direction les particules de matière dont elle est chargée. Les premières gouttes qui arrivent à la voûte de la cavité, en perdant un peu de leur volume par l'évaporation, laissent un petit anneau de matière solide, qui s'accroît peu à peu par les gouttes suivantes, et produit bientôt un tube à parois minces. Les parois de ce tube se recouvrent de nouvelle matière à mesure que l'eau passe sur elles; mais l'intérieur, toujours très petit, se remplit promptement, et bientôt l'extérieur prend seul de l'accroissement: il en prend davantage à la partie supérieure, où l'eau commence toujours par déposer avant d'arriver plus bas, et c'est de là que résulte la forme conique de la masse, fig. 41.

Les matières qui donnent lieu à la formation de la stalactite, sont tantôt en solution complète dans le liquide qui les charrie, tantôt simplement en suspension et quelquefois à l'un et l'autre état. Dans le premier

cas, ces matières cristallisent confusément à mesure qu'elles se déposent, et la masse de la stalactite a une structure cristalline; dans le second elles forment seulement des pellicules plus ou moins solides, qui se recouvrent successivement, et la structure de la stalactite n'offre plus rien de cristallin. Il arrive assez fréquemment alors que ces pellicules successives n'adhèrent pas ensemble dans toute leur étendue, et qu'elles laissent entre elles des espaces vides, qui donnent à la stalactite une structure exfoliée, d'où résulte, dans toute la masse, une faible consistance. Dans quelques circonstances, il y a alternance de couches cristallines et de couches plus ou moins terreuses.

Les stalactites se recouvrent souvent, à leur extrémité, de cristaux qui se groupent confusément, et produisent des masses dendritiques, fongiformes, etc., que nous avons indiquées précédemment, ou des rondelles cristallines. Cela arrive, à ce qu'il paraît, lorsque la partie inférieure de la cavité peut se remplir d'eau, et que la stalactite en atteint la surface; son extrémité plongée devient alors un centre d'attraction, où se réunissent, par cristallisation, toutes les particules de matière minérale. On rencontre assez souvent des stalactites qui présentent de ces groupements en différents points de leur longueur, ce qui semble indiquer différents niveaux successifs du liquide dans lequel elles ont plongé. Dans d'autres cas, la stalactite ne présente qu'une seule rondelle, cristalline en dessus, ou formée en totalité de cristaux, et plate en dessous; il paraît, dans ce cas, que la cristallisation s'est étendue à la surface même du liquide.

Les stalactites se forment journellement dans les galeries des travaux des mines, dans les cavités des roches, et principalement dans les grottes ou cavernes, où elles présentent mille dispositions qui excitent toujours

l'admiration des curieux. Toutes les substances minérales peuvent affecter cette forme; mais il n'en est qu'un petit nombre qui les présentent fréquemment, tels sont particulièrement le carbonate de chaux (dans les grottes), les oxides et les hydroxides de fer et de manganèse dans les galeries des mines, différents minerais métalliques, le quartz, la calcédoine et l'opale dans quelques petites cavités des masses minérales, etc.

*Stalagmites.* Les gouttes qui tombent sur le sol y forment aussi une autre sorte de dépôt, qu'on nomme plus particulièrement stalagmites, et qui présente des protubérances, ou *mamelons*, plus ou moins élevées; ces dépôts finissent quelquefois par se joindre avec la stalactite, et par former ainsi, dans la cavité, des espèces de colonnes irrégulières qui semblent disposées tout exprès pour soutenir la voûte. Les suintements qui ont lieu sur les parois latérales des cavernes produisent aussi des dépôts saillants, isolés, de peu d'épaisseur, qui sont ondulés, festonnés, plissés de toutes les manières, et qui représentent grossièrement des draperies.

*Les formes globuleuses à couches concentriques* nous offrent un autre exemple de ce que peuvent produire les circonstances extérieures : ces globules sont le résultat d'un mouvement imprimé au liquide au moment où les particules matérielles s'en précipitent. On en voit tous les jours, de la grosseur d'un pois ou d'une noisette, se former de la sorte dans les eaux chargés de particules calcaires, comme à Karlsbad en Bohême, où il en existe des amas considérables, à Vichy en Auvergne, à Saint-Philippe en Toscane, etc. Les petits grains de sable mobile sur lesquels les eaux passent, et qu'elles font continuellement mouvoir, se recouvrent de tous côtés de pellicules successives de la matière qui se dépose,

et qui se consolide en vertu des lois de l'attraction de cohésion. Il en résulte des globules qui s'accroissent successivement par de nouvelles couches, jusqu'à ce que, devenus trop lourds, ils tombent au fond du liquide, où souvent ils sont agglutinés entre eux. Souvent ces globules ont, par conséquent, un petit grain de matière étrangère à leur centre; mais ce n'est pas une condition essentielle, car le petit noyau par lequel le globule commence, peut n'être que le résultat d'une première réunion de quelques particules de la substance qui se dépose, auquel cas il est impossible de le distinguer des couches qui le recouvrent.

Ce que nous voyons ainsi se faire sous nos yeux, tend à nous expliquer la formation de certaines masses minérales, toutes composées de petits globules tantôt à couches concentriques, tantôt compactes, qui sont extrêmement répandues à la surface du globe : tels sont le carbonate de chaux oolitique, et les minerais de fer en grains.

Il y a cependant des substances dans lesquelles il est bien difficile d'admettre un pareil mode de formation : tel est par exemple l'orpiment, que l'on ne rencontre en globules testacés accumulés les uns les autres, qu'en trop petites masses, au milieu des mêmes matières bien cristallisées, pour y supposer un mouvement de liquide; on pourrait soupçonner que la forme est ici un effet de retrait, comme nous le verrons plus tard.

*Grenaillement.* On doit rapprocher de ces formes globuleuses formées de couches concentriques, un autre genre de formes arrondies, produites aussi par le mouvement des eaux. Les globules sont alors entièrement compactes, autant du moins que le permet leur état de cohésion, qui est souvent terreux. Ils sont produits par une espèce de grenaillement des petites portions

de matières arrachées aux dépôts sur lesquels les eaux roulent, et qui bientôt sont arrondies par leur frottement mutuel.

C'est à une circonstance semblable que sont dus les *cailloux roulés*, qui ne sont que des fragments des matières minérales, détachés des montagnes, entraînés par les torrents et les rivières, et qui s'arrondissent successivement par le frottement des uns sur les autres. Nos torrents, nos rivières actuelles, les rivages de nos mers sujettes au flux et reflux, nous offrent continuellement des exemples de ces formations de cailloux roulés, et il en existe à la surface du globe des dépôts immenses, qui attestent les grandes révolutions dont la terre a été le théâtre.

Les matières fondues en coulant, comme les laves qui sortent d'un volcan, prennent souvent aussi, par suite du mouvement, des formes particulières; c'est ainsi que les scories présentent quelquefois des espèces de stalactites, de lames plissées et contournées de toutes les manières. Ces mêmes matières à demi-pâteuses, lancées par petites portions dans l'atmosphère, y prennent des formes plus ou moins arrondies, globuleuses ou ovoïdes, quelquefois creuses à l'intérieur, et qu'on a nommées *bombes volcaniques*. Il paraît que, dans certaines circonstances, ces portions de matières, en même temps qu'elles sont lancées directement dans l'atmosphère, reçoivent un mouvement de rotation plus ou moins vif sur elles-mêmes; il résulte alors de la force excentrique, que la matière prend la forme de deux cônes réunis base à base, et sillonnés, par des cavités plus ou moins profondes, dans le sens perpendiculaire à l'axe de rotation. C'est ainsi que l'on trouve des masses de matière vitreuse, projetées au loin des grands dépôts ignés, que tout porte à regarder comme ayant été lancées par des bouches ignivomes.

(93) *Formes produites par la résistance du milieu où les matières se sont consolidées.*— En examinant certaines formes de minéraux qui sont *arrondies, ovoïdes, tuberculeuses, noueuses*, et que l'on distingue sous le nom de *rognons* ou *configurations réniformes*, ou est conduit à penser qu'elles sont aussi le résultat de causes extérieures, qui proviennent surtout de la résistance que les matières au milieu desquelles elles se trouvent, ont opposée à l'aggrégation de leurs molécules sous d'autres formes. Il est évident que c'est là l'origine de certains rognons qui se forment dans les matières meubles, au moyen des liquides chargés de substances lapidescentes, qui filtrent au milieu d'elles, et en agglutinent les grains, jusqu'à une certaine distance, autour du point où ils ont pénétré : c'est une circonstance semblable à celle qui a lieu lorsque nous jetons quelques gouttes d'eau gommée sur un tas de sable fin. Mais il est plus difficile d'admettre une semblable formation dans les rognons dont la matière est tout-à-fait différente de celle qui constitue la couche au milieu de laquelle il se trouvent : comme, par exemple, dans les rognons de *silex*, ou *Pierre à fusil*, des dépôts calcaires, sur lesquels on a fait beaucoup d'hypothèses. On a supposé, par exemple, une infiltration de matière minérale qui serait venue remplir des cavités laissées par des animaux mous; mais on peut objecter qu'il existe de semblables rognons dans des terrains où l'on ne trouve aucuns débris d'animaux, dans des matières produites par le feu, et où, par conséquent, on ne peut pas admettre de débris organiques; que ces rognons, d'après ce que nous connaissons des animaux mous, ne pourraient jamais être que d'un volume peu considérable, tandis que, dans diverses circonstances, la nature nous en offre d'un très grand volume, dont

il faut que l'hypothèse explique la formation. Ces objections m'ont fait adopter une autre manière de concevoir le phénomène. Il me paraît évident, d'après la manière dont ces rognons se trouvent dans la nature, la manière dont ils se confondent souvent petit à petit avec la roche qui les renferme, qu'ils ont été formés dans le même temps que la masse où ils se trouvent, et non par infiltrations postérieures. Je conçois que le dépôt qui a formé la couche, était comme imbibé d'une solution de la matière des rognons, et qu'au moment de la consolidation du tout, il s'est fait, en différents points, une élection de parties : les particules de la matière étrangère se sont réunies en vertu de l'attraction moléculaire ; mais gênée par la consistance du dépôt environnant, qui pressait de tous côtés sur elle, la masse qu'elles formaient, au lieu de prendre une figure régulière, a dû prendre celles de boules, d'amas noueux, tuberculeux, tels que nous les voyons. Plusieurs observations tendent à faire penser que ces matières n'ont pu former des groupements globuleux de cristaux, parce qu'elles se trouvaient à l'état de gelée ; en effet, j'ai observé plusieurs fois des rognons siliceux (opale) qui étaient encore mous dans leur gîte, et qui se sont consolidés dans les collections, en se gerçant comme une matière qui se dessèche. On peut remarquer que l'alumine ou la silice en gelée, que l'on prépare dans les laboratoires, produisent, en se desséchant, des matières translucides d'un certain degré de dureté, qui ressemblent beaucoup à certaines variétés d'opale.

Quelquefois les rognons sont creux à l'intérieur, et ils prennent alors le nom de *géodes*. Il arrive assez souvent que les parois de la cavité qu'ils présentent sont tapissées de cristaux ou de stalactites, tantôt de la

même nature que l'enveloppe, tantôt de nature différente. Quelquefois aussi cette cavité est occupée par une matière compacte ou terreuse, qui souvent ne la remplit pas entièrement, et que l'on entend alors remuer dans l'intérieur de la géode, lorsqu'on la fait mouvoir : certains minerais de fer, qui offrent ces accidents, sont désignés communément sous le nom de *pierres d'aigle*.

*Formes capillaires accidentelles.* — Les formes capillaires ne sont pas toujours un résultat de cristallisation, comme celles que nous avons déjà indiquées (77) ; on est souvent forcé d'admettre qu'elles sont entièrement dues à des causes tout à fait étrangères, surtout dans les substances métalliques pures. D'abord, en examinant les filets déliés que ces corps présentent, on n'y peut découvrir aucun indice de facettes régulières ; d'un autre côté, ils se produisent quelquefois dans des circonstances où il n'est guère possible d'admettre un jeu de cristallisation. Il se forme souvent, par exemple, de tels filets, dans les scories des fourneaux où l'on fond les minerais de cuivre, et ils y sont évidemment produits par une cause tout à fait mécanique : en effet, la matière vitreuse de ces scories se consolide toujours avant les globules métalliques qu'elle renferme, et on conçoit que, diminuant alors de volume, elle doit exercer une pression sur le métal encore liquide, et le forcer à s'échapper par les pores, en petits filets qui se portent à la surface ou dans les boursoufflures vides. Une circonstance analogue a lieu lorsqu'on place un morceau de minerai d'argent à l'entrée de la moufle d'un fourneau de coupelle ; le métal paraît bientôt à la surface sous la forme de filaments plus ou moins déliés qui se contournent de diverses manières, ce qu'on peut attribuer à ce qu'il se fond dans l'intérieur de l'échantillon, et qu'augmentant



alors de volume, il est forcé de s'échapper à l'extérieur par les petits pores, où il se configure comme s'il passait par une filière. Je ne sais jusqu'à quel point on peut supposer de semblables opérations dans la nature; ce qu'il y a de certain, c'est qu'on ne peut souvent expliquer autrement la production des filaments métalliques qu'on y observe, et qui n'offrent à l'extérieur aucune trace de cristallisation régulière, comme on le voit dans l'argent métallique, qu'on trouve quelquefois en filets aussi déliés que des cheveux, dans le sulfure d'argent, etc.

On voit aussi se former, par la voie humide, des filaments analogues, à la surface de différents corps, d'où l'on serait porté à concevoir qu'ils sont sortis par l'effet d'une pression, si la matière dont ils sont formés était susceptible, comme les métaux, de se trouver à un certain état pâteux, et, comme eux, de se consolider subitement après son expulsion. Mais ce phénomène paraît avoir lieu d'une tout autre manière; ces filaments se forment à la surface des corps poreux pénétrés préalablement par un liquide qui renferme une substance en solution. Par chacun des pores, il arrive à la surface une gouttelette de ce liquide, qui y dépose une molécule de matière solide en s'évaporant; une autre goutte, en venant par le même chemin, amène une autre molécule matérielle sous la première, qui se trouve alors poussée en avant; une troisième pousse les deux autres, et ainsi de suite, de sorte qu'en très peu de temps il en résulte un filament qui semble être sorti tout formé de l'intérieur du corps sur lequel il repose. On peut facilement s'assurer que c'est bien à sa partie inférieure que ce filament s'accroît, en colorant, d'une manière quelconque, son extrémité au moment où il commence à paraître. Ces espèces de filaments se présentent dans le gypse, dans

le carbonate de chaux, dans le sel commun, etc.; quelquefois il s'en réunit un grand nombre ensemble, et parallèlement entre eux, et il en résulte de petits groupes, placés à la surface des autres corps, et fréquemment *contournés en crosses*.

(94) *Formes produites par agglutination.* — Les eaux qui renferment des matières pierreuses en solution, venant à filtrer dans des matières meubles, consolident fréquemment ces matières, leur font prendre des configurations réniformes, comme nous l'avons déjà indiqué (93), ou les entraînent même dans leur cristallisation, en les forçant alors à prendre une forme régulière qui leur est absolument étrangère. Parmi ces derniers accidents, il n'en est pas de plus frappant que le grès cristallisé de Fontainebleau, qui affecte une forme propre au carbonate de chaux; il est produit, en effet, par l'infiltration d'une solution calcaire au milieu des sables fins qui font partie des grès de la forêt de Fontainebleau. Ces sables sont entraînés dans la cristallisation du sel, qu'on rencontre quelquefois pur à côté des cristaux les plus mélangés, et s'y trouvent en quantité plus ou moins considérable, quelquefois jusqu'à 80 pour 100. Plusieurs substances pierreuses entraînent aussi diverses matières dans leur cristallisation; mais, comme la plupart sont insolubles dans les acides, on ne peut plus s'en assurer que par des passages de la matière pure à la matière souillée, ou par la couleur accidentelle qui résulte du mélange, et qui est en rapport avec celle des matières où les cristaux se sont formés. On trouve ces exemples dans l'axinite, le feldspath, dont les cristaux se sont formés au milieu des dépôts de mica verdâtre, ou chlorite. Le quartz, cristallisé au milieu des matières argilo-ferrugineuses, est encore dans le même cas.

(96) *Formes produites par incrustation.* — Les eaux chargées de matière quelconque en solution, les déposent fréquemment aussi sur tous les corps qu'elles rencontrent, tantôt sous la forme de sédiment sans apparence cristalline, tantôt en cristaux bien distincts.

Les incrustations sédimentaires se font sur les plantes et les animaux qui se trouvent dans ces eaux, ou sur leur passage. Ces corps se recouvrent par conséquent d'une croûte matérielle plus ou moins épaisse, d'où il résulte des masses extérieurement pierreuses, qui les représentent plus ou moins parfaitement. Ces incrustations ont lieu très fréquemment dans la nature, par les eaux qui sourdent des montagnes calcaires, et qui sont alors chargées de carbonate de chaux. Plusieurs sources, en France et ailleurs, se trouvant à la portée des routes, sont particulièrement renommées pour ces effets; les paysans ont soin d'y placer des nids d'oiseaux, des petits paniers de fruits, etc., qui s'incrustent en très peu de temps, et qu'on vend aux voyageurs, sous le nom fort impropre de pétrification.

*Bas-reliefs du docteur Vegny.* — On a tiré un parti beaucoup plus ingénieux de ces eaux incrustantes, aux bains de Saint-Philippe en Toscane, où la matière calcaire qu'elles renferment est d'ailleurs très pure et d'un très beau blanc. Le docteur Vegny eut l'heureuse idée de faire jaillir ces eaux sur des moules exécutés avec un certain soin; la matière qui s'y dépose en reçoit alors l'empreinte, et, après en être séparée, présente un bas-relief aussi net que si on l'eût sculpté sur le marbre.

*Incrustations cristallines.* — Ces incrustations se font d'une manière fort différente, et toujours sur des substances minérales. Il arrive fréquemment que des substances qui ont cristallisé à une certaine époque, servent de support à celles qui cristallisent ensuite;

celles-ci les recouvrent alors de petits cristaux, qui se placent symétriquement à côté les uns des autres, et qui, enveloppant les premiers en tout ou en partie, en offrent alors la forme extérieure. Les plus beaux exemples que nous possédons de ces sortes de formes étrangères, sont ceux que nous présente le double carbonate de chaux et magnésie du Mexique, dont les cristaux très petits sont groupés très exactement sur du carbonate de chaux ordinaire. Le quartz, ou cristal de roche, les sulfures de fer et de plomb, l'oxide de fer, etc., incrustent quelquefois de la même manière, diverses substances minérales, et ces substances venant à se détruire, comme il arrive assez souvent, il reste des carcasses formées par la matière qui les a incrustées.

(97) *Formes produites par moulage.* — Les cavités de diverses sortes qui se trouvent dans l'intérieur des roches servent fréquemment de réceptacles aux eaux chargées de diverses matières qui filtrent à travers les masses minérales, et se remplissent petit à petit d'une substance ou d'une autre, qui en prend exactement la forme. Quelquefois ce sont des cavités naturelles, comme les cellules que présentent certaines roches, dont la forme est plus ou moins exactement arrondie. La substance qui s'y est modelée offre alors de petites masses arrondies, que l'on confond assez facilement avec les rognons dont nous avons parlé précédemment : ces petites masses sont aussi tantôt pleines, tantôt creuses à l'intérieur, et, dans ce dernier cas, où elles prennent de même le nom de géode, la surface interne est fréquemment tapissée de cristaux ou de stalactites : quelquefois leur cavité est remplie d'eau. La calcédoine, le carbonate de chaux, une grande partie des substances réunies jadis sous le nom de zéolites, se trouvent ainsi dans la nature, et font alors partie des roches qu'on a nommées *amygdaloides*.

*Moules de coquilles, etc.* — Dans d'autres cas, les cavités dont certaines roches sont criblées, sont dues à des coquilles, ou autres corps organisés creux, enfouis dans le sein de la terre, dont l'intérieur sert de moule aux matières qui se déposent : la masse consolidée prend alors le nom de *moule intérieur*. Ailleurs ces cavités sont le résultat de la destruction des corps organisés, coquilles, madrépores, plantes, etc., qui se trouvaient empâtés dans la roche, et qui y ont laissé leur empreinte en creux ; la matière qui vient s'y mouler présente alors la figure extérieure de ces corps, ou leur *moule extérieur*. On doit distinguer aussi la simple impression du corps qui reste sur la roche, lorsqu'en la brisant le moule ou le corps lui-même se trouve détaché : il y a des impressions de coquilles, de poly-piers, de plantes, etc., etc. Il ne faut pas confondre ces moules avec des coquilles qui ont conservé leur test, et dont l'intérieur peut être vide ou rempli, comme cela a lieu ordinairement, d'une matière ou d'une autre. Ces sortes de formes empruntées sont très communes dans la nature, la plus grande partie appartiennent au carbonate de chaux, le reste à la calcédoine, à l'hydroxide de fer et à un très petit nombre d'autres substances minérales.

*Moules de cristaux.* — Il arrive assez fréquemment aussi que des cristaux de diverses substances empâtés dans les roches se trouvent détruits par une cause ou par l'autre ; il en résulte une cavité régulière, et la matière qui vient la remplir prend alors une forme propre au règne minéral : on ne peut savoir que cette forme est empruntée, que dans le cas où elle est différente de toutes celles que le corps actuel est susceptible de prendre.

(98) *Formes produites par substitution graduelle d'une substance à une autre.* — Il existe des formes em-

pruntées, produites d'une manière fort différente de toutes celles que nous venons de faire connaître; elles résultent de la substitution d'une substance à une autre par une opération chimique, sans que la forme de la première soit cependant détruite. Tantôt tous les principes constituants de l'ancien corps sont expulsés dans cette opération, comme dans le cas où du quartz est substitué à du carbonate ou du sulfate de chaux; tantôt quelques-uns d'eux sont seulement remplacés par d'autres. Ce dernier cas se présente fréquemment dans les minéraux, qui se trouvant, dans le sein de la terre, exposés à des vapeurs de différents genres, baignés par des liquides qui tiennent en solution des corps de toutes espèces, etc., subissent des changements extrêmement remarquables. Le résultat de cette opération a été nommé *épigénie* (engendré sur une autre) par Haüy, et il en existe un très grand nombre d'exemples dans la nature. On trouve des sulfures de fer convertis en oxide ou hydroxide, des phosphates et carbonates de plomb convertis en sulfures, des sulfates de chaux en sulfate de strontiane, etc., etc. La plupart de ces changements paraissent devoir se faire par de doubles décompositions, en vertu des lois de l'affinité chimique, et nous pouvons nous-mêmes en provoquer de diverses manières. Par exemple, en plaçant un cristal de sulfate de cuivre dans de la craie pulvérisée un peu humide, on observe, après peu de temps, que sa surface est convertie en sulfate de chaux; d'où il suit qu'à la longue il passerait entièrement à cet état. Des cristaux de carbonate de plomb, exposés à des vapeurs d'hydrogène sulfuré, se convertissent en sulfure de plomb sans perdre leur forme; de même un cristal de carbonate de potasse, placé dans une atmosphère de gaz hydrochlorique qui peut se renouveler, se convertit, au moins à sa surface, en chlorure de potassium.

Dans la plupart de ces transformations, la structure du corps qui a servi de type a entièrement disparu, et le plus souvent le nouveau corps affecte une structure irrégulière, lamellaire, fibreuse, etc. Cependant il existe quelques exemples de conservation de la structure ancienne dans le nouveau corps.

Ces sortes de substitutions de minéraux à d'autres minéraux, sont peu nombreuses dans la nature et n'ont lieu qu'entre un très petit nombre de matières. On trouve du quartz, de la calcédoine, du peroxide et de l'hydroxide de fer, substitués à du carbonate de chaux; de la stéatite, des terres vertes, substituées à du feldspath ou de l'augite; du carbonate de cuivre substitué à de l'oxide de ce métal; de l'oxide de fer substitué à des sulfures; du sulfure de plomb substitué à du phosphate, du carbonate de la même matière. Mais il y a un grand nombre de substances minérales qu'on n'a jamais trouvées dans ce cas.

*Véritables pétrifications.* — Nous venons de voir des substances minérales, détruites en tout ou en partie et remplacées par d'autres; il est probable que c'est par une opération analogue, que le test des coquilles, les madrépores, etc., qui sont de nature calcaire, se changent quelquefois, dans le sein de la terre, en matière différente, le plus souvent siliceuse: circonstance qu'il faut bien distinguer de celle où cette même matière a rempli les cavités de ces corps, ou les moules qu'ils avaient laissés dans les roches par leur destruction. Il est probable que c'est aussi de la même manière, quoique cela soit plus difficile à concevoir, que se fait la pétrification des animaux mous et des bois qui se trouvent enfouis dans les différentes couches du globe. Dans tous ces cas, la pierre présente non-seulement la figure extérieure du corps, ce qui pourrait n'avoir lieu que par un simple moulage, mais encore toute son organisation inté-

rieure, et d'une manière si exacte, qu'on peut en reconnaître tous les détails. Ce sont là les véritables pétrifications : toutes les formes produites par incrustation d'un corps, par moulage dans une cavité quelconque, n'en méritent pas le nom, et ne l'ont reçu que par un abus du mot, ou parce qu'on n'a pas fait assez d'attention à la grande différence de leur origine. Les matières que l'on trouve ainsi substituées à des corps organisés, sont très peu nombreuses : le plus souvent, c'est la calcédoine que l'on trouve substituée à des animaux ou à des végétaux ; l'opale, le carbonate de fer, substitués à des végétaux seulement ; le carbonate de chaux, le sulfure de cuivre et le sulfure de fer sont aussi, mais bien plus rarement, substitués à des corps du règne végétal.

(99) *Formes produites par retrait.* — Les matières pâteuses, en se desséchant, les matières fondues en se refroidissant, se gercent, se fendent de diverses manières, et donnent ainsi lieu à des fragments polyédriques qui approchent plus ou moins de la régularité. Il s'en trouve en parallépipède rectangle, en parallépipède rhomboïdal ou obliquangle, en prisme à 3, 4, 5, 6, 7, 8 pans, en espèce de pyramide plus ou moins aiguë, à base triangulaire, etc. Beaucoup de substances minérales nous en offrent des exemples : la houille ou charbon de terre, le schiste argileux, sont fréquemment divisés en parallépipèdes rectangles ou rhomboïdaux, pl. IX, fig. 44 ; le basalte, l'hydroxide de fer qui a été chauffé lentement, offrent souvent des prismes à six pans, fig. 43, etc. Parmi ces formes, il n'en est pas de plus remarquables que celles qu'on a observées dans les marnes de Montmartre, près Paris ; ces marnes sont divisées, çà et là, en six pyramides quadrangulaires, dont les sommets se réunissent en un centre commun, fig. 42. On a pensé que cet effet était



le résultat de la pression des couches qui se trouvent au-dessus de celle où l'on observe le phénomène, parce qu'il est absolument le même que celui qu'on produit par une forte pression sur des cubes de matière homogène; mais on peut remarquer qu'au centre de ces masses naturelles, et entre les faces des pyramides, il existe toujours un vide assez considérable, qui annonce un retrait de la matière; c'est à ce retrait que le phénomène me paraît devoir être entièrement attribué. On remarque assez souvent des divisions analogues dans l'intérieur des matières en rognons, et il en résulte des pyramides triangulaires ou quadrangulaires, dont la base est une surface curviligne. Ce sont ces mêmes retraits qui, en laissant entre les différentes pièces des vides que des matières différentes viennent remplir, produisent ce que l'on a nommé *ludus*, ou *ludus Helmontii*, qui ont eu pendant long-temps une grande célébrité comme amulettes, auxquelles on attribuait des propriétés merveilleuses.

(100) Après ces diverses configurations il n'existe plus que de grandes masses, qui constituent des couches, des amas, etc., à la surface de la terre, et dont la forme, quelquefois importante à considérer, regarde plus particulièrement la géologie.

---

---

## CHAPITRE III.

### STRUCTURE DES MINÉRAUX.

(101) LA structure, dans les minéraux, est quelquefois évidemment une propriété inhérente à ces corps; mais souvent aussi elle dépend d'une multitude de circonstances accidentelles, comme du groupement irrégulier des cristaux, d'une agrégation confuse de particules matérielles, de l'accroissement des corps par des couches successives, du retrait opéré dans les masses déposées à l'état pâteux, ou du dégagement de quelque matière gazeuse de leur sein. Il faut donc distinguer des *structures propres* et des *structures accidentelles*; mais les structures propres se divisent encore en *structures propres régulières* et *structures propres indéterminées*.

(102) *Structure propre, régulière.* — Ce n'est que dans les minéraux cristallisés régulièrement à l'intérieur qu'on observe une structure propre, et qui paraît dépendre de leur nature: elle se manifeste à nos sens par la manière dont ces corps se brisent lorsqu'on les soumet à l'action d'une force quelconque. Il en est un assez grand nombre, et ce sont ceux dont nous regardons la structure comme régulière, sur lesquels il suffit de frapper légèrement, avec un corps dur, pour provoquer dans leur intérieur des fissures planes,

lisses, qui, dans la même espèce, se trouvent constamment dirigées dans le même sens. Dans quelques-uns, ces divisions sont en nombre et en positions tels, qu'elles forment, par leur intersection, des solides terminés de toutes parts, comme des cubes, des octaèdres, des tétraèdres, des rhomboèdres, ou des prismes à trois, quatre et six pans. Quelquefois ces divisions sont toutes également nettes, et toutes assez prononcées pour que les petits solides auxquels elles conduisent puissent se séparer immédiatement; mais souvent aussi il en est parmi elles qui sont beaucoup moins nettes que les autres, qui ne se manifestent qu'avec difficulté, et même qui ne sont plus qu'indiquées, soit par des stries à la surface du corps, soit par des reflets intérieurs qu'on aperçoit à une vive lumière; jamais on ne les obtient par la cassure. Dans plusieurs corps, les divisions qui s'obtiennent facilement, réunies avec celles qui ne sont qu'indiquées, ne sont plus même en nombre suffisant pour produire des solides terminés dans toutes leurs dimensions. Il arrive fréquemment dans les prismes, par exemple, qu'il n'y a que les faces latérales qui soient indiquées, et que les bases restent tout-à-fait indéterminées; souvent même il n'y a que quelques-unes de ces faces qui se manifestent avec facilité, les autres sont seulement indiquées par des stries ou par des reflets intérieurs, ou ne le sont pas du tout. Il y a aussi beaucoup de corps qui ne sont susceptibles de divisions que dans un seul sens, suivant lequel elles peuvent se répéter parallèlement un nombre de fois plus ou moins considérable; tantôt ces divisions sont parfaitement nettes, tantôt elles sont seulement indiquées d'une manière plus ou moins distincte.

Les corps à structure régulière sont souvent désignés sous le nom de *corps laminaires*, parce qu'au

moyen de deux divisions successives dans le même sens, beaucoup d'entre eux peuvent être partagés en lames plus ou moins épaisses à faces parallèles; c'est sous cette forme que certains minéraux se présentent fréquemment dans nos collections, parce que, se trouvant en trop grande masse dans la nature, nous sommes forcés d'en détacher quelques fragments, qui se séparent alors dans le sens des divisions. Il y a des substances qui se divisent avec la plus grande facilité en feuillets excessivement minces et flexibles; on les nomme, à cause de cela, substances à *structure feuilletée* (sulfate de chaux, mica): mais il ne faut pas confondre cette structure, qui est régulière, avec les structures feuilletées d'aggrégation, ou accidentelles (3).

(103) *Structure propre indéterminée.* — Nous venons d'indiquer des corps qui ne se divisent par des faces planes, que dans un seul sens; mais il en est aussi qui ne se divisent de cette manière en aucun sens, et qui ne présentent jamais, lorsqu'on les brise, que des fragments indéterminés: c'est ce qu'on observe par exemple dans le cristal de roche. Les corps qui présentent cette circonstance, sont désignés en général sous le nom de *corps compactes* ou à structure compacte; mais il faut bien distinguer la compacité qui a lieu dans certaines substances cristallines, et qui dépend alors de la nature même du corps, de celle qui est le résultat d'une agrégation de particules irrégulières extrêmement fines, ou de très petits cristaux, dont nous parlerons plus tard, que l'on doit regarder comme une structure accidentelle. Il est souvent difficile de distinguer ces deux compacités, et ce n'est souvent que par des passages à des structures d'aggrégations distinctes, que l'on peut établir la différence entre le second cas et le premier.

Les détails dans lesquels nous sommes entrés doi-

vent faire voir qu'il existe des corps qui sont compactes dans un ou plusieurs sens, et laminaires dans un ou plusieurs autres, et qu'il en est aussi qui sont laminaires dans tous les sens.

(104) *Constance de la structure régulière.* — La structure intérieure des minéraux cristallisés régulièrement est tout-à-fait indépendante de leur forme extérieure; elle est constamment la même dans tous les cristaux qui appartiennent à la même substance. Ainsi des cubes, des dodécaèdres rhomboïdaux, et une multitude d'autres formes dont le fluor (phlorure de calcium) est susceptible, donnent tous, par la division, des octaèdres et des tétraèdres. Tous les cristaux de carbonate de chaux se divisent de manière à produire un rhomboèdre particulier à cette espèce, quoique la plupart d'entre eux soient si différents les uns des autres, qu'il faut les avoir spécialement étudiés pour être certain qu'ils appartiennent à la même substance. On reconnaît même la structure régulière dans les formes oblitérées, comme dans les cristaux lenticulaires, cylindroïdes, même capillaires, lorsqu'ils appartiennent à une substance susceptible de divisions; les cristaux groupés, pris isolément, la représentent encore, quoique les faces puissent être plus ou moins déformées; enfin, il en existe des traces non équivoques dans plusieurs formes purement accidentelles, quoiqu'elle y soit plus ou moins masquée par les structures de groupement et d'accroissement, etc.

(105) *Importance de son observation.* — Il résulte de ces faits, que l'observation de la structure régulière, dans les minéraux où elle existe, doit être d'une grande importance en minéralogie. D'une part, elle conduit à distinguer immédiatement un grand nombre de substances les unes des autres, parce qu'il en est beaucoup dans lesquelles les formes produites par la division

sont tout-à-fait différentes; d'une autre, elle réunit, par un caractère commun, des cristaux très éloignés les uns des autres par leurs formes extérieures, et qu'on ne croirait pas d'abord pouvoir se rapporter à la même substance; enfin, elle peut servir à reconnaître les espèces de minéraux, dans une multitude de circonstances où il serait impossible de les distinguer de toute autre manière, par exemple, lorsqu'ils se trouvent disséminés en petites parties dans les roches. D'après ces considérations, les minéralogistes décrivent aujourd'hui avec soin les divisions dont les diverses substances sont susceptibles. Haüy, qui en a tiré un si grand parti pour la classification des minéraux, les indique sous le nom de *joints naturels*; mais il est passé généralement en usage de les désigner sous le nom de *clivage*, expression dérivée de l'allemand *klöben* ou *klôwen* (fendre du bois), et empruntée aux lapidaires, qui désignent ainsi l'opération par laquelle ils *refendent* le diamant, en profitant adroitement de ses divisions naturelles, pour enlever promptement les parties défectueuses, et éviter ainsi du travail à la meule.

(106) *Clivages essentiels et surnuméraires.*— On indique, en décrivant les substances, le nombre des clivages dont elles sont susceptibles, leurs différents degrés de netteté ou de facilité, leur direction, et aussi les angles que font entre elles les faces auxquelles ils peuvent donner lieu. Lorsque, dans une substance, il existe un grand nombre de clivages, ce qui arrive assez souvent, c'est à ceux qui sont les plus fréquents, les plus nets, ou qui donnent le solide le plus commode pour les considérations cristallographiques subséquentes, qu'on s'attache particulièrement; les autres sont indiqués sous le nom de *clivages surnuméraires*. Ceux-ci ont lieu tantôt dans le sens des diagonales des solides que forment les premiers, tantôt de toute autre ma-

nière, et il paraît qu'il y en a autant de possibles que la substance est susceptible de prendre de formes différentes; c'est-à-dire que toutes les divisions sont parallèles à des formes possibles en vertu des lois de cristallisation. On pourrait conjecturer que ces divisions surnuméraires sont fréquemment le résultat de l'agréation régulière de petits cristaux, de telle ou telle forme, dont, comme nous l'avons déjà dit, les gros cristaux sont généralement composés; elles seraient alors parallèles aux faces de jonction.

Les clivages surnuméraires pourraient être souvent négligés sans inconvénient dans les descriptions des espèces; mais il arrive quelquefois qu'ils deviennent plus apparents que les autres, dans les cristaux d'une même substance tirés de certaines localités: il faut donc les bien connaître pour n'être pas induit en erreur sur la nature de la substance, par la considération du solide qu'ils produisent, ce qui pourrait avoir lieu d'autant plus facilement que les clivages ordinaires deviennent souvent alors tout-à-fait nuls: nous en verrons plusieurs exemples dans le tableau des espèces.

(107) *Lois de netteté des clivages.* — On remarque en général que les clivages également nets, également faciles dans une substance, correspondent à des faces égales, et que de leur ensemble il résulte des solides dont toutes les faces sont semblables, et semblablement placées par rapport à un centre ou à un axe pris dans l'intérieur du polyèdre auquel ils donnent lieu. Lorsqu'il y a des clivages de netteté différente, ils correspondent à des faces de diverses grandeurs relatives; les moins nets, et les moins faciles à obtenir, se rapportent en général aux faces les plus étendues. Dans les substances qui se divisent en tétraèdres, en octaèdres réguliers, en cubes et en rhomboèdres, le clivage est également facile dans toutes les directions; il en est de

même des clivages qui correspondent aux pans des prismes à bases carrées, à bases rhombes, à bases triangulaires isocèles, à bases hexagonales régulières. Au contraire, dans les prismes à bases scalènes, comme les prismes rectangulaires, il y a ordinairement inégalité de netteté dans les clivages latéraux. Les bases des prismes s'obtiennent aussi par la division, avec plus ou moins de facilité que les pans, suivant qu'elles sont relativement moins larges ou plus larges qu'eux. Il en est de même des divisions en diagonale; elles sont plus ou moins nettes que les faces du solide où elles ont lieu, suivant que les faces qu'elles produisent doivent être relativement plus petites ou plus grandes.

Telles sont, en général, les lois que l'observation nous fait découvrir; mais il se présente quelquefois à cet égard des anomalies, comme nous l'avons vu dans les clivages surnuméraires, et dont il n'est pas toujours en notre pouvoir de trouver une explication.

(108) *Mode de clivage conduisant à un solide central ou noyau.* — Jusqu'ici nous avons supposé les divisions provoquées par une percussion faite au hasard sur le minéral; mais on peut aussi les faire méthodiquement, et elles démontrent alors, d'une manière encore plus remarquable, la structure intérieure des cristaux et les rapports qu'ont entre eux tous ceux qui appartiennent à une même substance. Aucune espèce minérale n'est plus propre à donner une idée nette de ce genre d'observation et de ses résultats, que le carbonate de chaux cristallisé. Dans cette espèce, tous les cristaux, différents du rhomboëdre qu'on obtient par division, sont susceptibles d'être *clivés* sur quelques-unes de leurs arêtes ou quelques-uns de leurs angles solides, que l'on peut enlever facilement au moyen d'une



lame de couteau un peu émoussée, et à la place desquels il paraît alors une facette extrêmement vive. Après avoir ainsi abattu une petite portion du cristal, on peut enlever une lame parallèle à la face produite, puis une seconde lame, une troisième, etc., toutes parallèles les unes aux autres, et donnant successivement lieu à une facette plus large. Cette sorte de division peut se faire suivant six positions, sur six angles solides ou sur six arêtes semblables; et, en la provoquant partout où elle est possible, en enlevant successivement des lames, on finit par faire disparaître toutes les faces qui formaient le cristal qu'on avait choisi, et par arriver au rhomboèdre dont nous avons déjà parlé, qui se présente alors comme un noyau au centre du cristal qu'on a brisé. Plusieurs autres substances sont susceptibles de semblables divisions, qui conduisent à un solide central particulier. Le fluor, par exemple, conduit toujours à un noyau octaèdre, quelle que soit la forme extérieure de ses cristaux. Un cristal cubique de cette substance, pl. II, fig. 14, se divise sur ses huit angles solides, et à la place de chacun d'eux il paraît une face triangulaire équilatérale, fig. 23; si l'on continue suffisamment la division, en enlevant successivement des lames, les plans triangulaires s'agrandissent; bientôt ils font disparaître les faces du cube, et on obtient un octaèdre complet pour résultat, fig. 41. Un dodécaèdre à plans rhombes, fig. 51, se divise sur ses huit angles solides trièdres, et on parvient de même à un octaèdre pour centre. D'autres substances, qui cristallisent comme le fluor, donnent, au contraire, un noyau cubique; tel est, par exemple, le sulfure de plomb. Un dodécaèdre rhomboïdal de cette substance ne se divise plus sur ses huit angles trièdres, mais sur les six autres angles formés chacun de quatre faces; ces six divi-

sions conduisent à obtenir un cube pour noyau, etc.

C'est cette manière d'opérer qui a conduit Haüy à sa belle théorie de la structure des cristaux, qui a renouvelé la face de la science; l'observation immédiate d'un noyau central dans un assez grand nombre de substances, l'a conduit à en concevoir théoriquement un semblable dans les substances mêmes qui se refusent à la division. Imaginant ensuite des lames décroissantes appliquées de diverses manières sur ce noyau, il rend compte de la formation des autres cristaux dans la même espèce; il calcule les dimensions relatives qu'ils peuvent avoir, et parvient même à prévoir l'existence de ceux qu'on n'a pas encore rencontré dans la nature. Nous reviendrons bientôt, avec détails, sur cette théorie, qui, quoique hypothétique, n'en conduit pas moins à lier entre elles toutes nos observations d'une manière extrêmement remarquable, et a donné lieu à un grand nombre de découvertes.

(109) *Structure irrégulière.* — Les structures dont nous venons de parler sont inhérentes aux substances qui les présentent; mais toutes celles dont nous devons actuellement nous occuper sont dues à des circonstances accidentelles. Il en est qui résultent d'une agrégation irrégulière de cristaux, ou de particules matérielles quelconques, qui peut avoir lieu de diverses manières, ce qui produit autant de variétés distinctes. D'autres sont dues à l'accroissement des minéraux par des couches qui se recouvrent successivement, dont le dépôt peut avoir lieu par des causes et dans des circonstances très variées. Il en est encore qui sont produites par le retrait qui s'opère dans les matières pâteuses par le dessèchement ou le refroidissement, et dans certaines matières solides par l'élévation de température. Le moulage dans des fissures où les matières minérales viennent cristalliser, la décomposition de

certaines substances renfermées dans d'autres, le dégagement des gaz du milieu des matières pâteuses, sont encore autant de causes de structures particulières dans les minéraux; enfin il faut distinguer les structures empruntées aux règnes organiques que l'on observe dans les pétrifications, dans les débris de végétaux enfouis dans le sein de la terre.

Les structures d'agrégation sont, de toutes les structures accidentelles, celles qui présentent le plus de variétés. On doit concevoir que quand des cristaux d'une même substance viennent, en se groupant les uns sur les autres, à s'arranger régulièrement en s'accolant par leurs faces homologues, sans laisser entre eux aucun intervalle appréciable, et de manière à s'agréger solidement, la masse qui en résulte doit présenter à l'intérieur la même structure propre que chacun d'eux en particulier. En effet, si la substance est, par exemple, susceptible de clivage, on conçoit que les divisions de l'un des cristaux doivent se prolonger immédiatement dans l'autre, sans aucun dérangement ni solution de continuité. Il n'en est plus de même lorsque l'une quelconque des conditions que nous venons d'énoncer vient à manquer; si la réunion ne se fait pas par des faces homologues, le même clivage ne peut plus se prolonger dans toute la masse; s'il y a quelque intervalle entre les cristaux, il s'aperçoit aussitôt, soit par les réfractions de la lumière, soit immédiatement à l'œil; s'il n'y a pas entre les cristaux adhérence aussi forte, au moins, qu'entre les particules même de chaque cristal, la masse devient susceptible de divisions tout-à-fait étrangères à sa nature. Les mêmes remarques s'appliquent à la réunion des cristaux oblitérés et des formes accidentelles quelconques qui, n'ayant pas de faces homologues, ne peuvent jamais s'agréger régulièrement. Toutes ces

circonstances doivent offrir une multitude de variations suivant le sens et la facilité des clivages, suivant la forme et la grosseur des cristaux, ou parties quelconques réunies, suivant que l'adhérence sera plus intime par tel point que par tel autre, etc., etc. La nature nous en offre une foule d'exemples dans presque toutes les substances minérales, et particulièrement dans celles qui sont les plus communes à la surface du globe, où toutes les combinaisons rationnelles se trouvent en quelque sorte réalisées. Examinons-les successivement.

(110) *Structure d'agrégation lamellaire.* — Si des cristaux d'une substance à structure régulière se trouvent groupés confusément, les divisions dont chacun d'eux est susceptible ne pouvant plus se confondre sur le même plan, la fracture de la masse offre une multitude de facettes brillantes, dirigées dans tous les sens, et aussi entremêlées que les cristaux eux-mêmes, dont chacune est le clivage : leur ensemble donne assez bien l'idée d'un amas de petites lames entassées confusément les unes sur les autres, et de là l'épithète *lamellaire*, par laquelle on désigne cette sorte de structure. Toutes les substances clivables en sont susceptibles, et nous la reconnaissons dans certains métaux fondus (Antimoine, Bismuth, etc.), aussi bien que dans un grand nombre de corps composés, métalloïdes ou pierreux. On peut y distinguer plusieurs variétés d'après la grandeur des lames; tantôt elles ont des dimensions très apparentes, de plusieurs lignes carrées, par exemple; tantôt, au contraire, elles deviennent très fines, et ne se distinguent en quelque sorte que par le *miroitement* que chacune d'elles produit en réfléchissant la lumière. Dans ce dernier cas, on dit communément que la masse a une *structure saccharoïde*, parce qu'elle se rapproche assez de celle

du sucre en pain, qui résulte aussi d'un entassement confus de petits cristaux les uns sur les autres; cependant elle en diffère sensiblement, en ce que les cristaux de sucre ne sont pas susceptibles de division, et que la structure des pains de cette substance est en conséquence granulaire, et non lamellaire. Le marbre statuaire est un exemple commun de cette structure lamellaire très fine.

La structure lamellaire que présentent certaines pierres calcaires tient quelquefois à la présence d'une quantité plus ou moins grande de coquilles, de madrépores, d'échinites, etc., dont le test possède cette espèce de structure, soit naturellement, soit par suite d'infiltrations calcaires cristallines (marbre des Écausines, etc.).

La structure lamellaire, dans le plus grand nombre de cas, tient à ce que les substances, dont les cristaux sont agrégés confusément, se trouvent douées de la propriété de se cliver, et elle est d'autant mieux caractérisée que les clivages sont plus faciles et plus complets. Mais il y a des cas où il n'en est pas ainsi; la structure lamellaire résulte d'une accumulation de cristaux non clivables, mais minces, réunis entre eux avec plus ou moins d'irrégularité, qui peuvent se détacher les uns des autres avec plus ou moins de facilité (Axinite, Fer oligiste, etc.). Les faces de réunions étant plus ou moins lisses, il en résulte encore une structure assez analogue à celle des masses qui sont produites par une réunion de cristaux clivables; mais lorsque les cristaux ont une épaisseur suffisante, on distingue, au milieu des faces miroitantes, des fractures irrégulières résultantes de la structure propre des cristaux composants, dont un nombre plus ou moins considérable s'est trouvé brisé par le choc qui les a en partie séparés.

Les petites lames composantes, clivables ou non cli-

vables, ont quelquefois peu d'adhérence entre elles, et se détachent avec une grande facilité par l'impression des doigts, qu'elles enduisent alors d'une quantité plus ou moins grande de petites écailles, ordinairement brillantes (Sulfate de chaux, Fer oligiste, Oxyde rouge de fer, Oxyde de manganèse, etc.). On dit souvent alors que le minéral est *écailleux*; mais dans le sulfate de chaux cette disposition, jointe à la blancheur, a fait comparer la masse à des pelotes de neige, et on a distingué cette variété sous le nom de *niviforme*.

(111) *Structure d'agrégation dendritique.* — Les cristaux s'accumulent souvent entre eux de manière à produire ce que nous avons appelé des groupes dendritiques; ces groupes présentent aussi, dans leurs fractures, une structure du même genre, que l'on remarque dans plusieurs substances (beaucoup de métaux fondus artificiellement, Argent et Bismuth à l'état naturel, Soufre, Arséniure de cobalt, etc.), et qui se manifeste de diverses manières. Tantôt ce sont des espèces de chapelets de petits cristaux qui sont accolés parallèlement les uns aux autres dans toute la masse, et qui, dans certains cas, se croisent à angle droit (Argent, Arséniure de cobalt); tantôt ce sont de véritables ramifications, qui se font remarquer particulièrement dans la fracture, lorsqu'elles sont empâtées dans des substances compactes (Bismuth). La première variété a été souvent désignée par l'épithète *tricotée*, parce que le minéral présente alors à sa surface une disposition qui approche plus ou moins de celle d'un tricot; quelquefois aussi on la nomme *réticulée*, à cause du croisement des lignes de cristaux: on pourrait, dans quelque cas, donner l'épithète *palmée*, lorsque les ramifications sont très rapprochées les unes des autres, et présentent alors une espèce de palme, ce qui arrive surtout dans les dendrites confuses.

Cette espèce de structure peut avoir lieu dans les substances clivables comme dans celles qui ne le sont pas ; dans le premier cas elle est à la fois lamellaire et dendritique, et c'est quelquefois la structure lamellaire qui fait découvrir l'autre, par la disposition des miroitements des différentes lames, lorsque la dendrite est un peu confuse (Bismuth, Sulfure de plomb palmé, mica palmé).

(112) *Structure d'agrégation granulaire.* — Lorsque des cristaux, clivables ou non clivables, soit réguliers, soit oblitérés et arrondis par leur pression mutuelle, sont entassés les uns sur les autres, et agrégés entre eux avec une force moindre que celle qui réunit leurs particules, il en résulte une masse dont les parties composantes se détachent les unes des autres par le choc, sans se briser ; la fracture présente alors des cavités et des saillies plus ou moins irrégulières, qui font distinguer plus ou moins facilement les parties composantes, comme autant de grains réunis. Cette espèce de structure prend alors le nom de *granulaire* ; elle a lieu dans un assez grand nombre de substances (Carbonate et Sulfate de chaux, Sulfate de barite, Grenat, Oxide de fer, etc., etc.), par suite de la réunion de véritables cristaux plus ou moins déformés. Elle se manifeste de même dans des masses qui résultent de la réunion de petits grains préalablement arrondis par le roulis des eaux, comme dans les matières désignées sous le nom de *grès*, dont la plupart ne sont que des sables agglutinés. Les amas de cailloux grossiers, liés entre eux par un ciment quelconque, la représentent dans les grandes masses ; et il en faut dire autant des amas de fragments qui constituent les masses désignées sous le nom de *brèches*. On retrouve encore la structure granulaire dans des masses minérales composées (le Granit, par exemple), qui résultent de la cris-

tallisation simultanée de plusieurs substances dont les cristaux se trouvent entremêlés.

*Structure granulaire et oolitique.* — Il existe aussi des masses qui résultent de l'accumulation d'une multitude de globules à couches concentriques, dont nous avons précédemment décrit la formation (92), et qui sont réunis tantôt immédiatement, tantôt par un ciment visible. Ces masses présentent alors, sur le même échantillon, deux sortes de structures, l'une d'agrégation, qui est granulaire, l'autre d'accroissement ou de retrait dans chaque grain en particulier. Cette double structure est souvent indiquée par la simple dénomination de structure oolitique : on l'observe dans plusieurs substances qu'on trouve en grandes masses, comme, par exemple, dans certaines variétés de carbonate de chaux, d'hydroxide de fer, etc.

(113) *Structure d'agrégation fibreuse.* — Lorsque des cristaux cylindroïdes, capillaires, aciculaires, viennent à se grouper entre eux sans prendre une adhérence complète, il en résulte encore des masses d'une structure particulière, qu'on désigne par les expressions *bacillaire* et *fibreuse*. Les masses bacillaires sont formées par des espèces de prismes accolés sur leur longueur, et déformés par leur pression mutuelle : il y en a une multitude d'exemples (Carbonate de chaux, Topaze, Tourmaline, Arsenic, etc., etc.). Les masses fibreuses sont formées de petites aiguilles ou de filets déliés, cristallisés ou accidentels, qui peuvent être *droits* ou *contournés*, accolés sur leur longueur, disposés en *rayons divergents* (groupements globuleux, palmés, coralloïdes et autres), *entrelacés* de différentes manières, ce qui forme autant de variétés distinctes, qu'on observe dans beaucoup de substances. Quelquefois les fibres réunies sont à peine adhérentes les unes aux autres, et produisent des masses souples, *soyeuses*



(Amiante de diverse nature), des masses flexibles *feutrées* (substance connue sous les noms vulgaires de cuir, liège, ou carton de montagne), des masses *floconneuses* comme du coton (Mésotype, Carbonate de chaux cottoneux). Dans beaucoup de circonstances les fibres sont entrelacées irrégulièrement; dans d'autres elles le sont avec régularité, même sous des angles déterminés qui se rapportent au système cristallin de la substance : il en résulte des espèces de réseaux, et la substance qui présente cette structure est dite *réticulée* (Oxide de titane).

Lorsque les baguettes ou fibres sont assez solidement agrégées, il arrive souvent que la masse présente à la fois plusieurs sortes de structures; l'une, qui est le résultat de l'agrégation; les autres, qui dépendent de la structure même des cristaux réunis. Ainsi, il y a des masses qui présentent à la fois la structure fibreuse et une structure laminaire dans le même sens (exemple: Sulfure d'antimoine), ce qui tient à ce que les cristaux réunis sont eux-mêmes divisibles sur leur longueur. Ailleurs la structure est fibreuse dans un sens, et laminaire ou lamellaire dans l'autre (Carbonate de chaux), ce qui est le résultat de la facile division des cristaux dans un sens perpendiculaire ou incliné à leur axe. Enfin, il arrive fréquemment que les masses sont fibreuses dans un sens, et tout-à-fait compactes dans l'autre; cela peut provenir de deux causes, soit de ce que chacune des fibres, qui sont assez étroitement agrégées entre elles, possède une structure propre compacte (Sulfure de fer, Arragonite), soit de ce qu'ayant naturellement une structure laminaire, les fibres sont trop fines, trop serrées, pour la manifester immédiatement à nos sens (Carbonate de chaux).

(114) *Structure d'agrégation schisteuse.* — La manière dont les petits cristaux, ou fragments de sub-

stances s'agrègent entre eux, donne aussi lieu à des masses qui se divisent par plaques, par feuillet à faces parallèles, et qu'on désigne, à cause de cela, sous le nom de masses schisteuses ( du grec  $\sigma\chi\iota\zeta\omega$ , fendre, diviser ); mais il faut bien distinguer ces structures produites par agrégation de celles qui sont le résultat de l'accroissement ou du retrait, et que nous verrons bientôt ( 118, 119 ). Il faut aussi distinguer plusieurs variétés de ces structures, qui ont une origine assez différente.

*Structure schisteuse d'agrégation régulière.* — Dans l'agrégation régulière des cristaux dont toutes les faces sont égales et semblables, on ne voit pas théoriquement que de telle face à telle autre il puisse exister aucune différence d'adhésion : la nature, en effet, ne nous en offre pas, au moins généralement. Mais si les cristaux réunis ont des faces inégales, on conçoit qu'il puisse exister des différences notables des unes aux autres ; et c'est aussi ce dont la nature nous offre des exemples sensibles. Lorsqu'une masse résulte d'une agrégation de cristaux qui ont un certain nombre de faces égales et semblables, disposées symétriquement, et deux faces parallèles d'un autre genre, il arrive qu'elle se divise assez facilement suivant ces deux plans de jonction parallèle, et donne alors des plaques ou feuillet plus ou moins épais, suivant les dimensions des cristaux groupés ; elle possède donc une structure schisteuse qui mérite d'être distinguée de toutes les autres. L'exemple le plus anciennement connu est offert par la substance que les Allemands désignent sous le nom de *Schieferspath* ( spath schisteux ), et qui est un double carbonate de chaux et magnésie. Les cristaux réunis sont des rhomboédres, modifiés très profondément au sommet par des plans perpendiculaires à l'axe, et réduits ainsi sous la forme de lames,

plus ou moins épaisses, plus ou moins étendues, dont les faces obliques sont celles du clivage. Ces cristaux, se trouvant empilés les uns sur les autres, rangés régulièrement, s'agrègent par les faces de clivage et par leurs autres faces; l'adhésion des premières est aussi forte que celle même des particules; l'adhésion des autres l'est moins, et la séparation en est alors plus facile: il en résulte qu'on enlève aisément des lames qui sont toutes perpendiculaires à l'axe du rhomboèdre (1). La structure régulière rhomboédrique se manifeste fréquemment aussi indépendamment de la première.

Cette même structure se retrouve dans le carbonate de chaux ordinaire, et c'est elle encore qui existe dans la nacre de perle; tous les feuillets de cette production animale sont perpendiculaires à l'axe de cristallisation du carbonate de chaux dont elle est formée (2). On la reconnaît encore dans certains minerais de fer (Fer oligiste de Norwège), où elle est d'autant plus apparente qu'il n'existe pas alors de structure de clivage; l'agrégation se manifeste à la surface des lames par des triangles équilatéraux, dont chacun indique la coupe d'un rhomboèdre perpendiculairement à son axe. Enfin c'est cette structure qui détermine dans

---

(1) Il suffit d'examiner avec soin quelques échantillons de cette substance pour découvrir que les plans des lames sont perpendiculaires à l'axe du rhomboèdre; mais on peut en avoir encore une autre preuve: il suffit de placer une de ces lames entre deux plaques minces de tourmaline croisées, et de regarder la lumière à travers; on verra alors des cercles concentriques colorés, divisés par une croix noire; ce qui est le caractère de perpendicularité à l'axe. (*Voyez les caractères optiques*).

(2) C'est ce qu'on reconnaît en les soumettant à l'épreuve des deux tourmalines.

l'émeraude, le corindon, la tourmaline, etc., quelques divisions perpendiculaires à l'axe des cristaux : certaines émeraudes de Sibérie les possèdent tellement, qu'elles se divisent en plaques minces avec la plus grande facilité, et qu'on les a prises d'abord pour de l'eucrase.

*Structure fibro-schisteuse.* — Plusieurs roches composées, qui offrent la structure schisteuse d'une manière plus ou moins marquée, la doivent à une multitude de petites aiguilles cristallines qui sont toutes rangées sur le même plan, tantôt parallèlement les unes aux autres et bout à bout, tantôt, ce qui a lieu le plus souvent, croisées et entremêlées sur ce plan de différentes manières, quelquefois aussi jetées en tous sens d'un plan à l'autre, ce qui détermine l'épaisseur des lames de divisions possibles. C'est cette disposition qui me paraît mériter d'être distinguée dans un examen général, et que je désigne sous le nom de fibro-schisteuse. On la reconnaît en toute évidence dans certaines roches amphiboliques (*hornblendschiefer* des Allemands), qui n'offrant qu'une seule et même matière sur le même échantillon, doivent entrer dans les tableaux de classification : on en voit également dans plusieurs roches micacées, etc., etc.

*Structure lamello-schisteuse.* — Je désigne ainsi une structure schisteuse qui résulte de l'accumulation d'une multitude de petites lamelles qui se sont toutes déposées à plat, soit seules, soit en même temps que des matières terreuses, sableuses, cristallines même, de diverses sortes. On l'observe dans des roches composées de lamelles de mica (Schistes argileux de divers âges, Schistes bitumineux, etc.), ou qui en renferment une grande quantité (Quartz schisteux, Roches calcaires schisteuses, etc.); dans des matières argileuses qui en sont également remplies; dans des dépôts sableux d'un

certain degré de ténacité ( Argile schisteuse des houillères, Grès et sables de diverses formations) : toutes ces masses se divisent parallèlement à ces lamelles, et particulièrement suivant les plans où elles sont plus abondantes et où on les distingue par leur éclat métalloïde. Dans quelques dépôts argileux la même division est produite par des lamelles de sulfate de chaux ( quelques argiles des dépôts de grès bigarré ).

Beaucoup de substances simples, dont les cristaux naturellement en lamelles, sont appliqués les uns sur les autres, présentent aussi cette structure schisteuse, qui n'est alors qu'un accident de la structure lamellaire. ( Hydrate de magnésie, Orpiment, etc. )

( 115 ) *Structure d'agrégation compacte.* — Les structures que nous venons de faire connaître résultent d'un groupement irrégulier de cristaux ou de grains roulés qui conservent des dimensions appréciables, et qui, dès lors, quoique entassés confusément les uns sur les autres, peuvent être encore distingués soit immédiatement, soit par le moyen de leur structure propre. Mais lorsque les cristaux deviennent infiniment petits, que les matières roulées sont réduites à un état extrême de finesse, comme il arrive fréquemment, il n'est plus possible de les distinguer dans les masses qu'ils forment par leur réunion, et il en résulte des *corps compactes*. La plupart ne sont que des variétés extrêmes des masses à structure lamellaire, à structure granulaire ou fibreuse, où les lamelles, les grains, les fibres, sont si déliées, si étroitement serrées les unes contre les autres, qu'on ne peut plus les distinguer. On observe fréquemment dans les minéraux des passages incontestables de ces sortes de structures compactes à celles dont elles sont des modifications; et c'est en cela surtout que cette compacité accidentelle diffère de celle que nous avons déjà citée ( 103 ) comme dépendante de

la nature même des corps. Elle se fait d'ailleurs remarquer au premier abord; car il est extrêmement rare que les corps où elle existe présentent ce degré de finesse, cet éclat particulier qu'on reconnaît dans les autres. Ceux-ci, lorsqu'ils ne sont pas de nature métallique, sont ordinairement *vitreux*; et les autres, au contraire, sont *pierreux* dans l'acception la plus ordinaire de ce mot. On doit, d'après ce qui précède, distinguer fréquemment dans les minéraux, des *structures compactes* proprement dites, où l'on n'aperçoit aucun indice d'autres structures, et aussi des structures *lamello-compactes*, *granulo-compactes*, *fibro-compactes*, suivant que la compacité provient de l'atténuation des structures lamellaire, granulaire ou fibreuse.

(116) *Structure compacte par dessèchement de précipités gélatineux.* — Il existe aussi des substances accidentellement compactes, qui paraissent être produites par une atténuation encore plus grande de la matière; ce sont celles qui résultent du dessèchement des précipités gélatineux, comme ceux que nous obtenons souvent dans nos laboratoires. On ne peut plus alors observer leur passage aux structures accidentelles que nous avons citées, puisque, en effet, elles ne sont pas formées de la même manière; mais on les trouve quelquefois dans la nature à un état de dessèchement plus ou moins avancé, quelquefois même tout-à-fait à l'état de gelée, qui atteste leur origine. Il arrive fréquemment qu'elles prennent une finesse de structure, une demi-transparence, ou même une transparence entière, et un éclat, qui pourraient les faire confondre avec les substances compactes par nature et par suite d'une cristallisation régulière: cependant elles présentent toujours quelques caractères particuliers; leur éclat n'est pas celui des matières vitreuses, mais tantôt celui de l'empois desséché, tantôt celui des sub-

stances résineuses; quelquefois c'est le *mat* de la cire figée, avec la finesse de son grain, et cette disposition particulière qui permet la formation d'une multitude de petites écailles dans la fracture. Peut-être plusieurs variétés de diverses espèces minérales, que nous regardons encore comme produites par cristallisation (Opale, Silex), ne sont-elles que le résultat d'un semblable desséchement de quelques précipités extrêmement fins.

(117) *Agrégation terrestre*.— Il n'arrive pas toujours que les particules fines, résultantes d'un précipité chimique, ou produites par le roulis des eaux, s'agrègent solidement entre elles en s'accumulant les unes sur les autres; il en résulte, au contraire, fort souvent des dépôts incohérents qui ne prennent un peu de consistance que par le desséchement, et produisent alors des *masses terrestres*, dont un grand nombre sont susceptibles d'être ramenées à l'état pâteux lorsque l'eau vient à les pénétrer de nouveau. Beaucoup de ces dépôts ont sans doute à l'œil une structure fort analogue à celle des masses granulaires ou à celle des masses compactes; mais l'incohérence des parties annonce nécessairement ici un mode particulier d'arrangement, plus d'irrégularités, et surtout plus de vides que dans les autres. D'après ces considérations, on pourrait peut-être regarder ces dépôts comme ayant encore une structure particulière, qu'on pourrait désigner sous le nom de *structure terrestre*.

Il est à remarquer que les corps terreux que le règne minéral nous présente ne proviennent pas tous d'un dépôt de particules fines entassées confusément les unes sur les autres. Il arrive fréquemment que les masses les plus solides, les plus homogènes, s'altèrent dans l'intérieur de la terre, par différentes causes dont la plupart nous sont inconnues, et qu'alors, sans changer de

forme, elles perdent leur cohésion et passent à l'état terreux. Quelquefois on reconnaît encore leur structure primitive, surtout si elle appartenait à l'une ou à l'autre de celles qui sont produites par agrégation; mais, dans beaucoup de cas, il n'en reste plus aucune trace; et si on ne les prenait sur place, où l'on voit leur liaison avec les parties non altérées, si leur forme extérieure n'annonçait qu'ils ont été formés par cristallisation, on les croirait, comme les précédents, le résultat d'un dépôt incohérent de particules. Ces matières terreuses sont souvent susceptibles, aussi bien que les autres, de se laisser pénétrer par les eaux, qui les détrempe, les entraînent, et les déposent dans d'autres lieux.

(118) *Structure d'accroissement.* — L'accroissement dont les minéraux sont susceptibles, et qui se fait, comme nous l'avons vu, toujours à l'extérieur, détermine encore un mode particulier de structure. Ce sont des couches qui se recouvrent successivement les unes les autres, qui tantôt se séparent très facilement, tantôt sont assez étroitement réunies pour ne pouvoir pas être disjointes, et qui alors ne se distinguent que quand elles sont colorées différemment, ou douées de différents degrés de transparence ou de finesse. Cette structure se montre également dans les formes régulières, dans les formes accidentelles diverses, et même dans les dépôts de différents genres.

Dans les formes régulières d'un certain volume, la structure d'accroissement, qui pourrait être nommée *structure polyédrique*, à cause des contours angulaires réguliers de chaque couche, se présente souvent d'une manière très distincte; on y reconnaît des couches, les unes opaques, les autres transparentes, douées de couleurs ou d'éclat différents, ou séparées les unes des autres par des matières étrangères, quelquefois même



par des espaces vides. Tantôt ces couches présentent des polyèdres semblables, qui se renferment les uns les autres, et sont tous concentriques à un premier cristal de même forme, qui a servi de noyau, pl. X, fig 30; tantôt elles offrent des polyèdres d'une certaine forme, qui en enveloppent de formes différentes, et sont eux-mêmes enveloppés par d'autres, fig. 26 : les intervalles angulaires se trouvent remplis par des couches décroissantes d'une ou d'autre direction. Cela tient à ce que, dans le premier cas, le cristal s'est accru sans changer de formes, et que, dans le second, les formes ont changé à diverses époques et de diverses manières. Ces structures d'accroissement se font souvent remarquer dans la fracture des cristaux, où elles se distinguent par les différentes teintes de couleurs, par l'éclat, le plus ou moins d'opacité (Carbonate de chaux, Sulfate de baryte, Corindon, etc., etc.), par l'interposition des matières étrangères (Carbonate de chaux, etc.), par des espaces vides (Cristal de roche, beaucoup de cristaux artificiels); ailleurs elles se font remarquer d'une manière encore plus sensible, car il arrive, quoique rarement, qu'un cristal se trouvant cassé à une certaine hauteur, toutes les couches dont il est composé se déboîtent et se laissent retirer facilement les unes des autres jusqu'au noyau central fig. 30 (le Quartz, ou cristal de roche, par exemple).

Dans d'autres circonstances on reconnaît l'existence de ces structures à travers la masse même du minéral; il y a des cristaux qui présentent à l'extérieur certaines formes, et qui, étant transparents jusqu'à une certaine profondeur, laissent voir dans leur intérieur des cristaux de formes différentes, et quelquefois même plusieurs formes successives. On connaît des cristaux de carbonate de chaux, qui offrent un rhomboèdre aigu à l'extérieur, fig. 25, pl. X, dans l'intérieur duquel on

voit un cristal en dodécaèdre, qui renferme lui-même un rhomboèdre plus obtus. Il y a des cristaux de fluor en octaèdre, fig. 33, qui renferment un dodécaèdre; des cristaux cubiques, fig. 31, 32, qui renferment un cube que l'on distingue à une couleur différente, qui quelquefois étaient d'abord modifiés sur leurs angles, fig. 31, et ont été complétés plus tard par une addition de matière, fig. 32, qui se distingue encore par la teinte de couleur ou d'opacité. •

Ces structures d'accroissement étant indépendantes de la structure propre des corps, n'apportent à celle-ci aucun changement; ce qui tient à ce que, dans toutes les couches, les particules intégrantes sont arrangées régulièrement entre elles, et toutes dans le même ordre.

Dans les formes accidentelles, la structure d'accroissement ne se fait pas moins souvent remarquer. Les couches ne sont plus polyédriques; mais elles sont tantôt curvilignes, tantôt planes. Les couches curvilignes se présentent d'abord dans les formes globuleuses, où elles offrent alors des *sphéroïdes* concentriques. On les reconnaît dans les formes globuleuses radiées (Sulfure de fer, Granit de Corse, etc.), comme dans celles qui sont produites au milieu des eaux en mouvement, où la structure est souvent désignée par l'épithète *testacée* (Carbonate de chaux, Hydroxide de fer): les rognons, les géodes, surtout celles qui sont formées dans des cavités préexistantes où les eaux ont amené des matières lapidifiques en solution, ou peut-être en gelée claire, la présentent encore d'une manière très distincte (Calcédoine onyx, etc.). On reconnaît enfin des couches curvilignes, cylindriques ou coniques, dans les stalactites, dans les diverses incrustations sur les matières organiques, ou dans les tuyaux de conduite des eaux. La structure d'accroissement ondulée, et approchant plus ou moins d'être plane, se fait remar-

quer dans les stalagmites, où elle a été désignée sous le nom de *structure stratiforme* ou *stratoïde*, dans les divers dépôts que les eaux forment çà et là sous nos yeux, ou qui se sont produits à diverses époques, soit à la surface de la terre, soit dans les cavités souterraines; enfin, on la retrouve dans les différentes couches qui constituent nos continents.

De même que dans les formes cristallines, la structure d'accroissement est indépendante de la structure propre des corps, de même dans les formes accidentelles et dans les dépôts divers, elle est indépendante de la structure d'agrégation; elle peut exister dans des masses lamellaires, dans des masses fibreuses des diverses variétés, dans des masses compactes: souvent même diverses époques d'accroissement sont marquées par des changements de structure d'agrégation.

Il faut observer que, dans le cas de structure d'accroissement plane, s'il arrive que les diverses assises se séparent facilement les unes des autres, ce qui a lieu particulièrement lorsqu'il s'est déposé quelques matières étrangères dans l'intervalle d'un accroissement à l'autre, la masse se divise en feuillets, et offre alors une structure schisteuse d'origine fort différente de celle que nous avons indiquée précédemment (114).

(119) *Structure par retrait*. — Les matières fines, déposées à l'état pâteux, éprouvent souvent, en se desséchant, un retrait plus ou moins considérable, qui donne fréquemment lieu à des solutions de continuité, et peut provoquer diverses structures. Il n'est pas rare de voir ce dessèchement provoquer la matière à se diviser en *feuillets*, et à présenter par conséquent une sorte de structure schisteuse, qu'on doit encore distinguer de celles dont nous avons déjà parlé: c'est ce qui arrive fréquemment dans les argiles et les marnes (Marnes de Montmartre). Lorsque le dessèchement a

lieu sur une masse de petites dimensions, isolée de toutes parts, de manière que l'air puisse avoir accès tout autour d'elle, il arrive presque toujours que la division se fait en feuillettes curvilignes concentriques, et qu'il en résulte des boules testacées, analogues à celles dont nous avons déjà parlé plusieurs fois, mais qui ont une origine fort différente : c'est ce que l'on voit encore sur de petites masses d'argile et de marne. Ce que nous disons ici du retrait opéré par desséchement, arrive également par le refroidissement d'une masse fondue; et c'est ainsi qu'on peut expliquer la structure schisteuse ou à feuillettes concentriques de certaines matières volcaniques, vitreuses, vitro-lithoïdes, pierreuses (Phonolites schistoïdes, Basalte schistoïde, Scories, Obsidiennes; etc.): tantôt les couches se détachent facilement les unes des autres, tantôt elles sont seulement indiquées.

Le retrait ou le refroidissement produisent aussi des *structures bacillaire*, ou *colonnaire* si on la considère en grand. C'est ainsi que la houille se divise quelquefois en baguettes à 3, 4, 5 et 6 pans, ce qu'on ne peut attribuer qu'au desséchement qu'a subi la matière carbonéuse. L'hydroxide de fer terreux, qu'on trouve dans le voisinage des houillères embrasées, est souvent composé de petites baguettes polyédriques accolées les unes aux autres, assez ordinairement divergentes; ce qu'on peut attribuer au retrait provoqué par la chaleur à laquelle la matière a été exposée. Le basalte nous présente la même chose en grand, par suite du refroidissement qu'a subi cette matière volcanique après son éjection; la masse en est partagée en grandes colonnes prismatiques à 3, 4, 5 et 6 pans, pl. IX, fig. 43, tantôt droites, tantôt courbes, placées verticalement, ou couchées, quelquefois réunies en faisceaux.

(120) *Structure par moulage.* — Lorsque les fentes

produites par le retrait dans un dépôt se trouvent remplies par une matière quelconque qui s'y consolide, il en résulte des espèces de mosaïques dont les fragments sont plus ou moins réguliers, et qu'on désigne en général sous le nom de *ludus*; la plupart sont des rognons d'oxide ou de carbonate de fer, qui ont éprouvé un retrait à leur centre, et dont les fentes sont remplies de carbonate de chaux ou de quartz: ils ont eu dans un temps une grande célébrité, à cause de leurs prétendues vertus médicales. Lorsque la matière infiltrée dans les fentes est solide, et que la matière des pièces polygonales est enlevée par une cause quelconque, il reste une espèce de squelette pierreux, qui tantôt ressemble à un gâteau d'abeilles, parce que les vides sont plus ou moins régulièrement hexagones (certains *ludus*), et tantôt présente une masse cloisonnée en tous sens, et offrant ainsi une multitude de cavités irrégulières, le plus souvent angulaires (Silex molaire en grands nids au milieu des matières argileuses; *id.* provenant de la décomposition des pierres calcaires siliceuses), quelquefois des lames parallèles avec diverses solutions de continuité. (Quartz haché, etc.)

(121) *Structure par dégagement de gaz.* — Il est une autre circonstance qui produit dans certaines masses minérales un genre de structure que nous n'avons pas encore examiné, c'est l'expansion et le dégagement des gaz qui se forment dans les dépôts terreux ou dans les matières fondues. Il en résulte, soit des tubulures plus ou moins irrégulières, qui traversent la masse verticalement, soit des cavités placées au hasard dans tous les sens, tantôt irrégulières, à parois déchiquetées, tantôt ovoïdes ou sphéroïdes à parois lisses, et qui sont plus ou moins grandes. Lorsque ce dégagement de matière gazeuse se fait en même temps que la masse pâteuse s'écoule sur un plan incliné, ou s'affaisse

sur elle-même, les cellules s'allongent dans le sens du courant ou de l'affaissement, et le corps présente alors une apparence de tissu fibreux, tantôt à fibres droites, tantôt à fibres contournées. Nous avons des exemples de ces divers phénomènes dans les matières terreuses qui se déposent au fond de nos marais, et au milieu desquelles il se forme des gaz de diverses natures, par la décomposition des matières végétales et animales; nous en avons de plus frappants encore dans les scories de nos fourneaux, qui se boursoufflent de diverses manières, d'autant plus que les matières en fusion sont plus susceptibles de laisser échapper des gaz, et qui deviennent souvent tout-à-fait spongieuses lorsqu'on vient à les faire couler sur de la terre humide, ou à jeter de l'eau dessus; enfin, les produits volcaniques nous en montrent encore de semblables. Il résulte de ces diverses circonstances plusieurs modifications de structure, qu'on désigne par les épithètes *carié*, *cellulaire*, *poreux* et *ponceux*, à chacune desquelles il faut souvent en ajouter une ou plusieurs autres, pour indiquer des variations particulières. La *structure cariée* est celle où les cavités sont irrégulières, et se présentent quelquefois comme des tubulures; le minéral semblerait souvent avoir été rongé par quelques animaux, comme le bois par les vers, ou attaqué par quelque maladie, comme celle qui carie les os : dans quelques corps, dans ceux surtout qui sont d'origine ignée, les parois de ces cavités sont rugueuses et déchiquetées, et toute la masse est alors excessivement âpre au toucher. La *structure cellulaire* est celle qui a lieu dans les masses remplies de cavités arrondies à parois lisses; les cellules y sont plus ou moins nombreuses, tantôt dispersées çà et là dans une masse compacte ou poreuse, tantôt tellement rapprochées les unes des autres, qu'il ne reste plus entre

elles qu'une cloison mince, et que la masse ressemble à une éponge; on dit souvent alors qu'elle est *boursouflée*, surtout lorsque les cellules ont crevé les unes dans les autres. On donne le nom de *poreuses* aux substances dans lesquelles les cellules sont extrêmement petites et ordinairement très nombreuses, en sorte qu'on ne peut examiner la plus petite partie du minéral sans en reconnaître une très grande quantité: ces petites cellules, ou pores, sont tantôt rondes, tantôt allongées, quelquefois à parois lisses, et ailleurs à parois déchiquetées. Enfin, par *structure ponceuse* on entend celles qui présentent des cellules très étroites et très allongées, qui sont toutes parallèles les unes aux autres, tantôt droites, tantôt courbes ou contournées de diverses manières, quelquefois comme tordues. Cette structure se présente particulièrement dans la ponce, d'où l'on a dérivé l'épithète *ponceuse*.

(122) *Structure par décomposition*. — Il y a des structures cariées, ou cellulaires, qui proviennent de la décomposition de certaines matières enfermées par d'autres qui ne sont pas susceptibles d'altération; c'est ce que nous avons déjà vu dans des masses cloisonnées, qui proviennent d'une infiltration de substances dans les intervalles laissés par le retrait des matières molles qui ont été ensuite enlevées par les eaux; nous en avons également indiqué qui proviennent de la décomposition des calcaires siliceux dont le carbonate de chaux a été enlevé, et dont il n'est resté qu'une carcasse de silice. Il y a aussi beaucoup de substances dans lesquelles il s'était formé soit de petits nids de diverses matières, soit des cristaux qui, étant ensuite décomposés, ont laissé leur empreinte en creux; de là des cavités arrondies ou plus ou moins irrégulières, des cavités à surfaces polygonales, qui peuvent être plus ou moins nombreuses, et qui donnent à la matière une struc-

ture cellulaire, ou même poreuse lorsque ces nids ou cristaux sont extrêmement petits. Il arrive aussi que des matières pâteuses ou cristallines se précipitent sur des groupes de cristaux sur lesquels elles se moulent, et dès lors, si on vient à séparer les deux masses, l'une présente en creux ce que l'autre offre en relief; la disposition est quelquefois telle, qu'il en résulte une masse criblée de cavités.

(123) *Structure organique.* — Les bois, les madrépores, les animaux mous, etc., convertis en masses pierreuses, qui nous en présentent toute l'organisation, nous offrent par conséquent encore diverses sortes de structures qui varient considérablement. On trouve diverses espèces de bois pétrifiés dont la structure est celle du palmier, ou, en général, des plantes monocotylédones, et d'autres qui offrent la structure des dycotylédones : les bois bituminisés nous offrent également des structures de l'une et de l'autre espèce. Il existe de même un assez grand nombre d'espèces de madrépores, d'animaux mous, etc., dont la plupart ne ressemblent pas à ceux que nous avons actuellement dans nos mers, dont toute l'organisation est conservée dans les pétrifications, qui offrent alors une structure particulière.

Les structures dues à des corps organisés, se font aussi d'une autre manière : ce sont des structures tubuleuse, cellulaire, poreuse, qui sont produites par une accumulation de corps, creux à l'intérieur, cylindriques, arrondis, dont les cavités sont restées libres, ou bien qui ont été détruites postérieurement, et n'ont laissé que leurs empreintes, qui forment des cavités de la même espèce. Ailleurs les cavités sont produites par des vers qui ont rongé les bois avant leur pétrification, et dont on croit quelquefois reconnaître les excréments dans les trous qu'ils ont faits; par des



animaux de diverses espèces qui ont percé les madrépores, le test des coquilles, et même les pierres calcaires qui bordent nos mers, ou qui forment les parois d'anciens golfes aujourd'hui à sec, qu'on observe souvent fort loin dans l'intérieur des terres.

(124) Telles sont les structures principales des minéraux; je ne crois pas qu'il puisse s'en présenter beaucoup qui ne se rapportent à l'un ou à l'autre des types que nous avons établis; mais on peut observer dans chacun d'eux un grand nombre de variations, que je n'ai pas cru devoir détailler ici, et qui nous auraient entraînés dans beaucoup de longueurs sans nous présenter un grand intérêt.

## Forme de la cassure.

(125) C'est ici le lieu de parler de la forme de la cassure, qui peut souvent servir de caractère pour reconnaître un minéral, et le distinguer de tel ou tel autre, quoiqu'elle puisse varier dans chacun d'eux à l'infini. On doit concevoir qu'elle dépend de la structure du minéral, ou plutôt qu'elle nous la dévoile immédiatement. Dans les corps à structure régulière, la cassure présente une surface plane, lisse, et on l'indique sous le nom de *cassure lamelleuse* ou *laminaire* : dans quelques-uns, on dit qu'elle est *feuilletée*, parce que les lames sont excessivement minces, et comme les feuillets d'un livre. La cassure est aussi feuilletée ou *schisteuse* dans les masses schistoïdes, testacées, dans celles qui sont formées de couches concentriques, etc.; elle est *lamellaire*, *granulaire* ou *grenue*, *fibreuse*, à fibres droites ou contournées, parallèles, divergentes ou entrelacées, dans les masses dont la structure peut être désignée par l'une ou l'autre de ces épithètes; elle est *compacte* et *terreuse* dans les dépôts dont

nous avons ainsi désigné la structure. Enfin dans les masses qui offrent la structure dendritique, la cassure présente, à sa surface, des aspérités pointues et contournées qui accrochent avec force; on a désigné ce cas particulier sous le nom de *cassure crochue* : on l'observe particulièrement dans certains métaux fondus. De toutes ces cassures il n'y en a qu'une seule que nous devons examiner particulièrement, parce qu'elle présente plusieurs modifications dont on peut tirer quelques caractères; c'est la cassure compacte.

*Cassure conchoïdale.* Dans les corps dont la compacité est vitreuse, dans ceux qui ont un grain extrêmement fin, qui sont de la nature des résines, ou qui en ont l'éclat particulier, la cassure présente, sur un des fragments, une cavité arrondie, à stries ou rides concentriques, et sur l'autre un relief qui en est la contre épreuve; cette cavité ressemble un peu à l'empreinte que pourraient produire certaines coquilles, et d'après cette observation on a donné à cette cassure le nom de *cassure conchoïdale*. On en indique les variétés d'après le plus ou moins de profondeur de la cavité, et d'après l'état de la surface, qui peut être plus ou moins lisse. Cette cassure présente, dans quelques cas, une circonstance particulière : lorsque le corps sur lequel on opère est bien homogène, le choc détermine dans son intérieur un cône plus ou moins obtus, dont le sommet se trouve au point où on l'a frappé. On aperçoit très facilement cet effet sur une bille d'agate un peu translucide, qu'on a laissé tomber plusieurs fois de quelques pieds de hauteur sur un plan assez résistant; chaque coup y détermine un petit cône. On peut également le produire sur une pierre à fusil ou un morceau d'agate, en frappant à la surface avec un marteau et un poinçon; lorsqu'on a produit plusieurs de ces cassures, l'une à côté de l'autre, qu'on fait en-

suite polir le minéral, on croirait y reconnaître une structure organique. Il existe dans la forêt de Montmorency une espèce de grès, très solide et très homogène, où cette espèce de structure se manifeste d'une manière très claire; en frappant sur un bloc de ces grès, qui conserve encore son eau de carrière, avec une masse un peu forte, il se détache de tous côtés des fragments à cassure conchoïdale, et il reste au milieu un mamelon conoïde très régulier.

*Cassure esquilleuse.* Dans un assez grand nombre de matières compactes, la surface de la cassure présente une multitude de petites écailles, ou esquilles, qui se détachent avec plus ou moins de facilité, et quelquefois ne sont qu'indiquées par la fêlure qui détermine chacune d'elles; cette sorte de cassure prend le nom d'*écaillageuse* ou *esquilleuse*.

*Cassure plate.* Il arrive aussi fréquemment que les matières compactes ne présentent qu'une cassure plate; c'est, par exemple, un caractère assez constant dans les pierres calcaires dont on se sert pour la lithographie. La surface de cette cassure est unie dans les corps dont le grain est très fin, et plus ou moins couverte d'inégalités dans ceux qui approchent de la structure grenue.

On emploie souvent ces divers caractères de la cassure pour distinguer entre elles les diverses variétés d'une même substance; avec un peu d'habitude, ils conduisent aussi à reconnaître fréquemment les diverses espèces, dans une multitude de cas où l'on est contraint de s'en rapporter à une foule de petits caractères empiriques.

On donne souvent aussi à la cassure les épithètes de *vitreuse*, *résineuse*, *terreuse*, etc., en se fondant sur le genre d'éclat qu'elle présente; nous parlerons de ces variétés d'éclat dans le chapitre où nous traiterons des propriétés optiques.

---

---

## CHAPITRE IV.

### CAUSES DES VARIATIONS DES FORMES ET DES STRUCTURES DANS LA MÊME SUBSTANCE.

(126) Après avoir étudié les formes et les structures que l'on observe dans les substances minérales, il se présente naturellement plusieurs questions à résoudre. Si nous voyons les diverses substances se rapporter à des types cristallins différents, nous pouvons penser que cela tient immédiatement à leur nature; mais lorsque nous voyons une substance déterminée, présenter dans le même type cristallin, tantôt une forme, tantôt une autre, la raison de ce phénomène nous reste tout-à-fait inconnue. Ainsi nous nous demandons naturellement pourquoi la même substance se présente tantôt en cube, tantôt en octaèdre, en dodécaèdre rhomboïdal, en trapézoèdre, etc.; pourquoi telle autre affecte tantôt des rhomboèdres de diverses espèces, des prismes à bases d'hexagone régulier, des dodécaèdres à triangles isocèles ou scalènes, ou des combinaisons extrêmement variées de ces divers solides. La même question peut se faire à l'égard de la plupart des formes accidentelles, et aussi à l'égard des diverses variétés de structure que présentent les minéraux; car si nous voyons que ces formes ou ces structures sont des résultats de groupement, rien ne nous indique pourquoi les grou-

pements se font tantôt d'une manière, tantôt d'une autre. Les causes de ces phénomènes dont la détermination est un des points les plus importants de la philosophie minéralogique, ne peuvent être connues que par des recherches sur les sels que nous pouvons faire cristalliser dans nos laboratoires; j'ai fait à cet égard un grand nombre d'expériences qui m'ont conduit à quelques résultats applicables aux cristaux naturels, et que l'on peut produire à volonté; mais nous sommes encore loin sans doute de connaître tous les moyens que la nature emploie pour déterminer toutes les variations qu'elle nous présente.

(127) *Énoncé des causes reconnues de variations de formes cristallines.* — Les expériences que j'ai faites sur les sels m'ont conduit à reconnaître trois causes fondamentales de variations dans les formes cristallines, dont chacune peut agir isolément, et donne alors constamment une forme particulière, ou bien conjointement avec ou plusieurs autres, d'où paraît résulter cette multiplicité de formes qu'une même espèce de sel est susceptible d'affecter. Ces causes sont :

1<sup>o</sup> Les mélanges mécaniques de matières étrangères qu'un sel peut entraîner dans sa cristallisation.

2<sup>o</sup> La nature du liquide au milieu duquel se forment les cristaux d'une substance, nature qui peut varier par les matières solides, liquides ou gazeuses tenues en solution, et qui ne sont pas susceptibles de se combiner avec celle qui cristallise.

3<sup>o</sup> La combinaison en proportions variables, de telle ou telle substance avec celle qui cristallise.

Nous allons donner des exemples de l'influence de ces différentes causes, d'après les résultats obtenus sur les sels de nos laboratoires, et en les comparant successivement avec ce qui existe dans la nature.

(128) *Influence des mélanges mécaniques.* — Lors-

qu'un sel cristallise au milieu d'un liquide qui tient des particules fines de matières étrangères, en suspension à peu près permanente, il ne se passe rien de particulier; ces matières se déposent seulement sur le cristal, dans l'intervalle de ses divers accroissements, et se trouvent dès lors en couches concentriques dans son intérieur. Mais lorsque le sel cristallise au milieu même d'un dépôt de matières incohérentes, en particules très fines (ce qui n'arrive qu'autant qu'il surnage une portion du liquide au-dessus de ces matières), les cristaux entraînent toujours une portion qui s'y trouve disséminée plus ou moins uniformément, et jamais, ou très rarement, en couches concentriques; ces cristaux sont toujours alors d'une forme plus simple et plus régulière que celle qu'ils auraient prise naturellement en se formant en liberté. Il en résulte que si la forme qu'ils affectaient en se déposant d'une solution bien limpide était seulement modifiée par quelques petites facettes, celle qu'ils prennent sous la condition exprimée est absolument simple. La nature paraît aussi employer ce moyen de modification; car on remarque, en général, que les cristaux qui sont mélangés mécaniquement de matières en particules plus ou moins fines, sont toujours d'une forme plus simple que ceux qui sont parfaitement purs: c'est ce qu'on observe dans certains cristaux d'axinite, de feldspath, etc., qui sont remplis de particules de mica, et qui sont plus simples que les cristaux purs que l'on trouve à côté, ou sur le même groupe.

(129) *Influence de la nature du liquide.*—La nature du liquide où se fait la cristallisation influe de différentes manières sur la forme des cristaux, qu'elle change quelquefois entièrement, ou qu'elle modifie en y provoquant des facettes additionnelles. Le sel commun, en cristallisant dans l'eau pure, affecte presque

toujours la forme cubique; mais en cristallisant dans une solution d'acide borique, il a pris constamment, dans mes expériences, la forme de cube tronqué sur les angles, pl. II, fig. 23, et passant par conséquent à l'octaèdre. L'alun, en cristallisant dans l'acide nitrique, a pris constamment la même forme, seulement avec les faces de l'octaèdre plus étendues, comme fig. 32; en cristallisant dans l'acide hydrochlorique, il a pris constamment la forme de l'icosaèdre où les faces de l'octaèdre ont pris une grande extension, comme pl. VII, fig. 2, et sur laquelle une addition d'alumine à la liqueur faisait naître en outre des faces du cube plus ou moins étendues: dans tous les cas, le même sel cristallisait en octaèdre complet dans l'eau pure. Il suffit aussi, pour faire varier la cristallisation de plusieurs sels, d'ajouter quelques gouttes de leur acide à leur solution dans l'eau pure, ou d'en soustraire une partie par un moyen quelconque. Ainsi, en ajoutant un peu d'acide sulfurique à une solution de sulfate de fer, qui donne naturellement des formes simples, on en obtient toujours des formes plus composées. En ajoutant, au contraire, à une solution d'alun un sel qui puisse s'emparer d'une portion de son acide, comme du carbonate de plomb, de fer, de chaux, etc., on obtient facilement des cristaux cubiques du même sel, qui, dans une solution pure, donnait des octaèdres.

Ces mêmes causes modifiantes doivent aussi avoir agi très fréquemment dans la nature, puisqu'en général les substances minérales ont rarement cristallisé seules. Mais comme nous ne sommes pas présents à cette opération, que nous n'en voyons ordinairement que le résultat, nous ne pouvons avoir que des présomptions à cet égard. Cependant il est digne de remarque, sous ce rapport, qu'une même substance affecte en général la même forme partout où elle est accom-

pagnée des mêmes substances, et qu'au contraire elle affecte des formes différentes lorsqu'elle est accompagnée de substances différentes; ou plus généralement, on remarque que dans le même gisement et dans les mêmes circonstances, il y a similitude de formes, et qu'au contraire pour des gisements et des circonstances différentes, il y a différence. Nous en donnerons quelques exemples. L'arragonite qui se trouve dans les mines de fer est partout en cristaux pyramidaux très aigus; celle au contraire qu'on trouve dans les argiles gypseuses qui accompagnent les dépôts salifères, est toujours en cristaux prismatiques, qui sont groupés entre eux sous la forme des prismes hexagones, que nous avons indiqués (86). J'ai observé, à Traverselle en Piémont, des cristaux d'oxide de fer magnétique disséminés dans trois espèces de roches, dans chacune desquelles ils offraient une forme particulière; dans l'une ils étaient en octaèdre complet, dans une autre en octaèdre passant au cube, et dans la troisième, enfin, en dodécaèdres rhomboïdaux. Faisons remarquer encore que les nombreuses variétés de cristallisation que présente le carbonate de chaux ne se trouvent pas partout indifféremment; que les variétés en prisme hexaèdre régulier nous viennent en général du Harz, où elles sont dans des filons qui contiennent du sulfure d'antimoine, du sulfure double d'antimoine et argent, de l'arsenic, de l'harmotome, etc.; que les cristaux en dodécaèdre à triangles scalènes nous viennent en général du Derbyshire en Angleterre, où ils se trouvent dans des mines de sulfure de plomb, et accompagnés de sulfure de zinc; que certains rhomboèdres aigus, comme pl. III, fig. 47, appartiennent en général aux terrains secondaires, et se trouvent dans les fentes des dépôts calcaires, où ils ne sont jamais accompagnés de substances métalliques, etc. etc. Toutes



ces observations paraissent pouvoir indiquer l'influence des matières étrangères avec lesquelles les substances que nous avons citées se trouvaient en contact.

(130) *Influence de matières qui se combinent.* — Les substances avec lesquelles un sel peut se combiner au moment où il cristallise, déterminent aussi, dans les formes, des modifications très remarquables, tantôt en les ramenant à des formes plus simples, tantôt en leur procurant des faces additionnelles. Ces modifications varient dans le même sel, suivant la nature du corps avec lequel il se trouve combiné; elles sont constantes pour le même corps, tant qu'aucune autre cause étrangère ne vient y joindre son influence. Ainsi, par exemple, le sulfate de fer mélangé de sulfate de cuivre affecte presque toujours la forme simple d'un prisme oblique rhomboïdal; tantôt il faut beaucoup de sulfate de cuivre pour déterminer cette forme; tantôt il suffit de quelques centièmes pour la provoquer, ce qui tient au plus ou moins d'acidité de la liqueur. Le sulfate de nikel produit le même effet; mais le sulfate de zinc en produit un tout différent. La présence de ce sel force le sulfate de fer à cristalliser en prisme tronqué très profondément sur l'angle solide aigu. Le sulfate de cuivre, le sulfate d'ammoniac, etc., mélangés avec différents sels, donnent des résultats analogues; il est connu depuis long-temps que le sel commun mélangé d'urée, cristallise en octaèdre, et que le sel ammoniac, dans le même cas, cristallise en cube, quoique dans l'eau pure le premier prenne constamment la forme cubique, et le second la forme octaèdre. Une substance mélangée chimiquement d'une portion d'un de ses principes constituants affecte aussi des formes différentes de celles qu'elle prend à l'état de pureté; ainsi, de l'alun parfaitement pur, qui cristallise en octaèdre plus ou moins modifié dans l'eau pure, prend la forme cubique lorsqu'il

crystallise dans une solution de sulfate simple d'alumine, assez concentrée pour qu'il en entraîne une partie.

Ces résultats obtenus dans le laboratoire, conduisent à penser que beaucoup de modifications qu'on observe dans les cristaux naturels tiennent à la même cause; mais, comme les analyses diverses n'ont point été faites sous ce point de vue, et que dès lors on a souvent négligé d'indiquer précisément la forme que la substance affectait, il est impossible de vérifier l'action des substances étrangères qu'on y a souvent rencontrées.

(131) *Applications diverses.* — Les causes de variations que nous venons d'établir, et dont sans doute il existe beaucoup d'autres dans la nature, nous fournissent déjà un assez grand nombre d'applications; elles nous apprennent comment il peut arriver que le même cristal, en prenant de l'accroissement, conserve sa forme première ou en prenne une nouvelle, et comment il peut en changer plusieurs fois de suite. Il doit conserver sa forme toutes les fois que le liquide qui l'environne, et qui lui fournit de nouvelles molécules, reste constamment de la même nature; il en change, au contraire, lorsque ce liquide, par une circonstance quelconque, vient lui-même à changer. On peut facilement observer ces changements dans les laboratoires; car un cristal d'un des sels quelconques que nous avons cités, s'accroît en conservant constamment sa forme tant qu'on le laisse dans la même solution; mais il en change aussitôt, en continuant de s'accroître, lorsqu'on le place dans une solution différente. Il n'est pas de sels qui offrent à cet égard des résultats plus frappants que l'alun ou le sulfate de fer. Un cristal octaèdre d'alun, par exemple, placé dans une solution capable de produire de l'alun

cubique, prend bientôt, en continuant de s'accroître, la forme cubique, en passant d'abord par celle de cubo-octaèdre; il peut repasser ensuite à l'octaèdre complet, lorsqu'on le met dans une autre solution susceptible de donner cette forme, ou prendre celle de cubo-icosaèdre si on le place dans une solution du même sel par l'acide hydrochlorique, etc. Dans les minéraux on observe aussi des changements de formes qui sans doute tiennent à des causes semblables.

On trouve souvent dans la nature plusieurs formes différentes sur le même groupe, mais presque toujours on voit qu'elles sont superposées les unes aux autres et appartiennent à des époques différentes; il est clair, dans ce cas, que le liquide a changé de nature à ces diverses époques, car la même chose arrive précisément de cette manière dans les cristallisations artificielles que nous provoquons.

(132) *Formation des cristaux isolés.* — Il arrive fréquemment que les cristaux des différents sels se groupent les uns sur les autres, ou s'attachent irrégulièrement aux parois du vase; mais si on force la solution à cristalliser au milieu d'un dépôt de matière gélatineuse, on obtient des cristaux isolés parfaitement nets, ou des boules dont la surface est hérissée de cristaux. Il paraît que c'est dans des circonstances semblables que se forment les cristaux isolés et les boules de cristaux que nous trouvons dans la nature; en effet, ces cristaux ou ces boules se rencontrent toujours dans des matières homogènes, qui ont en général peu de solidité, quelquefois même sont tout-à-fait terreuses, et que l'on peut soupçonner d'avoir été, à une certaine époque, à l'état gélatineux ou pâteux.

(133) *Production de gros et de petits cristaux.* — Généralement parlant, les cristaux que nous obtenons

dans les laboratoires ou les ateliers sont d'autant plus gros que le volume de la solution d'où ils se sont précipités est plus considérable, et que la concentration a été mieux conduite; dans les petits vaisseaux, ou lorsque la solution est trop étendue, on n'obtient d'ordinaire que de très petits cristaux. On peut concevoir d'après cela pourquoi les gros cristaux naturels se trouvent dans les grandes cavités souterraines, et les petits, en général, dans des fissures de peu d'étendue. Il est cependant un cas où une solution d'un très petit volume peut fournir un ou plusieurs gros cristaux; c'est lorsqu'on force le sel à cristalliser dans un seul point, en enduisant partout le vase d'une couche de matière grasse, à l'exception de l'endroit où l'on veut faire placer le cristal; on provoque mieux encore cette formation en disposant la solution dans un appareil étroit, qui communique dans le bas avec une petite cavité, et où le liquide peut par conséquent s'élever à une grande hauteur: c'est dans cette cavité que les cristaux se forment, et ils sont alors d'un gros volume. Cette expérience peut expliquer la présence de quelques gros cristaux dans l'intérieur des géodes, dont souvent un seul remplit tout l'espace; car on peut imaginer que ces petites cavités communiquaient, au moment de la cristallisation, avec des fentes étroites où le liquide pouvait s'élever à une très grande hauteur, comme dans les appareils que nous venons de citer.

(134) *Productions des formes oblitérées.*—Après les détails que nous venons de donner sur les modifications des cristaux réguliers, nous arrivons naturellement à d'autres questions, qui se présentent comme d'elles-mêmes aussitôt qu'on a jeté un coup d'œil général sur les minéraux. Pourquoi ces corps cristallisent-ils tantôt sous des formes régulières, tantôt sous des formes régulières oblitérées, ou sous la forme d'aiguilles? Quelles sont

les causes qui les déterminent à se grouper régulièrement, à produire les transpositions ou les hémitropies? A quoi sont dues les anomalies que certains cristaux nous présentent dans la symétrie? Ce sont des questions auxquelles il est difficile de répondre et que l'expérience n'a pas encore éclairées convenablement. On sait que, pour avoir des cristaux réguliers, il faut que la solution soit suffisamment concentrée, mais qu'elle ne le soit pas trop, et que rien ne trouble les mouvements intérieurs en vertu desquels les particules solides se réunissent; s'il arrive qu'une solution, après avoir donné des cristaux, reste sans évaporation, ou vienne à s'étendre en attirant l'humidité de l'atmosphère, les cristaux formés sont attaqués, leurs arêtes s'arrondissent, et toute leur surface devient rugueuse. Il paraîtrait qu'il se présente quelques circonstances semblables dans la nature; car certains cristaux semblent indiquer par l'état de leur surface, qu'un liquide les a attaqués, et que c'est là la cause de la convexité qu'ils présentent dans toutes leurs parties.

Si la solution est trop concentrée, les cristaux se groupent les uns sur les autres, et le plus souvent avec irrégularité; cependant il arrive aussi que les petits cristaux s'arrangent les uns sur les autres par leurs faces homologues, et qu'il en résulte des cristaux plus ou moins volumineux, dans lesquels on distingue les petits cristaux composants. Quant aux groupements réguliers avec transposition ou hémitropie, je ne connais rien jusqu'ici dans les cristallisations artificielles, qui puisse nous donner quelques idées satisfaisantes; seulement en remarquant dans une solution qui cristallise, quelle est la position la plus générale que présentent les cristaux, on peut déterminer quelques groupements, sous un angle ou sous un autre, en retirant adroitement

quelques cristaux du liquide et les plaçant dans une autre position que celle qu'ils avaient naturellement; mais ce résultat n'est guère applicable aux cristaux naturels. On n'est guère plus avancé relativement aux causes qui déterminent les manques de symétrie; dans plusieurs tentatives que j'ai faites pour les produire, je n'ai obtenu aucun résultat satisfaisant; seulement en ajoutant du sulfate de potasse à une solution d'alun, j'ai obtenu plusieurs fois des cristaux octaédres, qui présentaient des modifications sur quatre de leurs arêtes sans en présenter aucun indice sur les autres; des cristaux de sulfate de potasse, qui s'étaient formés, dans une solution acide fortement colorée par du carbone, ont donné des octaédres rhomboïdaux, qui n'étaient autre chose que des dodécaédres triangulaires isocèles propres à cette substance, dont quatre faces avaient disparu; le même sel dans l'eau avait donné des dodécaédres complets.

*Cristaux à faces creuses.* — Nous savons un peu mieux dans quelles circonstances se produisent les cristaux à faces creuses; cela arrive dans nos laboratoires, lorsque les cristaux se forment au milieu de quelque matière terreuse, et que la solution est très concentrée. Dans ce cas, il ne se fait en quelque sorte que des squelettes de cristaux; les arêtes seules sont formées nettement, et les faces sont creusées en trémies plus ou moins profondes, qui laissent voir une multitude de couches concentriques souvent séparées les unes des autres par des couches minces de la matière étrangère. Il est à présumer que les cristaux naturels du même genre, se sont formés dans des circonstances semblables; en effet, les cristaux de roche que nous avons cités avec ces accidents, se trouvent au milieu de certaines matières terreuses incohérentes, où il est probable qu'ils se sont formés.

On doit cependant observer qu'il se forme aussi des cristaux semblables dans certains cas même où la solution est tout-à-fait pure ; mais il paraît que cela n'a lieu que pour certains sels, qu'on peut faire cristalliser très rapidement, par le refroidissement d'une solution très chargée à la température de l'eau bouillante.

*Cristaux aciculaires.* — Il arrive assez fréquemment dans nos laboratoires, que la cristallisation aciculaire dépend du degré de température de la solution au moment où le sel se solidifie. Il existe plusieurs sels que l'on peut à volonté obtenir de cette manière, en longues aiguilles ou en cristaux bien proportionnés ; tel est, par exemple, le nitrate d'ammoniaque : mais on ne sait pas jusqu'à quel point ces différences de température peuvent être admises dans la formation de cristaux naturels. Il se forme quelquefois aussi des aiguilles dans certaines solutions trop concentrées, et il y a même des substances qu'on ne peut jamais obtenir sous d'autres formes ; tel est, par exemple, le sulfate simple d'alumine, auquel plusieurs espèces naturelles peuvent être comparées sous ce rapport.

*Groupements dendroïdes irréguliers.* — Il est bien difficile de déterminer toutes les circonstances qui donnent lieu à la formation des groupes dendroïdes, et il paraît qu'il doit en exister de différents genres ; mais dans nos laboratoires, ces sortes de groupements ont lieu particulièrement lorsque la solution d'un sel est peu concentrée, et que l'air n'est pas assez sec pour donner lieu à une évaporation rapide ; ces sels grimpent alors sur les parois des vases, et y forment des végétations cristallines qui se ramifient de diverses manières, surtout lorsqu'elles sont arrivées au haut du vase, et qu'elles commencent à se répandre au dehors ; c'est là qu'ils forment des touffes dont la disposition

accidentelle est souvent très agréable. Le mécanisme de cette formation est assez simple, et très facile à observer; il se fait d'abord sur les parois du vase, un peu au-dessus de la surface du liquide, quelques points saillants, lesquels sont ensuite poussés au dehors par des molécules matérielles qui viennent se placer au-dessous d'eux, et qui sont apportées par le liquide que l'action capillaire introduit entre la paroi du vase et la croûte cristalline. Il se forme ainsi une première petite branche simple, sur laquelle le liquide s'élève ensuite, et détermine quelques nouveaux points cristallins, qui bientôt sont également poussés au dehors par les molécules suivantes, etc. C'est une formation tout-à-fait semblable à celles que nous avons indiquées pour les formes capillaires, et qui se manifeste souvent aussi dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire à la surface des corps poreux qu'on a imbibés d'une solution, ou mieux, que l'on fait plonger par une extrémité dans cette solution.

(135) *Disposition particulière de matières étrangères dans certains cristaux.* — Nous avons déjà parlé plusieurs fois de la cristallisation des sels au milieu des matières réduites en bouillie; mais ayant alors des résultats particuliers à faire connaître, nous n'avons pas dû nous écarter de notre objet pour indiquer un autre fait que nous allons décrire. Lorsque les cristaux se forment rapidement au milieu de ces matières pulvérulentes, il arrive fréquemment qu'ils en entraînent une portion dans leur intérieur, non pas disséminée comme nous l'avons déjà vu, mais placée à leur centre, et suivant plus ou moins leur diagonale; c'est ce que j'ai obtenu fréquemment en faisant cristalliser du sulfate de soude, du sulfate double de potasse et de magnésie, du tartrate de potasse et de soude, etc., au milieu d'un précipité d'hydrocyanate de fer. J'ai re-



marqué alors que la matière bleue renfermée dans les cristaux offrait une pyramide quadrangulaire à base carrée ou à base rhombe, suivant la nature du cristal, et plus ou moins allongée, dont les arêtes formaient souvent des prolongements suivant les diagonales du solide, et dessinaient sur sa base une croix plus ou moins nette; quelquefois aussi la matière bleue se trouvait disposée en même temps par couches plus ou moins espacées, parallèles aux faces prismatiques du cristal.

C'est sans doute de cette manière, c'est-à-dire par suite de la cristallisation rapide d'une solution très concentrée au milieu d'une matière en bouillie, que se sont formés certains cristaux qui offrent la même disposition d'une matière étrangère. C'est ce qu'on voit particulièrement dans la variété d'*Andalousite* qui est connue sous le nom de *Macle*, et qui se trouve au milieu de certaines roches formées de particules de mica très divisées, qu'on peut soupçonner de s'être trouvées, dans un certain moment, à l'état pâteux. La singulière disposition de cette pierre, dont on peut prendre une idée dans les fig. 20, et 21, pl. X, la fait particulièrement remarquer; mais il en est aussi d'autres qui offrent des dispositions analogues; telle est, par exemple, la *Trémolite*, qui a cristallisé au milieu des dépôts de double carbonate de chaux et magnésie presque pulvérulent; certains cristaux de sulfate de baryte, de sulfate de chaux, sont dans le même cas.

(136) *Structures accidentelles*. — Il y a long-temps que les observations faites sur les sels, dans les laboratoires, ont donné l'idée des causes qui déterminaient la structure saccharoïde; on a vu, en effet, que dans tous les cas où une solution est très concentrée, elle se prend en une seule masse qui résulte de l'accumulation confuse de tous les petits cristaux qui se sont formés

instantanément, et qui donnent à la masse la structure granulaire : si les cristaux étaient susceptibles de cli-vage, ce serait la structure saccharoïde.

Quant à la structure fibreuse, on peut se faire une idée nette des causes qui la déterminent, sans recourir à aucune expérience. Il suffit de bien examiner ce qui se passe journellement dans plusieurs sels solubles qui se forment dans des solfatares, dans les dépôts de sel commun, ou tout simplement dans les tas de terre pyriteuse qu'on amasse pour les laisser effleurir, et en tirer le sulfate de fer. Cette structure résulte de l'accumulation des filets capillaires produits accidentellement, comme nous l'avons déjà indiqué (93). Toutes les fois que des matières poreuses, imbibées d'une solution saline, présentent une fissure, on en voit les parois se couvrir bientôt de filets salins qui se pressent les uns sur les autres, et viennent se réunir au milieu de la fente, en se déformant par leur pression mutuelle, qui détermine un plan de jonction plus ou moins irrégulier. Toutes les fois que nous rencontrons dans la nature une substance pierreuse ou métalloïde à fibres droites, nous remarquons aussi qu'elle occupe toujours dans la roche une fissure aux parois de laquelle les fibres sont aussi à peu près perpendiculaires, et qu'elle offre le plan de jonction que nous venons d'indiquer; il est donc clair que la formation a eu lieu dans ce cas de la même manière que dans le sel soluble.

Il y a cependant des dispositions analogues qui sont produites autrement; les dépôts stalagmitiques qui se forment le long des parois des cavités souterraines sont aussi formés de fibres perpendiculaires à ces parois, et leur structure d'accroissement présente aussi des plans de jonction plus ou moins distincts : les dépôts en forme de draperies que l'on rencontre isolément dans ces mêmes cavités sont encore dans le même cas,

mais ce sont alors des espèces de stalactites, qui, au lieu d'être coniques, sont très aplaties; les eaux, en coulant de part et d'autre du tube initial, qui est alors ovoïde et plus ou moins aplati, y déposent des matières qui s'arrangent aussi en fibres perpendiculaires, comme sur les parois de la caverne.

Dans les stalactites ordinaires, on reconnaît aussi une structure fibreuse, due à des dépôts qui se sont recouverts successivement; mais le canal initial s'étant trouvé cylindrique, ces fibres sont divergentes. Dans d'autres cas, la structure à fibres divergentes est le résultat de la cristallisation en boule ou en mamelons.

Il y a des cas où la structure fibreuse à fibres divergentes ou entrelacées paraît tenir à la nature même de la substance qui ne cristallise jamais autrement; tel est par exemple le sulfate d'alumine; mais le plus ordinairement ces structures sont le résultat d'un groupement dendroïde irrégulier, dont nous avons assigné plus haut les formations dans les sels de nos laboratoires, et qui probablement a lieu de la même manière dans la nature.

Il arrive assez fréquemment que la structure fibreuse, toujours à fibres plus ou moins divergentes, est un résultat de décomposition, et se trouve particulièrement due, dans les sels, à la perte ou à l'absorption d'un peu d'eau; elle se fait alors après coup, et sans que la matière soit remise en solution. C'est ce que j'ai observé dans plusieurs sels, et particulièrement dans le sulfate acide de potasse obtenu d'une solution acide où il cristallise en rhomboédre parfait à cassure vitreuse. Ces rhomboédres étant enfermés dans un bocal, prennent, dans l'espace de quelques mois, plus ou moins, la structure fibreuse, et finissent par se convertir en petites houppes soyeuses qui renferment moins d'eau de cristallisation que les cristaux. Nous pouvons avoir un

exemple plus commun de cette nouvelle cristallisation, qui se fait pour ainsi dire à sec, dans le sucre de pomme ou le sucre d'orge en bâton. Lorsque ces bâtons sont nouvellement faits, ils présentent une cassure vitreuse, mais, après quelque temps, la surface devient terne, et si on les casse alors on observe une couche plus ou moins épaisse à structure fibreuse dont les fibres se dirigent au centre; si on enlève cette couche, il s'en forme quelque temps après une nouvelle. On m'a fait à cet égard, et d'une manière un peu aigre, l'objection que cette structure existait déjà, *sans être visible*, dans les bâtons de sucre où l'on ne *croit* apercevoir qu'une cassure vitreuse, et qu'elle se manifestait de plus en plus par le desséchement; mais une expérience très facile à faire suffit pour la réfuter complètement. En effet, si l'on casse irrégulièrement un morceau de sucre de pomme ou de sucre d'orge, et qu'on le laisse exposé à l'air, on remarquera que la couche fibreuse qui se forme l'enveloppe de toutes parts; que les fibres changent de direction d'une face à l'autre, et qu'elles sont placées perpendiculairement au-dessus de chaque face. J'espère que dans cette manière de faire l'expérience, on voudra bien admettre que le fragment irrégulier ne possédait pas une *prédisposition* cristalline de cette espèce.

Il se présente des circonstances semblables dans la décomposition des minéraux; ainsi, il arrive assez fréquemment que les cristaux, en changeant plus ou moins de nature, comme nous l'avons indiqué (28) en parlant des formes empruntées, prennent une structure fibreuse: le plus bel exemple que je puisse encore citer, quoiqu'il m'ait valu l'objection que je viens de réfuter, est le carbonate vert de cuivre, qui provient de la décomposition du carbonate bleu, ou qui lui-même a subi une décomposition par laquelle il a

perdu une partie de son eau de cristallisation; la même chose paraît avoir lieu dans quelques arséniates de cuivre.

(137) *Cristallisation avec changement de système.*— En étudiant jusqu'ici les formes cristallines, nous les avons considérées indépendamment des substances qui les affectent, et que nous avons seulement citées pour exemple; mais lorsqu'on vient à examiner en même temps, et la nature des substances et leur cristallisation, on reconnaît que si dans un grand nombre de cas ces deux caractères marchent ensemble, c'est-à-dire qu'il y a similitude ou différence de cristal là où il y a similitude ou différence de nature, il y a aussi des cas où ils ne sont nullement en rapport. D'un côté plusieurs substances, quoique de nature différente, peuvent présenter des formes identiques, par exemple, l'alun et le sel commun; mais de l'autre, et ce qui est plus remarquable, la même substance peut cristalliser tantôt dans un système, tantôt dans un autre; il y en a aujourd'hui beaucoup d'exemples. Or, si les variations de la cristallisation d'une substance, dans le même système, suffisent pour donner le désir d'en connaître les causes, à plus forte raison, doit-on être extrêmement curieux de connaître les circonstances qui provoquent une substance à cristalliser tantôt dans un système, tantôt dans un autre. Il y a long-temps que je me suis occupé d'expériences à ce sujet; mais je n'ai pu encore parvenir qu'à un petit nombre de résultats positifs, et que l'on puisse obtenir à volonté. Ces expériences m'ont seulement conduit à reconnaître que les différences doivent tenir en général à la nature du liquide dans lequel se fait la cristallisation d'une substance. On sait depuis long-temps que l'eau, après avoir été saturée par un sel, peut encore en dissoudre un autre, souvent même en aussi grande quantité que l'eau

pure. Or, voici ce qui me paraît le plus général : si le sel que l'on fait ainsi dissoudre dans un liquide déjà saturé par un autre sel, est plus cristallisable que celui-ci, il arrive qu'il se dépose bientôt en cristaux qui, au lieu d'affecter la forme qui leur est particulière, prennent celles de l'autre sel. Ainsi lorsqu'on sature l'eau de nitrate de chaux, et qu'on y fait ensuite dissoudre du nitrate de potasse jusqu'à saturation, le nitrate de potasse se forme en cristaux du système rhomboédrique, qui est précisément celui du nitrate de chaux, tandis que dans l'eau pure, il cristallise dans le système prismatique rectangulaire droit. J'ai obtenu aussi le nitrate de potasse en rhomboédres, en le faisant cristalliser dans un liquide qui renfermait beaucoup de nitrate de soude; réciproquement j'ai obtenu le nitrate de soude en cristaux du système prismatique rectangulaire droit, quoique son système ordinaire soit le système rhomboédrique, en le faisant cristalliser dans une solution qui renfermait beaucoup de nitrate de potasse. Le sulfate de fer a cristallisé en octaèdre régulier dans une solution qui renfermait à la fois beaucoup d'alun et de sulfate de magnésie; M. Wolner a obtenu aussi des cristaux de sulfate de fer en octaèdre dans des eaux mères qui renfermaient du sulfate de magnésie, du sulfate d'alumine et de l'hydrochlorate de fer.

Ces résultats, et beaucoup d'autres analogues, qui m'ont même présenté la même substance sous trois formes différentes (par des solutions pures à une température élevée et à une température basse, et par des solutions qui renfermaient d'autres sels), m'ont conduit à penser qu'il pourrait bien se faire que la cristallisation fût indépendante des substances cristallisables, et ne fût, qu'on me permette cette expression, que la résultante des forces plastiques de la solution; mais les expériences que j'ai faites jusqu'ici,

ne sont point encore suffisantes pour établir d'une manière positive une théorie si opposée aux idées reçues. Je crois cependant devoir annoncer ici mon opinion; en avouant que si j'ai plusieurs fois obtenu à volonté la même substance sous une forme ou sous une autre, il est des cas où l'expérience n'a pas répondu à mon attente, et cela sans que je puisse en assigner la cause. Je dois dire aussi que dans ces cristallisations forcées d'une substance, il arrive souvent que les cristaux tombent bientôt en poussière; circonstance très remarquable, car comme M. Mitscherlich et M. Heidenberg l'ont observé, il suffit de chauffer avec précaution certains cristaux, pour leur faire prendre des clivages qui indiquent un changement de cristallisation. On peut soupçonner avec ces savants que la facilité avec laquelle l'aragonite tombe en poussière lorsqu'elle est exposée au feu, tient également à ce que la cristallisation se change alors, en reprenant peut-être celle du carbonate de chaux ordinaire. On peut soupçonner aussi quelque chose d'analogue dans l'efflorescence de certaines substances minérales, dans celles surtout dont la composition n'est pas altérée dans cette opération.

M. Mitscherlich a fait d'autres expériences qui se rapportent au même genre de considérations. En laissant évaporer du carbure de soufre qui tenait du soufre en solution, il a obtenu des cristaux en octaèdre à bases rhombes, qui se rapportaient par conséquent au système prismatique rectangulaire droit, comme les cristaux naturels; mais ayant fait fondre du soufre, ayant laissé refroidir le liquide jusqu'à ce qu'il se formât une croûte solide à la surface, qu'il cassa pour décanter, il trouva des cristaux de soufre en prismes obliques à bases rhombes, et par conséquent incompatibles avec les premiers. Ainsi il paraît que des

cristaux obtenus par la voie humide, doivent être en général différents de ceux qu'on obtient de la même substance par la voie sèche, ce qui est une circonstance analogue à celles qui ont lieu dans des liquides de nature différente, mais plus importante, en ce qu'on ne peut supposer aucune combinaison entre les matières employées.

Sans pouvoir indiquer la véritable cause qui a pu faire changer de système cristallin à quelques substances naturelles que nous connaissons, nous pouvons conclure des expériences précédentes, que ces causes tiennent à des circonstances tout-à-fait extérieures; soit à la température, soit à la présence de telle ou telle matière dans la solution, soit enfin parce que dans un cas la cristallisation s'est faite par la voie humide, et dans l'autre par la voie sèche, etc. Le carbonate de chaux, sous la forme du prisme rhomboïdal, où il constitue l'arragonite, renferme une petite quantité, variable, de carbonate de strontiane aqueux, et l'on peut soupçonner que cette forme a été déterminée par la présence de ce carbonate dans la solution d'où le premier se précipitait. Un certain sulfure de fer, que l'on trouve abondamment dans la nature, cristallise tantôt en cube, tantôt en prisme rhomboïdal; or, dans le premier cas, il renferme fréquemment une petite quantité de sulfure d'arsenic, ce qui peut faire soupçonner que la présence de ce corps au moment de la cristallisation, a produit la différence.

On conçoit combien il serait important pour l'avancement de la science, de faire de nouvelles expériences sur ce sujet; ces expériences promettent des résultats du plus haut intérêt, susceptible peut-être de renouveler entièrement la minéralogie.



---

---

## CHAPITRE V.

### CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE.

(138) NOUS avons jusqu'ici étudié les formes cristallines dans les rapports généraux qu'elles ont, dans chaque groupe, les unes avec les autres, et indépendamment des distinctions qu'on peut établir dans chaque système cristallin, d'après la valeur des angles que l'on observe dans les diverses substances, et aussi dans les diverses espèces que chaque genre de forme peut présenter. Mais avant de quitter ce sujet, il est nécessaire de faire voir comment on peut y mettre plus de précision, en y appliquant le calcul. Ces applications, qui n'exigent que les plus simples éléments de la trigonométrie, ceux que personne ne doit ignorer, et qu'en définitive on peut apprendre en quelques jours, ont toutes pour objet, soit de déterminer les dimensions relatives des formes que l'on peut prendre pour type de cristallisation dans telle ou telle substance, soit, en partant d'un type adopté, d'établir les lois d'après lesquelles les diverses formes de la substance en sont dérivées. Ces lois distinguent les diverses espèces de formes du même genre qu'une substance peut présenter, et achèvent de caractériser les substances qui se rapportent au même système de cristallisation.

Détermination des formes types , ou primitives.

(159) *Observations générales.* — Les détails dans lesquels nous sommes entrés précédemment, ont fait voir la possibilité de ramener toutes les formes que présente une même substance, à une forme principale qui peut être regardée comme son type de cristallisation. Mais il est évident que cette forme ne peut pas être prise arbitrairement, car on doit avoir remarqué que les formes qui se trouvent dans chacun des groupes que nous avons établis, sont absolument incompatibles avec celles qui composent tous les autres groupes. Aucune des formes dérivées du tétraèdre, par exemple, ne peut être déduite d'un rhomboèdre, ou d'un des types prismatiques; et réciproquement, aucune de celles que présentent ces types ne peut être rapportée au tétraèdre, etc. Il suit de là que quand on veut choisir une forme principale, à laquelle on puisse ramener tous les cristaux d'une substance, il faut commencer par étudier assez bien l'ensemble de ces formes, pour pouvoir déterminer auquel des six groupes cristallins elles peuvent être rapportées; ce qui ne peut se faire qu'en examinant soigneusement la symétrie des modifications que présentent les formes dominantes de cette substance. Nous allons en rappeler brièvement les principes.

Un cube dont les arêtes et les angles sont parfaitement intacts ne saurait être distingué d'un prisme carré, ou d'un prisme rectangulaire; mais, dès que l'on possédera plusieurs modifications cristallines de la même substance, on reconnaîtra toujours à laquelle de ces trois formes elle peut être rapportée. Si c'est un cube, toutes les arêtes seront remplacées à la

fois par des plans également inclinés sur les faces correspondantes; il en sera de même de tous les angles solides. Si c'est un prisme à bases carrées, il pourra y avoir quatre arêtes (les arêtes latérales) modifiées de la même manière, par des plans également inclinés sur les faces adjacentes, qui sont de même espèce; mais les huit autres resteront simples, ou si elles sont modifiées, elles le seront toutes en même temps de la même manière: les nouveaux plans formeront tous alors le même angle avec la base, et en général des angles différents, mais tous égaux entre eux, avec les pans du prisme. Les angles solides pourront aussi être tous remplacés en même temps, mais les nouvelles faces n'auront pas la même inclinaison sur toutes celles auxquelles elles correspondent; elles ne feront le même angle qu'avec les faces du prisme. Si c'est un prisme rectangulaire, les quatre arêtes latérales seront modifiées en même temps, mais les nouvelles faces ne feront pas le même angle avec les faces adjacentes qui sont d'espèces différentes; les arêtes des bases pourront n'être pas modifiées toutes en même temps, ou si elles le sont, les nouvelles faces ne formeront pas toutes le même angle avec la base, c'est-à-dire que deux des arêtes parallèles seront modifiées d'une manière, et que les deux autres seront modifiées différemment. Les angles solides pourront être modifiés tous en même temps, mais leur inclinaison sera différente sur chacun des plans adjacents.

Le tétraèdre, l'octaèdre régulier, le dodécaèdre rhomboïdal, etc., seront reconnus immédiatement à la valeur de leurs angles; les octaèdres à bases carrées se distingueront à l'égalité d'inclinaison de toutes les faces de part et d'autre de la base commune; on ne pourra d'ailleurs les confondre avec les octaèdres rectangulaires, d'après la symétrie des modifications sur les

arêtes ou sur les angles, qui ne peuvent se faire que quatre à quatre ou huit à huit.

Les rhomboèdres se distingueront immédiatement à l'égalité d'inclinaison des trois plans qui forment un même angle solide, aigu ou obtus. Tous les solides qui se rapportent à ce système subissent des modifications semblables, sur deux ou sur six parties à la fois, c'est-à-dire sur deux angles solides opposés, sur six arêtes ou six angles placés latéralement, ou sur six arêtes placées trois à trois à chaque sommet. Un prisme hexagone se rapporte à ce système lorsqu'il a tous ses angles de  $120^{\text{d}}$ , et qu'il se modifie toujours de la même manière sur les six arêtes latérales à la fois, sur trois ou sur six arêtes de sa base, jamais seulement sur deux ou quatre; sur trois ou six angles solides, jamais sur deux ou quatre: c'est par ces lois de symétrie qu'on le distinguera du prisme semblable, qui peut exister dans le système prismatique rectangulaire. Ce que nous disons du prisme s'applique également aux pyramides à triangles isocèles.

Au reste, sans pousser plus loin ces observations, on reconnaîtra toujours le système cristallin d'une substance, si l'on a bien saisi tous les détails dans lesquels nous sommes entrés en étudiant les différents systèmes cristallins, et dont nous n'avons eu ici pour but que de rappeler les principaux.

(140) *Règles générales pour le choix de la forme principale.* — Après avoir reconnu à quel système cristallin une substance se rapporte, le choix de la forme principale, ou primitive, n'est pas encore indifférent; car si théoriquement on peut prendre une quelconque des formes simples qu'affecte la substance pour en déduire toutes les autres, comme nous l'avons remarqué plusieurs fois, il en est tout autrement lorsqu'on veut se laisser guider par la nature; il existe à cet égard des règles

générales dans lesquelles le cristallographe doit toujours se renfermer. D'abord on doit donner la préférence à la forme indiquée par les clivages les plus constants : c'est évidemment celle à laquelle la nature donne le plus d'importance. Lorsque les substances ne se clivent point, le choix doit naturellement tomber sur la forme dont l'empreinte se conserve dans le plus grand nombre des autres cristaux. Enfin, en général, on doit choisir dans toutes les formes possibles d'un même type, celle qui donne de la manière la plus simple toutes les modifications que la substance présente.

Appliquons ces règles à quelques exemples. Les cristaux de sel commun, d'alun, de diamant, de grenat, de plusieurs espèces de minerais de cuivre, de fer, de plomb, etc., etc., se rapportent au premier système de cristallisation, et peuvent être tous dérivés rigoureusement du tétraèdre régulier, ou de l'un quelconque des solides qui dépendent de ce système. Cependant il ne serait pas convenable de prendre pour type le même solide dans chacune de ces substances; car les clivages, dans celles qui en sont susceptibles, conduisent pour les unes au tétraèdre, pour les autres à l'octaèdre, au cube, etc.; dans celles qui ne se clivent pas, la forme qui domine dans tous les cristaux est aussi pour l'une le tétraèdre, pour une autre le cube, l'octaèdre ou le dodécaèdre rhomboïdal. Ce sont ces formes de clivages, ou ces formes qui laissent leur empreinte sur toutes les autres, qui doivent être prises ici pour formes primitives. Dès lors le diamant, l'alun, quelques minerais de cuivre et de fer (*cuivre et fer oxidulés*) doivent être rapportés à l'octaèdre, parce que c'est la forme de clivage, ou celle qui domine dans les cristaux; le sel commun, certains minerais de plomb et de fer (*plomb et fer sulfurés*) doivent être rapportés au cube

par les mêmes raisons ; le grenat doit être rapporté au dodécaèdre rhomboïdal , parce que c'est la forme dominante dans tous les cristaux dont aucun ne présente de clivage sensible. Enfin , il n'y a que certains minéraux de cuivre (*cuivre gris*) qui doivent être rapportés au tétraèdre régulier.

Il en est de même des formes qui se rapportent aux autres groupes ; il n'est pas indifférent , pour suivre les lois de la nature , de prendre pour formes primitives l'un ou l'autre de tous les rhomboèdres qui peuvent dériver d'un même type , ou un prisme hexagonal régulier , ou l'un des dodécaèdres triangulaires ; il n'est pas indifférent de prendre le prisme à base carrée , ou l'un des octaèdres qui en dépendent ; le prisme à base rectangulaire , ou le prisme rhomboïdal inscrit , ou l'un des octaèdres qui peuvent en être dérivés. Il faut , dans tous les cas , se laisser guider par l'ensemble des observations qu'on peut faire sur la substance. Ainsi , pour présenter encore un exemple , la pierre calcaire cristallisée , le cristal de roche , l'émeraude , etc. , etc. , se rapportent tous au système rhomboédrique , et leurs cristaux peuvent être dérivés rigoureusement d'un rhomboèdre dont l'espèce est différente pour chacune de ces substances ; mais l'ensemble des observations conduira à prendre un rhomboèdre pour la pierre calcaire , et à choisir parmi tous ceux qui sont possibles sous une même dimension primordiale , un certain rhomboèdre obtus que donne le clivage. Dans le cristal de roche , on choisira de préférence le dodécaèdre à triangles isocèles , parce que c'est cette forme qui reste particulièrement empreinte sur tous les cristaux ; dans l'émeraude , on choisira de préférence le prisme hexagonal , etc. , etc.

(141) *Détermination des dimensions relatives.* —  
Après avoir choisi une forme pour type de cristallisa-

tion d'une substance, en se laissant guider par les règles que nous venons d'établir, il faut encore, en général, en déterminer les dimensions relatives pour pouvoir en déduire rigoureusement toutes les autres formes. Il n'y a que les formes régulières que nous avons rassemblées dans le premier de nos groupes cristallins, qui soient immédiatement définies par leur propre nature, et qui ne puissent varier en aucune manière; tous les autres types peuvent exister sous des dimensions relatives différentes, et, par conséquent, se divisent en espèces plus ou moins nombreuses, qui appartiennent à diverses substances. Il peut exister une infinité de rhomboèdres différents, une infinité de prismes à bases carrées, à bases rectangles, etc. Il ne suffit donc plus d'avoir déterminé le genre de solide auquel la substance peut être rapportée, il faut encore en déterminer l'espèce. Cette détermination peut se faire par divers moyens: mais le mode général est fondé sur les conditions que la nature a imposées dans les modifications dont les divers solides sont susceptibles.

*Dans le prisme à bases carrées.* — Nous avons vu que dans les modifications par une seule face sur une arête pl. X, fig. 1, le prisme triangulaire  $abcd$  qui manque au solide primordial, est toujours tel que les côtés  $ab$ ,  $ac$  de la base, sont proportionnels aux arêtes primordiales  $am$ ,  $an$ . Or, supposons qu'il s'agisse d'un prisme droit à bases carrées, dont il faut déterminer le rapport entre la hauteur et le côté de la base; il suffira de mesurer le plus exactement possible l'inclinaison de la face  $bcef$  sur les plans P ou M, d'où l'on pourra conclure les angles du prisme  $abcd$ , car l'angle  $abc$  est égal à  $180^\circ$  moins l'inclinaison sur P, et  $acb$  en est le complément. Connaissant ces deux angles, leurs sinus donneront le rapport des côtés; on fera la proportion

$$ab : ac :: \sin. acb : \sin. abc.$$

Supposons que l'angle trouvé sur M soit de  $129^{\text{d}}$ , on aura  $acb = 180^{\text{d}} - 129^{\text{d}} = 51^{\text{d}}$ , et  $abc = 90^{\text{d}} - 51^{\text{d}} = 39^{\text{d}}$ ; ainsi,

$$ab : ac :: \sin. 51^{\text{d}} : \sin. 39^{\text{d}}.$$

Il ne s'agit plus maintenant que de prendre les logarithmes de ces sinus, et de chercher immédiatement les nombres correspondants, qui expriment alors le rapport demandé : dans le cas présent, on trouve  $ab : ac :: 7771 : 6293$ , très près du rapport 11 à 9 (1). En calculant avec ces nombres quelle doit être la valeur de l'angle que fait la nouvelle face sur le pan M, on trouve, par la proportion,

$$R : \text{tang. } acb :: 9 : 11.$$

l'angle  $acb$  de  $50^{\text{d}} 42'$ , et par conséquent l'angle cherché de  $180^{\text{d}} - 50^{\text{d}} 42' = 129^{\text{d}} 12'$ , ce qui est très rapproché de l'angle observé. Lorsqu'on ne possédait que le goniomètre ordinaire dont nous avons donné précédemment la description (14), il était impossible de s'apercevoir positivement d'une différence de 12 minutes; mais aujourd'hui que nous possédons des moyens plus parfaits de déterminer les angles par les instruments à réflexion, les erreurs qu'on peut commettre ne s'élèvent pas au-delà de 4 à 5 minutes; souvent même on est parfaitement sûr de l'angle à la minute, lorsqu'on a opéré sur de très beaux cristaux et avec des

(1) On a,  $\text{Log. sin. } 51^{\text{d}} = 9,890503$   
 $\text{Log. sin. } 39^{\text{d}} = 9,798872.$

Pour trouver les nombres correspondants, il faut retrancher 6 unités de part et d'autre à la caractéristique de ces logarithmes, qui deviennent alors 3,890503 et 3,798872. Ce sont ceux-ci qui fournissent les nombres indiqués.



points de mire très éloignés. D'après cela, si l'angle de  $129^{\text{d}}$  a été observé avec précision, celui de  $129^{\text{d}} 12'$  ne peut convenir, et dès-lors le rapport de la hauteur au côté, est nécessairement un peu plus fort que  $11$  à  $9$ ; mais les deux nombres  $7771$  et  $6293$  se réduisent aussi à ceux  $111$  et  $90$ , qui donnent pour l'inclinaison  $129^{\text{d}} 3'$ : la différence rentrant ici dans les erreurs possibles d'observation, le rapport peut être adopté.

L'abbé Haüy a fréquemment donné ces rapports sous forme radicale: pour cela il suffit de doubler les logarithmes, et de chercher ensuite les nombres correspondants, qui, exprimant alors des carrés, doivent être mis sous le signe  $\sqrt{\quad}$ . Dans l'exemple que nous avons choisi on trouve,

$$ab : ac :: \sqrt{6039} : \sqrt{3960}.$$

nombres qui sont très près du rapport  $\sqrt{6}$  à  $\sqrt{4}$  ou bien  $\sqrt{6}$  à  $2$ , ou encore  $\sqrt{3}$  à  $\sqrt{2}$ : en calculant dans cette supposition on trouve  $129^{\text{d}} 14'$ . Il est clair qu'on peut faire ici les mêmes observations que précédemment, que  $14'$  se trouvant hors de la limite des erreurs possibles, il faut chercher un autre rapport; on pourrait alors s'arrêter à celui  $\sqrt{151}$  à  $\sqrt{99}$ , qui donnerait  $128^{\text{d}} 55'$  pour l'angle demandé. On doit s'apercevoir qu'il n'y a aucun avantage ici à se servir de quantités radicales; car les nombres ne sont pas plus simples d'une manière que de l'autre, et dans la seconde il y a de plus la difficulté du signe.

Nous devons faire remarquer que dans l'exemple que nous venons de donner, nous avons supposé tacitement que l'intersection  $cb$  était parallèle à la diagonale  $mn$ ; c'est une condition essentielle pour avoir le véritable rapport, parce que c'est alors seulement que la face  $abc$  est semblable à  $anm$ ; si l'intersection était  $bc'$ ,

le parallélisme n'existant plus, les sinus ne pourraient plus donner le rapport de  $am$  à  $an$ . On pourrait cependant partir de cette position pour déterminer les dimensions du solide, parce que, d'après les lois que suit la nature, le nouveau côté  $ac'$  est lui-même en rapport avec  $ac$ ; il en est le double, le triple, etc., de sorte qu'après avoir déterminé par les sinus le rapport des côtés  $ab$ ,  $ac'$ , il suffirait de prendre la moitié, le tiers, etc., du nombre qui représente  $ac'$ , pour avoir le rapport réel de  $an$  à  $am$ . D'ailleurs le prisme même qui serait déterminé par la position de la face  $abc'$ , ne serait que double ou triple en hauteur du premier, et il n'en serait pas moins susceptible d'être pris pour type de cristallisation; seulement les lois de dérivation des autres solides, pourraient être plus ou moins compliquées.

*Dans le prisme rectangulaire droit.* — Lorsqu'ils s'agit de déterminer les dimensions relatives d'un prisme rectangulaire droit, il faut nécessairement faire deux opérations. S'il existe une modification sur l'arête supérieure  $ad$  fig. 1, elle donnera le rapport entre l'arête adjacente  $an$  et la hauteur  $am$ ; mais  $ad$  n'étant plus égal à  $an$  comme dans le prisme à bases carrées précédent, restera indéterminé. Il faudra donc une seconde modification, qui devra se trouver sur l'arête  $an$ : celle-ci donnera alors le rapport du côté  $ad$  à la hauteur  $am$ ; or, la hauteur  $am$  est déjà connue; donc on tirera la valeur de  $ad$  en fonctions de  $am$ , et par conséquent en rapport avec  $an$ .

*Dans le prisme rectangulaire oblique* fig. 4, il faudra d'abord mesurer aussi exactement qu'il sera possible, avec le goniomètre à réflexion, l'inclinaison des faces P et M; cela fait on cherchera dans les cristaux de la substance, une modification sur l'arête  $an$ , dont on mesurera exactement l'inclinaison sur P et sur

M. De cette inclinaison on déduira la valeur des angles  $abc$ ,  $acb$ , dont les sinus fourniront le rapport entre les côtés  $ac$  et  $ab$ , et par conséquent entre les arêtes  $am$  et  $aq$  du prisme.

Pour déterminer  $an$ , il faut trouver une modification sur l'arête  $aq$ , fig. 5, qui donnera le rapport de  $an$  à la perpendiculaire  $ap$ , par le triangle  $abi$ , dont on connaîtra les angles au moyen de l'inclinaison de la nouvelle face sur P et T : on aura ainsi les trois dimensions rectangulaires. Si l'on veut avoir le rapport de  $an$  à  $am$ , on n'aura qu'à tirer  $ai$  en fonction de  $am$ , déjà déterminée par la première opération, fig. 4, et on recalculera le triangle  $abi'$ , pour avoir  $ab$ , et par conséquent  $an$ , sous cette condition.

Dans le prisme oblique à bases de parallélogramme obliquangle, le calcul des dimensions, sans être plus difficile, devient plus compliqué, et exige un plus grand nombre de mesures directes; il faut se donner l'inclinaison des faces et la valeur des angles plans. Si on observe une modification sur  $am$ , fig. 6, on en tirera les valeurs relatives des perpendiculaires  $ap$ ,  $ap'$ , d'où l'on pourra avoir les arêtes  $an$ ,  $ao$ , au moyen des angles plans  $aop$ ,  $anp'$  mesurés directement.

Une modification sur une des arêtes des bases, comme sur  $ao$ , fig. 7, donnera le rapport entre  $aq$  et  $aq'$ ; mais on pourra avoir  $aq$  en fonction de  $an$  en prenant l'angle plan  $anq$ , et on aura une valeur correspondante de  $aq'$  au moyen de laquelle, et avec l'angle plan  $amq' = aop$ , on aura une valeur de  $am$ . Une modification sur l'arête  $an$  donnerait  $ar$ ,  $ar'$ .

Connaissant les rapports des côtés dans les divers solides prismatiques dont nous venons de parler, on calculera facilement les diagonales, soit celles des bases, soit celles des faces latérales, et par conséquent

les angles qu'elles forment, soit entre elles, soit avec les côtés des solides.

Nous n'avons parlé que des prismes rectangulaires, mais les prismes rhomboïdaux n'offrent pas plus de difficultés; ils se calculent comme les prismes rectangulaires, ou comme les prismes obliques à bases de parallélogrammes obliquangles. En effet, un prisme rhomboïdal droit, étant placé sur une de ses faces latérales, devient un prisme rectangulaire oblique, comme fig. 4, dans lequel seulement les côtés *am* et *aq*, qui sont ceux des bases du prisme rhomboïdal, sont égaux. Un prisme rhomboïdal oblique placé de la même manière, devient un prisme oblique à bases de parallélogrammes obliquangles, comme fig. 6, dans lequel deux côtés, *an*, *am*, qui sont ceux des bases rhomboïdales, sont égaux.

Dans tous les calculs de dimensions on pourrait également se servir des modifications sur les angles solides, qui conduiraient à la connaissance des diagonales des bases, au moyen desquelles on pourrait ensuite calculer les côtés; c'est même le moyen le plus commode pour calculer les prismes rhomboïdaux.

Nous ne pousserons pas plus loin ces considérations; si l'on a bien conçu l'esprit de la méthode, on ne trouvera de difficultés pour aucun solide. Les octaèdres, les dodécaèdres à triangles isocèles, le prisme hexagonal régulier, se calculeront tous d'une manière très simple. Les deux premiers n'exigent qu'une seule mesure d'angle, c'est l'inclinaison des faces de part et d'autre de la base commune, c'est-à-dire *abc*, fig. 8, dont le supplément donnera l'angle dièdre au sommet *bad*. En prenant la moitié de chacun de ces angles, elle servira à calculer les lignes *bh* et *ah*, dont la première est la moitié du côté de la base dans l'octaèdre, et l'apothème de l'hexagone dans le dodécaèdre; la

seconde est la hauteur de la pyramide. Le rhomboèdre n'offre pas plus de difficultés que les prismes rhomboïdaux obliques; mais à cause de la régularité qui est propre à ce solide, on peut aussi le calculer d'une manière encore plus simple, dont nous allons donner une idée.

(142) *Calcul des rhomboèdres.*—Il est rare que dans une substance qui se rapporte au système rhomboédrique, on n'observe pas quelques cristaux qui présentent les faces du solide fondamental, réunies à celle du remplacement du sommet par une seule face, ou à celles du remplacement des angles latéraux qui conduisent au prisme hexaèdre. Dans l'un ou dans l'autre cas, il suffit de mesurer, aussi exactement que possible, l'angle que font entre elles les deux faces, l'une primitive, l'autre secondaire, pour en conclure toutes les dimensions du rhomboèdre.

Supposons que l'on parte du remplacement du sommet, fig. 9, dont on mesurera exactement l'inclinaison sur  $p$ ; concevons le solide coupé par un plan qui passe par la diagonale  $ab$  et les arêtes  $bn$ ,  $am$ , il donnera la fig. 10, où  $ab$  est la même diagonale, et où  $bn$ ,  $am$ , sont les arêtes:  $bm$  sera l'axe du solide, et l'angle qu'on a mesuré sera  $dca$ . Si on retranche cet angle de  $180^\circ$ , on aura la valeur de  $dcb$ , puis l'angle  $cbo = 90^\circ - dcb$ , à cause de celui  $cob$  qui est droit. Le rapport des sinus de ces deux angles donnera celui des deux lignes  $co$ ,  $ob$ , au moyen desquelles tout peut être déterminé dans le rhomboèdre. En effet, menons la ligne  $ni$ , perpendiculaire à l'axe, et prolongeons-la jusqu'à la rencontre de  $ba$ ; si l'on fait attention à la configuration du rhomboèdre, on verra que les diagonales  $rs$ ,  $sn$ ,  $nr$ , fig. 9, sont toutes dans un même plan, et forment un triangle équilatéral; la ligne  $ni$ , couchée sur ce plan, vient donc couper la diagonale  $ba$  en son milieu  $p$ . De plus, l'axe  $bm$  passe par le centre du triangle équilatéral,

et par conséquent au tiers de la ligne  $np$ ; donc  $in = 2 ip$  ; mais  $ip$  peut être représentée par  $co$ , à cause du parallélisme, donc la ligne  $in = 2 ip$  est connue, et l'angle  $ibn$ , qui lui est opposé, peut être déterminé. Or, au moyen du triangle  $pbi$ , on calculera la demi-diagonale  $bp$ , et par le triangle  $bin$  on calculera l'arête  $bn$ .

Maintenant le triangle rectangle  $bps$ , fig. 9, où l'on connaît  $bp$ , et  $bs = bn$ , permettra de calculer  $ps$ , l'autre demi-diagonale, ainsi que les angles  $pbs$ ,  $bsp$ , dont chacun est la moitié de l'angle plan correspondant des faces du rhomboèdre.

On peut avoir aussi bien facilement la valeur de l'axe du solide, car si on mène la perpendiculaire  $aq$ , elle rencontrera l'axe en  $z$ ; or,  $iz$  est égale à  $ib$  à cause de  $bp = pa$ ;  $zm$  est aussi égale à  $ib$ , parce que la ligne  $aq$  est la même que  $pn$ , donc l'axe est égal à  $3bi$ .

Rien n'est plus facile que de déterminer avec ces données l'inclinaison mutuelle des faces du solide. Du point  $s$  fig. 11, menons  $sk$  perpendiculaire sur  $rb$ , prolongée s'il est nécessaire; du point  $k$  abaissons  $ko$  au milieu de la diagonale  $sn$ , qui formera l'angle droit  $kos$ . On déterminera facilement  $ks$ , au moyen de l'arête connue  $bs$ , qui devient l'hypothénuse du triangle  $bsk$ , et de l'angle  $sbk$ , supplément de  $rbs$  connu (ce sera l'angle  $rbs$  lui-même si le point  $k$  est entre  $b$  et  $r$ , ce qui a lieu pour le rhomboèdre aigu), on connaît d'ailleurs  $so$ , moitié de la diagonale  $sn$ , et par conséquent on pourra calculer l'angle  $sko$ , moitié de celui que l'on cherche.

En procédant de cette manière, on pourra réduire tous les calculs relatifs au rhomboèdre en formules algébriques régulières. On en fera de même pour tous les solides pyramidaux; mais pour tous les autres, les formules deviennent très-complicquées, et à peu près inutiles, vu la facilité avec laquelle on peut faire tous les calculs immédiatement.

Lois de dérivation des formes secondaires, et calcul des angles.

(142) *Moyens généraux de représenter les formes secondaires.*—La forme type, fondamentale ou primitive, d'une substance, étant déterminée dans son espèce et dans ses dimensions relatives, il suffira rigoureusement de l'indiquer, pour donner une idée nette de tous les genres de formes qui peuvent exister dans cette substance, et pour écarter toutes celles qu'elle ne peut jamais prendre; c'est le résultat de toutes les considérations auxquelles nous nous sommes livrés jusqu'ici. Mais en décrivant une substance avec détail, on ne doit pas se borner à indiquer purement et simplement les genres de formes dont elle est susceptible; il faut en fixer les espèces, qui diffèrent les unes des autres, et en général d'une substance à l'autre, par les angles d'inclinaisons des faces entre elles. Par exemple, en disant que l'émeraude, le phosphate de chaux, le phosphate de plomb, le sulfure de cuivre, etc. etc., ont pour forme primitive un prisme hexagone régulier, on voit bien quels sont les genres de formes qui peuvent se trouver dans ces substances; ce sont des prismes plus ou moins modifiés, avec des pyramides plus ou moins surbaissées; mais on ne voit pas en quoi ces substances diffèrent, cristallographiquement, les unes des autres, et quelles sont les espèces de modifications pyramidales qu'elles présentent. Si l'on ajoute que les prismes à bases d'hexagone régulier, qui représentent la cristallisation de ces substances, diffèrent les uns des autres par leurs dimensions relatives, pour lesquelles on a dans

Le sulfure de cuivre. . hauteur : apothème : : 2 : 1

Le phosphate de plomb. haut. : apoth. . . : : 2 : 1,012, ou : : 66 :  $\frac{37}{2}$

L'émeraude. . . . . haut. : apoth. . . : : 2 : 1,732, ou : : 2 :  $\sqrt{3}$

Le phosphate de chaux. . haut. : apoth. . . : : 2 : 2,358, ou : : 39 : 46

on donnera déjà une idée plus nette de la cristallisation de ces substances, puisque, comme nous l'avons vu, les formes primitives sont déduites de la position des faces secondaires relativement au solide qu'on a choisi pour les représenter toutes. On doit voir en effet que dans des prismes ainsi déterminés, des modifications de même genre et de même lois, donneront des pyramides de plus en plus obtuses; car la hauteur des prismes triangulaires soustraits, ou des prismes équivalents  $abc$ ,  $a'b'c$ ,  $a''b''c$ ,  $a'''b'''c$ , fig. 2, étant partout la même, et représentée par 2, et les bases étant successivement  $cb=1$ ,  $cb'=1,012$ ,  $cb''=1,732$ ,  $cb'''=2,358$  les lignes  $ac$ ,  $a'c$ ,  $a''c$ ,  $a'''c$ , qui sont les traces des faces produites, sont de plus en plus inclinées. Cependant cette indication des dimensions relatives ne donne encore que des rapports d'une substance à l'autre, et ne dit rien pour les diverses espèces de formes que chacune d'elles peut présenter en particulier; si l'on veut en dire davantage, il faut ajouter l'indication de la place que le nouveau plan occupe sur la forme primitive, et sa position relativement aux faces adjacentes.

Cette dernière partie de l'indication peut se faire par des angles ou par des rapports de lignes déduites de ces angles, ou qui conduisent à ces angles. Si on la fait par des angles, tout le travail consiste à les mesurer immédiatement avec le plus de précision possible, dans les divers cristaux que l'on peut avoir successivement; mais alors on ne peut prendre d'avance aucune idée des formes que l'on peut un jour rencontrer. Si on la fait par des rapports de lignes, il en résulte des expressions numériques des lois de dérivation dans les cristaux connus, qui peuvent conduire à prévoir toutes les autres formes que l'on peut rencontrer, surtout si l'on vient à comparer ces lois d'une substance à une autre;



on voit alors par ce qui existe dans l'une, ce qui manque et qui pourrait se trouver dans l'autre.

Il est facile de voir en quoi consistent ces rapports de lignes dont nous voulons parler ici; soit  $ac$  fig. 3, la position d'une face sur une arête des bases d'un prisme droit, si on mène du point  $a$  une ligne parallèle au côté du prisme, et du point  $c$  une ligne parallèle à la base, ces deux lignes se rencontreront en  $b$  et détermineront un triangle  $abc$ , dans lequel les deux lignes  $ab$  et  $bc$ , fixent la position de la ligne  $ac$ . On peut donc indiquer la position de cette ligne  $ac$  par le rapport que les deux lignes  $ab$  et  $bc$  ont entre elles: une autre position  $a'c$  peut être indiquée également par le rapport des lignes  $a'b'$ ,  $b'c$ , etc.

Rappelons-nous maintenant que nous avons employé une des faces produites sur l'arête de la base du prisme primitif, pour déterminer le rapport entre la hauteur de ce prisme et le côté de sa base; ce rapport,  $\frac{h}{c}$ , en nommant  $h$  la hauteur et  $c$  l'arête de la base, indique donc déjà la position d'un des plans de modification dont la substance est susceptible sur les arêtes de sa base. Or s'il existe d'autres modifications, leurs plans se trouveront soit au-dessus soit au-dessous du premier. Si ce plan est au-dessus comme  $a''c$ , la hauteur  $h$  restant la même, l'autre ligne  $b''c$  ne sera plus qu'une fraction de  $c$ , de sorte que le rapport sera  $h$  à  $\frac{c}{n}$ ,  $n$  étant un nombre qui dépend de la position de la nouvelle face; cette position sera donc exprimée par  $n \cdot \frac{h}{c}$ .

Si le plan est au-dessous du premier, comme  $a'c$ , la hauteur étant encore  $h$ , l'autre ligne sera plus grande que  $c$ , de sorte que le rapport sera  $h$  à  $n'c$ ,  $n'$  étant encore un nombre qui dépend de la position de la nou-

velle face : cette position sera donc fixée par  $\frac{h}{n'c}$  ou  $\frac{1}{n'} \cdot \frac{h}{c}$ , si  $n'$  est un nombre entier. Si  $n'$  est un nombre fractionnaire qu'on peut exprimer par  $\frac{m}{m'}$ , le rapport sera  $h$  à  $\frac{m}{m'}c$ , ou  $\frac{m'}{m} \cdot \frac{h}{c}$ .

On arrivera à des rapports de même genre si l'on fait varier la hauteur au lieu de la base, ou bien la hauteur et la base en même temps. Il suit de là que les positions des plans de modification, quelles qu'elles puissent être, seront toujours exprimées par le rapport  $\frac{h}{c}$  qui indique les dimensions du solide primitif, multiplié par un certain nombre, entier ou fractionnaire ; et l'on peut, dans l'énumération des formes dont une substance est susceptible, se borner à indiquer simplement ce multiplicateur, puisque le rapport  $\frac{h}{c}$  est constant dans toutes les modifications de la même substance.

Lorsqu'on a déterminé les nombres par lesquels on doit multiplier le rapport  $\frac{h}{c}$  pour avoir toutes les formes secondaires de telle ou telle substance, on peut voir immédiatement par leurs comparaisons, quelles sont les lois qui règlent la marche de la cristallisation dans une substance, et il est facile de les comparer d'une substance à une autre. Ainsi on trouve pour les diverses formes des substances que nous avons prises pour exemple, les nombres suivants :

Pour le sulfure de cuivre. . . . .	1, 2, 3.
Pour l'émeraude. . . . .	1, 2.
Pour le phosphate de plomb. . . . .	$\frac{1}{2}$ . . 2.
Pour le phosph. de chaux. . . . .	$\frac{1}{3}$ , $\frac{2}{3}$ , $\frac{1}{2}$ . 1, 2.

où l'on voit qu'il n'y a que les trois espèces de pyra-

mides dans le sulfure de cuivre , deux dans l'émeraude, deux dans le phosphate de plomb , et cinq dans le phosphate de chaux. De plus on voit que dans le sulfure de cuivre et l'émeraude , les lois sont beaucoup plus simples que dans le phosphate de chaux. Enfin on voit encore par la comparaison de ces lois dans les diverses substances , qu'il manque dans les deux premières les lois de dérivation  $\frac{1}{3}$  ,  $\frac{2}{3}$  ,  $\frac{1}{2}$  , et dans la troisième les lois  $\frac{1}{3}$  ,  $\frac{2}{3}$  et 1 ; or comme rien n'empêche qu'on trouve un jour ces mêmes lois , on peut d'avance établir les angles des pyramides qui en résulteraient dans chaque substance et représenter ces formes. On peut même aller plus loin , car en voyant comment les lois se suivent en général dans les différents cristaux , on peut , en partant des dimensions de la forme primitive que l'on est conduit à admettre pour telle ou telle substance , calculer à priori toutes les formes que l'on peut espérer d'y rencontrer à l'avenir.

On a cru jusque dans ces derniers temps que les lois de dérivation des formes secondaires étaient toujours représentées par des rapports assez simples ; mais aujourd'hui il faut reconnaître qu'il n'en est pas ainsi , du moins c'est ce que mes observations propres me forcent d'admettre , et qu'il arrive fréquemment que ces rapports sont très-complicés : il en est de même de ceux qui établissent les dimensions relatives des formes primitives. Lorsqu'on admettait l'idée que les rapports qui expriment les lois de dérivation étaient toujours simples , on était conduit à penser qu'il y avait des espèces de formes secondaires impossibles dans telle ou telle substance , parce qu'on ne pouvait les produire que par des lois compliquées ; de là il résultait un caractère pour distinguer cristallographiquement , l'une de l'autre , les substances qui se rattachent à un même système de cristallisation , lorsque ce système

n'est pas le système cubique. Aujourd'hui on ne peut plus admettre, du moins je ne peux plus admettre, ces impossibilités, et de là il résulte qu'il n'y a plus de moyen de distinguer d'une manière certaine, par les caractères cristallographiques seuls, les diverses espèces de substances qui appartiennent à un même système cristallin.

Problème à résoudre pour la dérivation des formes secondaires.

(143) D'après les moyens que nous venons d'indiquer pour représenter les espèces de formes secondaires qu'une substance peut affecter, on a continuellement à résoudre le problème suivant :

*Etant données, la forme primitive d'une substance et l'inclinaison des faces qui la modifient, déterminer les lois de modification d'après lesquelles ces faces sont produites.*

Ce problème n'est que la suite de celui que nous avons déjà résolu pour établir les dimensions relatives du solide primitif, et il ne présente aucune difficulté.

(144) *Modifications sur les arêtes.* Soit  $a b c d$  fig. 12, une face qui modifie une arête d'un prisme ; on mesurera le plus exactement possible l'inclinaison  $fik$  de cette face sur celle du solide primitif. Si on complète ensuite le prisme par la pensée, on rétablira le prisme triangulaire qui lui manque, et dont les angles seront mesurés par le triangle  $foi$ . Or on connaîtra facilement les angles de ce triangle, savoir :  $fio$  en retranchant l'angle mesuré de  $180^d$ , ainsi on aura  $fio = 180 - fik$  ; et  $ofi$  en retranchant au contraire de cet angle l'inclinaison mutuelle des deux faces primitives au-dessus de l'arête modifiée, ainsi on a  $ofi = fik - kof$ . Ces deux angles donneront le rapport des côtés  $of$  et  $oi$ , qui sont entre eux comme

$nh$  à  $n'c$ , ( $h$  étant la hauteur du prisme,  $c$  un des côtés de la base, ou la ligne correspondante à  $h$ ) par la proportion

$$of : oi :: \sin. fio : \sin. ofi \quad \text{ou bien}$$

$$nh : n'c :: \sin. fio : \sin. ofi$$

d'où l'on tire  $\frac{n}{n'} = \frac{h}{c} \cdot \frac{\sin. fio}{\sin. ofi}$ . C'est la loi de modification, et il ne s'agit plus que de chercher les logarithmes du second terme, et les nombres correspondants pour exprimer  $n$  et  $n'$  numériquement.

(145) *Exemple.* Supposons, pour prendre un exemple, que le solide primitif soit le cube, on aura  $\frac{h}{c} = 1$ , et l'angle  $kof$  de  $90^d$ . Supposons aussi qu'on trouve l'angle  $fik$  d'environ  $161^d 30'$ , on aura

$$fio = 180 - fik = 18^d 30',$$

$$ofi = fik - kof = 161^d 30' - 90^d = 71^d 30'.$$

Par conséquent  $\frac{n}{n'} = \frac{\sin. 18^d 30'}{\sin. 71^d 30'}$ . Or on trouve

$$\log. \sin. 18^d 30' = 9,501476$$

$$\log. \sin. 71^d 30' = 9,976957.$$

dont les nombres correspondants, en prenant 3 pour caractéristique dans chacun des logarithmes, sont sensiblement dans le rapport 3173 à 9483, c'est-à-dire

$\frac{n}{n'} = \frac{3173}{9483}$ , ce qui donne sensiblement  $\frac{1}{3}$ , ou  $n=1$ ,  $n'=3$ ;

c'est-à-dire  $af=h$ , et  $ai=3c$ .

Nous avons fait remarquer qu'une facette inégalement inclinée sur des faces adjacentes égales, en entraînant une autre semblable placée en sens inverse : ce serait ici une face qui serait inclinée de manière à donner l'angle  $ofi$  de  $18^d 30'$ . En calculant dans

cette position, on trouverait un rapport inverse du produit, c'est-à-dire  $n = 3$ ,  $n' = 1$ .

Quel que soit le solide primitif dont on part, le calcul sera toujours le même; seulement il faudra dans les formules, introduire les valeurs relatives de  $h$ ,  $c$  et  $c'$ . Si l'on a bien suivi l'exemple que nous avons donné, rien ne pourra arrêter dans les différents cas qui pourront se présenter.

(146) *Modifications sur les angles.* Soit  $bde$  fig. 16, une face qui modifie l'angle d'un prisme, si on complète ce prisme par la pensée, on rétablira la pyramide qui lui manque, et le problème qu'on se propose se réduira à déterminer le rapport des arêtes  $ab$ ,  $ae$ ,  $ad$ , car ces rapports règlent nécessairement la position du nouveau plan.

Si le prisme est droit et rectangulaire, il suffira de mesurer, le plus exactement possible, l'inclinaison de la nouvelle face sur les trois faces adjacentes; les suppléments des angles observés, seront les inclinaisons des faces de la pyramide à la base, et comme l'angle en  $a$  est droit, on en conclura aussi les inclinaisons des arêtes à la même base. Soit fig. 18, la pyramide prise isolément, abaissons  $ac$ ,  $ag$ ,  $af$  perpendiculaires sur les côtés opposés, et joignons  $cb$ ,  $gd$ ,  $ef$ ; nommons  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , les angles que le nouveau plan fait avec les faces  $P$ ,  $M$ ,  $T$ , fig. 16, et que l'on a déterminés par des mesures directes. On aura, fig. 18,  $acb = 180 - A$ ,  $agd = 180 - B$ ,  $afe = 180 - C$ , et par suite  $abc = A - 90$ ,  $adg = B - 90$ ,  $afe = C - 90$ .

Cela posé, concevons du point  $a$  une perpendiculaire  $ao$ , sur le plan de la base de la pyramide, nous déterminerons trois triangles rectangles,  $aob$ ,  $aoc$ ,  $aod$ , qui donneront les rapports suivants :

$$ab : ao :: R : \sin. abo \text{ ou } \sin. abc.$$

$$ae : ao :: R : \sin. aeo \text{ ou } \sin. aef.$$

$$ad : ao :: R : \sin. ado \text{ ou } \sin. adg.$$

où l'on peut faire  $ao = 1$ ,  $R = 1$ , et d'où l'on tire

$$ab = \frac{1}{\sin. abc}, \quad ae = \frac{1}{\sin. aef}, \quad ad = \frac{1}{\sin. adg}.$$

Or,  $ab$  est proportionnelle à un certain nombre de fois la hauteur  $h$  du prisme, et peut être représentée par  $nh$ ;  $ae$  est proportionnelle à un certain nombre de fois un côté de la base, et peut être représentée par  $n'c$ ;  $ad$  est proportionnelle à un certain nombre de fois l'autre côté de la base, et peut être représentée par  $n''c'$ ,  $n$ ,  $n'$ ,  $n''$  étant des nombres qu'il s'agit de déterminer. On a donc aussi

$$nh = \frac{1}{\sin. abc}, \quad \text{d'où } n = \frac{1}{h. \sin. abc}.$$

$$n'c = \frac{1}{\sin. aef}, \quad \text{d'où } n' = \frac{1}{c. \sin. aef}.$$

$$n''c' = \frac{1}{\sin. adg}, \quad \text{d'où } n'' = \frac{1}{c'. \sin. adg}.$$

ce qui donne les lois de modification pour tous les parallélépipèdes droits et rectangulaires; il ne s'agit que de chercher les logarithmes et les nombres correspondants.

(147) *Exemples.* Supposons, pour donner un exemple, que le parallélépipède primitif soit le cube, nous aurons alors  $h = c = c' = 1$ . Supposons aussi qu'on ait trouvé par la mesure directe  $A = 115^{\text{d}} 23'$ ,  $B = 106^{\text{d}} 37'$ ,  $C = 149^{\text{d}}$ , on aura  $abc = A - 90^{\text{d}} = 25^{\text{d}} 23'$ ;  $adg = B - 90^{\text{d}} = 16^{\text{d}} 37'$ , et  $aef = 59^{\text{d}}$ . Par conséquent on aura

$$n = \frac{1}{\sin. 25^{\text{d}} 23'}, \quad n' = \frac{1}{\sin. 59^{\text{d}}}, \quad n'' = \frac{1}{\sin. 16^{\text{d}} 37'}.$$

En cherchant les logarithmes, on trouve

$$\text{Log. sin. } 25^{\text{d}} 23' = 9,632125, \text{ et } \log. \frac{1}{\text{sin. } 25^{\text{d}} 23'} = 0,367875.$$

$$\text{Log. sin. } 16^{\text{d}} 37' = 9,456316, \text{ et } \log. \frac{1}{\text{sin. } 16^{\text{d}} 37'} = 0,543648.$$

$$\text{Log. sin. } 59^{\text{d}} = 9,933066 \text{ et } \log. \frac{1}{\text{sin. } 59^{\text{d}}} = 0,066934.$$

et en prenant les nombres correspondants à ces derniers logarithmes, on a

$$n = 2,332; n' = 1,166; n'' = 3,496;$$

la loi de modification est donc exprimée par les nombres 2, 1 et 3.

(148) *Lorsque le parallépipède primitif, n'est plus rectangulaire*, il ne suffit plus de mesurer les inclinaisons du nouveau plan, sur les faces adjacentes pour déterminer les inclinaisons des arêtes  $ab$ ,  $ae$ ,  $ad$ , sur la base de la pyramide, parce que ces arêtes ne se rencontrent plus à angle droit en  $a$ ; seulement, si le prisme est encore droit, l'angle  $abc$ , peut être déterminé par cette mesure, mais les deux autres  $adg$ ,  $ae f$ , restent indéterminés. Si l'on veut suivre la même marche dans ces sortes de parallépipèdes, il faut chercher des cristaux qui présentent, en même temps que le plan sur l'angle solide, des modifications du même ordre sur les arêtes; en mesurant alors les inclinaisons du plan  $bde$ , sur les faces qui résultent de ces modifications, les suppléments donneront immédiatement les angles  $abc$ ,  $ae f$ ,  $adg$ , qui sont nécessaires et l'on peut alors se servir des formules précédentes.

Problème inverse.

(149) Après avoir déterminé les nombres relatifs qui fixent la position d'un plan produit sur telle ou telle partie du solide primitif, il est nécessaire de les véri-



fier, et pour cela de résoudre le problème suivant, qui est l'inverse du précédent.

*Etant données, la forme primitive d'une substance, dans son espèce et dans ces dimensions relatives, et telle ou telle loi de modification; déterminer les inclinaisons des faces du solide secondaire, soit entre elles, soit avec celles du solide primitif.*

(150) *Modifications sur les arêtes.* Soit toujours fig. 12, le solide primitif modifié sur une arête; le problème que nous avons ici à résoudre est de déterminer l'inclinaison de la face  $abcd$  sur les faces adjacentes du prisme, en supposant que le rapport des lignes  $oi$ ,  $of$ , est connu. On voit que pour cela il n'y a qu'à résoudre le triangle  $oif$ , dont les côtés et l'angle compris sont connus : lorsqu'on aura déterminé les angles  $oif$ ,  $ofi$ , on aura pour les inclinaisons demandées

$$180^d - oif, \text{ et } 180^d - ofi.$$

Si les deux faces du prisme font entre elles au-dessus de l'arête modifiée un angle de  $90^d$ , le triangle  $oif$ , rectangle en  $o$ , fournit la relation

$$R : \text{tang. } oif :: oi : of, \text{ d'où } \text{tang. } oif = \frac{R. of}{oi}.$$

mais comme  $of$  est proportionnel à  $nh$  et  $oi$  à  $n'c$ ,  $n$  et  $n'$  étant les nombres qui expriment la loi de dérivation,  $h$  et  $c$  étant ceux qui donnent le rapport de la hauteur au côté antérieur de la base, on peut poser aussi

$$\text{tang. } oif = \frac{R. nh}{n'c}.$$

(151) *Exemples.* — Supposons que le parallépipède primitif soit un prisme rectangulaire, dans lequel on ait  $h:c :: 25:11$ , et que la loi soit  $n:n' :: 1:2$ ; on aura

$$\text{tang. } oif = \frac{25}{22}. \text{ Or, } \log. \frac{25}{22} = 0,055517, \text{ dont l'angle}$$

correspondant est  $48^{\text{d}} 39'$  : donc l'inclinaison sur la base  $= 180^{\text{d}} - oif = 131^{\text{d}} 21'$ . Ayant  $oif = 48^{\text{d}} 39'$ , on conclura  $ofi = 41^{\text{d}} 21'$ , et l'inclinaison sur le pan du prisme  $= 180^{\text{d}} - ofi = 138^{\text{d}} 39'$ .

Si l'on suppose que le solide primitif est un cube, on aura  $h = c = 1$ ; si l'on a alors  $n = n' = 1$ , on trouvera  $\text{tang. } oif = 1$ , et  $oif = 45^{\text{d}}$ ; par conséquent aussi  $ofi = 45$ . L'inclinaison sur les faces adjacentes sera donc  $180^{\text{d}} - 45^{\text{d}} = 135^{\text{d}}$ ; c'est le cas du cube modifié sur ses arêtes par une seule face, et d'où résulte le dodécaèdre rhomboïdal.

Si dans la même supposition d'un cube pour forme primitive, on a  $n = 1$ ,  $n' = 3$ , la formule donne  $\text{tang. } oif = \frac{1}{3}$ , et  $oif = 18^{\text{d}} 26'$ ; par conséquent l'inclinaison sur la face supérieure  $= 180^{\text{d}} - 18^{\text{d}} 26' = 161^{\text{d}} 34'$ . Ayant  $oif = 18^{\text{d}} 26'$ , nous aurons  $ofi = 71^{\text{d}} 34'$ ; par conséquent l'inclinaison sur la face latérale est de  $180^{\text{d}} - 71^{\text{d}} 34' = 108^{\text{d}} 26'$ .

Remarquons que la loi que nous venons d'admettre est précisément celle que nous avons trouvée précédemment ( $143$ , 1<sup>o</sup>) dont nous avons par conséquent une vérification; l'angle donné par le calcul ne diffère que de  $4'$  de celui qui a été trouvé par la mesure directe, et comme nous avons fait observer qu'il était difficile de répondre de  $4'$  sur une mesure, nous devons conclure, que la loi que nous avons trouvée représente bien le résultat de la nature.

(152) Nous avons supposé que les deux faces qui forment l'arête modifiée faisaient entre elles un angle droit; mais il arrive fréquemment qu'elles offrent un angle différent: dans ce cas le calcul est aussi un peu différent. Soit A l'angle des deux faces du prisme, et soient B et C, les angles qu'il s'agit de déterminer; il faudra chercher leur demi-somme et leur demi-différence, ajouter les deux nombres, pour avoir le plus grand

angle, et retrancher la demi-différence de la demi-somme pour avoir le plus petit.

La somme des trois angles d'un triangle étant deux angles droits, la demi-somme des angles cherchés est  $\frac{1}{2} (180^{\text{d}} - A)$ , ou  $90^{\text{d}} - \frac{1}{2} A$ .

Quant à la demi-différence, il faut la chercher par la proportion :

$$oi + of : oi - of :: \text{tang. } \frac{1}{2} (B + C) : \text{tang. } \frac{1}{2} (B - C),$$

$$\text{d'où } \text{tang. } \frac{1}{2} (B - C) = \frac{(oi - of) \cdot \text{tang. } \frac{1}{2} (B + C)}{oi + of} :$$

*oi* est ici supposé plus grand que *of*, s'il était plus petit, on aurait

$$\text{tang. } \frac{1}{2} (C - B) = \frac{(of - oi) \text{ tang. } \frac{1}{2} (B + C)}{of + oi}.$$

Maintenant on aura, comme nous venons de le dire,  $B = (90^{\text{d}} - \frac{1}{2} A) + \frac{1}{2} (B - C)$  pour le plus grand angle,  $C = (90^{\text{d}} - \frac{1}{2} A) - \frac{1}{2} (B - C)$  pour le plus petit.

Supposons  $A = 120^{\text{d}}$ , ce qui serait le cas d'une modification sur les arêtes latérales du prisme à base d'hexagone régulier, et soient  $oi = 2$ ,  $of = 1$ ; on aura  $\frac{1}{2} (B + C) = 90^{\text{d}} - \frac{1}{2} A = 90^{\text{d}} - 60^{\text{d}} = 30^{\text{d}}$ , et par conséquent  $\text{tang. } \frac{1}{2} (B - C) = \frac{1}{3} \text{ tang. } 30^{\text{d}}$ .

Or,  $\log. \frac{1}{3} \text{ tang. } 30^{\text{d}} = 9,284318$ , ce qui donne  $\frac{1}{2} (B - C) = 10^{\text{d}} 53'$ ; par conséquent on a

$$B = (90^{\text{d}} - \frac{1}{2} A) + \frac{1}{2} (B - C) = 30^{\text{d}} + 10^{\text{d}} 53' = 40^{\text{d}} 53';$$

$$C = (90^{\text{d}} - \frac{1}{2} A) - \frac{1}{2} (B - C) = 30^{\text{d}} - 10^{\text{d}} 53' = 19^{\text{d}} 7';$$

l'une des inclinaisons sur le prisme est donc  $180^{\text{d}} - 40^{\text{d}} 53' = 139^{\text{d}} 7'$ , et l'autre  $180^{\text{d}} - 19^{\text{d}} 7' = 160^{\text{d}} 53'$ .

(153) *Inclinaison mutuelle des faces produites sur deux arêtes opposées.* — On peut aussi se proposer de déterminer l'angle qu'une face telle que *abcd*, fig. 12,

pourrait faire avec une face semblable produite sur les arêtes M ou N. Supposons une face sur l'arête M; prolongeons cette face, et celle *abcd*, jusqu'à leur rencontre; si on complète le solide par la pensée, on aura, de part et d'autre de la jonction, un prisme triangulaire, et par conséquent un angle tel que *oif*: l'inclinaison des deux faces sera alors évidemment de  $180^{\text{d}}$ , moins les deux angles des prismes, et si la modification sur M suit la même loi que celle qui a produit la face *abcd*, on aura pour l'inclinaison des deux faces,  $180^{\text{d}} - 2 \text{ oif}$ .

De même s'il y a une face sur N, son inclinaison sur la première sera de  $180^{\text{d}} - 2 \text{ ofi}$ , si la loi de modification est exactement la même de part et d'autre.

Si l'on a pour loi de modification  $n = n' = 1$ , on trouve *oif* =  $45^{\text{d}}$ , l'inclinaison des deux faces est donc  $180^{\text{d}} - 90 = 90^{\text{d}}$ ; c'est le cas de deux faces opposées du dodécaèdre rhomboïdal au-dessus des angles quadruples.

Si l'on a  $n = 1$ ,  $n' = 2$ , on trouve *oif* de  $26^{\text{d}} 33'$ , et par conséquent, *ofi* de  $63^{\text{d}} 27'$ ; les inclinaisons sont  $180 - 53^{\text{d}} 6' = 126^{\text{d}} 54'$ , et  $180^{\text{d}} - 126^{\text{d}} 54' = 63^{\text{d}} 27'$ ; la première est une des inclinaisons mutuelles des faces du dodécaèdre pentagonal qu'on trouve dans la nature.

(154) *Inclinaison de deux faces produites sur une même arête.*—Soit *if*, fig. 34, la trace d'une des faces sur l'arête d'un prisme, et *i'f'* la trace de l'autre; l'angle que nous avons à chercher est *i'gi*, égal à son opposé *f'gf*. Or dans le quadrilatère *of'gf*, nous connaissons l'angle en *o*, qui est celui des deux faces; nous connaissons l'angle *ofi* par la loi de modification qui produit *if*, et *of'i'* par la loi de modification qui produit *f'i'*: enfin on a  $f'gf = 360^{\text{d}} - ofi - of'i' - f'of$ .

Supposons que le solide primitif soit le cube, et que la loi de modification soit la même, en sens inverse,

de part et d'autre de l'arête, on aura  $f'of = 90^\circ$ ,  $ofi = of'i$ , et par conséquent,  $f'gf = 270^\circ - 2.ofi$ . Soient les lois de modification  $n = 1$  et  $n' = 3$ ,  $n = 3$  et  $n' = 1$ , on a  $(151) ofi = 71^\circ 34'$  et  $f'gf = 126^\circ 52'$ .

Si le solide primitif est un prisme à base d'hexagone régulier, dont la hauteur soit à l'apothème dans le rapport de 2 à  $\sqrt{3}$  (dans l'émeraude), et que les lois de modification soient pour l'une des faces  $n = n' = 1$ , et pour l'autre,  $n = 1, n' = 2$ , on aura  $ofi = 60^\circ$ , et  $of'i = 49^\circ 6'$ ; par conséquent l'angle  $f'gf$ , des deux faces, est  $160^\circ 52'$ .

(155) *Inclinaison de deux faces produites sur deux arêtes contiguës.*—On peut aussi se proposer de déterminer l'inclinaison mutuelle de deux faces produites sur deux arêtes contiguës du solide primitif; cette question, sans être plus difficile que les précédentes, est cependant un peu plus compliquée, et en nous bornant au parallépipède rectangle, il faut distinguer le cas où les arêtes modifiées sont égales, et où la modification a lieu par les mêmes lois, et le cas où les arêtes sont inégales, ou bien, les modifications différentes.

Soient  $amn$ ,  $apn$ , fig. 13 et 14, les deux faces dont on veut déterminer l'inclinaison mutuelle. Abaissons  $ab$  perpendiculaire sur  $mn$ ,  $ac$  perpendiculaire au plan de la base, et joignons  $cb$  et  $cn$ . Menons ensuite  $bd$  perpendiculaire sur  $an$ ,  $bi$  perpendiculaire sur  $cn$ ; le plan des deux lignes  $bd$  et  $bi$  sera perpendiculaire au plan du triangle  $acn$ , et si nous prolongeons  $bi$  jusqu'à la rencontre  $f$  de  $np$ , et que nous joignons  $df$ , l'angle  $ddf$  sera l'inclinaison des deux plans.

C'est donc l'angle  $ddf$  qu'il faut déterminer, et c'est ici que l'on voit la différence des deux cas que nous avons énoncés. Lorsque les arêtes  $mn$ ,  $np$  sont égales, et que les modifications suivent la même loi, les lignes  $bc$ ,  $cf$ , fig. 13, sont aussi égales; le quadrilatère  $bcfn$ , est isocèle, et la ligne  $bf$  perpendiculaire à  $cn$ , en est

la diagonale; par conséquent  $bi = if$ , et si l'on joint  $id$ , les deux triangles  $bdi$ ,  $fdi$ , sont égaux et semblables; l'angle  $bdi$  est alors égal à  $fdi$ , de sorte qu'il suffit de déterminer l'un des deux, et de le doubler pour avoir l'inclinaison demandée.

Lorsque les arêtes  $mn$ ,  $pn$ , sont inégales, ou lorsqu'étant égales les faces ne sont pas produites par la même modification, le quadrilatère  $bcfn$ , devient scalène, fig. 14; dès lors, la perpendiculaire  $bi$  n'est plus la demi-diagonale, et les deux lignes  $bi$  et  $if$ , deviennent inégales: les deux triangles à résoudre, ne sont plus égaux et semblables, et il faut les calculer tous deux pour avoir les deux angles  $bdi$ ,  $fhg$ , dont la somme fournit l'angle cherché.

Le triangle rectangle  $bdi$  fig. 13 ou fig. 14, fournit la relation

$$R : \text{tang } bdi :: id : bi, \text{ ou } \text{tang. } bdi = \frac{R. bi}{id}.$$

Lorsque le prisme a les côtés égaux, fig. 13, et que la modification est la même sur les deux arêtes (ce qui est le cas du cube, du prisme carré, du prisme rhomboïdal, et même du prisme hexagone régulier),  $bi$  est une demi-diagonale des bases. On obtient la ligne  $id$  par les triangles rectangles semblables  $acn$ ,  $idn$ , qui donnent

$an : ac :: in : di$ , d'où  $di = \frac{ac \cdot in}{an}$ ; mais dans le cas présent  $in$  est l'autre demi-diagonale de la base. On a aussi  $an = \sqrt{ac^2 + cn^2} = \sqrt{ac^2 + 4 in^2}$ .—Par conséquent en substituant ces valeurs, on a

$$\text{tang. } bdi = \frac{bi}{in \cdot ac} \sqrt{ac^2 + 4 in^2},$$

ou bien, en nommant  $h$  la hauteur,  $D$  et  $d$  les deux demi-

diagonales,  $n$  et  $n'$  les lois relatives de modification,

$$\text{tang. } bdi = \frac{D}{d. nh} \sqrt{n^2 h^2 + 4 n'^2 d^2} \text{ (A)}$$

Lorsque les côtés sont inégaux, fig. 14, la ligne  $bi$  n'est plus une demi-diagonale, et il faut la calculer. Or les deux triangles rectangles semblables  $bcn$ ,  $bin$ , donnent

$$bn : bc :: in : bi; \text{ d'où } bi = \frac{bc. in}{bn}.$$

En substituant cette valeur, et celle de  $di = \frac{ac. in}{an}$  que nous avons déjà trouvée, on obtient

$$\text{tang. } bdi = \frac{bc. an}{bn. ac}.$$

Si le parallépipède est rectangulaire,  $bc$ ,  $bn$ ,  $ac$ , sont des lignes données immédiatement par les lois de modification; quant à  $an$  on a  $an = \sqrt{ac^2 + cn^2}$ , mais alors on a aussi  $cn^2 = \overline{bc^2 + bn^2}$ , donc  $an = \sqrt{ca^2 + bc^2 + bn^2}$ . En substituant cette valeur dans l'expression précédente, on a

$$\text{tang. } bdi = \frac{bc \sqrt{ac^2 + bc^2 + bn^2}}{bn. ac},$$

formule qui ne renferme que les dimensions rectangulaires du solide primitif et les lois de modification, et qu'on peut encore écrire

$$\text{tang. } bdi = \frac{n'' c'}{nh. n'c} \sqrt{n^2 h^2 + n'^2 c^2 + n''^2 c'^2}. \text{ (B)}$$

en représentant par  $h$ ,  $c$  et  $c'$ , les dimensions relatives du solide, et par  $n$ ,  $n'$ ,  $n''$ , les lois de modification suivant ces dimensions.

Pour le second triangle à résoudre  $fgh$ , fig 14, il faut mener  $fh$  perpendiculaire à  $an$ ,  $fg$  perpendiculaire à  $cn$ , et joindre  $gh$ . L'angle  $fhg$ , qu'il faut trouver,

est donné par la formule  $\text{tang. } fgh = \frac{R \cdot fg}{gh}$ . Or les triangles  $cfn$ ,  $fgn$  étant semblables, donnent

$$fn : cf :: gn : fg, \text{ d'où } fg = \frac{cf \cdot gn}{fn},$$

De même les triangles semblables,  $acn$ ,  $ghn$ , donnent

$$an : ac :: gn : gh, \text{ d'où } gh = \frac{ac \cdot gn}{an},$$

de sorte qu'on a aussi  $\text{tang. } bdi = \frac{R \cdot cf \cdot an}{ac \cdot fn}$ ; mais on

trouve comme précédemment,  $an = \sqrt{ac^2 + cf^2 + nf^2}$ , et par conséquent on a

$$\text{tang. } fgh = \frac{cf \sqrt{ac^2 + cf^2 + nf^2}}{ac \cdot fn},$$

ou bien  $\text{tang. } fgh = \frac{n'c}{nh \cdot n''c'} \sqrt{n^2 h^2 + n'^2 c^2 + n''^2 c'^2}$ . (C)

Formule qui ne diffère de la précédente (B) que par le coefficient.

(156) *Exemples.* — 1<sup>o</sup> *Forme primitive cubique.* — Supposons que le solide primitif soit le cube, les trois arêtes étant égales, on a  $h=1$ ; de plus on a  $D=d=\frac{1}{2}\sqrt{2}$ ; par conséquent la première formule (A) devient

$$\text{tang. } bdi = \frac{1}{n} \sqrt{n^2 + 2n'^2}.$$

Supposons  $n = n' = 1$ ; on aura  $\text{tang. } bdi = \sqrt{3}$ , dont l'angle correspondant est  $60^\circ$ ; le double de cet angle,  $120^\circ$ , est l'inclinaison mutuelle des deux faces; c'est le cas du dodécaèdre rhomboïdal, dont nous avons annoncé précédemment l'inclinaison des faces (24, 2<sup>o</sup>).

Si l'on a  $n=1$ ,  $n'=3$ , on trouve  $\text{tang. } bdi = \sqrt{19}$ ,



dont l'angle correspondant est  $77^{\text{d}} 5'$ ; le double,  $154^{\text{d}} 10'$ , est l'inclinaison des deux faces : c'est le cas d'un des solides à 24 faces qui sont produits par la modification des arêtes du cube par leurs faces semblables.

Les formules (B) et (C) donneront chacune exactement le même résultat, puisque le cube n'est qu'un cas particulier des parallélépipèdes rectangulaires.

2<sup>o</sup> *Forme primitive en prisme rhomboïdal.* — Si l'on suppose que le solide primitif soit un prisme rhomboïdal, la formule (A) ne subira aucun changement, et il faudra y substituer immédiatement les valeurs relatives de la hauteur et des demi-diagonales, avec les lois de modification. Supposons que  $h$ ,  $D$  et  $d$  soient comme les nombres  $\sqrt{21}$ ,  $\sqrt{15}$  et  $\sqrt{7}$ , et que la loi de modification soit  $n=2$ ,  $n'=-1$ , on trouvera

$$\text{tang. } bdi = \sqrt{\frac{1680}{588}}, \text{ dont l'angle correspondant est}$$

$59^{\text{d}} 23'$ ; le double de cet angle,  $118^{\text{d}} 46'$ , est l'inclinaison des deux faces au-dessus de l'arête obtuse.

3<sup>o</sup> *Forme primitive prismatique à base d'hexagone régulier.* — La formule (B) peut servir à résoudre les cas du même genre que ceux qui nous occupent en prenant le prisme à base d'hexagone régulier pour forme primitive. Dans ce cas, la perpendiculaire  $oc$  fig. 13, est proportionnelle à l'apothème de la base,  $bn$  est proportionnel au demi-côté de la base qui, appartenant à un triangle équilatéral, est exprimé en fonction de l'apothème  $bc$ , par la proportion  $R : \text{tang. } 60^{\text{d}} :: bn : bc$ , d'où,

$$bn = \frac{R \cdot bc}{\text{tang. } 60^{\text{d}}} = \frac{bc}{\sqrt{3}} \text{ à cause de } \text{tang. } 60^{\text{d}} = \sqrt{3}.$$

$$\text{La formule } \text{tang. } bdi = \frac{bc \sqrt{ac'^2 + bc^2 + bn^2}}{bn \cdot ac}$$

se simplifie par la substitution de ces valeurs, et l'on a

$$\text{tang. } bdi = \frac{\sqrt{3ac^2 + 4bc^2}}{ac} = \frac{\sqrt{3n^2h^2 + 4n'^2A^2}}{nh}$$

en appelant A l'apothème.

Si l'on a un prisme dans lequel la hauteur soit à l'apothème dans le rapport de 2 à  $\sqrt{3}$  (émeraude), et que la loi de modification soit  $n = n' = 1$ , on trouve

$$\text{tang. } bdi = \frac{\sqrt{24}}{2} \text{ et } bdi = 67^{\text{d}} 47',$$

dont le double  $135^{\text{d}} 34'$ , est l'inclinaison mutuelle des faces de la pyramide.

4<sup>o</sup> *Forme prismatique rectangulaire.* — Soit un prisme rectangulaire dont la hauteur et les côtés soient entre eux comme les nombres 2, 3 et 5, et supposons que la face *amn*, fig. 14, soit produite par la loi  $n = n' = 2$ , et la face *anp* par la loi  $n = 2$   $n' = 3$ . Il faudra se servir des deux formules (B) et (C). La première donnera  $\text{tang. } bdi = \frac{10}{36} \sqrt{197}$ , dont l'angle correspondant est de  $75^{\text{d}} 36'$ ; la seconde formule donnera  $\text{tang. } fgh = \frac{9}{40} \sqrt{197}$ , dont l'angle correspondant est de  $72^{\text{d}} 25'$ : l'inclinaison des deux faces est donc  $75^{\text{d}} 36' + 72^{\text{d}} 25' = 148^{\text{d}} 1'$ .

5<sup>o</sup> *Modification non symétrique sur le cube.* — S'il arrive, comme nous en avons cité un exemple, que les arêtes du cube ne soient pas modifiées symétriquement, il faudra aussi recourir aux deux formules (B) et (C) pour avoir l'inclinaison des deux faces données. Supposons que sur un cube, la face *amn*, fig. 14, soit produite par la loi  $n = 2$ ,  $n'' = 1$ , et la face *anp* par la loi  $n = 2$ ,  $n'' = 4$ . La formule (B) donnera

tang.  $bdi = \frac{1}{8} \sqrt{21}$ , dont l'angle correspondant est  $29^{\text{d}} 48'$ ; la formule (C) donnera tang.  $fgh = 2 \sqrt{21}$ , dont l'angle correspondant est  $83^{\text{d}} 46'$ : la somme de ces deux angles,  $113^{\text{d}} 34'$ , est l'inclinaison des deux faces données. C'est le cas du dodécaèdre pentagonal que nous présente la nature.

(157) *Modifications sur les angles.* — Soit  $bde$ , fig. 16, une face produite sur l'angle solide d'un parallélépipède, par une modification quelconque. Complétons le solide par la pensée, puis menons  $ac$  perpendiculaire sur  $ed$  et tirons  $cb$ ; l'angle  $acb$ , dont le supplément  $180^{\text{d}} - acb$  est l'inclinaison de la nouvelle face sur P, est un de ceux qu'il faut déterminer. Pour cela on a la relation

$$R : \text{tang. } acb :: ac : ab, \text{ ou } \text{tang. } acb = \frac{R. ab}{ac}.$$

Mais dans le cas d'un parallélépipède rectangulaire, que nous prendrons pour exemple, les deux triangles  $acd$ ,  $ead$ , sont semblables et donnent :

$$ed : ad :: ae : ac, \text{ ou } ac = \frac{ad. ae}{ed},$$

de plus  $ed = \sqrt{ae^2 + ad^2}$ , donc  $ac = \frac{ad. ae}{\sqrt{ae^2 + ad^2}}$ ,

et par suite  $\text{tang. } acb = \frac{R. ab}{ad. ae} \sqrt{ae^2 + ad^2}$

ou bien,  $\text{tang. } acb = \frac{nh}{n'.c. n''c'} \sqrt{n'^2c^2 + n''^2c'^2}$ .

Pour avoir l'inclinaison sur la face M, il faut du point  $a$  abaisser une perpendiculaire sur  $eb$ , joindre son pied  $g$  avec  $d$ , et résoudre le triangle qui en résultera. Pour avoir l'inclinaison sur T, il faudra abaisser une perpendiculaire sur  $bd$ , joindre son pied  $f$

avec  $e$ , et résoudre aussi le triangle qui en résultera. Ces deux triangles conduiront aux formules

$$\text{tang. } agd = \frac{n''c'}{n'c.nh} \sqrt{n''^2c'^2 + n^2h^2} \text{ (inclinaison sur M),}$$

$$\text{tang. } afe = \frac{n'c}{n''c'.nh} \sqrt{n''^2c'^2 + n^2h^2} \text{ (inclinaison sur T),}$$

$h$ ,  $c$  et  $c'$  étant les dimensions relatives,  $n$ ,  $n'$ ,  $n''$  étant les nombres qui expriment la loi de modification.

(158) *Exemples.*— Supposons que le solide primitif soit le cube, on a  $h=c=c'$ ; supposons  $n=n'=n''$ , les trois formules donneront la même valeur,  $\text{tang. } acb = \sqrt{2}$ , dont l'angle correspondant est  $54^{\text{d}} 44'$ ; par conséquent l'inclinaison sur les faces P, M et T, est de  $180^{\text{d}} - 54^{\text{d}} 44' = 125^{\text{d}} 16'$ .

Si l'on a  $n=1$ ,  $n'=n''=2$ , la face nouvelle doit s'incliner de la même manière sur deux des faces du cube, et différemment sur la troisième; en effet, la première formule donne  $\text{tang. } acb = \frac{1}{4}\sqrt{8}$ , dont l'angle correspondant est  $35^{\text{d}} 16'$ , et, par conséquent l'inclinaison sur P,  $180^{\text{d}} - acb = 144^{\text{d}} 44'$ . Les deux autres formules donnent chacune  $\text{tang.} = \sqrt{5}$  dont l'angle correspondant est  $65^{\text{d}} 54'$ , et par conséquent les inclinaisons sur M et sur T, sont  $180^{\text{d}} - 65^{\text{d}} 54'$ , ou  $114^{\text{d}} 5'$ .

Si l'on a la loi que nous avons trouvée précédemment (147)  $n=1$ ,  $n'=2$ ,  $n''=3$ , toutes les inclinaisons doivent être inégales. En effet, les formules donnent :

$$\text{tang. } acb = \frac{1}{6}\sqrt{13}, \text{ et } acb = 31^{\text{d}},$$

$$\text{tang. } agd = \frac{3}{2}\sqrt{5}, \text{ et } agd = 73^{\text{d}} 24',$$

$$\text{tang. } afe = \frac{2}{3}\sqrt{13}, \text{ et } afe = 64^{\text{d}} 37',$$

Les inclinaisons sur P, M, T, sont  $149^{\text{d}}$ ,  $106^{\text{d}} 36'$  et  $115^{\text{d}} 23'$ .

(159) *Inclinaison des faces produites sur deux angles opposés.* — Connaissant la position des faces sur les angles solides de la forme primitive, on peut se proposer de déterminer l'inclinaison de deux faces situées à l'extrémité de la même arête comme fig. 16. Cette question est tout-à-fait analogue à celle que nous avons résolue (153); l'inclinaison demandée sera  $180 - abc - a'b'c'$ , et si la modification est la même de part et d'autre, cet angle devient  $180 - 2abc$ .

Supposons le cube pour forme primitive, et les lois de modification telle que  $n = n' = n''$ , on trouve  $acb = 54^{\text{d}} 44'$ , par conséquent  $abc = 35^{\text{d}} 16'$ , et l'on a  $180^{\text{d}} - 2abc = 109^{\text{d}} 28'$ , ou plus exactement  $109^{\text{d}} 28' 16''$ ; c'est l'angle des faces de l'octaèdre régulier qui est produit en effet sur le cube, par la modification des angles solides.

On pourrait aussi demander l'inclinaison de la face *bde*, sur celle qui serait produite en A; la solution est la même, et l'on a cet angle de  $180^{\text{d}} - 2acb$ ; dans le cas de  $n = n' = n''$ , où  $acb = 54^{\text{d}} 44'$ , on a  $180^{\text{d}} - 2acb = 70^{\text{d}} 32'$ , ou plus exactement  $70^{\text{d}} 31' 44''$ .

(160) *Inclinaison de plusieurs faces formant pyramide sur le même angle.* — La supposition d'inégalité entre les nombres  $n, n', n''$ , entraîne, d'après la loi de symétrie, trois faces ou six faces, sur chaque angle solide du cube: il y a trois faces toutes les fois que deux des nombres sont égaux, et six faces lorsqu'ils sont tous inégaux. Lorsque deux des nombres sont égaux, il faut encore distinguer deux cas; si chacun des nombres égaux est plus grand que le troisième, comme dans le second des exemples précédents, les faces qui en résultent s'inclinent plus sur les faces du cube que sur les arêtes, et les faces de la pyramide trièdre résultante,

sont tournées vers celles du cube, comme  $aed$ ,  $aeb$ ,  $abd$ , fig. 17. Lorsqu'au contraire chacun des nombres égaux est plus petit que le troisième, les faces s'allongent sur les arêtes du cube, et il en résulte un pointement comme  $rstvu$ .

Cela posé, on peut demander quelles sont les inclinaisons des faces de l'une ou l'autre des pyramides ainsi produites. Cette question est plus compliquée que celles que nous avons résolues jusqu'ici; mais elle ne présente rien qui sorte des élémens les plus simples du calcul.

Soit fig. 18, la pyramide prise isolément, et commençons par le cas où les faces correspondent à celles du cube. Menons  $ag$  perpendiculaire sur  $eb$ ,  $ao$  perpendiculaire sur la base, et joignons  $og$  et  $ob$ . Menons ensuite  $gk$  perpendiculaire sur  $ob$ ,  $gi$  perpendiculaire sur  $ob$ , et joignons  $ik$ . L'angle  $gki$  est la moitié de l'inclinaison demandée, et l'on a

$$\text{tang. } gki = \frac{ig}{ik}$$

en faisant pour plus de simplicité le rayon égal à l'unité.

Il s'agit maintenant d'établir les valeurs de  $ig$  et de  $ik$ . Or les triangles semblables  $gob$ ,  $gib$ , donnent la proportion

$$gb : go :: ib : gi, \text{ d'où } gi = \frac{ib \cdot go}{gb},$$

et les triangles  $aob$ ,  $ikb$  donnent

$$ab : ao :: ib : ik, \text{ d'où } ik = \frac{ao \cdot ib}{ab}.$$

En substituant ces valeurs, on a  $\text{tang. } gki = \frac{og \cdot ab}{gb \cdot ao}$ ,

et il faut déterminer les lignes  $og$ ,  $ab$ ,  $gb$ ,  $ao$ .

Remarquons que  $eb$  est le côté d'un triangle équilatéral, et que comme il est inutile d'en avoir la

valeur absolue, on peut la représenter par l'unité; d'où l'on conclut  $gb = \frac{1}{2}$ , parce que le triangle  $cab$  étant isocèle, la ligne  $cb$  est partagée en deux par la perpendiculaire  $ag$ .

La ligne  $og$  est le tiers de la ligne  $gd$ , parce que la pyramide étant régulière, la perpendiculaire  $ao$  aboutit au centre du triangle  $edb$ ; mais on a  $gd = gb \cdot \text{tang. } gbd$ , et comme  $gbd$  est de  $60^\circ$ , on a  $\text{tang. } gbd = \sqrt{3}$ ; ayant en outre  $gb = \frac{1}{2}$ , il vient  $gd = \frac{1}{2} \sqrt{3}$ , et par conséquent  $og = \frac{1}{3} gb = \frac{1}{6} \sqrt{3}$ .

Quant à  $ao$ , nous avons par le triangle  $aog$ ,  $ao = og \text{ tang. } ago$ ; mais  $ago$  est l'inclinaison des faces de la pyramide sur la base, et il faut déterminer cette inclinaison, ce qui est facile. Soit fig. 19, une coupe du cube par deux arêtes opposées; soit, sur cette coupe,  $bc$  la trace du plan  $bde$ , fig. 16, dans la supposition  $n = n' = n''$ , l'angle  $acb$ , que nous désignerons par  $x$ , est celui dont le supplément donne l'inclinaison d'une telle face sur le cube. Maintenant, dans la supposition de  $n' = n'' > n$ , la ligne  $ac$  restant la même, le plan dont  $cb$  était tout-à-l'heure la trace, se trouvera quelque part dans une position  $cb'$ ;  $acb'$  est alors l'angle qu'il faut calculer d'après les relations de  $n$ ,  $n'$ ,  $n''$ ,  $n' = n'' > n$ , pour avoir le supplément qui mesure l'inclinaison de cette nouvelle face sur le cube. Appelons ce second angle  $x'$ , il est clair que l'angle  $bc'b'$  sera l'inclinaison de la face dont  $cb'$  est la trace sur celle dont la trace est  $cb$ ; cette inclinaison est  $acb - acb'$  ou  $x - x'$ . Or pour le cas de  $n = n' = n''$ , nous avons  $\text{tang. } x = \sqrt{2}$  (158); de plus  $x'$  est déterminée par la formule  $\text{tang. } x' = \frac{n}{n'n''} \sqrt{n'^2 + n''^2}$ , qui devient  $\text{tang. } x' = \frac{n}{n'} \sqrt{2}$  dans la supposition de  $n' = n''$ .

Cette valeur de  $ago$  établie, l'expression  $ao = og \text{ tang. } ago$  devient  $ao = og \text{ tang. } (x - x')$ . Or

d'après les théorèmes connus, on a

$$\text{tang. } (x-x') = \frac{\text{tang. } x - \text{tang. } x'}{1 + \text{tang. } x \cdot \text{tang. } x'}$$

et en substituant  $\text{tang. } x = \sqrt{2}$ ,  $\text{tang. } x' = \frac{n}{n'} \sqrt{2}$   
on a

$$\text{tang. } (x-x') = \frac{n' - n}{n' + 2n} \sqrt{2}$$

en substituant cette valeur et celle de  $og = \frac{\sqrt{3}}{6}$  on a

$$ao = \frac{n' - n}{n' + 2n} \sqrt{\frac{1}{6}}$$

Il ne reste plus qu'à trouver  $ab$ . Or  $ab = \sqrt{ao^2 + ob^2}$ ,  
et en substituant  $ao$  que nous venons de déterminer

et  $ob = od = 2og = \frac{\sqrt{3}}{3}$  on a

$$ab = \sqrt{\frac{(n' - n)^2 + 2(n' + 2n)^2}{6(n' + 2n)^2}}$$

Si on substitue maintenant toutes ces valeurs dans  
l'expression de  $\text{tang. } gki$ , on trouve, réduction faite,

$$\text{tang. } gki = \sqrt{\frac{(n' - n)^2 + 2(n' + 2n)^2}{3(n' - n)^2}}$$

(161) Lorsque les facettes modifiantes s'étendent sur  
les arêtes comme en  $r$ ,  $t$ ,  $u$ , on a encore à résoudre une  
pyramide à base de triangle équilatéral, mais tournée  
en sens inverse, d'où il résulte que l'inclinaison des  
faces sur cette base, se mesure autrement. En effet,  
la trace d'une face produite par la loi  $n = n' = n''$  étant  
 $de$ , fig. 19, si l'on suppose  $n' = n'' < n$ , le plan qui en  
résultera se trouvera dans une position telle que la  
trace sur la coupe sera quelque part en  $de'$ : l'inclinaison  
de cette face sur la première sera  $e'de$ ; mais l'angle  $fed$   
est celui que nous avons désigné précédemment par  $x$ , et



l'angle  $fe'd$ , ou  $x'$ , celui que l'on trouve par la loi  $n' = n'' < n$ . Or  $e'de = fde - fde'$ ,  $fde = 90^\circ - x$ ,  $fde' = 90^\circ - x'$ , donc  $e'de = x' - x$ , expression inverse de celle de  $x - x'$ , que nous avons eue précédemment.

Cette différence n'entraîne autre chose qu'un changement de signe dans l'expression tang.  $ago$ ; on a dans le cas présent tang.  $ago = \text{tang. } (x' - x) = \frac{\text{tang. } x' - \text{tang. } x}{1 + \text{tang. } x \text{ tang. } x'} = -\frac{n' - n}{n' + 2n} \sqrt{2}$ . La valeur de  $ao$  devient alors négative; mais comme elle entre ensuite à la deuxième puissance dans la valeur de  $ab$ , et que dans l'expression de la tangente  $gki$ , les réductions la font encore passer au carré sous le signe  $\sqrt{\quad}$ , la formule à laquelle on parvient est absolument la même que celle que nous avons obtenue ci-dessus. Pour distinguer les deux cas dans la même formule, il faut, dans la réduction, ne pas faire passer le dénominateur sous le signe  $\sqrt{\quad}$ ; on aurait alors

$$\text{tang. } gki = \frac{\pm \sqrt{3} \cdot \sqrt{(n' - n)^2 + 2(n' + 2n)^2}}{\pm 3(n' - n)}.$$

Le signe  $+$  dans le dénominateur indiquerait le cas où les faces nouvelles correspondent à celles du cube, c'est-à-dire  $n' = n'' > n$ , et le signe  $-$  indiquerait le cas où les faces nouvelles correspondent aux arêtes du cube, c'est-à-dire  $n' = n'' < n$ .

Quant au double signe du numérateur, il n'indique autre chose que la répétition du même angle à droite et à gauche de l'arête de la pyramide.

(162) *Exemples.*—Soit  $n' = 1$ ,  $n'' = n'' = 2$ ; c'est le cas de  $n' = n'' > n$ , et par conséquent les faces pyramidales sont tournées vers celles du cube. La formule donne tang.  $gki = \sqrt{11}$  et  $gki = 7\sqrt{3}^\circ 13'$ ; donc l'inclinaison mutuelle  $= 2 gki = 146^\circ 26'$ .

Si l'on a  $n' = n'' = 1$ ,  $n = 2$ , ce sera le cas de

$n' = n'' < n$ , et par conséquent des faces tournées vers les arêtes du cube. On a alors

tang.  $gki = \sqrt{\frac{51}{3}}$  et  $gki = 76^{\text{d}} 22'$ ; donc l'inclinaison cherchée est de  $152^{\text{d}} 44'$ .

(163) Nous nous arrêterons ici dans les applications du calcul à la cristallographie; il nous resterait encore à nous occuper sous le même point de vue de divers genres de formes simples que nous avons fait remarquer dans les différents systèmes; mais les détails dans lesquels nous sommes entrés relativement à diverses sortes de solides prismatiques, sont suffisants pour montrer ce qu'il y aurait à faire dans tous les autres cas, si nous en avons bien fait saisir la marche. Nous nous sommes bornés à dessein à employer les moyens les plus simples de la trigonométrie rectiligne, pour faire voir que les calculs de cristallographie n'exigent que les connaissances de mathématiques les plus élémentaires. Rien n'empêche cependant d'appliquer à ce genre de recherches toutes les méthodes analytiques qu'on pourra imaginer. Haüy, le créateur de cette belle partie de la science, nous a donné l'exemple d'une méthode algébrique, qui l'a souvent conduit à des formules remarquables. (Voyez son *Traité de Cristallographie*, Paris, 1822). On peut également employer la trigonométrie sphérique, qui convient particulièrement au sujet, en ce qu'elle donne pour chaque cas, les formules les plus simples et plus générales; nous l'aurions adoptée de préférence à toute autre méthode, si elle entrait, comme cela devrait être, dans le système d'éducation des collèges.

Signes représentatifs des formes secondaires.

(164) Après avoir indiqué comment on peut établir les lois qui représentent et distinguent d'une manière

simple et précise les différentes espèces de formes qu'un même genre de modification peut présenter, il faut chercher les moyens d'exprimer ces lois, ou plutôt de les peindre, de manière qu'on puisse en saisir promptement l'ensemble dans telle ou telle substance; c'est ce qui donne lieu aux *signes représentatifs* des cristaux. On a pris, pour établir ces signes, divers moyens qui dépendent des idées particulières que les auteurs s'en sont formées, et de la manière dont ils ont conçu les modifications, mais qui au fond reviennent toujours au même; les meilleurs paraissent devoir être ceux qui sont les plus simples et que chacun peut lire avec le plus de facilité.

Pour établir des signes qui représentent les lois de modification, il n'y a autre chose à faire qu'à désigner les différentes parties d'un cristal par des lettres, en mettant les mêmes lettres sur toutes les parties semblables, et des lettres différentes sur les parties différentes. Dans un cube, par exemple, tous les angles solides peuvent être désignés par la lettre A, toutes les arêtes par la lettre B.

Dans un prisme à base carrée, tous les angles solides étant encore égaux, peuvent être tous désignés par A, mais les arêtes des bases étant différentes des arêtes des faces latérales, il faut les désigner par des lettres différentes; on peut prendre la lettre B pour les arêtes des bases, et alors il est naturel de prendre la lettre H pour les arêtes latérales qui déterminent la hauteur du prisme.

Dans un prisme droit à base rectangulaire, les angles solides peuvent être tous désignés par A, les arêtes latérales peuvent encore être désignées par H; mais les arêtes des bases étant d'espèces différentes, doivent être représentées par des lettres différentes; on peut prendre encore la lettre B pour l'une d'elles, et la lettre C pour l'autre.

Dans un prisme rhomboïdal, toutes les arêtes des bases sont semblables, et peuvent être désignées par B: les arêtes latérales sont de deux espèces, par suite de leur correspondance à un angle aigu ou à un angle obtus, et en continuant à nommer l'une d'elles H, il faut prendre une autre lettre, G, par exemple, pour la seconde. Les angles solides sont aussi de deux espèces, et, l'un étant désigné par A, l'autre peut l'être par exemple par E.

Dans un prisme rectangulaire oblique, il y aura aussi deux sortes d'angles solides, A et E, deux sortes d'arêtes des bases B et C, et une seule espèce d'arêtes latérales; mais ces arêtes n'exprimant plus la hauteur, il ne faut plus les désigner par H; on peut prendre alors la lettre G que nous avons employée.

Dans un prisme rhomboïdal oblique, il y a trois sortes d'angles; on peut en désigner deux par les lettres A et E, et le troisième par F. Les arêtes latérales dont aucune n'exprime la hauteur, sont différentes, et l'une peut être désignée par G, et l'autre par I.

Nous ne pousserons pas plus loin ces explications; on comprendra facilement, d'après ce que nous venons de dire, le moyen d'indiquer les différentes parties d'une forme, quelle qu'elle soit. Nous ferons seulement observer qu'on a assez souvent besoin d'indiquer les faces même du cristal primitif; à cet égard, il est passé en usage de désigner ces faces par P, lorsqu'elles sont toutes égales, d'employer la lettre P pour les bases des prismes, et la lettre M pour les pans lorsqu'ils sont tous égaux, et de désigner les uns par M, les autres par T, lorsqu'ils sont inégaux; ce sont les initiales des syllabes du mot *primitif*.

(165) Cela posé, voyons comment on peut indiquer les lois de modification; commençons par les arêtes. Si l'on veut indiquer sur une arête B une modifica-

tion comme  $abcd$ , fig. 12, par la loi  $n = n' = 1$ , on écrira  $\overset{1}{B}$ , ou simplement  $\overset{1}{B}$ ; pour la loi  $n = 1, n' = 2$ , on écrira  $\overset{2}{B}$ , de même  $\overset{3}{B}$ , etc. Si la loi est  $n = 2, n' = 1$ , on écrira  $\overset{1}{B}$ ; si  $n = 2, n' = 3$ , on écrira  $\overset{3}{B}$ , etc. De même sur l'arête C, si l'on veut indiquer les lois  $n = n'' = 1$ ;  $n = 1, n'' = 2$ ;  $n = 2, n'' = 1$ ;  $n = 2, n'' = 3$ , etc., on écrira  $\overset{1}{C}$ , ou simplement  $\overset{1}{C}$ ;  $\overset{2}{C}$ ;  $\overset{3}{C}$ , etc.

Sur les arêtes latérales H ou G, les lois sont indiquées par les valeurs relatives de  $n' n''$ ; si l'on a  $n' = n'' = 1$ , on écrira  $\overset{1}{H}$ ,  $\overset{1}{G}$ ; si l'on a  $n' = 1, n'' = 2$ , ou  $n' = 2, n'' = 1$ ;  $n' = 2, n'' = 3$ , on écrira  $\overset{1}{H^2}$ ,  $\overset{2}{H^2}$ ,  $\overset{2}{H^3}$ , etc., ou  $\overset{1}{G^2}$ ,  $\overset{2}{G^1}$ ,  $\overset{2}{G^3}$ , etc.

Relativement aux angles solides, il y a les trois dimensions  $n, n', n''$  à exprimer, ce qui ne présente pas plus de difficultés.

Veut-on sur un angle A exprimer une modification par la loi,  $n = n' = n'' = 1$ , on écrira  $\overset{1}{A}$  ou simplement  $\overset{1}{A}$ ; veut-on exprimer la loi  $n = 1, n' = n'' = 2$ , on écrira  $\overset{2}{A}$ ;  $n = 1, n' = 2, n'' = 3$ , s'écrira  $\overset{3}{A}$ ; et réciproquement la loi  $n = 3, n' = 2, n'' = 1$ , s'écrira  $\overset{5}{A}$ , etc. On écrira de même les lois autour des lettres qui représentent les autres angles, en faisant toutefois attention à la position relative des arêtes suivant lesquelles les quantités  $n, n', n''$  sont prises. Ainsi, dans un prisme oblique rhomboïdal, si l'on place A à l'angle antérieur supérieur, E aux angles latéraux, F à l'angle postérieur supérieur et à l'angle antérieur inférieur, on écrira sur A une modification par  $n = 1, n' = 2, n'' = 3$ ,  $\overset{3}{A}$ ; sur l'angle E, une modification  $n = 1, n' = 2, n'' = 3$ , s'écrira  $\overset{1}{E}$ ; et enfin sur l'angle F inférieur, une modification  $n = 1, n' = 2, n'' = 3$ , s'écrira  $\overset{2}{F}$ , etc.

Cette notation est en rapport avec la manière dont nous avons considéré les modifications pour établir le calcul; elle est assez simple pour ne présenter de difficulté à personne, et elle s'applique à tous les cas qui peuvent se présenter.

On peut combiner plusieurs des signes ensemble pour représenter toutes les modifications qu'offre un solide secondaire; mais remarquons qu'il peut arriver que ce solide secondaire présente encore les faces du solide primitif, ou que l'une ou l'autre des faces primitives ou même toutes les faces aient disparu par l'extension des faces modifiantes. Ces circonstances peuvent aussi s'exprimer par la combinaison des signes. Veut-on indiquer un cube modifié sur ces arêtes par la loi  $n = n' = 1$ , on écrira  $P \overset{1}{B}$ , P indiquant qu'il reste des faces du solide primitif, et  $\overset{1}{B}$  des faces du dodécaèdre rhomboïdal; le signe  $\overset{1}{B}$  tout seul indiquera le dodécaèdre rhomboïdal simple.

En général, en réunissant ensemble les différents signes, soit ceux qui indiquent les faces primitives, soit ceux des faces secondaires, on peut peindre à l'esprit le genre et l'espèce de telle ou telle forme. Par exemple,  $(P M T) \overset{1}{A} \overset{1}{B} \overset{1}{C} \overset{1}{H}$  indique un prisme rectangulaire, portant sur les arêtes et les angles solides des faces produites par les lois les plus simples qu'on puisse avoir;  $(P M) \overset{1}{A}_2 \overset{1}{B} \overset{1}{C}^3 \overset{1}{H}$  indique les mêmes genres de modification par des lois plus compliquées, et en même temps que les faces  $\overset{1}{H}$ , en se prolongeant ont fait disparaître la face primitive T;  $(P) \overset{1}{B} \overset{1}{C}^2$ , ou  $(P) \overset{1}{B} \overset{1}{C}^3$  indiquerait des octaèdres rectangulaires, dont chaque signe offre une espèce différente, qui portent encore au sommet les traces des faces primitives.

$(M T) \overset{1}{B} \overset{2}{C}$ , ou  $(M T) \overset{1}{B} \overset{2}{C}^2$ , indiquerait les mêmes octaèdres à sommet complet, mais portant sur les arêtes latérales les faces M et T. Le signe  $\overset{1}{B} \overset{2}{C} \overset{3}{B} \overset{4}{C}^3$ , indique deux espèces d'octaèdres rectangulaires réunis ensemble;  $\overset{1}{B} \overset{2}{C} \overset{3}{H}$ , indique un de ces octaèdres modifiés par les faces d'un prisme rhomboïdal sur ses angles latéraux, etc. etc.

On voit qu'au moyen des combinaisons de signes, on peut présenter d'une manière très nette les genres et espèces de formes qui existent dans un cristal quelque compliqué qu'il soit. La seule chose qu'on ne puisse pas préciser, c'est l'extension relative des différentes espèces de faces, qui peut donner à une même forme des apparences extrêmement différentes; mais ce sont là des circonstances qu'il ne faut pas même préciser, puisqu'elles sont très-variables dans la nature.

---



---

## CHAPITRE VI.

### CARACTÈRES OPTIQUES DES MINÉRAUX.

(166) Les propriétés optiques des minéraux sont de diverses sortes; il en est qui tiennent à la nature intime des corps, et au mode d'arrangement de leur particules, et d'autres qui sont tout-à-fait accidentelles; les unes peuvent être par conséquent d'une très grande importance dans les recherches minéralogiques; les autres méritent souvent à peine d'être prises en considération. Au nombre des premières se trouvent particulièrement les phénomènes de réfraction, dont nous allons d'abord nous occuper.

(167) *Réfraction simple.* Toutes les fois qu'on regarde un objet quelconque à travers un corps limpide qui n'est pas cristallisé, comme l'eau, les différents liquides, les matières vitreuses fondues, ou à travers un corps cristallisé qui se rapporte au système cubique, on voit en général cet objet simple. On peut aisément remarquer qu'à travers deux faces parallèles, on voit toujours cet objet à sa vraie place, lorsque le rayon lumineux qui en émane se trouve perpendiculaire à ces faces, tant à son entrée qu'à sa sortie; mais il est plus ou moins dévié lorsque le rayon arrive obliquement sur le corps, ou en sort obliquement par suite de la position relative des surfaces: c'est ce qu'on



reconnaîtra facilement en essayant de regarder quelque chose à travers les pans d'un prisme triangulaire. Cette circonstance conduit à reconnaître que le corps diaphane exerce sur la lumière une action particulière, en vertu de laquelle tout rayon lumineux oblique éprouve un changement de direction, et se trouve comme brisé à l'endroit où il pénètre. Ce phénomène prend le nom de *réfraction*, du mot *refringere*, briser.

Les lois de la réfraction simple, qui ont été étudiées depuis long-temps avec soin, se réduisent aux trois observations suivantes, que l'expérience établit de la manière la plus positive.

1<sup>o</sup> Quand un rayon lumineux passe obliquement de l'air atmosphérique, où nous sommes plongés, dans la plupart des corps, il est brisé de telle manière qu'il se rapproche de la perpendiculaire au point d'immersion, comme s'il subissait une attraction de la part de ce corps; le phénomène a lieu en sens inverse lorsque le rayon lumineux repasse du corps réfringent dans l'air.

2<sup>o</sup> La partie incidente du rayon lumineux, et la partie réfractée, sont dans un même plan perpendiculaire à la surface réfringente (1).

3<sup>o</sup> Dans la même substance il existe pour chaque rayon simple, un rapport constant entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction, quelle que soit l'obliquité du rayon direct sur la face réfringente. Ce rapport varie en général, d'une manière plus ou moins appréciable, d'une substance à l'autre.

---

(1) Je dis perpendiculaire, pour me borner aux substances minérales dans lesquelles la surface d'immersion est toujours plane. Lorsqu'il s'agit d'une surface courbe, il faut dire *plan normal*.

Cette dernière loi peut fournir un moyen de distinguer les diverses substances minérales transparentes les unes des autres. En cherchant pour chaque corps le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, on en tire ce que Newton a désigné sous le nom de *pouvoir réfringent* (1) des corps, dont on forme des tables comme celle de pesanteur spécifique. Mais ce mode de distinction ne peut avoir d'utilité que pour des substances chimiquement pures; car, pour peu qu'elles soient mélangées mécaniquement, le rayon observé à l'émergence aura une direction particulière, résultant de la somme des actions diverses et inconnues qu'il aura éprouvées dans son trajet à travers le corps : il est donc difficile d'en tirer parti pour reconnaître les substances minérales, qui sont si rarement pures.

(168). *Réfraction double.* Si les substances non cristallisées et celles qui appartiennent au système cubique ne produisent d'autre effet sur la lumière que de changer plus ou moins la route du rayon lumineux, il en est tout autrement des substances cristallisées qui appartiennent aux autres systèmes. Toutes, sans exception, sont susceptibles de forcer le rayon lumineux à se partager en deux faisceaux; en sorte que si l'on regarde un objet quelconque, et surtout un très petit objet, à travers ces substances, dans certaines directions, on le voit constamment double. C'est ce qu'on peut facilement observer avec un rhomboèdre de cliage de carbonate de chaux limpide : il suffit de placer ce solide, par une de ces faces, sur les caractères d'un livre où sur un papier où l'on a tracé une ligne d'encre

---

(1) Newton nomme pouvoir réfringent le carré du rapport de réfraction diminué de l'unité, et divisé par la densité du corps. (*Voyez les ouvrages de physique.*)

très fine, pour les voir doubles lorsqu'on regarde par la face opposée.

L'observation fait voir que dans les cristaux dont les faces sont symétriques autour d'une ligne unique, comme dans les systèmes rhomboédrique et prismatique carrés, l'un des faisceaux lumineux suit exactement les lois de la réfraction ordinaire, c'est-à-dire que le rayon réfracté et le rayon incident sont dans un même plan perpendiculaire à la surface réfringente, et que le sinus de réfraction est dans un rapport constant avec le sinus d'incidence. L'autre rayon suit des lois particulières; d'un côté ce n'est que dans certains cas qu'il se trouve dans le plan d'incidence; d'un autre le sinus de réfraction n'est pas dans un rapport constant avec le sinus d'incidence sur la face réfringente. D'après ces observations, le premier de ces rayons est nommé *rayon ordinaire*, et l'autre *rayon extraordinaire*.

Lorsque les cristaux n'ont pas leurs faces disposées symétriquement autour d'une ligne unique, comme dans les systèmes prismatiques rectangulaires, les faisceaux dans lesquels se divise un rayon lumineux qui les traverse, sont tous deux réfractés extraordinairement; c'est ce que les expériences de Fresnel ont démontré.

(169) *Axes de réfraction double.* Lorsqu'on examine attentivement les substances douées de la double réfraction, on s'aperçoit bientôt qu'elles ne présentent pas indifféremment ce phénomène, quel que soit le sens dans lequel le rayon lumineux les traverse. En effet, dans les substances qui appartiennent au système rhomboédrique ou au système prismatique droit à bases carrées, les cristaux qui offrent des faces perpendiculaires ou parallèles à l'axe, ne donnent pas de double image lorsque le rayon les traverse perpen-

diculairement à ces faces. C'est ce qu'on peut facilement vérifier, par exemple, avec un prisme hexagonal de carbonate de chaux limpide, qui offre les deux sortes de faces. Si on place le prisme par une de ses bases sur un point d'encre tracé sur un papier, et qu'on regarde par la face supérieure, en plaçant l'œil perpendiculairement à cette face, on ne voit qu'une seule image; mais, pour peu qu'on s'écarte de la perpendiculaire, soit d'un côté, soit de l'autre, on voit à l'instant deux images paraître; et si l'on fait l'expérience avec les précautions convenables pour en mesurer l'écartement, on voit qu'il est constant pour une même inclinaison, quel que soit le plan d'incidence. On peut aussi remarquer facilement que, dans tous les cas, les deux images se trouvent avec le rayon direct, dans un même plan perpendiculaire à la surface réfringente: c'est ce qu'on distinguera encore mieux si, au lieu d'un point d'encre, on trace une ligne droite sur le papier; car alors les deux images seront placées l'une sur l'autre, et se confondront en une seule, plus noire vers le milieu qu'aux deux points extrêmes, où l'une dépasse l'autre.

Si, au lieu de placer le cristal prismatique sur une de ses bases, on le place, de même sur un point d'encre, par l'une de ses faces latérales, et qu'on observe par l'autre, on remarquera encore qu'il n'y a qu'une seule image pour la position perpendiculaire de l'œil, et des images doubles pour les incidences obliques. Mais il n'en est plus ici comme dans le cas précédent; d'un côté la déviation des images varie avec la position du plan d'incidence du rayon direct; d'un autre, il n'y a que deux positions où les images se trouvent avec le rayon direct dans un même plan perpendiculaire à la surface réfringente. L'une de ces positions a lieu dans un plan vertical parallèle à l'axe,

l'autre dans un plan vertical perpendiculaire au même axe. Ainsi, lorsqu'on a tracé une ligne très fine sur le papier, et qu'on la regarde à travers les faces latérales du prisme, en disposant leurs arêtes parallèlement à cette ligne, les deux images se confondent en une seule, plus noire au milieu qu'aux deux points extrêmes; par conséquent les deux réfractions ont lieu dans le même plan. La même chose arrive lorsque pour voir cette ligne on place le cristal perpendiculairement à sa direction; mais, dans toutes les positions intermédiaires, il y a deux images distinctes.

On conclura de la première partie de chacune de ces expériences, qu'il n'y a pas de réfraction extraordinaire lorsque le rayon direct passe dans le cristal parallèlement ou perpendiculairement à son axe; circonstance analogue à ce qu'on observe pour la réfraction ordinaire, qui n'a pas lieu lorsque le rayon direct est perpendiculaire à la surface réfringente.

D'un autre côté, l'observation démontre encore que quand le rayon extraordinaire et le rayon direct se trouvent dans un même plan perpendiculaire à la surface réfringente, ce qui a lieu, comme nous venons de le voir dans nos deux expériences, dans le cas de parallélisme ou de perpendicularité de ce plan à l'axe du cristal, il existe un rapport constant entre le sinus de réfraction extraordinaire et le sinus d'incidence, quelle que soit l'inclinaison du rayon direct.

D'après ces observations, la réfraction extraordinaire semble avoir lieu par rapport à l'axe du cristal, comme la réfraction ordinaire par rapport à une surface réfringente quelconque. Donc les choses se passent dans la réfraction extraordinaire, *comme si* cet axe possédait une force particulière, capable d'attirer ou de repousser, suivant la nature des substances, une partie des molécules lumineuses, en les séparant du faisceau ordinaire.

Cette manière de s'exprimer, qui est commode pour la théorie, pourrait être également adoptée dans les lois de réfraction ordinaire ; car on dirait, de même, que les choses se passent *comme si* la perpendiculaire au point d'immersion avait la propriété d'attirer le rayon total, lorsque le corps est plus réfringent que l'air atmosphérique, ou de le repousser lorsqu'il est plus rare. C'est pour exprimer cette idée d'action, qu'on a désigné l'axe cristallin d'une molécule matérielle qui appartient à l'un ou à l'autre des deux types que nous avons cités sous le nom d'*axe de double réfraction*.

(170) *Relations entre les axes de double réfraction et les formes cristallines.* — Toutes les substances dont les cristaux sont réductibles à une forme simple qui a toutes ses faces symétriquement disposées par rapport à une ligne, et à égale distance de cette ligne, ne possèdent qu'un seul axe de double réfraction ; telles sont toutes celles qui appartiennent au type rhomboédrique ou au type prismatique à bases carrées. Toutes les autres, dont les cristaux ne sont réductibles qu'à des formes où ces conditions n'existent pas, possèdent deux axes de double réfraction ; c'est-à-dire qu'il existe dans l'intérieur de ces corps deux directions, suivant lesquelles un rayon lumineux pourrait les traverser sans subir de division ; telles sont toutes les substances qui se rapportent au type prismatique rectangulaire droit, et aux différents types prismatiques obliques.

Ces observations importantes, que l'on doit à M. Brewster, démontrent positivement que les phénomènes de la double réfraction dépendent immédiatement de l'arrangement des particules matérielles du corps ; mais il existe encore d'autres faits qui établissent de plus en plus cette conséquence. D'abord, dans les substances à un axe, cet axe ne se trouve pas placé au hasard ;

il se confond toujours avec la ligne unique par rapport à laquelle toutes les modifications cristallines sont ordonnées. Dans les substances à deux axes, ces axes ont en général des rapports symétriques avec les modifications cristallines dont ces substances sont susceptibles; ils déterminent un plan, qui est toujours un de ceux autour desquels les faces secondaires sont symétriquement placées; leur position sur ce plan est également symétrique avec un certain ordre de faces, et telle, qu'ils se trouvent placés entre deux faces de même espèce, soit primitives, soit secondaires, avec lesquelles ils font des angles égaux; d'où il suit que la ligne moyenne entre ces deux axes, c'est-à-dire la ligne qui divise en deux parties égales l'angle qu'ils forment entre eux, est l'axe de l'un ou de l'autre des genres d'octaèdres que l'on peut prendre pour forme fondamentale dans tel ou tel de nos trois derniers types cristallins. Il paraît cependant qu'il n'en est pas toujours ainsi, car M. Mitteherlich a observé dans quelques sels, que la ligne moyenne des axes optiques était inégalement inclinée sur les faces correspondantes des cristaux.

(171) *Application de ces faits.* — Les phénomènes de double réfraction sont beaucoup plus importants pour la distinction des corps que les phénomènes de réfraction simple : ce sont des effets moléculaires qui dépendent uniquement de la structure du corps, et qui ne subissent aucune altération de la part des matières étrangères qui peuvent être mélangées avec la substance qu'on examine, soit mécaniquement, soit par l'espèce de combinaison qui se fait en proportions indéfinies. M. Biot a énoncé la différence des phénomènes de réfraction simple et de réfraction double d'une manière mathématique très expressive, en disant que les premiers sont des effets d'intégrale, et les seconds des effets différentiels : c'est par suite de cela que les derniers

sont infiniment plus propres que les autres à nous éclairer dans une multitude de circonstances.

La comparaison de la composition des corps avec leurs formes cristallines, rigoureusement déterminées, nous montre qu'il arrive fréquemment qu'identité ou différence de forme entraîne identité ou différence de nature; or, les détails dans lesquels nous sommes entrés nous font voir que le mode de réfraction peut nous indiquer avec précision la forme, ou au moins le système de forme dont une substance est susceptible, lors même qu'elle se présente à nous en fragments irréguliers, en feuillets, ou même en morceaux taillés et polis; donc l'observation de ces phénomènes peut nous fournir des données précieuses sur la nature des substances. Une substance qui ne présente pas de double réfraction ne peut se rapporter qu'au système cubique, et par conséquent ne peut être confondue avec aucune des substances qui se rapportent aux autres systèmes. Ainsi, par l'observation seule de cette circonstance, on ne pourra jamais confondre la substance qu'on désigne sous le nom de *Zircon*, avec celle que les Allemands ont nommée *Kanelstein*, et qui portent toutes deux dans le commerce le nom d'hyacinthe: la première possède la double réfraction, la seconde n'en offre aucun indice.

Parmi les substances qui possèdent la double réfraction, la présence d'un seul axe ou de deux axes de double réfraction nous fournit de très grandes différences, puisqu'un seul axe indique, ou le système rhomboédrique, ou le système de prisme droit à bases carrées, tandis que les deux axes indiquent un des trois autres systèmes, qui sont incompatibles avec les premiers. Ainsi, par ce caractère, on distinguera toujours le carbonate de chaux ordinaire de l'arragonite, le premier ne possédant qu'un seul axe de double réfraction, le second en possédant deux. De même, on distinguera, avec M. Biot, deux



groupes très différents dans la multitude des substances, que certains caractères extérieurs font confondre sous le nom de *mica*, dans tous les ouvrages de minéralogie; en effet, il y a un certain nombre de ces micas qui ne possèdent qu'un seul axe de double réfraction, et qui, par conséquent, ne peuvent appartenir qu'au système rhomboédrique, ou au système prismatique à bases carrées; les autres possèdent deux axes de double réfraction, et ne peuvent, en conséquence, appartenir qu'à l'un ou à l'autre des types prismatiques irréguliers. (Nous verrons bientôt d'autres différences dans ces deux groupes de micas.)

Prenons un exemple qui nous conduise à reconnaître l'identité de deux substances. Haüy a fait de la substance désignée par les Allemands sous le nom de *Kanelstein*, une espèce particulière à laquelle il a donné le nom d'*Essonite*, en lui assignant pour forme primitive un prisme droit rhomboïdal. D'autres minéralogistes ont regardé cette même substance comme une simple variété de grenat. Or, comme elle ne se trouve qu'en masse ou avec quelques indices de division, sans facettes additionnelles, il est impossible, cristallographiquement, de se prononcer en faveur de l'une ou de l'autre opinion; mais il suffit d'examiner la réfraction pour lever tous les doutes. En effet, si l'essonite dérive réellement d'un prisme rhomboïdal, elle doit donner la double réfraction, et, qui plus est, présenter deux axes; tandis que si c'est un grenat qui appartient au système cubique, il ne doit pas y avoir de double réfraction. Or, en faisant l'expérience, on trouve que l'essonite ne donne pas de double réfraction; d'où l'on conclut, ou qu'elle n'est pas cristallisée, ce qui est difficile à croire, ou qu'elle appartient au système cubique, et par conséquent a réellement de l'analogie avec le grenat: c'est ce que confirme d'ailleurs sa composition.

La position symétrique des axes de double réfraction,

si elle conserve à l'avenir quelque importance, peut être aussi d'une grande utilité dans certains cas, en la combinant avec la position connue de quelques faces cristallines. Par exemple, lorsque nous rencontrons des cristaux prismatiques, que les modifications latérales font rapporter à un prisme rectangulaire ou à un prisme rhomboïdal, si les sommets sont fracturés ou mal conformés, nous ne pouvons savoir si ce prisme est droit, ou s'il est oblique; mais la recherche des axes pourra quelquefois nous déterminer. Si, par exemple, les deux axes se trouvent dans un plan parallèle à l'une des espèces de faces latérales du prisme rectangulaire, et dont la ligne moyenne AB, pl. X, fig. 22, soit perpendiculaire aux côtés de cette face, nous devons en conclure que c'est un prisme droit, car ce n'est que dans ce cas que les axes AX, AX' pourront être également inclinés aux deux bases. Si, au contraire, nous trouvions que la ligne moyenne AB ne fait pas un angle droit avec les côtés, nous en concluons que le prisme rectangulaire est oblique, et que ses bases sont inclinées sur les faces M, précisément comme la ligne moyenne sur les arêtes B et A; car ce n'est qu'alors que les deux axes peuvent faire, avec les bases, des angles égaux. Si dans le moment où Haüy examina pour la première fois un cristal d'Euclase, dont probablement les sommets ne pouvaient pas faire reconnaître la symétrie, on avait cherché dans le cristal la position des axes de double réfraction, on aurait reconnu à l'instant que ce cristal ne pouvait pas être rapporté à un prisme rectangulaire droit, et on serait parvenu dès ce moment au prisme rectangulo-oblique, tel que l'observation de Bournon, et plus tard celle même de Haüy, l'ont établi. Le même genre d'observation conduit à reconnaître la forme primitive du sulfate de chaux, du phosphate de fer, etc., que nous donnerons dans le tableau des espèces.

(172) *Autres circonstances de la double réfraction.*

— Les faits que nous avons établis donnent lieu à distinguer les cristaux en deux grandes classes, et quelquefois à reconnaître même immédiatement le système cristallin auquel ils se rapportent; mais il en est plusieurs autres qui sous-divisent ces groupes de différentes manières, et que nous allons faire connaître.

*Double réfraction attractive ou répulsive.* Il y a des substances, soit parmi celles qui n'ont qu'un seul axe de double réfraction, soit parmi celles qui en ont deux, dans lesquelles le rayon extraordinaire se rapproche de l'axe de double réfraction, comme s'il était attiré par cet axe : c'est ce qui a lieu dans le cristal de roche, dans les sulfates de baryte et de chaux, dans la topaze, etc. Il y en a d'autres, au contraire, où le rayon extraordinaire s'éloigne de l'axe de double réfraction, et où les choses se passent par conséquent comme s'il était repoussé par cet axe : c'est ce qui a lieu dans les carbonate et phosphate de chaux, dans l'émeraude, la tourmaline, etc., etc. M. Biot, qui a reconnu ces effets, les a désignés par les dénominations de double réfraction attractive, et double réfraction répulsive. Dans le cours de ses recherches, il n'a jamais remarqué que la même substance fût tantôt attractive et tantôt répulsive, d'où il suit que ce caractère dépend de la nature des corps et de l'arrangement des particules, et peut, en conséquence, servir à les distinguer les uns des autres. Ainsi, par ce caractère seul, on ne confondrait aucun des corps que nous avons cités pour le premier cas, avec ceux que nous avons indiqués pour le second, par exemple, le cristal de roche avec l'émeraude, quoique ces substances, même à l'état cristallin, puissent avoir quelquefois une certaine analogie l'une avec l'autre. Mais si, comme l'expérience le démontre, ce caractère se trouve,

dans tous les cas où il peut être vérifié, parfaitement d'accord avec tous les autres pour distinguer les substances, il est infiniment probable qu'il a le même degré d'importance lorsqu'il est le seul caractère positif qu'on puisse observer; or, si on examine sous ce rapport les deux groupes que nous avons déjà reconnus dans les micas, on trouve que chacun d'eux se sous-divise encore, car, dans l'un comme dans l'autre, il y a des espèces qui sont attractives, et d'autres qui sont répulsives.

(173) *Constance et variation de l'écart des deux rayons.* — L'observation fait voir que dans la même substance, la déviation des deux rayons est constamment la même pour une même incidence, et varie dans un rapport constant pour des incidences diverses; elle fait voir également que cette déviation est constamment différente pour des substances de nature différente. Il résulte de là que l'écart des rayons dépend de la nature des corps et de l'arrangement de leurs particules, et peut en conséquence servir encore à les distinguer les uns des autres, dans les cas même où les caractères qu'on emploie ordinairement viennent à manquer, ou à n'être pas suffisamment tranchés. Par exemple, le carbonate de chaux ordinaire et le double carbonate de chaux et magnésie, sont deux substances que beaucoup de minéralogistes confondent encore, parce qu'elles donnent, par le clivage, des rhomboèdres qui ne diffèrent l'un de l'autre de 1<sup>d</sup> 10', différence qu'on n'apprécie pas lorsqu'on se sert de mauvais instruments pour reconnaître la mesure; mais si l'on examine ces cristaux sous les rapports optiques, il vient se joindre une autre différence à la première: car dans le double carbonate de chaux et magnésie, l'écart des deux rayons est plus grand de  $\frac{1}{15}$  que dans le carbonate de chaux ordinaire.

Il se présente des circonstances semblables dans beaucoup d'autres substances, parmi lesquelles il s'en trouve que les caractères minéralogiques ordinaires ne distinguent pas toujours; par exemple, dans les substances qu'on nomme topaze, les écarts des deux rayons donnent lieu à établir plusieurs divisions; il en est de même dans les quatre groupes de mica que nous avons déjà formés, et dont chacun se sous-divise en plusieurs autres. Or, je répéterai maintenant ce que j'ai déjà dit tout à l'heure: si la distinction est vraie dans tous les cas où l'on trouve des caractères minéralogiques propres à la vérifier, il est clair qu'elle doit être de même valeur dans les cas où les caractères minéralogiques laissent de l'incertitude.

Maintenant que nous avons indiqué les bases de la théorie de la double réfraction, les rapports que les diverses circonstances qu'elles nous offrent ont avec la nature des substances et l'arrangement de leurs particules, d'où l'on déduit l'importance de son observation pour la distinction des espèces minérales, il est nécessaire de donner quelques notions sur les moyens que l'on peut employer pour arriver à la connaissance de ces différents faits. C'est ce dont nous allons nous occuper, en nous bornant aux détails qui ne dépassent pas les limites où l'on doit se renfermer dans un traité de minéralogie.

(174) *Déterminer si une substance est douée ou non de la double réfraction.* — D'après le rapport qui existe entre les formes cristallines et les phénomènes de réfraction, il est clair que si la substance proposée est cristallisée de manière à ce qu'on puisse reconnaître immédiatement à quel système elle appartient, on déterminera par cela même le mode de réfraction dont elle est susceptible, et on n'aura besoin alors de recourir à l'expérience que dans le cas où l'on voudra vérifier

le fait. Mais il se présente une multitude de circonstances où l'on a à résoudre le problème inverse ; car il est souvent impossible de décider à quel système une substance appartient , soit parce qu'elle n'est pas cristallisée à l'extérieur , soit qu'étant cristallisée , elle ne présente pas un nombre suffisant de facettes additionnelles pour en déduire son espèce de symétrie. L'épreuve optique devient alors un guide extrêmement précieux.

Nous avons fait remarquer que ce n'est qu'à travers des faces inclinées à l'axe ou aux axes de double réfraction , qu'on pouvait obtenir facilement une image double de tel ou tel objet ; donc , quoiqu'on n'aperçoive pas une double image à travers les faces naturelles que présente une substance , on ne peut pas en conclure qu'elle ne possède pas la double réfraction : il faut la faire tailler dans un ou plusieurs autres sens , pour pouvoir prononcer ensuite avec certitude. La plupart des substances minérales , même cristallisées , ont besoin d'être taillées d'une manière ou d'une autre pour offrir ce phénomène ; ce qui tient à ce que , fréquemment , elles ne présentent que des faces parallèles ou perpendiculaires à l'axe , et que si elles en offrent d'inclinées , elles se trouvent mal disposées pour qu'on puisse regarder à travers. Il est à remarquer en outre que , dans un grand nombre de corps , la déviation des deux rayons est très faible , et que dès lors si les cristaux sont minces , les deux images se trouvent confondues en une seule : dans ce cas , des faces parallèles ne peuvent plus servir , et il faut faire tailler le corps de manière à ce que les faces par lesquelles on veut observer fassent entre elles un angle plus ou moins ouvert , dont l'effet est d'écarter plus ou moins les images.

Il existe aussi d'autres moyens de déterminer immé-

diatement si un corps possède la double réfraction sans être obligé de le tailler, ni même d'opérer sur des lames épaisses. Ces moyens sont fondés sur une propriété, nommée *polarisation*, que l'on peut donner à la lumière de différentes manières, soit par la réflexion, sous des angles déterminés pour chaque espèce de corps réfléchissant, soit par une suite de réfraction sous un angle quelconque, à travers un certain nombre de lames diaphanes parallèles, de verre ou de tout autre corps, ou à travers certaines variétés d'agate taillée perpendiculairement aux couches, à travers des lames de tourmaline, etc., soit enfin par l'action d'un corps doué de la double réfraction. Cette propriété, découverte par Malus, et regardée par lui comme le résultat d'un arrangement particulier que prennent alors les molécules lumineuses, consiste en ce que, si l'on présente un corps diaphane réfléchissant à différents côtés d'un rayon ainsi modifié, sous un angle déterminé, on reconnaît qu'il y a deux côtés opposés, à  $180^{\text{d}}$  l'un de l'autre, par lesquels le rayon passe entièrement à travers le corps; par tous les autres côtés, ce rayon est en partie réfracté, en partie réfléchi, et le maximum de réflexion est à  $90^{\text{d}}$  de part et d'autre des points où la réfraction est complète. Si ce même rayon polarisé est reçu sur un corps doué de la double réfraction, on reconnaît qu'il y a sur ce corps deux positions rectangulaires, où il passe sans être divisé; mais que, dans toutes les autres positions il est partagé, comme la lumière directe, en deux faisceaux polarisés en sens inverse; c'est-à-dire que ces faisceaux étant reçus, sous un angle convenable, sur un corps diaphane réfléchissant, l'un d'eux subit une réfraction totale par le côté où l'autre subit le maximum de réflexion, et réciproquement.

C'est d'après ces propriétés, qu'on peut facilement

reconnaître si un corps est ou n'est pas doué de la double réfraction ; il suffit pour cela de le placer dans le trajet d'un rayon de lumière polarisé, et d'examiner à la sortie, si toute la lumière a conservé la même propriété, auquel cas le corps n'a pas la double réfraction, ou si elle a pris, en partie, une polarisation différente, ce qui est l'indice d'un corps doué de la double réfraction.

Il s'agit donc, d'une part, de se procurer de la lumière polarisée dans un sens connu, et de l'autre, d'avoir un moyen facile d'étudier cette lumière après sa sortie du corps soumis à l'épreuve. On y parvient de diverses manières ; mais la tourmaline fournit l'appareil le plus simple et le plus commode pour le minéralogiste. On fait tailler, parallèlement à l'axe, deux lames dans un cristal de tourmaline, qui ne soit ni trop opaque ni trop transparente ; et si l'on est forcé, à cause de l'opacité, de les tailler très minces, on les colle chacune sur une lame de verre, pour empêcher qu'elles ne se brisent. Une telle lame présentée à la lumière, ne laisse passer que des rayons polarisés dans un certain sens, les autres, qui devraient être polarisés en sens inverse, se trouvant éliminés on ne sait comment. En plaçant l'autre lame devant la première, toute la lumière qui a traversé celle-ci se trouve transmise aussi par la seconde, si les deux axes de ces lames sont parallèles ; et elle est au contraire interceptée, si les axes sont croisés à angle droit, en sorte que l'endroit du croisement est tout-à-fait obscur.

Maintenant, si l'on veut savoir quelle est la nature optique d'un corps, il suffit de placer une lame de ce corps entre deux lames de tourmaline croisées à angle droit. Si ce corps ne possède pas la double réfraction, l'endroit du croisement restera obscur, parce que la polarisation déterminée par la première lame, n'aura



subi aucun changement de la part de ce corps. Si au contraire le corps est doué de la double réfraction, l'endroit du croisement laissera passer de la lumière, parce que chaque rayon de lumière polarisé par la première lame se partagera en général par l'action du corps en deux faisceaux, dont l'un, comme cette expérience même l'indique, est polarisé en sens inverse du premier, et peut dès lors traverser la seconde; en sorte que la lumière reparaît à l'endroit du croisement.

Il y a cependant à cette règle des exceptions apparentes dont il est nécessaire de parler; en effet, la division du rayon polarisé par la première lame de tourmaline, n'a lieu dans le corps interposé, que dans les positions intermédiaires aux deux directions rectangulaires dont nous avons parlé, qui se trouvent dans tous les cristaux, et lorsque les faces réfringentes de ce corps sont obliques aux axes de double réfraction; s'il en est autrement, le rayon ne peut subir aucun changement, et l'endroit du croisement reste obscur. Mais on éludera facilement ces difficultés: si l'on tombe accidentellement sur une des directions rectangulaires, il suffira de tourner un peu la plaque sur son plan pour découvrir son action; si la plaque est taillée perpendiculairement à l'axe, il suffira de l'incliner légèrement entre les deux tourmalines, qu'on tiendra alors à une certaine distance l'une de l'autre, pour qu'à l'instant la lumière paraisse. Aucun de ces deux moyens ne rendrait lumineux l'endroit du croisement, si l'on opérât sur un corps privé de la double réfraction, à moins qu'on ne l'inclinât sous des incidences très grandes, qui développeraient un autre genre de polarisation par réfraction.

(175) *Déterminer si une substance possède un axe ou deux axes de double réfraction.* — On peut encore parvenir en général à résoudre cette question au moyen de

deux lamés de tourmaline; mais il y a beaucoup de substances minérales qui ne se prêtent pas immédiatement à ce genre d'observation, et qu'il est nécessaire de faire tailler d'une manière convenable: nous supposons qu'on en est le maître, et alors rien ne pourra nous embarrasser pour prononcer entre les deux cas, que l'on reconnaîtra aux caractères suivants.

Toutes les substances à un axe, taillées en plaques dont les faces soient perpendiculaires à cet axe, étant placées entre deux tourmalines, laissent voir des anneaux colorés circulaires et concentriques, lorsqu'on interpose l'appareil entre l'œil et la lumière, et assez près de l'œil pour que les rayons qui arrivent à la pupille aient traversé la plaque dans des directions suffisamment inclinées à l'axe de double réfraction. Ces anneaux sont généralement partagés par une croix noire, qui est quelquefois la seule partie visible, dont les branches vont en s'élargissant à partir du centre; c'est ce que l'on voit d'une manière très distincte dans tous les cristaux de carbonate de chaux, qui ont naturellement des faces perpendiculaires à l'axe, comme aussi dans l'émeraude, lorsque ses cristaux se trouvent dans le même cas, dans les feuilletts de certains micas, etc., etc., et dans toutes les autres substances, qui se rapportent à ce système, lorsqu'on les a fait tailler. Dans quelques cas ces anneaux circulaires sont simples, et leur centre est seulement occupé par une tache noire, ce qui a lieu dans les cristaux susceptibles de donner ce que M. Biot a nommé la *polarisation rotatoire*; mais il n'y a encore dans les substances minérales que le quartz qui soit dans ce cas (1).

---

(1) Il y a dans le quartz des variétés où cette rotation se fait de gauche à droite, d'autres où elle se fait de droite à gauche, mais toujours avec une intensité constante. M. Herschel fils a remarqué

Dans les substances qui ont deux axes de double réfraction, on peut aussi observer des anneaux autour de chacun de ses axes; mais on les distingue à ce caractère, qu'ils ne sont jamais traversés par une croix noire, et qu'ils présentent seulement une ligne droite centrale, ou des lignes courbes non centrales. Ces phénomènes s'observent assez facilement dans quelques substances qui ont des clivages perpendiculaires à la ligne moyenne des deux axes, comme la topaze et certaine lames de mica, ou dont les cristaux offrent des faces placées de cette manière, comme le sulfate de baryte, l'arragonite, etc. Pour les apercevoir, il faut commencer par chercher sur la plaque les deux directions rectangulaires où le faisceau polarisé par la première lame de tourmaline passe sans subir de changement; c'est-à-dire où l'endroit du croisement reste obscur: ayant marqué ces deux directions, on inclinera la plaque entre les deux tourmalines dans un sens et dans l'autre, et l'on en trouvera un où, sous une inclinaison déterminée, le phénomène se manifestera; c'est dans ce dernier sens que se trouve le plan qui renferme les axes.

(176) *Déterminer si la double réfraction d'un cristal est attractive ou répulsive.* — Nous nous bornerons à indiquer ici un seul des moyens directs de résoudre cette question, en l'appliquant aux cristaux à un axe. Il faut faire tailler le corps de manière à en former deux prismes triangulaires égaux, dont l'un, tel que AA'B, fig. 23, ait sa face AB perpendiculaire à l'axe, et dont l'autre A'B'B ait son axe dans l'intersection même A'B. On joindra ces deux prismes en les collant avec du mastic en larmes. Il est clair qu'un rayon de

---

que ce mouvement s'accordait avec la position de certaines faces obliques qu'on observe sur les cristaux de quartz, et qui se trouvent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre (76).

lumière venant à traverser cet assemblage, ne subira aucune division dans tout le trajet  $i''$ , puisqu'il traverse le cristal dans le sens de son axe; mais arrivé en  $i'$ , il se partagera en deux faisceaux; le rayon ordinaire suivra sa route sans subir de réfraction, et le rayon extraordinaire s'écartera alors de la normale au point  $i$ , plus que le rayon ordinaire si le cristal est répulsif, et moins s'il est attractif. Il est clair alors, qu'on ne pourra voir une double image d'un objet quelconque à travers ce prisme, que par le concours de deux rayons différents et voisins, dont l'un fournira le rayon ordinaire, l'autre le rayon extraordinaire. Si le cristal est répulsif, l'œil placé en  $o$ , fig. 23, verra l'image extraordinaire suivant  $oi'' i'''L'$ , par un rayon pris à la droite de  $L$ , et par conséquent rapproché de la base  $BB'$ . Si le cristal est attractif, fig. 24, ce sera le contraire; le rayon extraordinaire, en partant du point  $i'$ , se rapprochera de la normale plus que le rayon ordinaire, de sorte que ce sera par un second rayon placé à la gauche de  $L$ , que l'œil recevra l'image extraordinaire de l'objet; donc cette image sera plus éloignée de la base  $BB'$ , que l'image ordinaire.

Pour distinguer ces deux cas, il ne s'agit donc que de savoir reconnaître l'image extraordinaire. Pour cela, il n'y a qu'à appliquer le prisme par la face  $AB$  sur un des carreaux d'une fenêtre, et chercher dans les environs quelque objet terminé par une arête rectiligne, tellement située que les rayons qui en émanent arrivent à peu près perpendiculairement à la vitre. En regardant cet objet à travers le prisme, on le verra doublé, et l'image ordinaire, à cause du parallélisme de faces  $AB$ ,  $A'B'$ , sera toujours situé sur le prolongement de l'image directe vue à travers la vitre seule; l'autre image sera donc l'image extraordinaire. Si le double prisme est alors placé de manière que les arêtes

qui aboutissent en B et B' soient parallèles à l'objet, on reconnaîtra immédiatement si cette image extraordinaire s'éloigne ou se rapproche de BB' : dans le premier cas, le cristal est répulsif, dans le second, il est attractif.

Il y a des moyens plus faciles et plus expéditifs que les précédents de résoudre la question que nous nous sommes proposée ; mais ils exigent trop de détails pour que nous puissions les exposer ici, et nous sommes forcés de renvoyer aux ouvrages qui traitent de la polarisation de la lumière.

(177) *Déterminer l'écartement des deux rayons, ordinaire et extraordinaire, dans une substance ; ou l'angle des deux axes de double réfraction dans les substances qui en sont douées.* — Ici la question ne peut plus se résoudre que par des mesures précises, et il faut recourir à des instruments et à des procédés qui nous entraîneraient à transcrire tous les détails qui se trouvent dans les ouvrages que M Biot a publiés sur cette matière ; nous ne pouvons mieux faire que d'y renvoyer immédiatement. Nous adopterons les résultats auxquels on parvient, comme nous adopterons ceux que la chimie nous fournit sur la composition de tel ou tel corps, sans donner le détail des procédés que l'on a employés pour y parvenir.

(178) *Angles de polarisation de diverses substances.* — Nous avons déjà fait remarquer en passant, que la lumière se polarisait par réflexion, sous différents angles d'incidence, suivant la nature des substances. Cette circonstance peut fournir encore un caractère assez important pour la distinction des substances minérales ; malheureusement il y en a jusqu'ici très peu qui aient été essayées sous ce rapport, et les résultats qu'on a obtenus font regretter de ne pas en avoir davantage. M. Arago a trouvé pour le verre, le sulfate de baryte, la

topaze, le soufre, le diamant, les angles suivants, qui sont ceux sous lesquels la lumière est polarisée dans l'air à leur surface : savoir

Pour le verre. . . . .	35 <sup>d</sup> 25'.
Pour le sulfate de baryte . . . . .	32 <sup>d</sup> 12'.
Pour la topaze . . . . .	31 <sup>d</sup>
Pour le soufre . . . . .	29 <sup>d</sup> 25'.
Pour le diamant. . . . .	22 <sup>d</sup> 47'.

Si ces observations ne sont pas très étendues, on voit cependant qu'elles fournissent déjà un excellent caractère pour reconnaître le diamant, puisque c'est la substance pour laquelle l'angle de polarisation est le plus petit. On peut ajouter cet autre caractère, que sur le diamant aussi bien que sur le soufre, la polarisation est toujours incomplète, en sorte que les angles indiqués sont seulement ceux qui donnent la polarisation la plus parfaite.

(179) Indépendamment des propriétés que nous venons d'étudier, qui sont les seules dont on puisse tirer des caractères positifs pour connaître les analogies ou les différences de certains minéraux, il en est quelques autres qui sont d'un usage assez fréquent, si ce n'est pour la distinction des espèces, au moins pour celle de leurs nombreuses variétés. Tels sont les divers degrés de transparence, l'éclat, les couleurs, etc., etc. Il est nécessaire de donner quelques détails sur ces diverses propriétés éventuelles, tant pour bien faire apprécier la valeur des caractères qu'on peut en tirer, que pour définir au moins les différents termes dont on se sert.

(180) *Transparence, translucidité, opacité.*—On dit qu'un corps est transparent ou diaphane, lorsque les rayons lumineux le pénètrent assez librement, assez abondamment, pour qu'on puisse distinguer nettement un objet que l'on regarde à travers. Mais cette pro-

priété des corps peut être altérée d'une multitude de manières; par les différents degrés de poli des surfaces; par l'intensité des couleurs; par la disposition plus ou moins irrégulière des particules intégrant, les structures diverses des masses, etc., etc. Il en résulte différentes nuances entre la transparence parfaite et l'opacité. Ces nuances se distinguent en général par les expressions de *demi-transparence* et de *translucidité*, qu'on remplace quelquefois par d'autres, qui ont l'avantage de fixer plus particulièrement les idées; c'est ainsi qu'on dit, par exemple, une *transparence laiteuse*. Les corps sont demi-transparents lorsqu'on ne voit que confusément les objets à travers; ils sont translucides lorsqu'on ne peut en aucune manière distinguer les objets, mais qu'ils laissent encore passer la lumière: on distingue le cas où la translucidité a lieu sur une assez grande épaisseur, et celui où elle ne se manifeste que sur les bords des fragments.

Lorsqu'on ne peut apercevoir aucune clarté à travers un corps, on dit qu'il est opaque. Cette opacité peut provenir d'un grand nombre de causes différentes: elle peut être le résultat de l'épaisseur du corps; c'est ainsi qu'un grand nombre de matières qui nous paraissent ordinairement opaques, deviennent translucides et même transparentes, lorsqu'elles sont réduites en plaques ou en feuilles minces; les corps fortement colorés nous en offrent fréquemment des exemples. Elle peut dépendre aussi de la disposition confuse des particules, dont chacune, prise isolément, peut être parfaitement transparente; c'est ce que nous voyons dans les substances à structure lamellaire, fibreuse, granulaire, etc., qui sont toujours opaques, si ce n'est dans les très petits fragments, dont la structure est en quelque sorte simple, ou lorsque les par-

ticules sont très atténuées, auquel cas la masse paraît plus ou moins translucide lorsqu'elle a peu d'épaisseur. Ces circonstances tiennent à ce que la lumière, en traversant ces particules, jetées l'une sur l'autre au hasard, se trouve réfléchiée et réfractée de mille manières et dans tous les sens. Enfin, l'opacité peut provenir de l'interposition de quelques matières étrangères, soit solides, soit fluides : le premier cas se manifeste souvent dans les phénomènes de coloration ; le second est presque toujours un résultat de décomposition, surtout dans les substances dans lesquelles l'eau entre comme partie constituante ; aussi suffit-il souvent de les laisser imbiber de ce fluide, pour qu'elles reprennent plus ou moins de transparence. C'est ce qui arrive dans un grand nombre de matières compactes à cassure plus ou moins terreuse, et ce qui est surtout très sensible dans certaines altérations d'agate ou d'opale. Ces deux substances se trouvent quelquefois à l'état de matière blanche, opaque, qui conserve plus ou moins sa solidité, et qui devient transparente après un séjour plus ou moins long dans l'eau : en examinant ce qui se passe alors, on voit qu'il s'en dégage beaucoup de bulles d'air, de sorte qu'il est évident que c'est à l'interposition de ce fluide, dont la densité est très différente de celle de la pierre, que l'opacité était due : lorsque la pierre est séchée, elle reprend son opacité. Les variétés d'agate ou d'opale qui se trouvent dans ce cas ont reçu le nom d'*hydrophane*.

(181) *De l'éclat dans les minéraux.* — On définit l'éclat, dans les ouvrages de minéralogie, la manière dont la lumière est réfléchiée par les minéraux, soit à l'extérieur, soit dans leur cassure, ou, plus exactement, l'effet que les rayons réfléchis par un minéral produisent sur l'organe de la vue, suivant la manière dont leur réflexion s'est opérée. Mais nous devons remarquer qu'il y a ici



deux effets, qui existent tantôt seuls, tantôt simultanément; l'un de ces effets est une véritable réflexion, qui est plus ou moins régulière, suivant le degré de poli du corps, la finesse du grain que présente la cassure, et la structure que cette cassure nous dévoile; l'autre effet dépend de l'action même que ce corps exerce sur les molécules lumineuses qui le touchent immédiatement, et pénètrent en quelque sorte dans la première pellicule, avant d'être reportées à notre œil dans toutes les directions. C'est ce dernier effet qui dépend de la nature du corps, et qui varie considérablement d'un corps à l'autre : on peut facilement l'isoler du premier, en plaçant le minéral de manière à ce que la lumière réfléchie à sa surface ne puisse être portée à notre œil. C'est ainsi que dans le diamant, par exemple, ou dans quelques échantillons de carbonate de plomb, on reconnaît d'une part un effet de réflexion, de l'autre un éclat particulier que l'on ne saurait définir, qui a quelque chose de métalloïde, et qui est surtout très remarquable dans le diamant noir; mais, comme nous l'avons dit, ces deux effets sont souvent confondus, et cela surtout parce que les caractères qu'on en tire sont trop peu importants pour qu'on se soit donné la peine de chercher à les isoler.

On distingue, dans les minéraux, plusieurs sortes d'éclat : *l'éclat métallique*, *l'éclat vitreux*, *l'éclat résineux* ou d'empois desséché; *l'éclat gras*, huileux ou céroïde; *l'éclat nacré*, *l'éclat soyeux*. Il y a aussi des substances qui n'ont point d'éclat; on dit alors qu'elles sont *mates* ou *ternes*; quelquefois on a dit dans ce cas *éclat terreux*. On indique de diverses manières le plus ou moins de vivacité de l'éclat; c'est ainsi que l'on dit éclat métallique ou demi-métallique, vitreux ou demi-vitreux, etc., etc.; on dit aussi *éclat métalloïde*, pour désigner l'apparence métallique que pré-

sentent diverses substances pierreuses. La plupart de ces expressions n'ont besoin d'aucune définition ; mais il en est quelques-unes sur lesquelles il est nécessaire de donner quelques détails.

L'éclat résineux tient, en quelque sorte, le milieu entre l'éclat vitreux et l'éclat gras ; c'est celui que présentent certaines résines végétales, comme le benjoin ; on le retrouve particulièrement dans l'opale. L'éclat gras huileux se présente dans certaines substances de nature vitreuse, dont la surface semble avoir été frottée d'huile ; l'éclat gras céroïde se trouve particulièrement dans les matières compactes lithoïdes, dont la cassure est esquilleuse. Quant à l'éclat nacré, il paraît être souvent le résultat d'une structure schisteuse, et c'est dans la division parallèle aux feuillettes qu'il se fait remarquer. Il est à observer qu'on le reconnaît très fréquemment sur les bases des prismes, sur les faces qui remplacent profondément des angles solides culminants des rhomboèdres, dans des substances même qui ne se divisent pas dans ce sens : ce n'est que sur ces faces que le carbonate de chaux, le double carbonate de chaux et magnésie, présentent cet éclat, qui, dans la dernière substance, est souvent très vif et très agréable. Dans le corindon, c'est encore sur des faces semblables que l'éclat nacré se fait remarquer, ou sur les arêtes culminantes des rhomboèdres lorsqu'elles sont un peu arrondies. C'est par les faces de la base que l'apophyllite, la stilbite, etc., sont nacrées. L'éclat soyeux est le résultat de la structure fibreuse ; il se fait remarquer dans un grand nombre de substances, et particulièrement dans celles qui sont d'ailleurs susceptibles de présenter isolément l'éclat nacré.

Le genre d'éclat ne peut que très rarement servir à distinguer les espèces les unes des autres, à moins qu'on n'ait acquis une très grande habitude des minéraux :

la même espèce présente, en effet, beaucoup de genres d'éclat différents dans les divers échantillons qu'on en peut observer. Cependant l'éclat métallique et l'éclat vitreux ne se présentent pas indifféremment dans la même substance, et conduisent au moins à partager les corps en deux groupes très distincts l'un de l'autre, que quelques autres caractères accessoires peuvent diviser et sous-diviser de diverses manières.

(182) *Des couleurs dans les minéraux.* — Les substances minérales sont incolores ou colorées. L'incoloration, jointe à l'opacité, constitue la blancheur. Les couleurs qu'on observe dans ces corps, sont de deux espèces; les unes tiennent à la nature même du corps, les autres sont le résultat du mélange de telle ou telle matière étrangère qui s'y trouve disséminée ou combinée. Il faut donc aussi distinguer dans les minéraux les couleurs propres et les couleurs accidentelles.

*Les couleurs propres*, qui peuvent être d'une assez grande importance pour la distinction des différentes matières, sont celles qu'on observe dans les métaux, dans le soufre, dans les sulfures, dans les oxides métalliques, ainsi que dans les composés où ces oxides entrent comme parties constituantes essentielles. Ces couleurs sont toujours uniformes et constantes dans le même corps, pourvu qu'il soit pur; les seules variations qu'elles éprouvent tiennent au plus ou moins de compacité que quelques-uns des corps qui en sont doués peuvent avoir, ce qu'on remarque particulièrement dans les oxides. Ces corps, supposés purs, étant à l'état pulvérulent, présentent une couleur déterminée, dont l'intensité est toujours la même; mais, lorsque leurs particules sont agrégées entre elles, par cristallisation régulière ou par cristallisation confuse, il arrive fréquemment que l'intensité de la couleur en dénature en apparence plus ou moins l'espèce; c'est

ainsi qu'un assez grand nombre de couleurs diverses, comme le bleu, le violet, le vert, le rouge même, prennent souvent une intensité telle, qu'elles paraissent plus ou moins noires au premier abord. C'est pour éviter toute erreur qu'on indique fréquemment la couleur de la poussière plutôt que celle des masses, dans les caractères qu'on établit pour distinguer les minéraux.

(183) *Couleurs accidentelles.* — Les couleurs accidentelles peuvent varier à l'infini dans la même substance, suivant la nature des matières étrangères qui les produisent. On conçoit, par conséquent, qu'elles ne peuvent, en aucune manière, avoir l'importance des couleurs propres, et ne peuvent fournir que des indications assez vagues pour la distinction des corps. Ces couleurs, comme nous l'avons déjà dit, peuvent avoir lieu de deux manières dans les corps; elles peuvent résulter d'un mélange purement mécanique, ou bien d'une espèce de combinaison chimique qui se fait alors en proportions illimitées.

*Les couleurs par mélanges mécaniques* se font remarquer principalement dans les substances qui ont cristallisé au milieu de quelque dépôt de matière colorée, soit pulvérulente, soit solide, dont elles ont entraîné quelques parties au moment de la cristallisation. Quelquefois le mélange est assez visible pour être reconnu au premier instant, soit à la vue simple, soit au moyen d'une forte lentille, surtout à l'aide d'une vive lumière; mais les particules étrangères sont quelquefois si fines, si uniformément disséminées dans l'intérieur du corps, qu'il devient extrêmement difficile d'en reconnaître la présence. Dans quelques cas seulement le minéral étant soluble dans l'eau (comme le sel gemme) ou dans les acides (carbonate de chaux), et la matière colorante ne l'étant pas, on peut séparer cette

dernière, en filtrant la solution, et par conséquent la reconnaître. Mais lorsque le minéral principal est insoluble, on ne peut souvent parvenir à reconnaître la présence d'une matière étrangère colorante que par induction. On y arrive soit en rassemblant une série d'échantillons pris dans le même lieu, qui passent par nuances des uns aux autres, et conduisent ainsi du plus évident à celui qui laisse le plus d'incertitude; soit par comparaison de la couleur du corps proposé avec celle des substances qui l'accompagnent. C'est ainsi que l'on reconnaît que certaines substances qui seraient naturellement incolores, ou qui auraient une couleur déterminée, doivent la couleur qu'elles affectent dans ces échantillons, tantôt à du mica, ordinairement de couleur verte, qui s'y trouve disséminé (feldspath, azinite, sphène en cristaux, etc.), à de l'épidote verte, dont elles ont entraîné des particules infiniment petites, plus ou moins nombreuses (wernerite ou scapolite, quelques variétés de corindon, etc.), à de l'amphibole vert (certains feldspaths compactes, certains silex, etc.), à du grenat rouge (certains quartz en roche, certains feldspaths, quelques corindons, etc.), à de l'argile ferrugineuse, jaune ou rouge (arragonite, quartz, sel gemme, etc., etc.), enfin, à une multitude de substances qu'il serait trop long d'énumérer, qui ont elles-mêmes des couleurs propres, ou des couleurs accidentelles qu'elles doivent à des oxides métalliques colorés. Quelquefois la conséquence qu'on a tirée de ces comparaisons n'a besoin d'aucune vérification; mais dans certains cas, elle a besoin d'être établie d'une manière plus positive: c'est à quoi l'on parvient par la discussion des analyses chimiques, comme nous le ferons voir dans le livre suivant.

Certaines substances doivent leur couleur à des principes fugaces que le feu enlève avec facilité, et qui

sont dues, à ce qu'il paraît, tantôt à du carbone, tantôt à du carbure d'hydrogène.

Il serait bien possible cependant que quelques-unes de ces couleurs que le feu peut détruire, fussent dues à une autre cause qu'à la présence d'un principe fugace; elles pourraient être produites par un certain arrangement des particules du minéral que le feu détruirait, pour en faire prendre un autre qui ramènerait la matière à sa couleur naturelle la plus ordinaire. Ce serait une circonstance analogue à celle que présente le phosphore fondu et refroidi subitement; on sait que cette substance, ordinairement d'un jaune particulier, prend alors la couleur noire sans changer aucunement de nature. Il me paraît que plusieurs substances minérales sont dans le même cas, mais je n'en ai pas encore fait l'analyse assez rigoureusement, pour m'assurer qu'elles ne renferment aucun principe qui puisse les colorer.

Ces mélanges mécaniques de matières étrangères altèrent presque toujours plus ou moins la transparence du corps, et quelquefois même le rendent tout-à-fait opaque, soit en totalité, soit dans quelques-unes de ses parties. C'est par cette altération de transparence qu'on distingue ordinairement ces couleurs de celles qui ont lieu par des mélanges chimiques, bien que celles-ci puissent être quelquefois assez foncées pour empêcher la lumière de passer à travers le corps, à moins que ce ne soit une lumière très vive.

*Les couleurs par combinaisons chimiques* de matières étrangères, sont aussi extrêmement fréquentes dans la nature. Toutes celles qui font rechercher la plupart des pierres fines pour la joaillerie, sont de cette espèce, ce qui est démontré par cela même que les mêmes pierres sont tantôt colorées d'une manière, tantôt colorées d'une autre. Par exemple, il existe des éme-

raudes d'un vert foncé (émeraude proprement dite), des émeraudes d'un vert bleuâtre (aigue marine), des émeraudes d'un vert clair (beril), des émeraudes jaunes, des émeraudes blanches; de même il existe des topazes jaunes, des topazes bleues, des topazes blanches, des diamants de toutes les couleurs, etc. Ici le principe colorant doit être en combinaison avec le corps, car d'un côté il n'en altère ni la transparence ni l'éclat, et d'un autre, on ne peut jamais distinguer les particules étrangères, quelle que soit la force des lentilles que l'on emploie à cet effet : nous verrons, en parlant de la composition chimique des corps, comment on peut concevoir ces sortes de combinaisons qui produisent des couleurs si variées et si vives dans les minéraux.

Quoique les couleurs accidentelles puissent varier, et varient en effet à l'infini, il faut cependant observer qu'elles ne se présentent pas toutes indifféremment dans telle ou telle espèce de minéral; il en est que certains minéraux affectent plus particulièrement, ce qui tient aux circonstances de leur gisement, et qui dès lors peuvent donner, sinon la certitude, du moins quelques probabilités de distinction, surtout lorsqu'on a acquis cette habitude particulière qui permet d'apprécier des nuances souvent impossibles à caractériser. Mais il faut remarquer ici, comme dans les couleurs propres, que l'espèce de couleur peut varier, en apparence, par suite de son plus ou moins d'intensité, qui tient encore au degré de compacité du corps; de sorte que pour avoir quelques termes plus précis de comparaison, il faut fréquemment avoir égard plutôt à la couleur de la poussière qu'à la couleur de la masse.

(184) *Nuances et dessins des couleurs.* — Toutes les couleurs, soit propres soit accidentelles, sont généralement désignées en minéralogie comme dans l'usage journalier; mais on ajoute souvent des épithètes à leurs

noms pour indiquer leur intensité ou leur nuance particulière : c'est ainsi qu'on dit *bleu foncé*, *bleu pâle*, *rouge vif*, *rouge terne*, *rouge clair*, etc. Quelquefois l'épithète est un terme de comparaison ; ainsi on dit *blanc de neige*, *blanc de lait*, *blanc d'argent*, etc. ; *gris de plomb*, *gris d'acier*, *gris de cendre*, *gris de perle* ; etc. ; *bleu d'indigo*, *bleu de ciel*, *bleu de lavande*, etc. ; *vert pré*, *vert pomme*, *vert poireau*, *vert pistache*, *vert olive*, *vert bouteille* etc. ; *jaune d'or*, *jaune de bronze*, *jaune orange*, *jaune citron*, *jaune de soufre*, *jaune de paille*, *jaune de miel*, *jaune de vin*, etc. etc. ; *rouge cerise*, *rouge de sang*, *rouge de brique*, *rouge de chair*, etc. ; *brun de foie*, *brun de cheveux*, *brun de tombac*, etc., etc. Dans d'autres cas, c'est un terme de modification, comme quand on dit *blanc-jaunâtre*, *blanc-grisâtre*, *gris-noirâtre*, *jaune-verdâtre*, *bleu-violâtre*, *rouge-brunâtre*, *brun-rougeâtre*, *noir-brunâtre*, *noir-bleuâtre*, etc., etc. Aucune de ces expressions ne peut présenter de difficulté, et l'on voit qu'on peut les varier à l'infini, d'une manière ou d'une autre.

Les couleurs propres, comme nous l'avons dit plus haut, sont toujours uniformes dans toute l'étendue de la masse ; mais il n'en est pas de même des couleurs accidentelles : s'il arrive quelquefois qu'un minéral ainsi coloré présente partout la même couleur, il arrive fréquemment aussi que les couleurs varient dans l'étendue de la même masse, soit par l'espèce, soit par la nuance ou le degré d'intensité. On indique souvent dans les descriptions, les dessins que ces couleurs forment entre elles, par des épithètes diverses ; telles que *rubané*, *zonaire*, *tacheté ou pointillé*, *veiné*, *nuagé*, *flambé*, *dendritique*, *ruiniforme*, etc., suivant qu'elles présentent des bandes parallèles, droites, ondulées ou en zigzag, des bandes concentriques, ou en lignes ondulées ou en zigzag, des taches



isolées de diverses formes, qui peuvent être plus ou moins grosses, ou ne former que des points sur un fond quelconque, des veines comme celles du marbre, des dessins qui imitent des nuages, des flammes, des plantes, des ruines, etc.

Ces sortes de dispositions de couleurs sont fréquemment recherchées dans diverses matières, soit comme objet de curiosité, soit comme objet d'ornement; mais sous le rapport même de la science, elles méritent aussi de fixer notre attention, relativement à leur origine. La plupart paraissent être produites d'une manière tout-à-fait analogue à celle dont se produisent les marbrures du savon, dont M. Darcet a parfaitement établi la théorie. Dans la fabrication du savon, le résultat de la première cuite est un mélange de savon alcalin, qui en forme la majeure partie, et de savon alumineux qui renferme une petite quantité d'hydrosulfate de fer, par laquelle toute la masse est uniformément colorée en bleu noirâtre; c'est en retravaillant cette matière qu'on peut, à volonté, obtenir du savon blanc ou du savon marbré. Si l'on dissout ce produit dans une suffisante quantité d'eau, tout le savon alumineux se précipite et entraîne la matière colorante; il se fait alors deux couches, l'une supérieure blanche, l'autre inférieure colorée, et le tout se fige en masse plus ou moins solide. Si l'on dissout ce même produit dans une plus petite quantité d'eau, le savon alumineux coloré ne se précipite plus de la même manière, il cristallise au milieu du savon blanc, et y produit des veines, des taches de toutes les formes, plus ou moins larges, très foncées dans certaines parties, parce que la matière est plus abondante, très claire dans d'autres, et offrant tous les genres de dispositions et de dégradation des teintes. Si la quantité d'eau employée est encore plus petite, et le refroidissement convenablement ménagé, on

obtient un savon à très petites taches blanches et bleues, pressées les unes contre les autres. Enfin, lorsque la quantité d'eau est très petite, on n'obtient plus qu'une masse uniformément colorée comme celle dont nous sommes partis.

Il est infiniment probable que c'est de la même manière que sont produites la plupart des dispositions que l'on peut reconnaître dans les couleurs accidentelles des minéraux, à cela près que les circonstances étant beaucoup plus variées dans la nature que dans les ateliers, les résultats doivent l'être également. On conçoit en effet facilement que la solution de telle ou telle substance, qui renferme en même temps telle ou telle autre matière, dissoute ou simplement suspendue en particules fines, soit assez étendue pour que toutes les matières étrangères se précipitent, et qu'il se forme alors une masse solide, incolore dans sa partie supérieure, colorée plus ou moins fortement à la partie inférieure, où la matière étrangère est empâtée par la substance dominante ; il y a une foule d'exemples de ces sortes de dispositions dans la nature, surtout dans le quartz et dans le feldspath, qui font partie des masses granitiques. On conçoit de même que la solution se trouve plus concentrée, et qu'alors, comme dans la fabrication du savon, la matière colorante se dispose en veines, en taches, en dendrites intérieures, etc., au milieu même de la masse principale, comme cela arrive dans les marbres, dans beaucoup d'autres matières. Une solution encore plus concentrée donnera lieu à un dépôt où les matières seront entremêlées, en petites parties pressées les unes contre les autres ; c'est ce qui arrive à la roche désignée sous le nom de *granitello* par les Italiens, qui ressemble complètement au savon obtenu d'une solution suffisamment concentrée, et ce que l'on observe dans une

multitude de substances. Enfin, on conçoit des solutions tellement concentrées, que toutes ces matières se précipitent également à la fois, et que la matière étrangère, uniformément disséminée, produise une couleur uniforme. Plus on examinera les masses minérales en grand, plus on se convaincra de la vérité de ces explications pour un grand nombre de cas, et plus facilement on concevra les variations infinies de disposition des couleurs qui peuvent avoir lieu çà et là dans la même masse, dont on ne recueille souvent que les extrêmes, comme plus curieuses pour les collections : on verra alors par les passages d'une disposition à l'autre, que les variétés nuagées, flambées, dendritiques, quelquefois même certaines variétés ruiformes, sont produites par des circonstances analogues.

Il ne faudrait pas croire cependant que toutes les dispositions que l'on peut remarquer dans les couleurs des minéraux, sont produites de la même manière; il y a d'autres circonstances qui peuvent aussi en produire diverses variétés. D'abord il arrive souvent que les dispositions rubanées et zonaires sont le résultat de l'accroissement de la masse minérale, par des couches successives qui proviennent de solutions diversement colorées; d'un autre côté, ces mêmes dispositions sont dues tantôt à des infiltrations, tantôt à des décompositions. On trouve souvent des matières minérales colorées en jaune par de l'hydroxide de fer, qui a pénétré dans la masse, et qui y a produit des teintes jaunes dont les nuances vont en dégradant depuis le point où l'infiltration a eu lieu, jusqu'à une certaine profondeur où elles deviennent nulles : tantôt cette pénétration s'est faite de l'extérieur de la masse à l'intérieur, tantôt elle s'est faite à l'intérieur même, à partir d'un point central, où se trouvait quelque matière en décomposition, jusqu'à une certaine distance

tout autour. Enfin, il arrive aussi qu'elle s'est faite par l'intermédiaire de certaines fissures qui se sont probablement remplies d'une solution colorée, qui a pénétré de part et d'autre; dans ce cas, les couches prennent souvent la disposition flambée.

Les dispositions de couleurs produites par l'altération des matières qui étaient d'abord uniformément disséminées, ne sont pas moins communes. Il arrive souvent que des matières minérales exposées à l'air, ou à l'action d'autres gaz plus ou moins actifs, subissent une décomposition plus ou moins avancée, qui quelquefois n'altère que la matière colorante, et lui fait éprouver des changements qui varient suivant la profondeur; il en résulte des dispositions rubanées, plus ou moins ondulées, si la surface soumise à l'action décomposante est assez étendue, et des dispositions zonaires si la décomposition s'opère sur des morceaux isolés de toutes parts. C'est surtout dans les solfatares, dont nous parlerons plus tard, que ces divers accidents se font plus particulièrement remarquer. Lorsque les matières décomposantes pénètrent dans des fissures, les dispositions de couleurs qui se font de part et d'autre des fentes, jusqu'à une certaine profondeur, sont encore plus bizarres, lorsqu'on coupe ensuite les masses dans un certain sens. Il en résulte encore des dispositions flambées, et quelquefois aussi la disposition ruiniforme : c'est du moins ainsi que M. Brongniart a été conduit à expliquer l'origine du marbre ruiniforme de Florence et de plusieurs autres endroits de l'Italie, en remarquant que ces marbres, lorsqu'ils sont en place, n'offrent la disposition qui les fait rechercher, qu'après des fentes d'où se dégagent les vapeurs qui produisent le phénomène des fumarolles.

(185) *Couleurs irisées.* Il y a aussi des couleurs

qui ne tiennent ni à la nature des corps, ni à celle des matières qui s'y trouvent accidentellement mélangées. Les unes sont produites par des fissures, d'autres par une décomposition de la surface du corps, ou par des pellicules de matières étrangères qui la recouvrent; d'autres enfin proviennent d'un arrangement particulier des molécules matérielles, soit à la surface du corps, soit dans son intérieur.

Les fissures produisent, dans l'intérieur des corps, des effets semblables à ceux des anneaux colorés de Newton; elles donnent lieu tantôt à des anneaux concentriques plus ou moins irréguliers, tantôt à des bandes lumineuses qui offrent des teintes rouges, bleues, jaunes, etc., comme les couleurs de l'arc-en-ciel, d'où l'on a dérivé l'épithète irisé. Elles se manifestent dans toutes matières compactes, transparentes, homogènes, qui peuvent se fêler avec plus ou moins de facilité, et plus particulièrement encore dans celles qui sont susceptibles de clivage, parce que le moindre choc peut y produire une solution de continuité entre les lames. Dans le gypse par exemple, on peut en produire à volonté, et faire varier la nature des couleurs, la disposition et l'étendue des anneaux, en soulevant plus ou moins les lames, ou en les pressant entre les doigts.

Les couleurs irisées produites par la décomposition, se font remarquer particulièrement dans certains minerais de cuivre (cuivre pyriteux, sulfure de cuivre), dans le sulfure d'antimoine, etc. Quelquefois la décomposition n'a eu lieu qu'à la première pellicule du corps, mais dans quelques cas elle a pénétré assez profondément; quelquefois même toute la masse la subit plus ou moins. Les couleurs dominantes de ces décompositions sont fréquemment le bleu de l'acier, et les différentes nuances de violâtre, de rouge, de jaune qui se présentent sur l'acier trempé que l'on a recuit plus ou moins.

Les couleurs qui sont dues à des pellicules de matières étrangères, se font remarquer sur tous les corps, principalement sur les minerais de fer (fer oligiste cristallisé de l'île d'Elbe, peroxide et hydroxide de fer en stalactite) à la surface des cristaux de certains carbonates de chaux mélangé de carbonate de fer et de manganèse; entre les feuillettes de certains schistes micacés, dans les fissures des matières charbonneuses qu'on trouve dans le sein de la terre, etc. Elles sont quelquefois assez uniformes, mais le plus souvent elles présentent une réunion de plusieurs espèces de couleurs, et dans tous les cas sont d'un éclat très vif; ce sont des teintes d'or et de cuivre, des bleues, des rouges, des jaunes etc., de la plus grande vivacité.

Il y a des cas où les iris que présentent la surface des corps, semblent être plutôt dues à un arrangement particulier des molécules matérielles qu'à un enduit qui recouvrirait la surface; c'est ce que l'on croit souvent apercevoir dans les cristaux de fer oligiste, et dans l'ilvaite. Dans ce cas, les couleurs ne sont pas détruites par le lavage, même lorsqu'on frotte la surface des corps avec une brosse, tandis que les mêmes opérations enlèvent souvent toutes les couleurs qui font le prix de certains échantillons, lorsqu'elles ne sont dues qu'à des pellicules de matières étrangères.

Les couleurs qui tiennent à un arrangement particulier des molécules matérielles dans l'intérieur même du corps, se font remarquer dans l'opale, dans la pierre de Labrador, etc. Dans l'opale, les iris, qui sont souvent d'une grande vivacité, et qui font tout le mérite de cette pierre dans la joaillerie, ont été attribuées par Haüy à de simples fissures; mais il est impossible d'admettre cette explication qui n'a pu venir à l'esprit de ce savant, que parce qu'il est parti d'une expérience inexacte, que sans doute il n'a pas faite lui-

même. Il a annoncé que toutes les couleurs de l'opale disparaissaient du moment que l'on brisait cette pierre; mais il n'en est pas ainsi, car les plus petits fragments, ceux mêmes qu'on ne peut observer qu'au microscope, présentent des couleurs aussi vives et aussi variées que les plus gros. Il est à remarquer que ce n'est jamais dans les opales transparentes, qu'on observe les belles couleurs qui donnent tant de prix à cette pierre; ces couleurs ne se manifestent que quand la transparence est troublée même assez fortement, et pour les provoquer dans les variétés plus transparentes, il faut les chauffer un peu. Il y a des variétés qui perdent toutes leurs couleurs, lorsqu'elles sont dans une atmosphère humide, et qui les reprennent pour peu qu'on les approche du feu. Il en est d'autres, au contraire, qui n'offrent leurs couleurs que quand elles sont humides; ce sont celles qui sont un peu trop opaques, et qui redeviennent un peu translucides, en imbibant de l'eau. On doit remarquer aussi que les opales qui ne sont pas constamment renfermées, celles que l'on porte habituellement, finissent à la longue par perdre de leurs couleurs; elles subissent alors une altération qui les rend plus opaques. Il paraît, d'après ces observations, que le phénomène des iris que présente l'opale, est dû à des vacuoles qui existent dans l'intérieur de ces pierres, et qui se trouvant remplies par des fluides de réfringence différente, peut-être de l'eau et de l'air, décomposent les rayons lumineux de mille manières; il paraît qu'il est nécessaire que le nombre de ces vacuoles soit en certaines proportions avec les parties pleines. Nous ferons remarquer qu'on imite jusqu'à un certain point ces jeux de l'opale avec du verre dans lequel on introduit des matières infusibles, comme de l'oxide d'étain, des os calcinés pulvérisés, qui se mêlangent dans la matière, en troublent la transparence, et

donnent lieu à des décompositions partielles de la lumière.

On remarque dans les minéraux différents effets qui paraissent avoir beaucoup d'analogie avec ceux que présente l'opale ; tels sont les reflets plus ou moins vifs, blanchâtres, rougeâtres, jaune d'or, etc., qui sortent de certaines pierres, comme de l'opale girasol, de certaines variétés de corindon (corindon opalin) ou de feldspath (pierre de soleil), lorsqu'on les présente à une vive lumière, ou qui semblent flotter dans l'intérieur de la pierre comme dans le feldspath adulaire (pierre de lune), le quartz chatoyant, le cymophane, etc. Ce dernier effet a été nommé *chatoïement*, par allusion aux yeux du chat dont ces pierres imitent grossièrement le reflet, lorsqu'elles sont taillées en cabochon. Tous ces effets ne se manifestent généralement que quand la transparence de la pierre est plus ou moins troublée, ce qui paraît encore avoir lieu ici par l'interposition d'une matière étrangère, soit de petits globules d'eau ou d'air comme dans l'opale girasol, soit de matière solide qui est quelquefois disposée en fibres extrêmement fines, comme on le voit souvent dans le quartz chatoyant ; dans quelques cas, il paraîtrait que ces jeux de lumière sont l'effet d'un tissu fibreux de la pierre, qui occasionne aussi des vides où la lumière peut se décomposer de différentes manières. On imite aussi ces reflets dans le verre par des matières infusibles qui y restent en suspension.

*L'aventurine* présente aussi des reflets qui sont indépendants des matières colorantes du corps, et se rapportent à des degrés de réfraction différents, dans les différents points de la masse. Cette variété de quartz a une structure granulaire, qui résulte d'une accumulation de cristaux de quartz, quelquefois assez distincts, parmi lesquels il s'en trouve de plus vitreux les uns que les



autres, ce qui tient probablement à une différence de position. Il en résulte alors des points scintillants, sur un fond beaucoup moins éclatant, qui ne renvoient que de la lumière blanche lorsque la masse est entièrement blanche, et des reflets jaunâtres, brunâtres, ou brun-rougeâtres, dans le cas où la pierre est pénétrée accidentellement de matières ferrugineuses qui semblent être souvent déposées entre les grains. On a aussi attribué ces jeux de lumière à des fissures, en remarquant surtout que les pierres qui les présentent se trouvent en cailloux roulés, qui, en se heurtant les uns contre les autres dans le transport par les eaux, auraient pu se fendiller de toutes les manières; mais il n'est pas probable qu'il en soit ainsi, car des fissures produites de cette manière, ne se trouveraient qu'à la surface des cailloux roulés, tandis que les effets de l'aventurine ont lieu dans toute la masse, quelque grosse qu'elle soit.

Il ne faut pas confondre cette espèce d'aventurine avec celles qui résultent de la présence d'une multitude de petites lamelles de mica dans des roches de quartz, de feldspath, dont chacune réfléchit la lumière, et dont l'ensemble produit sur l'œil un effet analogue au précédent, mais toujours plus décidé, plus uniforme et plus agréable. C'est cette espèce d'aventurine que l'on imite par des verres, qui sont même plus agréables que la pierre naturelle, dans lesquels on fait cristalliser, on ne sait trop comment, une matière, également vitreuse, de couleur cuivrée, qui se forme en petite tétraèdres extrêmement brillants.

La *pierre de Labrador*, présente des effets différents des précédentes, et dont l'explication ne peut encore être donnée d'une manière satisfaisante. Ce sont des couleurs très vives qui ne se manifestent que sous certaines positions, et qui changent fréquemment d'une

position à l'autre, en sorte que sur la même surface, on aperçoit, dans un sens par exemple, des teintes bleues de toutes les nuances, et dans un autre des teintes vertes, rouges, jaunes, etc., etc. Quelquefois les masses étant formées de cristaux groupés en différents sens, on aperçoit sur la même surface, et sous une même inclinaison, des parties diversement colorées qui sont toujours d'un très bel effet. Ces couleurs ont une certaine analogie avec celles qu'on observe dans les plumes de certains oiseaux, sur les ailes des papillons, etc. On remarque quelquefois aussi dans la structure intérieure du minéral, quelques circonstances analogues à celle de la structure de ces productions animales; la masse paraît en effet assez souvent formée soit de petites lamelles, qui sont comme des écailles empilées les unes sur les autres, soit de petites fibres, ou de petites aiguilles, accolées les unes aux autres, et placées bout à bout.

On ne peut chercher jusqu'à présent l'explication de ces effets que dans la théorie des accès de facile réflexion et de facile transmission imaginée par Newton. L'espèce de couleur réfléchie sous une certaine position, dépendrait de l'épaisseur des lames que la lumière incidente peut traverser avant d'être reportée vers l'œil, épaisseur qui devenant plus ou moins grande suivant qu'on incline plus ou moins la face du minéral dans tel ou tel sens, produirait tous les changements que l'on observe dans ces circonstances. Il faut cependant avouer qu'il se présente une multitude de petits accidents, qui doivent être en rapport avec les phénomènes principaux, dont on ne peut se rendre compte dans cette théorie.

On a quelquefois comparé les effets de la pierre de Labrador à ceux de la nacre de perle, qui présente aussi fréquemment des couleurs irisées et très variées;

mais il y a cette grande différence, que la nacre de perle imprime sa propriété sur les corps mous susceptibles de se modeler sur sa surface, comme la cire d'Espagne noire fondue, qui offrent ensuite les mêmes reflets, tandis que la pierre de Labrador ne l'imprime pas. Par conséquent il y a à la surface de la nacre une disposition moléculaire saillante, malgré le poli, qui n'existe pas dans le minéral dont nous nous occupons.

*Astérie.* Il existe encore dans les minéraux un phénomène de lumière dont il est nécessaire de dire quelques mots; c'est une étoile blanchâtre à six rayons, que l'on remarque sur quelques variétés de corindon. Elle s'observe par réflexion, et aussi par réfraction lorsqu'on place la pierre entre l'œil et une vive lumière. Ce phénomène est un fait dont on n'a pas d'explication; seulement on remarque qu'il est en rapport symétrique avec la forme des cristaux dans lesquels on l'observe. L'étoile ne se présente en effet que dans les cristaux qui sont taillés perpendiculairement à l'axe, surtout lorsqu'ils le sont en cabochon; chacun des rayons correspond à une arête culminante du rhomboèdre, qui est la forme primitive du corindon; trois rayons correspondent au sommet supérieur, et les trois autres au sommet inférieur. Il y a des cristaux de corindon qui n'offrent qu'une partie de ce phénomène; ce sont des cristaux naturels à sommets rhomboédriques, dont les arêtes culminantes sont un peu arrondies: chacune de ces arêtes présente alors une ligne brillante, d'un éclat fort analogue à celui que l'on reconnaît dans l'étoile en question. Il résulte de là, qu'on peut soupçonner que trois des rayons de l'étoile appartiennent au sommet tourné vers l'observateur, et les trois autres au sommet opposé, vu à travers la pierre. Lorsque cette pierre est taillée en boule, on voit les rayons d'un sommet se prolonger

jusqu'à l'autre, de sorte que les lignes lumineuses se présentent comme des côtes sur la partie de la boule qui correspond à un prisme hexaèdre placé entre ces deux sommets.

Il est nécessaire de faire remarquer que le phénomène ne se laisse bien apercevoir que sur les variétés de corindon dont la transparence est un peu troublée; on le reconnaît plus communément dans les variétés bleues, connues dans le commerce sous le nom de saphir, que dans les variétés rouges, connues sous le nom de rubis; et, en effet, ce sont les variétés bleues qui sont plus sujettes à devenir laiteuses. Si on se rappelle ce que nous avons dit de l'éclat nacré, on verra que ces deux phénomènes ont beaucoup de rapports entre eux.

On observe aussi un phénomène analogue dans le grenat; on aperçoit alors une étoile très vive à trois ou six rayons, quatre ou huit. On remarque aussi une certaine correspondance entre ce phénomène et celui que présente le corindon; en effet le grenat présente une étoile à trois ou à six rayons toutes les fois qu'il est taillé perpendiculairement à l'axe qui passerait par deux angles trièdres opposés du dodécaèdre rhomboïdal auquel la cristallisation de cette substance peut être rapportée: or ces angles trièdres opposés sont évidemment placés comme des sommets de rhomboèdres, en sorte que trois des rayons appartiennent à l'un des sommets, les trois autres aux sommets opposés. Les étoiles à quatre rayons, ou à huit, ont lieu lorsque la pierre est taillée perpendiculairement à une ligne qui passerait par deux angles composés de quatre plans. Il est probable que beaucoup d'autres substances présenteraient des phénomènes analogues, si on les taillait convenablement.

(186) *Polychromisme*. — On a fait voir depuis long-

temps, dans les ouvrages de physique, qu'un grand nombre de substances avaient la propriété de donner une couleur d'une certaine espèce par réflexion, et une couleur différente, qui souvent n'était pas complémentaire, par réfraction, mais il faut bien distinguer ce phénomène de ceux dont nous voulons parler ici, et où les couleurs différentes se manifestent toutes par réfraction; c'est-à-dire que quand on place certains minéraux entre l'œil et la lumière, on les voit d'une couleur ou d'une autre, suivant le sens dans lequel les rayons lumineux les traversent.

L'observation fait voir que ces phénomènes particuliers sont liés invariablement avec la forme dont les minéraux sont susceptibles. Il n'y a pas de différence de couleurs dans les substances qui appartiennent au système cubique, quel que soit le sens dans lequel la lumière les traverse; ce n'est que dans les minéraux doués de la double réfraction qu'on observe des différences plus ou moins marquées. Dans ceux qui n'ont qu'un axe de double réfraction, on n'observe que deux teintes extrêmes, ce qui constitue le *di-chroïsme*; l'une lorsque la lumière traverse le cristal parallèlement à l'axe de double réfraction, l'autre lorsqu'elle le traverse perpendiculairement: dans toutes les positions intermédiaires, les couleurs participent de l'une et de l'autre espèce. La cordiérite, la tourmaline, le mica du Vésuve, l'émeraude, etc., etc., présentent très fréquemment ce phénomène. La cordiérite est ordinairement bleue dans un sens, et d'un bleu violâtre dans l'autre; la tourmaline est ordinairement d'un noir opaque, parallèlement à l'axe, et verte, brune, rouge, etc., perpendiculairement à ce même axe.

Dans les cristaux à deux axes de double réfraction, la théorie conduit à admettre l'existence du *trichroïsme*;

une des couleurs extrêmes peut être donnée lorsque la lumière traverse le corps parallèlement au plan des axes et à la ligne moyenne; une autre, lorsque la lumière traverse parallèlement à ce plan, et perpendiculairement à la ligne moyenne; et une troisième, enfin, lorsque la lumière traverse le corps perpendiculairement à ce plan et à la ligne moyenne. M. Sorret a vérifié ces phénomènes sur une topaze du Brésil dont la teinte était rouge, et qui ne paraissait pas avoir été brûlée; dans la première direction, la couleur était le rose avec une légère teinte jaunâtre; dans la seconde, c'était le violet sans mélange de jaune; et dans la troisième, on reconnaissait un blanc jaunâtre: ces teintes extrêmes passaient de l'une à l'autre dans les positions intermédiaires.

On peut donc dire, en général, que les substances qui se rapportent au système cubique sont *unichroïtes*; que les substances qui n'ont qu'un axe de double réfraction sont *dichroïtes*, et enfin que les substances à deux axes sont *richroïtes*. Mais il ne faut pas s'attendre à pouvoir observer toujours ces phénomènes; ils n'ont lieu que dans les substances diaphanes colorées, et alors même il arrive fréquemment qu'ils ne se manifestent pas, soit que la différence des teintes se trouve trop faible pour pouvoir être appréciée, soit, comme le suppose M. Biot, que la matière colorante se trouve interposée sans cristallisation, ou cristallisée confusément.

(187) *Phosphorescence*. — Nous placerons à la suite des caractères optiques, un phénomène qui se manifestera encore par des jeux de lumière, qu'on désigne sous le nom de phosphorescence, et qui consiste en des lueurs plus ou moins vives de différentes couleurs qu'on n'aperçoit qu'en faisant l'expérience dans l'obscurité. On provoque ce phénomène dans les minéraux,

par divers moyens, par frottement, par percussion ou compression, par chaleur, par exposition au soleil pendant plus ou moins de temps. Il y a des corps sur lesquels il suffit du plus léger frottement pour en faire jaillir une lueur plus ou moins vive; tels sont, par exemple, certaines variétés de sulfure de zinc, sur lesquelles il suffit de passer la barbe d'un plume pour produire la phosphorescence. D'autres corps, au contraire, ont besoin d'un frottement assez fort; tels sont le quartz (cristal de roche), certains marbres, la plupart des matières vitreuses qui, frottées l'une contre l'autre, produisent plus ou moins de lumière dans l'obscurité, etc. Enfin il existe un grand nombre de corps dans lesquels il paraît impossible de provoquer le phénomène de cette manière.

Par la chaleur, la plupart des substances minérales sont susceptibles de produire une lueur phosphorique plus ou moins forte; il en est qui exigent pour cela une température très-élevée, et qu'on est obligé de chauffer dans des creusets; d'autres ne demandent qu'une chaleur rouge-sombre, et même beaucoup moins. Parmi ces derniers, le plus remarquable, soit par l'intensité du phénomène, soit par les variétés de couleurs qui se manifestent suivant le degré de température, est le fluide de chaux; il y en a des variétés, qu'on a désignées sous le nom de *chlorophane*, dont quelques-unes sont phosphorescentes à la température moyenne de notre climat, en sorte qu'elles brillent constamment dans l'obscurité; d'autres n'ont besoin que la chaleur de la main; d'autres exigent la température de l'eau bouillante; enfin, il en est qui demandent une température beaucoup plus élevée. Pour observer ces derniers, il faut jeter un fragment de la substance sur une pelle qu'on a fait chauffer et qu'on a laissée refroidir jusqu'au noir dans l'obscurité: on voit alors

les couleurs passer par une multitude de nuances qui se succèdent rapidement jusqu'à ce que le phénomène finisse. Les variétés les plus facilement phosphorescentes, ne présentent que des teintes verdâtres; celles qui exigent une température élevée, présentent des teintes beaucoup plus variées. Dans ce cas, l'intensité des couleurs et le nombre de leurs successions dépendent, à ce qu'il paraît, de la couleur du minéral; en sorte que si l'échantillon présente plusieurs couleurs réunies, il offre aussi par la chaleur, diverses nuances de phosphorescence. Les fragments soumis à l'expérience changent de couleur, deviennent ordinairement blancs, et perdent pour toujours la propriété phosphorescente, s'ils ont été fortement chauffés; s'ils ont été chauffés légèrement, ils conservent cette propriété pour une température plus élevée.

Il est bon de faire remarquer que la phosphorescence par la chaleur est indépendante de la phosphorescence par le frottement; car les corps qui ont été chauffés fortement, et qui ont perdu par-là la propriété d'être phosphorescents par la chaleur, conservent encore celle de donner une lumière phosphorique par le frottement.

Nous avons cité, sur la foi de M. Desaigne, l'exposition au soleil pendant quelques instants, comme susceptible de provoquer dans les corps la propriété de luire ensuite dans l'obscurité. Ce physicien a annoncé que tous les corps étaient dans ce cas; mais je dois dire ici que les expériences que j'ai tentées à ce sujet ne m'ont pas réussi: je n'ai obtenu de phosphorescence par ce moyen, que dans les variétés de fluat de chaux qui en sont le plus susceptibles par la chaleur, et il me paraît que c'est alors plutôt la température qui a développé cette propriété, que l'action de la lumière solaire.

La phosphorescence ne peut guère être employée comme caractère distinctif des minéraux; car, d'un



côté, elle ne diffère de l'un à l'autre que du plus au moins; et, d'un autre, il y a souvent plus de différence entre les diverses variétés d'un même minéral, que d'une espèce de minéral à l'autre. On remarque aussi que les échantillons de telle ou telle localité sont facilement phosphorescents par l'un ou l'autre des moyens que nous avons indiqués, tandis que d'autres ne donnent par les mêmes moyens aucun indice du phénomène. Ce n'est que dans quelques substances que ce caractère est assez marqué pour mériter d'être placé parmi ceux qui peuvent les faire reconnaître : nous citerons ces substances par la suite.

---

## CHAPITRE VII.

### DE L'ÉLASTICITÉ.

(188) On a employé fréquemment le plus ou moins d'élasticité, pour distinguer quelques substances de plusieurs autres, avec lesquelles elles peuvent avoir plus ou moins d'analogie. C'est ainsi, par exemple, qu'on a presque toujours distingué les matières qu'on a réunies sous le nom de mica, de celles qui constituent l'espèce talc; les premières ayant toujours une élasticité très prononcée, les autres n'en ayant pas. On a considéré dans ce cas la faculté que l'élasticité donne à des lames minces, ou à des fibres déliés, de revenir avec plus ou moins de rapidité à leur forme naturelle lorsqu'on les a courbées. Cette propriété considérée de cette manière, a été regardée avec raison comme ayant très peu d'importance; mais les recherches de M. Savart viennent de faire voir, qu'envisagée sous un autre rapport elle peut conduire à des faits du plus haut intérêt, et fournir des données précieuses sur la constitution physique des minéraux cristallisés.

(189) C'est par la nature des vibrations que l'on peut produire dans des plaques de substances minérales cristallines que M. Savart a imaginé d'étudier leur état élastique, et par suite leur structure intime; il est déjà parvenu sur le peu de substances qu'il a eues à sa disposition, à des résultats assez importants pour

faire désirer vivement que les minéralogistes le mettent à même de continuer son travail sur d'autres. Nous allons consigner ici ceux de ces résultats qui se rattachent aujourd'hui le plus directement à la minéralogie.

M. Savart fait d'abord remarquer que si l'on possédait une lame circulaire, bien égale d'épaisseur, d'un corps parfaitement homogène, le système des lignes nodales diamétrales, qu'on peut produire par l'ébranlement d'un des points de son contour, pourrait se placer dans toutes les directions, et que les lignes nodales circulaires seraient exactement concentriques au contour de lame. Mais si la symétrie que l'on suppose est altérée soit par la forme de la lame, soit par la structure du corps, les choses ne se passeront plus de la même manière; les lignes nodales diamétrales ne pourront plus se placer indifféremment suivant la position du lieu d'ébranlement, et les lignes circulaires seront des courbes d'une autre espèce. De là il résulte que pour reconnaître si une substance présente le même degré d'élasticité dans tous les sens, il faut toujours la tailler en plaques circulaires bien égales d'épaisseur, parce qu'alors on n'aura plus que les variations occasionnées par la structure.

En appliquant ce mode d'exploration aux substances minérales, M. Savart a reconnu, qu'il n'en est aucune dans laquelle une même figure nodale puisse se placer dans toutes les directions, ce qui indique qu'elles ne jouissent pas des mêmes propriétés dans tous les sens; mais il y a plus, les figures qu'on obtient sur des lames taillées dans une même direction par rapport à l'axe du cristal, sont exactement ordonnées d'une certaine manière, et elles varient dans des plaques qui sont taillées dans des sens différents; il en est qui sont susceptibles du mode de division composé de deux li-

gnes droites rectangulaires avec ou sans lignes hyperboliques, et d'autres qui ne présentent que deux systèmes de courbes hyperboliques. Les recherches de M. Savart ont porté particulièrement sur le quartz et le carbonate de chaux, mais à son exemple nous généraliserons les résultats en les appliquant au système rhomboédrique : nous ferons remarquer, quant à présent, les faits suivants.

1<sup>o</sup> Les plaques taillées perpendiculairement à l'axe d'un rhomboèdre présentent deux modes de divisions composés chacun de deux lignes droites croisées à angle droit, celles d'un des modes rencontrant celles de l'autre sous l'angle de 45<sup>d</sup>. L'intervalle qu'on observe entre les sons des deux systèmes est toujours très petit, de sorte que ces sons peuvent être considérés comme étant sensiblement les mêmes; d'où il suit que l'élasticité d'une telle plaque serait aussi sensiblement la même dans toutes les lignes diamétrales.

2<sup>o</sup> Les plaques taillées perpendiculairement aux faces du rhomboèdre présentent également deux modes de divisions composés chacun de deux lignes droites qui se croisent à angle droit; mais l'intervalle entre les sons des deux systèmes est alors fort grand : dans le quartz le son le plus grave étant *ut*, le second est le *sol* de la même octave.

3<sup>o</sup> Les plaques taillées parallèlement aux faces du rhomboèdre, produisent aussi deux systèmes de lignes nodales; mais l'un est rectangulaire et l'autre hyperbolique. Le système rectangulaire est placé sur les diagonales de la face rhombe; c'est celui qui produit ici le son le plus grave.

4<sup>o</sup> Les plaques taillées sur un angle latéral du rhomboèdre, suivant un plan qui ferait avec l'axe le même angle que la face naturelle produite par le clivage, c'est-à-dire suivant un plan parallèle à une face du

rhomboèdre identique inverse (38, 3<sup>o</sup>), donnent encore deux systèmes de lignes nodales, l'un rectangulaire, l'autre hyperbolique; mais les sommets de l'hyperbole sont beaucoup plus rapprochés que dans le cas précédent, et de plus c'est le système hyperbolique qui donne ici le son le plus grave, tandis que dans la lame précédente il donne au contraire le son le plus aigu.

Cette observation fournit une application immédiate à la minéralogie. On sait que dans les substances du système rhomboédrique, qui ne sont pas clivables, on est fort embarrassé de choisir entre les deux rhomboèdres qui se combinent pour former un sommet pyramidal, ou un dodécaèdre bipyramidal; que jusqu'à présent on n'a eu aucune raison pour se décider à adopter l'un plutôt que l'autre pour forme primitive, et qu'on n'a même pas su si l'un ou l'autre pouvait être adopté. Or, en partant de l'expérience que nous venons d'indiquer, on reconnaîtra du moins s'il y a un de ces rhomboèdres qui se conduise comme le rhomboèdre de clivage dans le carbonate de chaux, et quelles sont les faces qui lui appartiennent. Il suffira de faire tailler une plaque parallèlement à une face pyramidale, et de la faire vibrer; si les lignes hyperboliques donnent le son le plus grave, la face sera une de celles du rhomboèdre analogue à celui de clivage; si ces lignes donnent le son le plus aigu, la face de clivage sera celle qui est adjacente à la face que l'on a fait tailler. Il pourrait se faire qu'aucun des rhomboèdres qui composent une pyramide, ne fût un rhomboèdre primitif; mais alors le système de vibration serait sans doute un de ceux qu'on peut obtenir en prenant une plaque plus ou moins inclinée à l'axe.

5<sup>o</sup> Les plaques taillées sur les angles latéraux d'un rhomboèdre parallèlement à l'axe, et suivant un plan également incliné sur deux faces qui concourent au sommet, c'est-à-dire parallèlement aux pans du pris-

me hexaèdre produit par cette modification (39), présentent toutes les mêmes modes de divisions; l'un de ces modes est formé de deux lignes droites rectangulaires, dont l'une correspond toujours à l'axe du cristal; l'autre est formé de deux branches d'hyperbole à laquelle les premiers serviraient d'axe. Le son du premier système est plus élevé que celui du second; dans le quartz le premier système donne le *fa*, et le second le *ré* de la même octave.

6<sup>o</sup> Les plaques taillées sur les arêtes latérales des rhomboèdres, parallèlement aux faces du prisme hexaèdre qui peut se faire par ce genre de modification, ne présentent plus de lignes nodales rectangulaires: elles donnent deux systèmes hyperboliques, qui paraissent tout-à-fait semblable, mais qui font entendre des sons différents. Dans le quartz l'un des systèmes donne le son *ré* et l'autre le son *fa* de la même octave. Les axes principaux de ces deux hyperboles se croisent au centre de la plaque, sous un angle qui dépend de la nature de la substance, et qui peut-être fournira un jour quelques données pour distinguer les diverses espèces: cet angle est pour le quartz de 51<sup>d</sup> à 52<sup>d</sup>. Si par le centre de la lame on fait passer une ligne également inclinée sur les deux axes principaux, cette ligne se trouve parallèle à l'arête latérale du rhomboèdre; en sorte qu'un plan qui passerait par cette ligne perpendiculairement à la plaque, serait parallèle à la face du rhomboèdre.

Il résulte de ces deux expériences, un moyen de reconnaître, dans les substances qui ne se clivent pas, si un prisme hexaèdre est produit sur les angles ou sur les arêtes latérales du rhomboèdre analogue à celui de clivage, ce qui est impossible autrement; il suffit de faire tailler une plaque parallèlement à un pan de ce prisme, et de la faire vibrer. Si le prisme est

produit sur les angles, les figures acoustiques produiront un système rectangulaire et un système hyperbolique; s'il est produit sur les arêtes, les figures acoustiques offriront deux systèmes hyperboliques.

Il résulte aussi de là un autre moyen de reconnaître les faces qu'on peut considérer comme analogues à un rhomboèdre de clivage, dans un dodécaèdre bipyramidal, ou dans un prisme hexaèdre terminé par des pyramides, ou bien la place de ces faces dans un prisme hexaèdre simple, lorsque la substance ne se clive pas. Si une plaque prise parallèlement à un pan du prisme donne des figures acoustiques hyperboliques, il faudra y tracer les axes principaux des hyperboles, et mener par le point de rencontre une ligne également inclinée sur ces axes; la direction de cette ligne indiquera celle de la face du rhomboèdre. Si la plaque qu'on a taillée présente un système rectangulaire et un système hyperbolique, il en faudra tailler une autre perpendiculairement à deux faces opposées de ce prisme, et parallèlement à l'axe : cette nouvelle plaque sera alors parallèle aux pans du prisme produit sur les arêtes du rhomboèdre, dont elle montrera comme précédemment, la direction par la ligne moyenne entre les axes de ses lignes acoustiques.

M. Savart conclut des expériences que nous venons de rapporter, et de beaucoup d'autres (*Annales de Chimie et de Physique*, 1828) dont le détail n'est pas encore utile à la minéralogie, que dans les substances du système rhomboédrique, il doit exister trois systèmes différents de lignes principales d'élasticité. Comparant ensuite les résultats à ceux qu'il a obtenus avec des plaques de bois, qui ne possèdent que trois lignes inégales et rectangulaires d'élasticité, il fait voir qu'on peut jusqu'à un certain point, déterminer dans chaque système la direction même de

ces lignes. Il fait voir que dans le quartz, l'axe de plus grande élasticité de chaque système est suivant la diagonale oblique des faces du rhomboèdre ; que pour les plaques taillées autour de la diagonale horizontale, cette diagonale se trouve un axe de moyenne élasticité, et qu'enfin il existe un axe de moindre élasticité dans un plan qui, passant par la diagonale horizontale, serait parallèle à une arête du rhomboèdre.

Il fait remarquer que le carbonate de chaux, a sous ce rapport, une grande analogie avec le quartz, mais qu'on trouve cependant cette grande différence que la diagonale oblique qui pour le quartz se trouve être l'axe de plus grande élasticité, devient au contraire un axe de moindre élasticité dans le carbonate de chaux ; l'axe de plus grande élasticité se trouve alors dans le plan diagonal parallèle à une arête. Il est remarquable que cette différence se trouve dans deux substances dont l'une, le quartz, a la double réfraction attractive, et l'autre la double réfraction répulsive. Le même phénomène a-t-il lieu dans toutes les substances qui sont dans le même cas ? C'est ce que les expériences futures nous apprendront.

Il faut observer aussi que cette différence se fait remarquer dans les phénomènes de la dilatation par la chaleur ; dans le carbonate de chaux, l'angle dièdre des faces du sommet diminue, dans le quartz au contraire, cet angle augmente.

Il paraîtrait aussi que l'arrangement des figures acoustiques et les nombres de vibrations dont elles s'accompagnent, se trouvent intimement liées avec les directions de clivages de chaque lame. On peut dire en général que si ces directions se coupent à angle droit dans le plan de la lame, l'un des deux modes de division se composera de deux lignes croisées rectangulairement, tandis que si elles sont inclinées l'une sur



l'autre, les deux systèmes nodaux seront des courbes hyperboliques. La première partie de cette assertion est vérifiée dans le carbonate de chaux qui est susceptible de clivages surnuméraires qui se croisent à angle droit, l'un suivant la diagonale horizontale, l'autre suivant la diagonale oblique. La seconde est vérifiée par le sulfate de chaux; les lames minces de cette substance se brisent suivant deux directions inclinées entre elles de  $113^{\text{d}} 8'$ , et les modes de division qui peuvent s'y établir, sont deux courbes hyperboliques dont l'une paraît avoir pour asymptotes les directions mêmes de clivage, et dont l'autre a pour axe principal celles de ces directions où le clivage est le moins facile.

Tels sont les faits principaux observés par M. Savart, ceux du moins qui paraissent, pour le moment, les plus applicables à la minéralogie. Il serait fort à désirer que l'on pût continuer les expériences sur d'autres substances du système rhomboédrique, et étudier de la même manière les substances des autres systèmes sur lesquelles on n'a encore que des idées très vagues, par suite de la difficulté de se les procurer à quelque prix que ce soit; nous engageons vivement les minéralogistes, pour l'avancement de la science dont ils s'occupent, qui sera en même temps celui de l'optique et de l'acoustique, à faire le sacrifice des masses homogènes qu'ils peuvent posséder, et à mettre un savant, à qui l'on doit déjà tant de découvertes, sur la voie de beaucoup d'autres.

## CHAPITRE VIII.

## DEGRÉS DE RÉSISTANCE AUX ACTIONS MÉCANIQUES.

(190) Dans un temps où la distinction des minéraux n'était fondée que sur des caractères empiriques, on s'est servi fréquemment de la dureté, du plus ou moins de fragilité et de la ductilité pour reconnoître les substances. Plus tard on a vu, avec quelque raison, que ces caractères étaient peu importants, et ne pouvaient guère servir qu'à faciliter la reconnaissance des espèces lorsqu'on en a acquis une grande habitude, ou plutôt à en écarter quelques-unes parmi celles qu'on peut naturellement comparer à telle ou telle matière qu'on est dans le cas de déterminer. Cependant on est conduit aujourd'hui à penser que ces caractères étant étroitement liés à l'arrangement intime des particules des corps, en les étudiant avec plus de soin, et par des moyens moins grossiers que ceux qu'on a jusqu'alors employés, ils pourraient acquérir de la valeur, précisément comme l'élasticité qui était tout-à-fait dans le même cas. Malheureusement nous n'avons rien à dire de précis à ce sujet, et nous ne pouvons qu'indiquer vaguement le parti que l'on peut tirer aujourd'hui de ces propriétés.

(191) *Dureté.* — On désigne souvent sous le nom de dureté des propriétés très différentes des corps; ainsi on

dit qu'un corps est dur, tantôt parce qu'il résiste avec une certaine force à l'action du choc par lequel on tend à le briser, tantôt par opposition à *mou* ou à *flexible* parce qu'il ne cède pas lorsqu'on le presse entre les doigts; tantôt enfin, parce qu'on ne peut l'entamer avec l'ongle ou avec un instrument tranchant. Mais ces divers sortes de résistances ne sont pas en rapport direct les unes avec les autres : un corps qui résiste fortement à être entamé par un instrument tranchant ne résiste pas de même au choc; c'est ce qu'on voit, par exemple, dans le verre, le cristal de roche, etc. Il en résulte qu'il est nécessaire, en disant qu'un corps est dur, d'indiquer de quelle manière on éprouve sa dureté; sans quoi on pourrait tomber dans des erreurs très graves, dont je ne citerai qu'un exemple. Tout le monde sait, au moins par ouï dire, que le diamant est un corps très dur; mais beaucoup de personnes, satisfaites de cette idée, n'ont jamais demandé comment on éprouvait sa dureté, et il en est résulté cette opinion singulière, citée par d'anciens auteurs, et encore assez accréditée, que le diamant est un corps si dur que si on le plaçait sur une enclume, et qu'on frappât dessus avec un marteau, il entrerait plutôt dans l'acier que de se briser. On confond alors la résistance que ce corps oppose à être rayé, avec la résistance au choc : le diamant est le corps le plus dur du règne minéral, parce qu'il est susceptible de rayer tous les autres, et qu'il n'est rayé par aucun, mais en même temps il est très fragile.

En minéralogie, on entend par dureté la résistance qu'un corps oppose à être entamé par un instrument tranchant, ou à être usé, rayé, par tel ou tel corps. On dit qu'un corps est plus ou moins dur qu'un autre, suivant qu'il peut le rayer, l'user, ou qu'il en est rayé ou usé. C'est ainsi qu'on dit que le diamant est le

plus dur de tous les corps, parce qu'il les entame tous, et n'est entamé par aucun; aussi est-on obligé, pour le tailler ou le polir, d'employer sa propre poussière.

Cette propriété sert, dans beaucoup de cas, à distinguer les substances les unes des autres. Ainsi, par ce caractère seul, on distinguera toujours le diamant, le rubis, le saphir et tout ce qu'on nomme pierres fines, du cristal de roche, que tous ces corps rayent avec facilité. On reconnaîtra de même à l'instant tous les verres colorés qui imitent les différentes sortes de pierres, parce qu'ils sont comparativement beaucoup plus tendres, et sont toujours rayés fortement par le cristal de roche, ou par la pierre à fusil, qui en est une variété particulière, et qu'ils sont aussi usés avec la plus grande facilité au moyen d'une lime. Mais pour se servir avantageusement de ce caractère en minéralogie, il est nécessaire de prendre toujours deux termes de comparaison; il faut déterminer quelle sorte de pierre, de verre, etc. tel ou tel minéral est susceptible de rayer, et par quel autre corps, naturel ou artificiel, il est lui-même rayé: il serait même nécessaire d'indiquer quel genre de pointe on emploie pour rayer un corps, car il y a à cet égard de très grandes différences; par exemple, une pointe obtuse raye avec beaucoup plus de facilité qu'une pointe aiguë, non-seulement parce qu'elle est plus solide, mais encore parce qu'elle fait en quelque sorte un espèce de coin. Cette différence dans l'action des différents genres de pointe se fait surtout remarquer dans celles qu'on emploie pour couper le verre. On se sert pour cela de pointes de diamant; mais suivant les justes observations de Wollaston, il n'y a que les pointes naturelles à arêtes curvilignes, ou celles que l'on a fait tailler de cette manière qui puissent produire l'effet qu'on en attend. Les dia-

maïts cristallisés ou taillés à arêtes rectilignes vives, ne font que rayer sans couper; au contraire, toutes les substances minérales beaucoup moins dures que le diamant, pourvu quelles le soient un peu plus que le verre, acquièrent la propriété de couper cette matière du moment qu'on les fait tailler à faces bombées et à arêtes curvilignés.

La dureté, quoique employée depuis long-temps comme caractère minéralogique, n'a pas encore été étudiée avec tout le soin qu'on pourrait désirer; elle tient de très près à l'arrangement des particules des corps et présente une multitude de variations qui paraîtraient devoir être d'un grand intérêt. D'abord, on remarque dans le même corps, de très grandes différences suivant que les particules sont arrangées régulièrement ou irrégulièrement, et l'on ne peut nullement comparer sous ce rapport, les matières cristallisées et celles qui résultent d'une aggrégation confuse de particules matérielles; mais on reconnaît en outre, dans les substances mêmes qui sont cristallisées, des différences qui tiennent au mode d'arrangement des particules. Le carbonate de chaux cristallisé dans le système rhomboédrique, est moins dur que le même corps lorsqu'il est cristallisé dans le système prismatique rectangulaire droit, où il constitue l'arragonite: c'est une circonstance comparable à celle qu'on remarque entre l'acier recuit et l'acier trempé, et qui tient aussi à la différence de l'arrangement des particules. Le quartz cristallisé régulièrement (cristal de roche) est moins dur que le silex et l'agate, qui n'en diffèrent pas sous le rapport chimique; et parmi ces dernières substances, il en est des variétés qui diffèrent considérablement les unes des autres. Il y a lieu de penser, d'après l'examen de tous les faits, que cette propriété tient de très près à la structure intime des corps, et que quel-

que jour les recherches sur l'élasticité, fourniront encore ici des données importantes.

(192) *Étincelles produites par le choc du briquet.* — On considère quelquefois dans les corps doués d'un certain degré de dureté, une autre propriété particulière, celle de donner des étincelles par le choc du briquet. L'étincelle est la combustion d'une particule d'acier détachée par le choc, et lancée rapidement dans l'air, où elle s'enflamme : ainsi cet effet suppose dans le corps assez de dureté pour entamer l'acier, et assez de cohésion entre ses particules pour qu'il ne se brise pas trop facilement par l'effet du choc ; c'est donc un effet composé de la dureté de la ténacité. Plusieurs substances beaucoup plus dures que le cristal de roche, le diamant par exemple, ne donnent pas aussi facilement des étincelles que lui, par la seule raison qu'elles sont trop fragiles. Le cristal de roche lui même ne fait pas feu aussi facilement que la pierre à fusil qui n'en est qu'une variété, mais qui a beaucoup plus de ténacité. Ce caractère est rarement d'une grande utilité, car la plupart des substances qu'il pourrait distinguer diffèrent trop entre elles par l'ensemble de tous leurs autres caractères, pour qu'il soit nécessaire de recourir à celui-ci.

(193) *Ténacité.* On peut comprendre sous le nom de ténacité, ou de force de cohésion, la résistance que les corps opposent à être rompus d'une manière quelconque ; mais, en minéralogie, il n'y a lieu à considérer sous cette dénomination que la résistance au choc. Elle dépend de plusieurs causes ; du volume du corps, de son degré d'élasticité, de sa nature intime ; mais les plus grandes différences sont données par la structure, et se font sentir surtout dans les diverses variétés d'une même espèce. Tous les corps solubles dans l'eau sont en général très fragiles, ce qui paraît ici dépendre de

leur nature. On peut en dire autant de ceux dans lesquels l'eau entre comme partie constituante, et qui sont ce qu'on nomme des hydrates. Parmi les corps insolubles, ceux qui sont susceptibles de clivage sont en général plus fragiles que les autres; les variétés compactes d'une même substance sont plus faciles à briser que les variétés à structure lamellaire, et surtout que celles à structure fibreuse entrelacée qui sont souvent d'une ténacité extrême. La ténacité varie aussi suivant les diverses sortes de compacité; les corps qui dans leur cassure présentent l'éclat de la résine ou de l'empois desséché, sont généralement plus fragiles que ceux dont la compacité est vitreuse; ceux-ci sont plus fragiles que les corps compacts pierreux, et que ceux surtout qui résultent d'une agrégation solide de petites particules roulées. Les substances très celluluses sont souvent aussi très difficiles à briser; mais ici c'est moins par ténacité réelle que parce que l'effet du coup se propage très difficilement dans la masse, et qu'il meurt, comme on le dirait vulgairement, en écrasant la première cellule qui se rencontre sous sa direction.

La ténacité n'est nullement en rapport avec la dureté, telle que nous l'avons définie: il arrive même très souvent qu'elle est en raison inverse de cette propriété; car un très grand nombre de corps d'une grande dureté sont plus fragiles que beaucoup de corps tendres. Cela tient à ce que la facilité à se briser en éclats dépend de l'élasticité, qui est en général plus forte dans les corps plus durs. Les substances peu élastiques, comme la plupart des agrégats terreux, qui, par un choc même assez faible, peuvent être divisées en plusieurs parties, sont plutôt écrasées par l'effort que brisées.

La ténacité n'est pas d'une grande utilité en minéralogie, par la raison, surtout, qu'il est difficile d'évaluer la force du choc que l'on emploie. On ne se

sert de ce caractère que comme accessoire dans la description d'un petit nombre de substances, en indiquant qu'elles sont plus ou moins fragiles; mais à cet égard nous ferons observer que les degrés de ténacité n'ont pas été mieux étudiés que la dureté, et qu'en les comparant à l'arrangement moléculaire, on trouve des circonstances analogues à celles que nous avons énoncées pour cette propriété. (191)

(194) *La flexibilité* est la faculté que possèdent certaines espèces minérales, ou certaines variétés d'espèces, de pouvoir être courbées plus ou moins facilement sans se briser. Elle se présente en général dans toutes les substances qui se trouvent en fibres extrêmement déliées ou en filets extrêmement minces. Dans quelques-unes, comme dans ce qu'on nomme vulgairement amiante, elle est souvent telle, que la masse est aussi souple que de l'étoffe de soie, et que la matière conserve la forme qu'on lui a donnée. Il est d'autres substances qui sont aussi très flexibles, mais qui reviennent à leur forme première dès l'instant que la force a cessé d'agir, parce qu'elles sont en même temps très élastiques. Il y a aussi des matières qui présentent une certaine flexibilité par suite de la disposition plus ou moins lâche de leurs particules; plusieurs espèces de marbres sacharoïdes, de matières granulaires, taillées en plaques, sont dans ce cas: quelquefois la flexibilité est augmentée, ou même entièrement produite par suite de la présence d'une plus ou moins grande quantité de paillettes de mica; c'est ce qui a lieu dans certaines roches quarzeuses grenues du Brésil, qu'on désigne ordinairement sous le nom de grès élastique, ou grès flexible du Brésil. On voit que, par sa nature même, par les causes qui le produisent, ce caractère a toujours très peu d'importance et ne sert qu'à établir quelques variétés dans telle ou telle espèce.



(195) *La ductilité* est la faculté qu'ont certains corps de pouvoir être étendus par la pression ou par le choc, et de conserver sensiblement la forme qu'ils ont reçue. Leurs particules glissent alors les unes sur les autres avec plus ou moins de facilité, et s'arrangent d'une manière permanente, dans de nouvelles positions respectives. Il y a quelques corps qui sont assez ductiles pour pouvoir être pétris entre les doigts; telles sont, dans les substances minérales, les argiles humectées d'eau : cette sorte de ductilité est souvent désignée sous le nom de mollesse; mais il ne faut pas confondre les corps mous dans ce sens avec les corps tendres, ou avec les corps flexibles. D'autres corps ne manifestent leur ductilité que lorsqu'on les soumet à une forte pression; tels sont le plomb, l'étain, les diverses espèces de métaux dont on se sert habituellement, et qu'on n'étend facilement que par l'action du marteau, d'où est venu l'expression de malléabilité, ou par l'action du laminoir.

La ductilité ne peut guère être employée comme caractère distinctif, que pour les métaux, dont les uns sont malléables, et les autres fragiles. Elle dépend fréquemment de la température à laquelle l'essai a lieu; il y a des métaux qui sont plus ductiles à chaud qu'à froid, comme le fer; d'autres où c'est précisément le contraire, comme l'argent, l'étain, etc. Le zinc ne se forge facilement après sa fusion, qu'à la température de l'eau bouillante; mais dès qu'il a été ainsi réduit en lame, en fil, etc, il conserve assez de ductilité à la température ordinaire, ce qui prouve que cette propriété tient à un arrangement particulier des molécules des corps.

---

---

## CHAPITRE IX.

### PESANTEUR SPÉCIFIQUE.

(196) *Définition.* — IL ne faut pas une longue observation des substances minérales pour s'apercevoir qu'à peu près sous le même volume, il en est qui sont beaucoup plus pesantes que les autres. La différence est telle entre quelques-unes, qu'en les sous-pesant seulement avec la main, on saura toujours les distinguer; jamais on ne confondra, par exemple, de cette manière, le platine avec l'argent, le plomb avec l'étain; on ne confondra pas davantage le rubis ou le saphir avec un cristal de roche qui aurait la même couleur; et enfin, avec de l'habitude, on distinguerait un grand nombre de substances, comme le font habituellement les minéralogistes et les joailliers. Mais il faut, autant que possible, ramener la détermination des caractères à des principes certains, et ne pas s'en tenir à des approximations qui, malgré l'habitude, peuvent souvent induire en erreur; d'ailleurs, entre certaines substances, la différence de poids sous des volumes à peu près égaux n'est pas assez considérable pour être aperçue de cette manière.

On conçoit facilement que si l'on parvenait à réduire rigoureusement tous les corps au même volume, on

saurait exactement de combien les uns sont plus pesants que les autres; et si l'on en prenait un pour terme de comparaison, on obtiendrait des expressions numériques qui permettraient de les comparer tous entre eux. On saurait que les uns sont 2 fois, 3 fois, etc. plus pesants que l'unité; que d'autres ne pèsent que  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ , etc. Ces nombres sont ce qu'on nomme *pesanteur spécifique* des corps soumis à l'expérience.

(197) *Manière d'opérer.* — On concevra facilement qu'il n'est pas nécessaire de réduire tous les corps au même volume pour avoir leur pesanteur spécifique, et qu'il suffit de pouvoir toujours ramener exactement celui qui sert de commune mesure au même volume que celui qu'on veut actuellement lui comparer; c'est tout ce qu'il faut pour établir le rapport entre leurs poids. Or, si on prend un corps liquide pour terme de comparaison, rien ne sera plus facile que de l'amener exactement au volume du corps proposé. Si ce corps est également liquide, il suffira de choisir un flacon qui servira de mesure commune; on le pèsera exactement, puis on le remplira du liquide unité; on le pèsera de nouveau; on le videra, et, après l'avoir bien desséché, on le remplira du liquide proposé, pour le peser encore: il est clair qu'on aura ainsi le poids des deux corps sous le même volume.

Si le corps proposé est solide, il n'y aura pas plus de difficulté; car, après avoir rempli exactement un flacon, bouché à l'émeril, d'un liquide quelconque, si on y plonge le corps, il s'échappera un volume liquide précisément égal au volume de ce corps; il ne s'agit donc que de trouver le poids du liquide échappé. Pour cela, on place le flacon rempli et le corps dans le même plateau d'une balance, et on pèse le tout; on met ensuite le corps dans le flacon, que l'on essuie avec soin, et on le pèse de nouveau: la différence du

poids actuel au premier est le poids du liquide déplacé.

On peut aussi avoir d'une autre manière le poids d'un volume liquide égal à celui du corps solide proposé, en partant de ce principe d'hydrostatique, démontré par l'expérience et par le raisonnement, qu'un corps plongé dans un liquide y perd de son poids ce que pèse le volume liquide qu'il déplace. On pèse donc le corps dans l'air, puis on le pèse de nouveau en le faisant plonger dans ce liquide, au moyen d'un fil qui le suspend au-dessous de la balance : la différence de son poids actuel avec le premier est le poids du volume liquide égal au sien. C'est par ce moyen qu'ont été prises presque toutes les pesanteurs spécifiques qu'on trouve dans les ouvrages.

(198) *Balance de Nikolson.* — Nikolson a imaginé encore un autre moyen, qui exige des instruments moins dispendieux. Il se sert d'une espèce d'aréomètre qui porte son nom : c'est un cylindre creux, de fer-blanc, d'argent ou de verre, arrondi à ses extrémités, pl. 1, fig. 10, et exactement fermé. Il porte, à une extrémité, une tige fixe, terminée par une petite cuvette, et qui est marquée d'un trait quelque part en *c*; l'autre extrémité porte un cône renversé, concave à l'endroit de sa base, et lesté dans son intérieur de manière que quand on plonge l'instrument dans l'eau, par exemple, il y ait toujours une portion du cylindre qui surnage.

Pour opérer avec cet instrument, on le plonge dans le liquide qui sert de commune mesure; on met dans la cuvette supérieure les poids nécessaires pour amener le trait *c* à fleur du liquide; on enlève ensuite ces poids, et on met à leur place le corps proposé, qui doit toujours être pris assez petit pour être moins lourd; puis on *affleure* de nouveau, en ajoutant les poids

nécessaires : il est clair alors que le premier poids, moins le second, est le poids du corps dans l'air. Cela fait, sans changer les nouveaux poids, on ôte le corps de la cuvette supérieure, et on le place dans la cuvette inférieure; il y perd alors une partie de son poids, et il faut ajouter quelque chose dans la cuvette supérieure pour affleurer encore : or, ce qu'il faut ajouter est la perte du corps dans le liquide, et par conséquent le poids d'un volume de ce liquide égal à celui du corps proposé.

De quelque manière qu'on ait opéré, on aura le poids du corps et le poids du liquide unité sous le même volume; et on fera la proportion  $p$  ( poids du liquide ) :  $p'$  ( poids du corps ) :: 1 ( pesanteur spécifique du liquide ) :  $x$  ( pesanteur spécifique cherchée ).  $x = \frac{p'}{p}$ .

(199) *Unité de pesanteur spécifique.* — On est convenu de prendre pour unité l'eau distillée à 14<sup>d</sup> de Réaumur, et toutes les pesanteurs spécifiques sont exprimées en multiples ou sous-multiples de cette unité. Ainsi, lorsqu'on trouve dans les ouvrages que la pesanteur spécifique du platine est 21, celle de l'or 19, du mercure 13, du plomb 11, de l'argent 10, du cuivre 8, de l'étain 7, etc., etc., cela veut dire que le premier de ces métaux est 21 fois plus pesant que l'eau sous le même volume, et le dernier 7 fois seulement plus pesant. Le platine est donc 3 fois plus pesant que l'étain.

(200) *Précautions à prendre.* — Lorsqu'on veut déterminer la pesanteur spécifique d'un corps, il faut décider d'avance si l'on se bornera à considérer le volume extérieur du corps, en faisant abstraction des vides ou pores qu'il peut avoir à l'intérieur, et qu'on regardera dès lors comme inhérents à la matière, ou bien si l'on cherchera à défalquer ces vides en les

regardant alors comme accidentels, pour ne faire attention qu'à la matière même. Dans le premier cas, il faut prendre quelques précautions pour les corps qui sont susceptibles de s'imbiber; car il est évident qu' alors dans la première manière d'opérer, le volume du liquide échappé du flacon n'est pas égal au volume du corps, et que dans les autres manières, la perte qu'on observe est plus petite que celle qui devrait avoir lieu : cette perte serait même nulle, si le corps absorbait tout le liquide qu'il déplace. Pour éviter l'erreur qu'on commettrait alors, il faut de nouveau peser le corps après l'imbibition, et ajouter au poids trouvé pour le liquide déplacé celui du liquide qui a pénétré dans les pores.

Lorsqu'au contraire on considère les pores comme accidentels, il est nécessaire, si le corps est susceptible de s'imbiber d'eau, de lui en laisser prendre tout ce qu'il peut absorber avant de déterminer le poids du liquide qu'il déplace, parce qu' alors on n'a que le déplacement causé par la matière. Mais il y a beaucoup de corps qui, malgré leur porosité, ne sont pas susceptibles de s'imbiber d'eau; dès lors, si l'on veut défalquer les pores, qui augmentent nécessairement le volume, il n'y a d'autre moyen que de les réduire en poussière; par là, on détruit le mode d'aggrégation qui avait donné lieu à la formation de ces pores, et l'on approche, autant que possible, de ramener la matière à sa densité réelle.

Il y a des corps qui sont solubles dans l'eau, et pour lesquels, par conséquent, il n'est pas possible d'employer ce liquide pour la détermination de la pesanteur spécifique. Dans ce cas, il faut substituer à l'eau un liquide dans lequel le corps ne soit pas soluble, et dont on connaît, ou dont on détermine la pesanteur spécifique; l'esprit-de-vin, l'huile de térébenthine, le mercure, peuvent être employés en pareil cas. On opérera

d'ailleurs comme dans les cas précédents; seulement, au lieu de faire la proportion que nous avons indiquée, on fera celle-ci :  $p : p' :: a : x = \frac{ap'}{p}$ , en appelant  $a$  la pesanteur spécifique du liquide employé, ce qui donnera encore la pesanteur spécifique du corps relativement à l'eau distillée.

(202) *Valeur de ce caractère.* — On peut faire de la pesanteur spécifique un caractère assez important en minéralogie; mais pour cela, il faut faire en sorte de défalquer les pores que les différentes variétés d'aggrégation et de structure déterminent accidentellement dans les minéraux; par conséquent, il faut adopter ce que l'on peut appeler la pesanteur spécifique absolue, que l'on prend en réduisant préalablement le corps en poussière. Si l'on se bornait à prendre la pesanteur spécifique à la manière ordinaire, et comme on l'a fait jusqu'ici dans tous les ouvrages de minéralogie, le caractère perdrait beaucoup de sa valeur, parce que dans la même substance, le mode d'aggrégation détermine des variations notables; c'est ce que j'ai reconnu dans une série de pesanteurs spécifiques que j'ai prises dans diverses variétés des mêmes substances choisies parmi celles qui étaient chimiquement pures, et que je réunis dans les tableaux suivants.

1<sup>o</sup> CARBONATE DE CHAUX RHOMBOËDRIQUE.

	Pesanteur spécifique ordin.
En petits cristaux.	rhomboédriques. . . . . { 2,7234
	. . . . . { 2,7233
	. . . . . { 2,7231
	en prismes à bases d'hexagones { 2,7227
	réguliers. . . . . { 2,7225
	. . . . . { 2,7224
	. . . . . { 2,7223
D'Islande, limpide et bien homogène. . . . .	2,7213

	Pesanteur spécifique ordinaire.
D'Islande, limpide, mais formé de petits cristaux régulièrement disposés. . . . .	2,7138
D'Islande, limpide, mais formé de petits cristaux irrégulièrement disposés. . . . .	2,7131
Portion d'un gros cristal dodécaèdre du Derbyshire. . . . .	2,71303
Portion d'un gros cristal rhomboédrique, modifié par un dodécaèdre sur les arêtes inférieures. . . . .	2,71124
Lamellaire, à grandes lames. . . . .	{ 2,7069 2,7068
Lamellaire, à petites lames. . . . .	{ 2,7069 2,7061 2,7058
Saccharoïde, mais tenant un peu de magnésie. . . . .	2,7063
Fibreuse, à fibres fines, droites, parallèles. . . . .	2,7056
Fibreuse, à grosses fibres divergentes. . . . .	2,7041
Fibreuse, à fibres fines entrelacées. . . . .	2,6937
Lamello-compacte. . . . .	2,7102
Fibro-compacte. . . . .	2,7092
Compacte, à cassure conchoïde. . . . .	2,7195
En stalactites fibreuses. . . . .	2,7049
En stalactites fistulaires compactes. . . . .	2,5239

Les variétés impures sont tantôt plus, tantôt moins pesantes que les variétés pures, dont elles se rapprochent par leur forme ou leur structure.

2<sup>o</sup> CARBONATE DE CHAUX ARRAGONITE.

En petits cristaux. . . . .	{ 2,9467 2,9459 2,9457
En gros cristaux évidemment formés de petits cristaux. . . . .	{ 2,9071 2,9069
En cristaux mâclés de Leogang. . . . .	2,9063
<i>Idem</i> , d'Arragon. . . . .	{ 2,9058 2,9053
Fibreuse, à fibres droites parallèles. . . . .	{ 2,9297 2,9287
Fibreuse, à fibres entrelacées. . . . .	{ 2,9169 2,9158
Fibro-compacte. . . . .	2,9283
Coralloïde, translucide, à pointes cristallines. . . . .	2,8321
<i>Idem</i> , opaque, à surface lisse. . . . .	2,7647



3° MALACHITE.

En très petits cristaux extraits de la surface d'une masse fibreuse. . . . .	3,5907
Épigène, sous la forme de carbonate bleu et à struc- ture fibreuse. . . . .	3,3572
Épigène, sous la forme du protoxide de cuivre. . . . .	3,3547
Fibreuse, à fibres droites divergentes. . . . .	3,3496
Fibro-compacte. . . . .	3,5734
Fibro-compacte. . . . .	3,5812
Stalactique testacée. . . . .	3,5673

4° CARBONATE DE PLOMB.

En petits cristaux limpides. . . . .	6,7293
En gros cristaux. . . . .	6,7239
En gros cristaux. . . . .	6,7231
En gros cristaux. . . . .	6,7228
En cristaux mûlés. . . . .	6,7217
Fibreux, limpide, à fibres parallèles. . . . .	6,7119
Fibreux, opaque, à fibres divergentes et un peu entre- lacées. . . . .	6,7108
Fibreux, opaque, à fibres divergentes et un peu entre- lacées. . . . .	6,7102

5° SULFATE DE CHAUX HYDRATÉ (GYPSE).

En petits cristaux. . . . .	2,3257
En gros cristaux limpides, réguliers. . . . .	2,3243
En gros cristaux limpides, réguliers. . . . .	2,3241
En gros cristaux oblitérés. . . . .	2,3121
En gros cristaux oblitérés. . . . .	2,3115
Lamellaire. . . . .	2,3091
Lamellaire. . . . .	2,3087
Fibreux, à petites fibres parallèles, contournées. . . . .	2,2985
Fibreux, à grosses fibres contournées. . . . .	2,2859
En crosse. . . . .	2,2858
Niviforme. . . . .	2,2615
Lamello-compacte. . . . .	2,3175
Lamello-compacte. . . . .	2,3112
Fibro-compacte. . . . .	2,3121

6<sup>e</sup> SULFATE DE STRONTIANE.

En petits cristaux. . . . .	3,9593
En gros cristaux. . . . .	3,9582
	3,9579
Fibreux, à fibres divergentes. . . . .	3,9577
	3,9410
———, à fibres entrelacées. . . . .	3,9297

7<sup>e</sup> SULFURE DE PLOMB.

En petits cristaux. . . . .	cubiques. . . . .	7,7593
		7,7585
	octaèdres. . . . .	7,7576
		7,7569
En gros cristaux. . . . .		7,7568
		7,7384
		7,7298
		7,7169
En prisme hexagone provenant de la décomposition complète du phosphate. . . . .		7,6593
		7,6389
En octaèdre rectangulaire provenant de la décomposition du carbonate. . . . .		7,6107
		7,608
Lamellaire à grandes lames. . . . .		7,7406
Lamellaire à petites lames. . . . .		7,7403
Lamello-fibreux (galène palmée). . . . .		7,7398
Lamello-compacte. . . . .		7,7487

8<sup>e</sup> QUARZ INCOLORE.

En petits cristaux. . . . .	2,6541
En gros cristaux. . . . .	2,6532
En masse limpide. . . . .	2,6531
	2,6530
Fibreux, à fibres fines parallèles. . . . .	2,6365
	2,6358
Fibreux, à grosses fibres divergentes. . . . .	2,6359
	1,6354
Cranulaire, plus ou moins compacte. . . . .	2,6361
	2,6407
	2,6413

En se bornant aux données que présentent les huit substances pures que je viens de citer, et qui offrent cent quatre observations de pesanteur spécifique, on peut déjà remarquer plusieurs faits qui me paraissent offrir un assez grand intérêt.

1<sup>o</sup> En comparant entre eux les nombres qui se rapportent aux différentes variétés d'une même substance, on voit évidemment qu'il y a dans chacune d'elles des variations notables dans la pesanteur spécifique prise à la manière ordinaire, qui par conséquent ne peut pas être regardée comme un caractère distinctif.

2<sup>o</sup> En comparant à la fois les nombres et les annotations qui précèdent chacun d'eux, on voit que les variations de pesanteur spécifique sont en rapport avec les différents états sous lesquels se trouvent les substances, et que les nombres sont d'autant plus grands que la matière approche plus d'être cristallisée régulièrement.

3<sup>o</sup> Dans toutes les substances, ce sont toujours les petits cristaux qui présentent la plus grande pesanteur spécifique; d'où il suit que ce sont eux qui présentent dans leur masse plus d'homogénéité, ce qui se rattache à ce que nous avons déjà dit, que ce sont les petits cristaux qui offrent le plus de netteté dans leurs formes.

4<sup>o</sup> Dans tous les gros cristaux, la pesanteur spécifique est plus faible que dans les petits, et quelquefois même la différence est assez grande. Il en résulte nécessairement que les gros cristaux ont dans leur intérieur des vides plus ou moins considérables, et par conséquent que les groupements de petits cristaux, par le moyen desquels se forment généralement les cristaux d'un gros volume, n'ont pas la régularité qu'on leur a supposée, et qu'il doit exister entre eux des espaces plus ou moins considérables, même lorsque la masse paraît avoir le plus d'homogénéité.

5<sup>o</sup> Les variétés à structure lamellaire, fibreuse, etc., sont généralement celles qui offrent les plus petites pesanteurs spécifiques; c'est ce que l'on voit à la plus légère inspection du tableau. Mais, lorsque dans chaque substance on vient à prendre la différence entre la pesanteur des variétés lamellaire, fibreuse, etc., et les petits cristaux, et à comparer ensuite toutes les substances entre elles sous ce rapport, on observe un fait qui n'est pas moins remarquable: on trouve alors que les variations sont sensiblement de même valeur dans toutes les substances, comme on peut le voir dans le tableau suivant.

SUBSTANCES.	DIFFÉRENCES ENTRE LES PETITS CRISTAUX ET LES VARIÉTÉS.			
	Lamellaires.	Fibreuses, à fibres		
		parallèles.	divergentes.	entrelacées.
Carbonate de chaux.	0,0165 0,0164 0,0165 0,0173 0,0176	0,0178	0,0193	0,0297
Arragonite. . . . .		0,0170 0,0180	. . . . .	0,0298 0,0309
Malachite. . . . .			0,0173	
Carbonate de plomb. . . . .		0,0174	0,0185 0,0191	
Sulfate de chaux. . . . .	0,0166 0,0170	. . . . .	. . . . .	0,0272 } (a). 0,0398 }
Sulfate de strontiane. . . . .			0,0183	0,0296
Sulfure de plomb. . . . .	0,0187 0,0190	. . . . .	0,0195	
Quarz. . . . .		0,0176 0,0183	0,0182 0,0187	
Termes moyens. . . . .	0,0173	0,0177	0,0186	0,0312

(a) Ici les fibres sont parallèles et seulement contournées.

Par conséquent, en prenant les termes moyens, on voit que la structure lamellaire diminuerait la pesanteur spécifique d'environ 0,0175; la structure fibreuse, à fibres parallèles, d'environ 0,0173; celle à fibres divergentes, de 0,0186; et enfin la structure à fibres entrelacées, de 0,0312. Il n'y a d'exception un peu apparente que pour une des variétés de sulfate de chaux, ce qui tient peut-être à la facilité de clivage.

6° Dans ces mêmes variétés, lamellaire, fibreuse, etc., la pesanteur spécifique varie suivant la grosseur des lames ou des fibres; en sorte que, quand elles deviennent très fines, la pesanteur augmente, et se rapproche plus ou moins de celle qu'on observe dans les petits cristaux; c'est ce que l'on voit surtout dans les variétés lamello-compacte, fibro-compacte, etc. Il résulte de là que la comparaison que nous venons de faire des diverses substances qui ont la structure lamellaire ou fibreuse, ne peut être exacte que dans le cas où il y a identité dans la grosseur des lames et des fibres de part et d'autre. Mais cette observation même tend à établir de plus en plus l'opinion que j'ai émise, que pour une même structure la variation de pesanteur spécifique est la même, quelle que soit la nature de la substance.

7° Les variations qu'on observe dans les gros cristaux sont irrégulières, et ne peuvent plus être comparées d'une substance à l'autre, comme celles que présentent les variétés lamellaires. Cette irrégularité indique nécessairement quelque chose de tout-à-fait accidentel dans la manière dont les petits cristaux se groupent pour en former de gros.

8° Les plus faibles pesanteurs spécifiques paraissent avoir lieu dans les variétés épigènes des diverses sub-

stances ; c'est ce qu'on remarque dans la malachite épigène provenant soit de la décomposition complète du carbonate bleu de cuivre, soit de celle du protoxide de ce métal, et dans le sulfure de plomb provenant de la décomposition du phosphate et du carbonate. C'est, par conséquent, dans ces cas de décomposition que les structures deviennent les plus irrégulières ; on remarque en effet cette irrégularité d'une manière bien sensible à l'examen de ces variétés.

Il résulte de ces diverses observations que les substances minérales sont susceptibles de subir, dans leur pesanteur spécifique, ces variations qui tiennent à la manière dont les cristaux rudimentaires s'agrègent pour former des masses plus ou moins considérables. D'après cela, il faut concevoir qu'il y a plus de pores dans certains cas que dans d'autres ; mais, s'il en est ainsi, toutes les variétés doivent présenter le même poids spécifique, lorsqu'on a détruit leur genre d'aggrégation en les réduisant en poudre ; or, c'est précisément ce qui a lieu : toutes les variétés d'une même substance offrent la même pesanteur spécifique absolue, et les différences qu'on trouve rentrent dans la limite des erreurs possibles dans les opérations. C'est ce qu'on voit dans le tableau suivant, où j'ai pris la pesanteur spécifique de plusieurs des variétés que j'avais précédemment examinées après les avoir réduites en poudre.

NOMS DES SUBSTANCES.	PESANTEUR spécifique ordi- naire.	PESANTEUR spécifique ab- solue.
Carbonate de chaux en petits cristaux. . . . .	2,7234	2,72320
	2,7231	2,72321
	2,7224	2,72319
<i>Idem</i> , portion d'un gros cristal. . . . .	2,71303	1,72314
<i>Id.</i> lamellaire . . . . .	2,7058	2,72330
<i>Id.</i> fibreux, à grosses fibres. . . . .	2,7041	2,72317
<i>Id.</i> à fibres entrelacées. . . . .	2,6937	2,72293
<i>Id.</i> en stalactites fistulaires compactes. . . . .	2,5239	2,72287
Arragonite en petits cristaux. . . . .	2,9467	2,9469
<i>Id.</i> en cristaux mâclés de Leogang. . . . .	2,9063	2,9467
<i>Id.</i> à fibres entrelacées. . . . .	2,9158	2,9468
<i>Id.</i> coralloïde à surface lisse. . . . .	2,7647	2,9461
Malachite en petits cristaux. . . . .	3,5907	3,5903
<i>Id.</i> épigène. . . . .	3,3572	3,5904
<i>Id.</i> fibreuse, à fibres droites divergentes . . . . .	3,534	3,5901
<i>Id.</i> stalactitique testacée. . . . .	3,5673	3,5905
Carbonate de plomb en petits cristaux. . . . .	6,7293	6,7289
<i>Id.</i> en cristaux mâclés. . . . .	6,7217	6,7290
<i>Id.</i> fibreux opaque. . . . .	6,7102	6,7292
Sulfate de chaux en petits cristaux. . . . .	2,3257	2,3316
<i>Id.</i> en cristaux oblitérés. . . . .	2,3115	2,3317
<i>Id.</i> lamellaire. . . . .	2,3091	2,3318
<i>Id.</i> fibreux, à grosses fibres. . . . .	2,2859	2,3315
<i>Id.</i> niviforme. . . . .	2,2615	2,3316
Sulfate de strontiane en petits cristaux. . . . .	3,9593	3,9591
<i>Id.</i> en gros cristaux. . . . .	3,9579	3,9594
<i>Id.</i> fibreux, à fibres divergentes, . . . . .	3,9410	3,9592
Sulfure de plomb en petits cristaux. . . . .	7,7593	7,7590
	7,7568	7,7591
<i>Id.</i> en gros cristaux. . . . .	7,7169	7,7594
<i>Id.</i> provenant de la décomposition du phos- phate. . . . .	7,6389	7,7593
<i>Id.</i> lamellaire. . . . .	7,7406	7,7593
Quartz en petits cristaux. . . . .	2,6541	2,6541
<i>Id.</i> fibreux, à fibres fines parallèles. . . . .	2,6365	2,6540
<i>Id.</i> à grosses fibres. . . . .	2,6354	2,65399
<i>Id.</i> granulaire. . . . .	2,6407	2,6540

On voit clairement par ce tableau, que la pesanteur spécifique absolue est la seule qui puisse fournir un caractère comparable, et par conséquent d'une certaine importance en minéralogie. Mais il paraît difficile d'avoir cette valeur absolue, et l'on commettra probablement une petite erreur par le procédé que nous avons indiqué; on obtiendra des nombres comparables, ce qui au reste nous suffit, et non le véritable poids spécifique absolu du corps. En effet, en examinant le dernier tableau que je viens de tracer, on peut observer que, dans cinq des huit substances que j'ai étudiées, le nombre qu'on obtient, après avoir réduit les petits cristaux en poussière, est un peu plus faible que celui qu'on obtient de ces petits cristaux eux-mêmes, ce qui tient probablement à ce qu'on a produit quelques fissures dans les particules en brisant le corps. Il en résulte que les types de pesanteur spécifique devraient plutôt être pris sur les petits cristaux que sur leur poussière, mais alors on s'éloignerait un peu de celle qu'on pourrait obtenir pour les autres variétés:

D'après les observations précédentes, je crois pouvoir fixer les pesanteurs spécifiques comparables, aux nombres suivants, pour les huit substances que j'ai examinées, et pour lesquelles j'ai pris les moyennes de toutes les observations.

Carbonate de chaux rhomboédrique. . . . .	2,7231
Carbonate de chaux arragonite. . . . .	2,9466
Malachite. . . . .	3,5904
Carbonate de plomb. . . . .	6,7290
Sulfate de chaux (gypse). . . . .	2,3316
Sulfate de strontiane. . . . .	2,9592
Sulfure de plomb. . . . .	7,7592
Quarz. . . . .	2,6540



les variétés, et peuvent servir à distinguer les substances entre elles lorsqu'elles sont pures. Il serait à désirer qu'on fit la même opération pour toutes les espèces minérales, du moins pour celles qui sont susceptibles de présenter beaucoup de variétés de structure; mais jusqu'à ce qu'on ait fait ce travail, il faut tâcher de choisir pour types, parmi les nombres trouvés par la méthode ordinaire, ceux qui se rapportent aux cristaux, et particulièrement à ceux qui sont d'un très petit volume.

Malgré les précautions que l'on peut prendre pour établir la pesanteur spécifique de la manière la moins équivoque, il est rare qu'on puisse s'en rapporter à ce caractère seul, parce que quelques substances, très différentes d'ailleurs les unes des autres, diffèrent très peu par la pesanteur spécifique; telles sont par exemple le diamant et la topaze blanche, qu'il est cependant important de ne pas confondre, vu la différence de leur valeur dans le commerce. Mais s'il ne peut être toujours employé seul, ce caractère est un de ceux que l'on peut joindre avec le plus d'avantage à quelques autres, qui n'ont par eux-mêmes que peu de valeur, pour distinguer avec certitude les diverses substances minérales. Il sert avantageusement pour la reconnaissance des pierres fines, en le joignant à l'éclat, à la dureté et quelquefois aux propriétés électriques.

---

---

## CHAPITRE X.

### ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME.

#### 1<sup>o</sup> De l'Électricité.

(203) TOUTES les substances minérales sont susceptibles d'acquérir la vertu électrique, soit par l'un, soit par l'autre des moyens jusqu'ici connus de développer cette propriété; c'est-à-dire par le frottement, par la pression, par le contact ou par la chaleur : souvent on peut la provoquer sur la même substance par tous ces moyens.

(204) *Substances isolantes et conductrices.* — Il y a des substances qui peuvent être électrisées immédiatement par l'un ou l'autre des moyens que nous venons de citer; ce sont celles qui sont de nature pierreuse, vitreuse ou résineuse : mais il en est d'autres qu'on ne peut électriser qu'après les avoir isolées, c'est-à-dire après les avoir fixées sur un support fait d'une des matières qui ne laissent pas passer le fluide électrique, comme le verre, la cire d'Espagne, etc.; telles sont les substances qui se trouvent à l'état métallique ou à un état qui en approche. Cette différence, la plus importante peut-être de toutes celles qui se rapportent à ce genre d'observation, divise les minéraux en deux grandes

classes, savoir : les *minéraux isolants*, et les *minéraux conducteurs*, qu'on ne pourra, dans aucun cas, confondre l'un avec l'autre.

(205) *Espèce d'électricité acquise par frottement ou par pression ; son degré d'importance.* — Dans chacune des deux grandes classes que nous venons d'indiquer, les substances minérales diffèrent encore, en général, les unes des autres, par l'espèce d'électricité qu'elles peuvent acquérir lorsqu'elles sont frottées ou comprimées par un même corps ; les unes prennent en général l'*électricité positive*, et les autres, en général, l'*électricité négative*. Mais ce caractère, qui paraît important au premier abord, est sujet à un grand nombre d'exceptions ; en effet, il arrive fréquemment que dans la même espèce de substance, un cristal prend une espèce d'électricité, tandis qu'un autre prend une électricité contraire ; Haüy a même observé qu'il arrivait quelquefois que, dans un même cristal, une des faces manifestait par le frottement une espèce d'électricité, tandis qu'une autre manifestait une électricité contraire. Dans quelques cas, on peut facilement rendre raison de ces différences, et même les prévoir d'avance : en effet, le plus ou moins de transparence des corps, le degré de poli et d'éclat des surfaces, suffisent pour faire varier l'espèce d'électricité. Ainsi, on sait depuis long-temps qu'une substance qui donne, par exemple, l'électricité positive, lorsqu'elle est transparente, et que ses faces sont lisses et brillantes, donne l'électricité négative lorsque la transparence est troublée et que ses faces deviennent plus ou moins ternes : c'est la différence qu'on observe entre le verre poli et le verre dépoli. Mais il arrive aussi très fréquemment qu'on obtient deux effets opposés, avec des cristaux d'une même substance, sans qu'on puisse remarquer entre eux la moindre différence de transparence et de poli.

(206) *Différence dans la facilité à acquérir l'électricité, et dans la faculté de la conserver.* — Les substances minérales diffèrent aussi généralement entre elles, par le plus ou moins de facilité avec laquelle elles prennent la vertu électrique, et par le plus ou moins de difficulté avec laquelle elles la perdent. Il en est qu'il suffit de presser légèrement entre les doigts pour leur faire acquérir un degré très marqué d'électricité, d'autres qui ne s'électrisent qu'avec la plus grande difficulté, soit par ce moyen, soit par le frottement. Parmi les premières, le carbonate de chaux cristallisé, ou spath d'Islande, est une des plus remarquables, car il est presque impossible de le toucher sans l'électriser; plusieurs autres substances, comme la topaze, s'électrisent aussi avec une grande facilité. La faculté de retenir la vertu électrique est encore très marquée dans les mêmes substances; le carbonate de chaux la conserve pendant plusieurs jours, quel que soit l'état de l'atmosphère; on peut l'exposer à l'humidité, le placer même dans l'eau, sans qu'il perde sensiblement de sa vertu; la topaze conserve aussi l'électricité pendant très long-temps, quoique en communication avec des corps conducteurs. Il est d'autres substances, au contraire, qui conservent à peine la vertu électrique pendant un quart d'heure; tels sont, par exemple, le cristal de roche et le diamant.

Ces différences peuvent servir, dans beaucoup de cas, à distinguer les diverses substances les unes des autres; mais il ne faut pas s'y fier entièrement, car si, comme nous l'avons fait remarquer, il arrive fréquemment que dans la même substance il y a des variétés qui prennent l'électricité positive, et d'autres l'électricité négative, de même on trouve dans la même substance des variations notables, soit dans le degré de facilité à s'électriser, soit dans la faculté de conserver

l'électricité. Il y a des variétés qu'il est impossible d'électriser, et quoique cela arrive souvent lorsqu'il y a quelque différence de tissu, il est beaucoup de cas où l'on ne peut reconnaître aucune cause à ces variations.

(207) *Électricité par la chaleur.* — C'est parmi les corps isolants qu'on a observé jusqu'ici ceux qui sont susceptibles de s'électriser immédiatement par la chaleur : telles sont la topaze, la tourmaline, etc. etc. On remarque alors qu'il se forme en général, deux pôles électriques différents, c'est-à-dire que l'une des extrémités du cristal manifeste l'électricité positive, tandis que l'autre manifeste l'électricité négative : ces différences sont fréquemment en rapport avec la cristallisation, et on remarque, dans les cristaux parfaits, que chaque pôle offre des modifications particulières, le pôle positif ayant plus ou moins de faces que le pôle négatif, ou réciproquement, ou bien des faces d'un autre genre.

On doit à M. Becquerel des expériences sur l'électricité par la chaleur, qui ont mis de la précision dans ce genre de phénomène, et ont entièrement changé les idées qui avaient été reçues jusqu'alors. On croyait, sur l'autorité de Haüy, que les minéraux commençaient à s'électriser à une certaine température, variable de l'un à l'autre, et continuaient à prendre une vertu électrique de plus en plus forte, jusqu'à une certaine limite, qu'on croyait également variable, passé laquelle la vertu électrique décroissait jusqu'à devenir nulle. Mais ce résultat apparent tenait à la mauvaise méthode employée pour faire l'expérience, et M. Becquerel a fait voir qu'en s'y prenant convenablement, les choses ne se passaient pas du tout ainsi.

Pour faire l'expérience de manière à éviter toute erreur, il faut suspendre le corps dont on veut éprouver l'électricité à un fil de soie non tordu, au milieu

d'un matras que l'on remplit à peu près au tiers de mercure. On place ensuite ce matras dans une capsule de fer, où l'on met aussi un peu de mercure, et que l'on dispose au-dessus d'une lampe à esprit-de-vin. Par ce moyen, on parvient à chauffer graduellement tout l'appareil, et on peut l'élever à telle température que l'on veut, ce dont on juge d'ailleurs par un thermomètre placé aussi à l'intérieur du matras.

En opérant par ce moyen, on remarque bientôt que les différentes substances ne commencent à manifester la vertu électrique, qu'à un certain degré de température, variable pour chacune d'elles, comme on le sait depuis long-temps; et que l'on peut fixer avec quelque précision, en les essayant, sans les sortir de l'appareil, avec un bâton de cire d'Espagne électrisé, que l'on présente au dehors. Du moment qu'elles ont acquis la vertu électrique, on voit que l'intensité en augmente progressivement à mesure que la température devient plus forte, et cela, à ce qu'il paraît, indéfiniment, en sorte qu'il n'y a point de limite où les phénomènes cessent. Mais il faut que la température soit constamment croissante; car s'il arrive qu'elle soit un moment stationnaire, toute trace d'électricité disparaît aussitôt: c'est ce qu'on peut voir en éteignant la lampe, car la température qui continue à croître pendant quelques instants, devient bientôt stationnaire, et au moment même, l'électricité est à zéro; mais alors on observe un autre phénomène, car après quelques instants la température de l'appareil commençant à décroître, on voit l'électricité reparaître: dans ce cas, les pôles ont changé de place, celui qui était positif lorsque la température était croissante, devient négatif, et réciproquement: c'est ce dont on peut s'assurer en marquant un des pôles dans le premier cas.

« *Chap. de l'Électricité universelle*, par température

décroissante, qu'on a seul observé, jusqu'au moment où M. Becquerel a fait ses expériences; on chauffait alors la pierre sur des charbons, et il arrivait presque toujours qu'au moment où on la reportait vers l'appareil pour l'essayer, la température devenait stationnaire; c'est alors qu'on croyait avoir dépassé une certaine limite à laquelle l'électricité était devenue nulle. On attendait quelques instants pour rentrer, croyait-on, dans cette limite; mais alors la température devenait décroissante, et l'électricité se manifestait en sens inverse de ce qu'elle aurait été dans le premier cas.

En faisant l'expérience comme nous l'avons indiquée, on voit que les diverses substances commencent à s'électriser à des températures très différentes, qu'il serait fort utile de fixer. Il en est qui s'électrisent avec la plus grande facilité; la calamine par exemple, est dans ce cas, le moindre changement de température, croissante ou décroissante, suffit pour la rendre électrique, en sorte qu'elle semble être toujours à l'état stationnaire. Les signes d'électricité se manifestent dans cette substance par des variations si petites de température, qu'on a cru qu'elle était habituellement électrique à la température ordinaire; mais le fait est que cela n'a lieu que quand il y a un changement croissant soit en plus soit en moins.

Il est absolument nécessaire dans ces expériences de chauffer la pierre uniformément, ce qui a toujours lieu au moyen de l'appareil que nous avons indiqué; car, si l'on chauffe une extrémité plus que l'autre, les phénomènes sont fort différents. M. Becquerel a fait voir qu'en chauffant un de ces corps par une extrémité seulement, la température étant croissante, cette extrémité prend une électricité contraire à celle qui s'y manifeste par le refroidissement uniforme, et que l'autre extrémité se trouve à zéro, tant que la tempé-

rature ne s'y est pas élevée ; en sorte que la pierre ne présente qu'une seule espèce d'électricité , et à l'un de ses bouts seulement. Lorsque l'extrémité opposée à celle que l'on chauffe , vient elle-même à s'échauffer , il s'y manifeste une électricité contraire à celle de la première , et alors la substance présente des pôles inverses de ceux qu'elles possèdent lors d'une température uniforme décroissante. Lorsque la température devient stationnaire , toute trace d'électricité disparaît encore ; mais du moment que le refroidissement commence , elle reparaît en sens inverse. Si la température est décroissante du côté que l'on a chauffé , ce côté prend l'électricité opposée à celle qu'il manifestait par une température croissante : l'autre côté reste à zéro tant qu'il ne s'est pas échauffé ; mais si la température s'y élève , il prend l'électricité contraire à celle que l'autre bout aurait prise par une température également croissante , et qui se trouve dès-lors la même que celle de ce bout dans l'état actuel. De là il résulte que la pierre présente la même espèce d'électricité à chacune de ses extrémités , qui sont alors toutes deux positives ou toutes deux négatives.

Les caractères tirés de l'électricité par la chaleur , ont , en général plus de fixité que ceux que l'on tire de l'électricité par frottement ou par pression. Il paraît même qu'on pourrait en faire des caractères importants , en étudiant convenablement les substances ; car ici tout porte à croire que les effets tiennent à la fois à la nature des corps et à leur structure intime , qui doit présenter quelque chose de particulier , variable sans doute d'une espèce à une autre. Cependant dans l'état actuel de nos connaissances , il y a encore des anomalies qui introduisent beaucoup d'incertitude ; en effet , dans la même substance on trouve des variétés qui s'électrisent très facilement , et d'autres



qui ne prennent jamais la vertu électrique, sans qu'on puisse dire aujourd'hui à quoi tient cette différence.

(208) *Moyens d'observation. Électroscope.* — Outre l'appareil que nous avons indiqué pour l'électricité par la chaleur, on se sert pour éprouver l'électricité des minéraux, de divers petits électroscopes, dont il est nécessaire de parler. On emploie d'abord une aiguille métallique, pl. I, fig. 12, à l'état naturel, pour savoir s'ils sont conducteurs ou isolants, électrisés ou non. Il suffit pour cela de frotter les corps sur un morceau de drap, en les tenant à la main, et de les présenter ensuite à l'instrument; s'ils sont isolants, ils seront en général électrisés, et attireront dès lors l'aiguille qui se trouve à l'état naturel; s'ils sont conducteurs, ils ne produiront sur elle aucun effet. Un simple fil très léger, ou un cheveu, suspendu d'une manière quelconque, peut rendre le même service.

Aj rès avoir reconnu qu'un corps est électrisé, il faut savoir quelle espèce d'électricité il possède; pour cela il suffit d'isoler, sur un morceau de verre ou de cire à cacheter, un instrument semblable au précédent, et de l'électriser positivement ou négativement. Cette dernière espèce d'électricité se donne avec facilité au moyen d'un bâton de cire d'Espagne, qu'on frotte préalablement sur un morceau de drap, et que l'on fait ensuite toucher à l'une des extrémités de l'aiguille. Si l'on n'a point d'aiguille, il suffit de fixer un cheveu à l'extrémité d'un bout de cire d'Espagne; en frottant de même ce bout de cire sur un drap, le cheveu prend l'électricité négative, et devient un appareil aussi commode qu'il est peu dispendieux. Si, en présentant le corps électrisé à l'aiguille, ou à un cheveu également électrisé, on remarque qu'il y a répulsion, on en conclura que ce corps possède la même électricité que l'appareil; si, au contraire, il y a attrac-

tion, c'est que le corps possède l'électricité contraire. Haüy a construit aussi un autre instrument, fig. 11, qui est commode pour ces recherches; il consiste en une aiguille métallique dont une extrémité porte un petit barreau de spath d'Islande, et dont l'autre doit être assez longue pour établir l'équilibre. Pour électriser l'appareil, il suffit de presser le petit barreau de spath entre les doigts; il acquiert alors l'électricité positive, qu'il conserve pendant quelques jours. Lorsqu'on veut reconnaître l'espèce d'électricité acquise par un corps, on n'a qu'à le présenter à ce petit appareil; s'il repousse l'aiguille, il est électrisé positivement; s'il l'attire, il est électrisé négativement. On conçoit que, dans tous les cas, il faut s'assurer avant tout que le corps est électrisé; car, à l'état naturel, il attirerait également. On peut aussi se servir d'une aiguille de tourmaline, un des corps qui s'électrise le plus facilement par la chaleur, que l'on suspend horizontalement en équilibre, soit par le moyen d'un fil, soit en perçant un trou à son centre et la plaçant sur une pointe; il suffit alors de la chauffer, et elle devient par le refroidissement, un appareil doué de pôle électrique, qui est fort commode.

2<sup>o</sup> Action des minéraux sur le barreau aimanté.

(209) Cette action est extrêmement bornée; car, bien qu'on ait reconnu que plusieurs substances sont magnétiques, il n'y a que le fer qui se trouve dans la nature à des états où il peut agir sur l'aiguille aimantée. Il faut distinguer deux sortes d'action : dans l'une, le corps agit par attraction sur l'un et l'autre pôle de l'aiguille; dans l'autre, le corps possède lui-même des pôles dont l'un agit par attraction et l'autre par répulsion sur la même extrémité de l'aiguille.

Rien n'est plus facile que de déterminer ces propriétés : il suffit de présenter le corps à un petit barreau aimanté, pour savoir s'il attire ou s'il n'attire pas. Lorsqu'on veut ensuite connaître si le corps possède le magnétisme polaire, il suffit, après l'avoir présenté par un point, de le présenter par le point diamétralement opposé, par lequel il doit alors repousser l'extrémité de l'aiguille qu'il attirait auparavant. Il n'y a qu'un seul minéral de fer qui possède le magnétisme polaire, et qui le communique aux substances minérales dans lesquelles il se trouve disséminé; tous les autres minerais du même métal sont seulement attractifs, ou ne possèdent pas même immédiatement cette propriété; car il faut souvent les avoir préalablement chauffés au rouge pour l'observer.

Haüy a imaginé une méthode pour rendre sensible la moindre quantité de fer dans un minéral : mais je crois inutile de parler ici de la disposition qu'il emploie; car, dans cette manière de faire l'expérience, il n'est presque aucun corps tant soit peu coloré qui ne soit attractif.

La faculté d'agir ou de ne pas agir sur le barreau aimanté, ou d'avoir le magnétisme polaire, ne peut guère conduire qu'à distinguer entre eux les divers minerais de fer, et par conséquent a très peu d'importance en minéralogie.

---

## CHAPITRE XI.

### PROPRIÉTÉS DIVERSES.

#### 1<sup>o</sup> Action sur le Toucher.

(210) ON se sert aussi comme caractères empyriques, qui peuvent avoir leur utilité dans certaines circonstances, de l'impression que les diverses substances minérales peuvent produire sur le toucher. On distingue des *corps onctueux*, des *corps doux*, des *corps âpres* au toucher, et on remarque si ces caractères ont lieu dans le corps lorsqu'il est en masse, ou seulement dans sa poussière.

Parmi les *corps onctueux*, il y en a qui sont extrêmement remarquables par le développement de cette propriété. On croirait en touchant ces sortes de corps, tenir un morceau de savon, ou quelquefois une matière couverte d'une couche de graisse ou d'huile; tel est par exemple le cas de la *stéatite* ainsi nommée de *στειαρ*, *στειατος*, suif, précisément à cause de cette propriété; d'autres comme le carbure de fer, le sulfure de molybdène, certaines argiles, etc., présentent une onctuosité moins forte, et en général, on peut établir beaucoup de nuances du plus au moins, dans diverses substances. Il est à remarquer que presque toujours cette propriété tient à la nature des corps, en sorte qu'elle

à réellement un certain degré d'importance, sinon pour distinguer plusieurs corps, qui offrent le même caractère avec des nuances difficiles à bien apprécier, du moins, pour les séparer nettement de ceux qui ne le possèdent pas, qui appartiennent toujours à des espèces différentes.

Les *corps doux au toucher*, soit par eux-mêmes, soit par leur poussière, sont fort nombreux dans la nature; tantôt cette propriété tient à la nature du corps, tantôt elle tient à l'état terreux sous lequel ce corps se trouve, soit par suite des circonstances dans lesquelles il s'est formé, soit par suite d'une décomposition postérieure.

L'*âpreté* que présentent certains corps, tient moins en général à leur nature qu'à leur structure. Les structures lamellaires et granulaires, donnent presque toujours une certaine rudesse aux substances qui les affectent; ce sont les structures poreuse, celluleuse et poncée, qui donnent l'âpreté particulière qu'on remarque dans certains produits des volcans. La structure fibreuse, lorsque les fibres sont mal aggrégées, produit aussi une autre sorte d'âpreté assez remarquable; il arrive souvent qu'en se brisant se détachant les uns des autres, ces fibres produisent une poussière extrêmement rude, composée de petites aiguilles qui entrent dans la peau, et dont on a souvent peine à se débarrasser. Tous les corps vitreux produisent en général une poussière âpre au toucher, lorsqu'elle n'est pas par trop divisée.

Il y a des corps qui, au lieu de ce qu'on peut appeler proprement de l'âpreté, présentent une sécheresse particulière lorsqu'on vient à les toucher, soit en masse, soit, et plus particulièrement, en poussière; ce sont ceux que l'on a quelquefois désignés par l'expression, *maigres au toucher*. Il paraît que cette propriété est due à la facilité avec laquelle ces corps absorbent le peu d'humidité que l'on peut avoir aux doigts, qu'ils

remplissent alors d'une poussière fine extrêmement meuble.

(211) *Impression de froid.* — Parmi les genres d'actions que les minéraux peuvent exercer sur le toucher, un des plus remarquables, est l'impression plus ou moins grande de froid qu'ils peuvent faire éprouver à la main. Cette propriété n'est autre chose que le plus ou moins de faculté conductrice des corps, et elle est souvent assez développée dans quelques substances, pour que l'on puisse avec certitude les distinguer par ce moyen. Jamais, par exemple, on ne confondra de cette manière le quartz (cristal de roche) avec le verre; le premier produit une impression de froid très marquée, tandis que l'autre est à peine sensible. Le diamant, la topaze, etc., se distingueront même du quartz avec un peu d'habitude, parce que ces substances sont encore plus froides. Il y a aussi des corps qui sont moins froids que le quartz, quoique plus froid que le verre, comme le carbonate et le sulfate de chaux, etc., et d'autres qui sont même moins froids que le verre, par exemple, plusieurs des matières charbonneuses que l'on trouve dans le sein de la terre.

On conçoit qu'on ne peut employer ce caractère que pour des substances qui diffèrent sensiblement l'une de l'autre sous ce rapport, parce qu'il est difficile d'apprécier des nuances; il faut même de l'habitude pour s'en servir dans la plupart des cas, et il n'y a que les minéralogistes exercés qui puissent en tirer un parti avantageux: mais c'est un de ces caractères vagues qui, en quelque sorte par instinct, conduisent souvent à prononcer immédiatement sur tel ou tel corps que l'on rencontre.

Il y a des substances qui produisent au toucher, une *impression de chaleur*; mais ici c'est un effet chi-

mique. Ces substances, qu'on trouve dans les solfures, dans les minerais sulfureux altérés, renferment toujours des acides libres, dont l'action sur la peau se manifeste au premier moment par une chaleur plus ou moins marquée.

## 2° Odeur.

(212) On peut aussi employer l'odeur pour distinguer quelques substances les unes des autres; ce caractère paraît même susceptible de plus d'extension qu'on ne le croit ordinairement, et il y aurait à cet égard des recherches intéressantes à faire dont on ne s'est pas encore occupé.

Il y a des odeurs qui dépendent de la nature même des corps, et des odeurs accidentelles. Dans les unes comme dans les autres, il faut distinguer les odeurs qui se manifestent immédiatement, et celles qu'on ne peut observer que par percussion ou par frottement, par élévation de température ou par combustion.

(213) Les *odeurs propres des corps* offrent un caractère fort important, qui peut servir à distinguer nettement les diverses substances les unes des autres. En effet, on connaîtra toujours l'acide sulfureux à l'odeur de soufre brûlé, le chlore à une odeur particulière qu'on a comparée à celle du safran, le naphte et le pétrole à l'odeur de goudron, le cuivre à cette odeur nauséabonde que tout le monde a remarquée, le fer à une odeur piquante qui ne se trouve dans aucun autre corps, l'étain à une odeur fade qui lui est particulière, etc. Ces substances sont à peu près les seules qui aient une odeur propre qui se développe immédiatement; mais il en est beaucoup qui manifestent une odeur particulière par la combustion. D'abord, le soufre et toutes les substances qui renferment ce corps sans qu'il soit combiné à l'oxigène,

donnent de l'acide sulfureux par la combustion et par conséquent l'odeur sulfureuse ; le sélénium dégage dans le même cas une odeur de raifort , soit qu'on le prenne à l'état simple, soit qu'il se trouve en combinaison avec quelques métaux. L'arsenic dégage une odeur d'ail très forte, que l'on peut quelquefois provoquer par le simple choc du briquet qui fait jaillir une étincelle accompagnée de vapeur blanche. L'ambre jaune , ou succin , espèce de matière résineuse , donne une odeur aromatique quelquefois très suave , mais qui varie considérablement d'un échantillon à l'autre. Les bitumes donnent une odeur particulière qu'on nomme bitumineuse.

Il y a aussi des odeurs propres qui se manifestent par le simple frottement ; c'est ce qui arrive par exemple dans quelques variétés de succin. Les matières siliceuses, par le frottement de deux fragments l'un sur l'autre, dégagent aussi une odeur *sui generis* , qui est extrêmement développée dans le quartz, beaucoup moins dans les substances où la silice est en combinaison avec d'autres corps, très peu dans celle qui renferment en même temps de l'eau, comme l'opale.

Enfin nous devons indiquer des odeurs qui se manifestent par l'insufflation, qui procure une légère humidité au corps. Telle est, par exemple, l'odeur que présentent les matières argileuses , ou pour parler plus exactement les matières qui se trouvent à l'état terreux. Il y a ici une grande diversité d'odeur suivant la nature des matières ; mais il est à peu près impossible de les indiquer par des dénominations, et il n'y a que l'habitude qui puisse apprendre à s'en servir, et graver dans la mémoire les différentes nuances que présentent les diverses matières. Ce caractère est par cela même peu important, et cependant il ne peut manquer d'être utile ; on ne confondra jamais par exemple, les odeurs de la craie, du tripoli, de la magnésie, de la terre de Co-



logne (lignite pulvérulent) et de beaucoup d'autres substances.

(214) *Les odeurs accidentelles* sont de diverses sortes; elles sont dues à des matières étrangères que les substances retiennent plus ou moins dans leurs pores, et elles se manifestent de diverses manières; il en est qui se dégagent immédiatement, ou par une faible élévation de température, telles sont les odeurs du chlore et du pétrole, que quelques matières renferment à l'état libre. Certains bois bitumineux que j'ai rencontrés dans les salines de Villiczka en Pologne, m'ont offert une odeur de truffes très forte, que les échantillons ont perdus à la longue. Certains bois passés à l'état calcaire, qu'on a regardés long-temps comme des madrépores, présentent la même odeur, quelquefois immédiatement, du moins en sortant du sein de la terre, et toujours par un léger frottement. Il n'est pas inutile de remarquer, sans vouloir en tirer de conséquence que cette odeur est celle que dégagent plusieurs espèces d'animaux, tels que les aplysies, les holoturies, etc., lorsqu'ils sont en putréfaction.

Il y a aussi des odeurs accidentelles qui se manifestent par la combustion, ce qui a lieu lorsque les matières qui les causent sont susceptibles de brûler ou de se volatiliser; ainsi plusieurs espèces de matières charbonneuses donnent une odeur bitumineuse en brûlant, parce qu'elles renferment du bitume.

La plupart des odeurs accidentelles se manifestent par la percussion ou par le frottement, et il y en a de diverses sortes. Dans certaines pierres calcaires, la percussion ou le frottement, dégage une odeur fétide qui participe souvent à la fois d'une odeur de bitume, et d'une odeur animale, quelquefois urineuse; c'est ce que présente l'espèce de marbre noir dont on se sert aujourd'hui fréquemment sous le nom de *veit gra-*

*nit.* Dans d'autres cas c'est très distinctement l'odeur de l'hydrogène sulfuré, comme je l'ai remarqué assez souvent dans la pierre à plâtre des environs de Paris, surtout à la sortie de la carrière; quelquefois on croit reconnaître l'odeur de l'hydrogène arseniqué, comme je l'ai remarqué d'une manière frappante dans des morceaux de sulfure d'arsenic fraîchement récoltés, dans des dolomies du St.-Gothard qui renferment de petits nids de cette même substance, et dans quelques quartz fétides. On a quelquefois pensé que ces odeurs étaient le résultat de la putréfaction des animaux dont les dépouilles ont formé les grandes masses de pierres calcaires que nous trouvons dans les terrains secondaires; mais il est à remarquer qu'elles ont lieu dans un plus grand nombre de substances qu'on ne l'a cru pendant longtemps, et que parmi ces substances il s'en trouve qui appartiennent à des terrains anciens où l'on ne connaît pas de débris organiques: telles sont certains pyroxènes d'Ala en Piémont, les pyroxènes blancs d'Amérique, des cristaux de quartz, du carbonate de chaux cristallisé du St.-Gothard, etc. J'ai même observé une odeur fétide dans des minerais de fer de l'île d'Elbe. Il est fort remarquable que ces matières cristallines qui manifestent des odeurs d'une espèce ou d'une autre, se trouvent souvent au milieu de dépôts de diverses natures qui sont absolument inodores.

Nous ne parlons point ici de diverses odeurs qu'on trouve dans certains fragments de minéraux récoltés à la surface des roches, et qui sont dues à des végétaux cryptogames de diverses espèces, d'une odeur particulière que le minéral conserve pendant plus ou moins de temps.

Il est à remarquer que beaucoup de ces odeurs accidentelles s'évanouissent à la longue dans les collections, et qu'il est fort difficile de conserver les échan-

tillons que l'on a rassemblés sous ce rapport ; au bout de fort peu de temps, la plupart ne manifestent plus le caractère qui les avait fait récolter.

## 3° Saveur.

(215) La saveur est aussi un caractère fort utile, que les chimistes emploient très fréquemment avec succès ; mais bien qu'il y ait des saveurs très différentes, qu'on ne peut jamais confondre, il y a aussi des nuances que l'habitude seule peut faire distinguer. Au reste comme ce caractère ne peut exister que dans des matières solubles, dont il ne se trouve qu'un très petit nombre dans la nature, on peut facilement s'habituer aux variétés qu'il présente. On peut distinguer en général la *saveur acide*, la *saveur piquante* (sel ammoniac), la *saveur styptique* ou *astringente*, c'est-à-dire qui fait contracter les muscles du palais (alun, sulfates de fer, de zinc, de cuivre), la *saveur salée*, (sel commun), la *saveur amère* (sulfates de magnésie et de soude), la *saveur âcre* (nitrate et hydrochlorate de chaux), la *saveur caustique* ou *alcaline* (carbonate de soude), la *saveur fraîche* (nitrate de potasse), la *saveur douce* (borate et phosphate de soude). Mais on est souvent forcé d'ajouter une épithète pour désigner plus particulièrement tel ou tel sel, ou une saveur qui ne se manifeste qu'après quelques instants ; c'est ainsi que l'on distinguerait le sulfate de fer par une saveur styptique d'encre ; le nitrate de soude par une saveur fraîche, piquante et amère, le sulfate de nikel par une saveur d'abord douce, puis astringente, etc. Nous donnerons ces différentes saveurs avec leurs variétés, en décrivant les espèces.

## 4° Faculté d'absorber l'humidité.

(216) *Happement à la langue*. A la suite de l'action

des corps sur le palais, on peut parler du happement à la langue, caractère assez insignifiant, qu'on emploie cependant quelquefois pour des substances, toujours terreuses, qui le présentent à un haut degré. Ce caractère tient à la facilité avec laquelle ces substances absorbent l'humidité naturelle de l'organe, sur lequel elle s'appliquent alors avec force; il y a quelquefois une adhérence telle, qu'on enlève une portion de la matière lorsqu'on veut la tirer par force.

(217) *Déliquescence.* La faculté d'absorber l'humidité qui se manifeste par le happement à la langue, est une action purement physique, qui se rapporte aux phénomènes des tubes capillaires; mais il y a aussi une absorption qui se fait par une action chimique; dans ce cas l'humidité de l'atmosphère attirée par le corps, se combine avec lui, et le dissout successivement. On dit de ces corps, qu'ils sont déliquescents; on conçoit que cette propriété ne peut avoir lieu que dans les corps solubles, qu'on peut distinguer par là des autres sels qui restent secs malgré l'humidité de l'atmosphère. Le sel marin est déliquescent, mais les nitrates et hydrochlorates de chaux ou de magnésie, le sont bien plus encore, et tellement qu'on ne peut les conserver à l'état de cristaux même pendant les plus grandes sécheresses. Il y a des corps qui attirent seulement l'humidité, deviennent humides, mais qui ne se fondent pas comme les précédents; dans beaucoup de cas il y a une action chimique, mais dans d'autres il y a seulement action physique qui paraît due alors à la capacité de calorique.

##### 5° Efflorescence.

(218) S'il y a des corps qui attirent facilement l'humidité, il y en a d'autres au contraire qui perdent facilement l'eau de combinaison qu'ils renferment,

et alors ils tombent en poussière, effet que l'on désigne par l'expression *efflorescent*. Le carbonate, le sulfate le phosphate de soude, ne peuvent rester exposés à l'air sans subir cette décomposition. Cependant on ne peut pas admettre que cet effet est entièrement dû à la perte de l'eau de combinaison en effet; d'un côté, comme je l'ai observé dans quelques analyses, les sels que je viens de citer ne perdent pas toute leur eau, mais seulement une partie, et de manière que la quantité qui en reste est en proportion définie; de l'autre il y a des substances minérales qui tombent en poussière sans perdre aucune portion d'eau, telle est par exemple la substance nommée Laumonite, qui à l'état de poussière provenant de l'efflorescence, renferme autant d'eau qu'à l'état cristallin. L'effet pourrait tenir alors à ce que les substances ont cristallisé sous des formes forcées, qui se désagrègent ensuite par des circonstances atmosphériques encore inconnues (peut-être tout simplement par la différence de température de l'intérieur de la terre à la surface), comme l'arragonite se désagrège, avant de perdre aucun de ses principes, à la température rouge sombre, comme la lame batavique se brise lorsqu'on vient à en rompre la pointe, etc., c'est ce qui arrive aussi à différents sels, que l'on force à cristalliser sous des formes qui ne sont pas celles qu'ils prennent le plus ordinairement dans l'eau pure et à la température ordinaire.

## LIVRE DEUXIÈME.

### ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES SUBSTANCES MINÉRALES.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### DE LA COMPOSITION DES MINÉRAUX, ET DES MOYENS DE LA REPRÉSENTER.

(219) *Nombre des éléments.* — L'examen chimique des minéraux a fait reconnaître successivement cinquante-deux substances particulières, qu'on n'a pu parvenir à décomposer par aucun des moyens que l'on possède jusqu'ici, et qu'en conséquence on considère comme des corps simples, comme les éléments du règne inorganique. Ces corps sont désignés par les noms suivants.

Aluminium.	Mercure.
Antimoine.	Molybdène.
Argent.	Nickel.
Arsenic.	Or.
Azote ou Nitricum.	Osmium.
Barium.	Oxigène.
Bismuth.	Palladium.
Bore.	Phosphore.
Brome.	Phtore ou Fluor (1).
Cadmium.	Platine.
Calcium.	Plomb.
Carbone.	Potassium.
Cerium.	Rhodium.
Chlore.	Sélénium.
Chrome.	Silicium.
Cobalt.	Sodium.
Cuivre.	Soufre.
Étain.	Strontium.
Fer.	Tantalium.
Glucinium ou Berilhum.	Tellure.
Hydrogène.	Titane.
Iode.	Tungstène ou Wolframium.
Iridium.	Urane.
Lithium.	Yttrium.
Magnesium.	Zinc.
Manganèse.	Zirconium.

(220) *Composition de corps.* — Quelques-uns des corps, ou élémens, que nous venons de citer, se trouvent à l'état libre dans la nature; tels sont :

L'antimoine.	Le mercure.
L'argent.	L'or.
L'arsenic.	Le palladium.
Le bismuth.	Le platine.
Le carbone.	Le soufre.
Le cuivre.	Le tellure.
Le fer.	

---

(1) Le phtore est encore hypothétique; c'est la théorie du chlore ou de l'iode qui a fait imaginer que l'acide fluorique sec était un corps simple auquel on a donné ce nom.

Toutes les autres matières naturelles sont des corps composés, formés par la combinaison des corps élémentaires, deux à deux, trois à trois, etc., ce qu'on nomme des combinaisons binaires, ternaires, quaternaires, etc.

Il semble au premier abord que le nombre de ces combinaisons doit être presque infini, car les 52 corps simples produiraient 1526 composés binaires, 22100 composés ternaires, 270725 composés quaternaires, etc. Mais la nature a posé des bornes qui limitent considérablement ces nombres, et même ne paraît pas avoir réalisé toutes les combinaisons dont elle laisse entrevoir l'existence, et qu'on a effectuées dans les laboratoires. Dans les composés binaires naturels, l'un des éléments est toujours un des douze corps suivants :

Oxigène.	Antimoine.
Soufre.	Sélénium.
Arsenic.	Tellure.
Chlore.	Mercure.
Carbone.	Or.
Phlore.	Osmium.

Il n'y a que l'autre élément qui puisse varier dans une série plus étendue, et à peu près dans toutes celles des corps simples. Les combinaisons dans lesquelles l'oxigène est un des éléments, et qu'on nomme *oxides* et *acides* (1), sont les plus abondantes et les plus va-

---

(1) On nomme, en général, *acides*, les corps oxigénés qui ont la propriété de rougir les couleurs bleues végétales, et *oxides* ceux qui ne rougissent pas. On désigne les oxides ou les acides des différents corps en ajoutant le nom de ces corps, ou mieux des épithètes tirées du nom de ces corps; on termine cette épithète en *ique* ou en *eux*, suivant que le composé est plus ou moins oxigéné, ainsi on dit oxide ferrique, oxide ferreux, etc.



riées de toutes; elles se présentent à chaque pas, à la surface de la terre, et principalement les oxides de silicium, d'aluminium, de fer, etc. Viennent ensuite les combinaisons du soufre, qu'on nomme *sulfures*, qui sont encore assez variées, et dont les plus communes sont les sulfures de fer, de cuivre, de plomb, etc. Toutes les autres combinaisons qu'on nomme *phlorures* ou *fluorures*, *chlorures*, *carbures*, *arseniures*, *antimoniures* ou *stibiures*, *seleniures*, *telluriures*, *hydrargures*, (combinaison du mercure) *aurures* et *osmiures*, sont infiniment moins variées, et moins communes, comme on le verra plus tard dans le tableau des espèces.

Les composés ternaires naturels, résultent, en général, de la combinaison de deux des composés binaires, dont nous venons de citer les genres, qui ont un principe commun; le plus souvent de deux corps oxigénés, ou bien de deux sulfures, de deux arséniures, ou d'un sulfure et d'un arséniure de même métal; très rarement ils résultent de la réunion de deux autres composés binaires existants. On voit par conséquent que ces composés sont beaucoup plus restreints que ne l'indiqueraient les combinaisons trois à trois des cinquante-deux corps simples. Mais il y a plus, car si l'on examine plus particulièrement ceux qui sont formés de corps oxigénés, qui sont les plus variés et les plus communs, on reconnaît qu'ils sont même moins nombreux que ne le comporterait le nombre des composés binaires de cette espèce combinés deux à deux; d'où il suit que les combinaisons n'ont pas lieu indifféremment entre tous ces corps. Dans tous les composés ternaires que nous connaissons, en y comprenant même ceux dont on ne fait que soupçonner l'existence, l'un des élémens binaires est toujours un des corps oxigénés suivants :

## ACIDE

Antimonique.	Molybdique.
Antimonieux.	Nitrique ou azotique.
Arsenique.	Nitreux ou azoteux.
Arsenieux.	Phosphorique.
Borique.	Phosphoreux.
Bromique.	Sélénique.
Carbonique.	Sulfurique.
Chlorique.	Sulfureux.
Perchlorique.	Tantalique.
Chromique.	Tungstique.
Iodique.	

## OXIDE

Aluminique.	Manganique.
Chromique.	Silicique.
Ferrique.	Stannique.
Hydrogénique ( eau ).	Titanique.

En sorte qu'une centaine de corps oxigénés différents, que nous connaissons aujourd'hui, tant dans la nature que dans les laboratoires, et qui, combinés deux à deux, pourraient fournir près de cinq mille composés ternaires, n'en fournissent qu'une trentaine de genres, qui peuvent seulement se multiplier par le nombre des autres oxides, entre lesquels le second élément binaire peut varier pour chacun d'eux.

Ces combinaisons ternaires oxigénées ont été désignées par des noms tirés de ceux des principes binaires dont nous venons de donner le tableau, modifiés par une terminaison *ate* ou *ite*, suivant que ces principes peuvent être nommés en *ique* ou en *eux*; ainsi on dit *arseniate*, *arsenite*, *carbonate*, *ferrate*, *manganate*, *si-*

*licate*, *tantalate*, etc. pour désigner les combinaisons des acides arsenique et arsénieux, de l'acide carbonique, des oxides ferrique, manganique, silicique, etc. On nomme *hydrates*, les corps dont l'eau est un des composants.

Les composés quaternaires sont encore proportionnellement plus restreints. Tous ceux que l'on trouve dans la nature, ou que l'on forme dans les laboratoires résultent soit de la combinaison de trois composés binaires de même genre, ce dont il n'y a que trois ou quatre exemples, qui ne sont pas même tous bien constatés, comme de trois sulfures (la bournonite); soit d'un composé ternaire avec un composé binaire, qui sont toujours tous deux oxigénés et dont le second n'est jamais autre chose que l'eau; soit enfin de deux des composés ternaires oxigénés que nous avons cités, mais principalement de ceux dans lesquels l'oxide silicique, l'acide sulfurique et l'acide carbonique forment un des éléments binaires. Ces derniers genres de composés quaternaires, déjà très nombreux, peuvent l'être un jour infiniment plus; c'est surtout parmi eux que l'on découvre journellement des espèces nouvelles, qui parviendront certainement à plusieurs milliers.

Les composés d'un ordre plus élevé ne paraissent être jamais formés que de composés ternaires, qui sont toujours oxigénés; soit de trois de ces composés dont l'un est presque toujours l'eau, en sorte que ce ne sont alors que des composés quaternaires hydratés, soit de quatre, ce qui est rare, parmi lesquels on trouve aussi l'eau: on n'en connaît pas de plus compliqués, du moins que l'on puisse considérer comme de véritables combinaisons.

Il résulte des détails dans lesquels nous venons d'entrer, que les substances minérales se rapportent toutes, soit à quelques corps simples, soit à un petit

nombre de composés qui appartiennent toujours à l'un ou à l'autre des genres suivants :

Antimoniures.	Osmiures.
Arseniures.	Oxides.
Aurures.	Phlorures.
Carbures.	Sélénitures.
Chlorures.	Sulfures.
Hydrargures.	Telluriures.
Aluminate.	Manganate.
Antimoniate.	Molybdate.
Antimonite.	Nitrate.
Arseniate.	Nitrite.
Arsenite.	Phosphate.
Borate.	Phosphite.
Bromate.	Séléniate.
Carbonate.	Silicate.
Chlorate.	Stannate.
Perchlorate.	Sulfate.
Chromate.	Sulfite.
Chromite.	Tantalate.
Ferrate.	Titanate.
Hydrate.	Tungstate.
Iodate.	

(221) *Division des corps en électro-positifs et électro-négatifs.* — L'ensemble des observations précédentes nous conduit à voir que les corps bruts, simples ou composés, se partagent en général en deux ordres fort différents l'un de l'autre, qui représentent en quelque sorte les sexes dans le règne organique. Dans chacun des ordres, les corps ont en général peu d'action les uns sur les autres, et il n'y a de combinaison qu'entre des corps qui appartiennent à des séries différentes. C'est ce que les anciens minéralogistes avaient entrevu dans le peu de matières qu'ils avaient étudiées pour la préparation des métaux usuels, lors-

qu'ils reconnaissaient des *principes minéralisants* et des corps minéralisés. Les principes minéralisants qu'ils ont d'abord connus étaient le soufre et l'arsenic ; plus tard ils ont admis des principes minéralisants acides : on voit que ce sont précisément des corps qui entrent dans la série de ceux que nous avons cités, comme déterminant différents composés binaires ou ternaires, etc. Ce sont les mêmes faits, plus développés que nous avons aujourd'hui, et nous pourrions aussi présenter les deux ordres de corps que nous reconnaissons comme renfermant l'un des *principes minéralisants*, l'autre des *principes minéralisables*. Mais dans l'état actuel de la science, on entrevoit quelque chose de plus, et on est conduit à des expressions qui rappellent un phénomène fondamental, résultant des découvertes modernes, et lié intimement aux causes mêmes de l'action chimique mutuelle des corps.

Lorsqu'on soumet d'une manière convenable, un corps à l'action de la pile voltaïque, il arrive, en général, que ce corps se décompose ; l'un des composants est alors transporté au pôle positif et l'autre pôle négatif. Si ce corps est un oxide, l'élément qui se porte au pôle positif est l'oxygène ; s'il est composé de deux oxides, ou pour mieux faire comprendre le fait, s'il est composé d'un acide et d'un oxide, c'est l'acide qui se trouve transporté au pôle positif. On peut facilement se convaincre de ce résultat ; il suffit par exemple de mettre une solution de nitrate de potasse (salpêtre) dans un petit tube, de l'eau pure dans un autre, d'établir une communication entre ces deux tubes par une mèche d'amiante préalablement imbibée d'eau, puis de faire plonger le fil positif d'une pile en activité dans le premier tube, et le fil négatif dans le second. On reconnaît alors au bout de peu de temps que le tube qui renfermait le sel, ne présente plus qu'une

liqueur acide, et que celui qui renfermait l'eau pure, offre une liqueur alcaline; c'est-à-dire que l'un renferme l'acide nitrique, et l'autre la potasse.

De là on est conduit à penser que dans la décomposition d'un corps par la pile, le composant qui se porte au pôle positif, est par lui-même *électro-négatif*, et que celui qui se porte au pôle négatif est par lui-même *électro-positif*; et comme le fait s'est présenté dans toutes les expériences de décomposition que l'on a pu faire jusqu'ici, on admet que dans tous les composés, l'un des composants est électro-négatif, et l'autre électro-positif. Mais la conséquence nécessaire de cette conception, est que l'action chimique même, en vertu de laquelle deux corps se combinent, est le résultat de cette opposition électrique des composants; on conçoit qu'il y a combinaison entre deux corps toutes les fois que l'un de ces corps est électro-négatif par rapport à l'autre, qui est alors électro-positif. On voit aussi d'après cela, comment il se fait que tous les corps ne se combinent pas indifféremment entre eux, comment il y a des combinaisons plus faibles les unes que les autres, etc. En effet, il n'y aura pas de combinaison entre deux corps de même genre d'électricité, et la combinaison sera faible entre des corps qui l'un par rapport à l'autre, n'auront qu'une légère différence électrique. On conçoit aussi que tel ou tel corps qui est électro-négatif par rapport à quelques-uns, soit électro-positif par rapport à d'autres; et en effet il y en a beaucoup d'exemples; par conséquent la propriété n'est pas absolue.

Les corps le plus souvent électro-négatifs sont, en général, ceux que nous avons déjà fait remarquer, tant parmi les corps simples que parmi les corps composés, comme se trouvant toujours l'un ou l'autre parmi les composants d'un minéral; c'est-à-dire les

douze corps simples, les acides et les oxides dont nous avons donné le tableau : les autres corps simples et les autres oxides, sont le plus souvent électro-positifs, ce qui n'empêche pas que quelques-uns d'entre eux ne puissent être électro-négatifs par rapport à quelques autres, comme l'oxide plombique par rapport à l'oxide calcique, de même que certains corps de la première série sont quelquefois électro-positifs relativement à quelques autres, comme l'oxide aluminique, l'oxide ferrique, etc, par rapport aux acides sulfurique, nitrique, etc.

D'après cela on voit que la division en acides et en bases, qu'on a établie depuis long-temps dans les corps oxigénés, correspond à la division en électro-négatif, qui sont tous les acides, et en électro-positif, qui sont les bases; mais cette dernière division s'étend à tous les autres corps, et de plus, elle fait sentir plus facilement qu'un même corps peut agir tantôt d'une manière tantôt d'une autre, suivant l'état électrique relatif du corps en présence duquel il se trouve.

(222) *Lois de combinaison, système atomique.* — Cherchons maintenant à pénétrer plus avant dans le secret de la composition des corps. Nous venons de voir que les corps, simples ou composés, peuvent se combiner deux à deux, trois à trois, etc., et produire ainsi un grand nombre de matières fort distinctes les unes des autres; mais il est une circonstance qui peut encore augmenter ce nombre, car les mêmes substances peuvent se combiner en plusieurs proportions, et former ainsi des composés qui présentent des caractères différents : heureusement, ces proportions ne se font pas au hasard, elles sont réglées par certaines lois qui assignent des limites aux combinaisons et que nous allons étudier.

(223) *Les combinaisons se font en proportions définies.*

En examinant les différents composés que les mêmes corps sont susceptibles de former, on s'aperçoit bientôt, qu'ils ne se combinent entre eux qu'en un petit nombre de proportions fixes, et qu'il ne s'en fait pas d'intermédiaire; c'est ce dont nous allons donner quelques exemples.

On sait former dans les laboratoires plusieurs combinaisons de soufre et d'oxygène qui ont des caractères très différents, et qui présentent à l'analyse les quantités relatives suivantes.

100 d'oxygène et 201,20 de soufre	(acide hyposulfureux).
100 . . . . . 100,56	(acide sulfureux).
100 . . . . . 67,06	(acide sulfurique).

Trois combinaisons d'oxygène et de cuivre fournissent les quantités relatives.

100 d'oxygène et 791,39 de cuivre.
100 . . . . . 395,69
100 . . . . . 197,84

Dans deux combinaisons du soufre avec le cuivre on trouve :

100 de soufre et 393,39 de cuivre.
100 . . . . . 196,69

Les composés binaires fournissent dans leur entier des relations analogues; ainsi dans deux combinaisons d'acide sulfurique et d'oxide potassique, on trouve les quantités relatives :

100 d'acide sulfurique et 117,52 d'oxide potassique.
100 . . . . . 58,76

Ce peu d'exemples suffit pour nous faire voir quelle est la loi que suivent ces divers composés; en effet, en comparant les nombres qui se trouvent dans les secondes colonnes, on voit que, dans le premier exemple,



les quantités de soufre sont sensiblement entre elles comme les nombres  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ ; il en est de même dans les trois oxides de cuivre. les quantités de ce métal sont aussi successivement  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ ; enfin si l'on examine les combinaisons de soufre et de cuivre, d'acide sulfurique et d'oxide potassique, on reconnaît encore les mêmes lois. En général, toutes les fois que deux corps sont susceptibles de plusieurs combinaisons, la quantité d'un des composants étant fixe, les quantités de l'autre sont successivement  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ , etc.; ou bien  $1, 2, 3, 4$ , etc., car si l'on prend les nombres que nous avons donnés en sens inverse, on a les quantités relatives,

201,20 de soufre. . . . .	à 100,200,300 d'oxigène.
791,39 de cuivre. . . . .	à 100,200,300
397,79 de cuivre. . . . .	à 100,200 de soufre.
117,52 d'oxide potassique. . .	à 100,200 d'acide sulfurique.

Il n'y a pas d'exceptions à ces lois; ou si l'on en trouve, elles ne sont qu'apparentes. En effet, on connaît une combinaison d'oxigène et de soufre, l'acide hyposulfurique, dans laquelle 100 d'oxigène sont unis à 80 de soufre, nombre qui est les  $\frac{2}{5}$  de 201,20; mais tout conduit à penser que cette combinaison est formée d'acide sulfurique et d'acide sulfureux, également en proportions définies, comme nous le verrons plus tard. On connaît aussi trois oxides de fer, dans lesquels on trouve les quantités relatives suivantes:

100 d'oxigène et 339,18 de fer.
100 . . . . . 254,38
100 . . . . . 226,12

où l'on ne voit pas immédiatement de relations. Cependant si on compare le premier et le dernier nombre, on voit qu'ils sont dans le rapport de  $1$  à  $\frac{2}{3}$ , ce qui peut faire soupçonner qu'il existe une autre combinaison encore inconnue dans laquelle 100 d'oxigène

seraient combinés à 678,36 de fer, et alors les trois nombres 678,36; 339,18; 226,12 seraient encore entre eux dans le rapport de 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ . Quant au nombre intermédiaire 254,38, tout porte à croire que l'oxide qui le présente est une combinaison définie du premier et du troisième, comme nous le verrons aussi plus loin.

Toutes les exceptions, très peu nombreuses, que l'on a rencontrées jusqu'ici, rentrent dans l'une ou dans l'autre de celles que nous avons citées; par conséquent, on peut conclure que les proportions sont fixes, et suivent des lois invariables, et très simples, d'un composé à l'autre.

(224) *Rapport entre le composant électro-positif et le composant électro-négatif.* — Maintenant que nous avons vu la loi qui existe entre les quantités d'un même corps, dans les diverses combinaisons qu'il peut former avec un autre, il faut chercher à établir les relations d'un des composants à l'autre, dans une combinaison quelconque. Pour cela on considère la combinaison comme une réunion, par simple juxtaposition, d'un certain nombre de particules d'un corps, avec un certain nombre de particules d'un autre, en vertu des électricités opposées dont ils sont doués, en regardant d'ailleurs les corps comme composés de particules infiniment petites et indivisibles.

Cela posé, le nombre 100 dans les deux premiers exemples que nous avons donnés, représente 100 unités d'un poids quelconque d'oxygène, qui se combinent avec un certain nombre d'unités du même poids d'une autre matière; mais au lieu de considérer ce nombre 100 comme 100 unités de poids. nous pouvons le considérer comme le poids même d'une particule d'oxygène, pourvu que nous regardions aussi les nombres 201,20 et 791,39 comme les poids d'une particule de soufre, et d'une particule de cuivre. Or,

en considérant les choses de cette manière, nous voyons qu'une particule de soufre, ou une particule de cuivre, s'unit à 1, 2 ou 3 particules d'oxygène, puisque nous avons 201,20 de soufre, ou 791,39 de cuivre, unis à 100, 200, 300 d'oxygène. Si dans les combinaisons de soufre et de cuivre que nous avons citées, on remplace le nombre 100 du soufre par le nombre 201,20, que nous venons d'admettre pour poids de la particule de ce corps, et qu'on cherche le nombre correspondant du cuivre par la proportion,

$$100 : 393,39 : 201,20 : x = 791,56,$$

on trouve que 791,50, qui est à peu près le poids de la particule de cuivre que nous avons admise ci-dessus, se combine à 201,20, ou 2 fois 201,20 de soufre, c'est-à-dire une particule de cuivre, avec 1 ou 2 particules de soufre; ce qui est encore la même loi que pour l'oxygène. On retrouverait cette loi dans tous les exemples de combinaisons de deux éléments que l'on pourrait prendre; par conséquent, on peut établir en général, que les combinaisons se font de telle manière, que 1 particule d'un élément s'unit à 1 ou 2 ou 3 ou etc., particules d'un autre élément; c'est-à-dire que dans un composé binaire quelconque, l'un des éléments peut toujours être pris pour unité, et que l'autre est un multiple de cette unité par un des nombres 1, 2, 3, 4, etc. On ne sait pas encore jusqu'où peut aller le nombre de particules d'un élément qui se réunissent à 1 particule d'un autre; mais dans le règne minéral il ne va pas au-delà de 6.

Les combinaisons de particules binaires, d'où résultent les composés ternaires, quaternaires, etc., se font encore assez souvent suivant la même loi; mais pour s'en convaincre il faut établir la composition, et par suite le poids des particules binaires réunies. Or, nous venons de voir que l'acide sulfurique est composé de

1 particule de soufre dont le poids est 201,20 avec 3 particules d'oxygène dont nous avons fixé le poids à 100; par conséquent le poids de la particule d'acide sulfurique est  $201,20 + 300 = 501,20$ . D'autres observations conduisent à admettre que la particule d'oxide potassique est formée de 1 particule de potassium dont le poids peut être fixé à 979,83, et de 2 particules d'oxygène; son poids est par conséquent 1179,83. Maintenant, si dans la composition des sulfates potassiques que nous avons citée, on substitue au nombre 100, le poids 501,20 de la particule d'acide sulfurique, et qu'on cherche le nombre correspondant d'oxide potassique par la proportion

$$100 : 117,52 :: 501,20 : x = 589 = \frac{1}{2} (1179,83)$$

on voit que  $\frac{1}{2}$  particule d'oxide potassique s'unit à 1 ou 2 particules d'acide sulfurique; ou en admettant que ces particules soient indivisibles, 1 particule d'oxide potassique, à 2, ou à 4 particules d'acide sulfurique.

On voit par conséquent que la loi qui se fait remarquer dans la combinaison des éléments, se retrouve encore dans la réunion des composés binaires, et nous pourrions en donner beaucoup d'exemples; mais il n'en est pas toujours ainsi, et il y a un très grand nombre de cas où les lois sont plus compliquées, comme nous allons le voir.

Il existe dans la nature, une combinaison de sulfure d'antimoine et de sulfure d'argent dans laquelle 100 de sulfure d'antimoine est combiné avec 210,07 de sulfure d'argent. Or, le sulfure d'antimoine est formé de 1 particule d'antimoine dont le poids peut être fixé à 1612,90 et de 3 particules de soufre, de sorte que le poids de la particule binaire est 2217,50; le sulfure d'argent est formé de 1 particule d'argent dont le poids est 2703,21 et 2 particules de soufre, de sorte que

le poids de la particule est 3105,61. Si au nombre 100 de sulfure d'antimoine on substitue 2217,50, poids de la particule, et que l'on cherche le nombre correspondant de sulfure d'argent par la proportion  $100 : 210,07 :: 2217,50 : x = 4658,20 = (1 + \frac{1}{2})(3105,61)$ , on voit qu'il y a 1 particule de sulfure d'antimoine à  $1 + \frac{1}{2}$  particule de sulfure d'argent, ou 2 particules du premier à 3 du second; par conséquent l'un des composants n'est plus l'unité, comme dans les cas précédents.

On est aussi conduit à admettre quatre sortes de silicates barytiques dans lesquelles 994,21 parties d'oxide barytique se trouvent successivement combinées à 100, 200, 400, 600 d'oxide silicique. Or, l'oxide silicique paraît devoir être formé de 1 particule de silicium, dont le poids peut être évalué à 277,50, et 3 particules d'oxigène, de sorte que le poids de l'oxide est 577,50. L'oxide barytique est formé de 1 particule de barium dont le poids est évalué à 1713,86, et 2 particules d'oxigène; donc le poids de cet oxide est de 1913,86. Maintenant, si au nombre 100 qui représente l'oxide silicique, on substitue le poids de la particule 577,50, et qu'on cherche les poids correspondants d'oxide barytique par la proportion

$$100 : 994,21 :: 577,50 : x = 5741,56 = 3 (1913,86)$$

on trouve que dans ces combinaisons il y a 1 particule d'oxide silicique à 3 d'oxide barytique, 2 particules à 3, 4 particules à 3, 6 particules à 3 ou 2 à 1.

Ces exemples nous montrent que les rapports peuvent être plus compliqués dans les combinaisons de particules binaires, que nous ne l'avons vu dans les premiers exemples, c'est-à-dire qu'il n'arrive pas toujours que l'un des composants soit l'unité et l'autre un

multiple de cette unité, puisque nous trouvons des rapports de 2 à 3, de 3 à 4, etc.; il en existe même de plus compliqués encore parmi les substances minérales.

(225) *Autres lois pour les composés ternaires.* — Si dans les combinaisons de particules binaires, on trouve assez souvent des rapports compliqués entre le nombre des particules électro-positives, et celui des particules électro-négatives, on reconnaît, en les étudiant sous un autre point de vue, que ces combinaisons sont en général soumises à une autre loi fort simple; cette loi est tirée du rapport qui existe entre la quantité de l'élément électro-négatif commun, dans l'un des composants binaires, et celle qui se trouve dans l'autre. Pour trouver cette loi, nous allons reprendre quelques-uns des exemples que nous avons donnés. Nous avons vu que

117,52 d'oxide potassiq. se combinent à 100 ou 200 d'acide sulfurique.  
 994,21 d'oxide baritiq. se combinent à 100, 200, 400, 600 d'oxide silicique.  
 210,07 de sulfure d'argent se combinent à 100 de sulfure d'antimoine.

Cherchons les quantités d'oxigène de l'acide sulfurique et de l'oxide potassique, de l'oxide silicique et de l'oxide barytique; cherchons de même les quantités de soufre qui se trouvent dans le sulfure d'antimoine et le sulfure d'argent, nous trouverons que,

117,52 d'oxide potassique renferment. . .	19,92 d'oxigène : 1
100 d'acide sulfurique renferment. . .	59,86 — : 3
200 <i>id.</i> . . . . .	119,72 — : 6
994,21 d'oxide barytique renferment. . .	103,89 — : 2
100 d'oxide silicique renferment. . .	51,95 — : 1
200 <i>id.</i> . . . . .	103,89 — : 2
400 <i>id.</i> . . . . .	207,79 — : 4
600 <i>id.</i> . . . . .	311,69 — : 6
210,07 de sulfure d'argent renferment. . .	27,20 de soufre : 1
100 de sulfure d'antimoine renferment. . .	27,23 — : 1

Maintenant, si l'on compare ces nombres, on voit  
 IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

que les quantités d'oxygène de l'acide sulfurique sont 3 fois ou 6 fois celle de l'oxide potassique ; que l'oxygène de l'oxide silicique est égal à l'oxygène de l'oxide barytique, ou qu'elle en est la moitié, ou le double, ou le triple ; que la quantité de soufre du sulfure d'argent est égale à celle du sulfure d'antimoine ; etc. Les mêmes rapports se présentent dans une foule de combinaisons, de sorte qu'en général, on peut dire que la quantité de l'élément commun dans l'un des composants binaires, est toujours un multiple de celle qui se trouve dans l'autre par un des nombres 1, 2, 3, 4 etc. ; c'est-à-dire que dans la combinaison de deux corps oxygènes, la quantité d'oxygène de l'un est toujours un multiple de la quantité d'oxygène de l'autre, par un des nombres 1, 2, 3, 4, etc. ; que dans la combinaison de deux sulfures, la quantité de soufre de l'un est un multiple de la quantité de soufre de l'autre, par les mêmes nombres ; enfin que dans la combinaison de deux corps qui ont le même élément électro-positif, comme d'un sulfure et d'un arseniure du même métal, d'un silicate et d'un borate, ou d'un titanate, du même oxide, entre un sel et un hydrate de la même base, etc., la quantité de l'élément électro-positif de l'un, est un multiple de l'élément électro-positif de l'autre, par ces mêmes nombres.

Cette règle souffre cependant quelques exceptions ; qui toutefois se bornent à certains acides qui ont tous cela de commun, que le radical donne deux acides dans lesquels les quantités d'oxygène sont dans le rapport de 3 à 5 ; tels sont les acides du phosphore, de l'arsenic et de l'azote, dont les combinaisons avec les oxides paraissent être soumises à d'autres lois. Dans la combinaison des acides en *ique*, qui renferment 5 particules d'oxygène, la quantité d'oxygène de l'oxide est  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{2}{5}$ ,  $\frac{3}{5}$ ,  $\frac{4}{5}$  de l'oxygène de l'acide, plus rarement de  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{3}{10}$ ,  $\frac{5}{10}$  ou  $\frac{1}{4}$ . et plus rarement encore de 1

ou plusieurs quinzièmes. Dans les combinaisons des acides en eux, qui renferment 3 particules d'oxygène, l'oxygène de l'oxide est  $\frac{1}{3}$  ou  $\frac{2}{3}$  de l'oxygène de l'acide.

(226) *Résumé des lois de combinaison.* — Telles sont les lois que l'on reconnaît dans la combinaison des corps entre eux; nous les résumerons en peu de mots.

1<sup>o</sup> Les corps, simples ou composés, se combinent toujours entre eux dans des proportions définies.

2<sup>o</sup> Les corps simples, ou éléments, se combinent entre eux dans le rapport de 1 particule de l'un à 1, 2, 3, 4, etc., particules de l'autre.

3<sup>o</sup> Les composés binaires se combinent souvent entre eux suivant les mêmes lois; cependant il arrive quelquefois que les combinaisons suivent des lois plus compliquées, comme de 2 particules à 3, 3 particules à 4, etc., etc. Mais dans tous les cas la combinaison est soumise à la loi suivante.

4<sup>o</sup> Dans toutes les combinaisons formées par la réunion de deux ou plusieurs composés binaires, qui ont un principe commun, la quantité de ce principe dans l'un des composants est toujours un multiple de la quantité du même principe dans l'autre, par les nombres simples 1, 2, 3, 4 etc.

5<sup>o</sup> Les acides phosphorique, arsenique, nitrique, font exception à cette règle; mais dans leur combinaison avec un oxide, la quantité d'oxygène de celui-ci est toujours de 1 ou plusieurs cinquièmes, 1 ou plusieurs dixièmes, 1 ou plusieurs quinzièmes de l'oxygène de l'acide.

Dans les combinaisons des acides phosphoreux, arsenieux, nitreux, l'oxygène de la base est toujours  $\frac{1}{3}$  ou  $\frac{2}{3}$  de celui de l'acide (1).

(1) « C'est une circonstance assez remarquable, dit à ce sujet » M. Berzélius, que si l'on suppose que le radical de ces acides (le



*Observations.* Dans tout ce qui précède, nous nous sommes servis de l'expression de *particules*, pour désigner les parties infiniment petites des corps entre lesquelles on suppose que les combinaisons ont lieu; cette expression nous a paru en quelque sorte plus élémentaire; mais nous devons observer qu'il est aujourd'hui d'un usage général de désigner ces particules par le mot *atome*, et c'est par conséquent celui que nous emploierons dorénavant.

Nous avons parlé du *poids des atomes*; mais il n'est pas inutile de réunir ici ce qui se trouve éparé à ce sujet dans les détails que nous avons donnés. On représente par 100 le poids de la particule ou atome d'oxygène; les poids des atomes des autres corps sont les nombres qui correspondent à celui-ci dans le degré le plus simple d'oxidation de ce corps; d'où il suit que, pour déterminer le poids de l'atome d'un corps simple quelconque, il suffit de bien connaître ses différents degrés d'oxidation. Mais on peut aussi partir des degrés de sulfuration, lorsqu'on a préalablement déterminé le poids de l'atome de soufre, ou des combinaisons avec un corps quelconque simple ou composé, dont on connaît le poids de l'atome. Ces différentes manières peuvent se servir mutuellement de preuves, et donner des moyennes qu'on doit adopter de préférence: c'est ainsi qu'on est conduit par exemple pour les poids atomiques du soufre, du cuivre, de l'acide sulfurique, etc., à des nombres légèrement différents de ceux que nous avons adoptés, en nous

- 
- » phosphore, l'arsenic, l'azote) contient le cinquième de l'oxygène
  - » qu'il faut pour produire l'oxide en *ique*, la plupart des anomalies
  - » disparaissent. Cependant comme l'expérience ne l'a pas démontré,
  - » il faut s'en tenir aux faits connus, et d'ailleurs cette supposition
  - » ne réduit pas tous les cas anomaux à une conformité complète avec
  - » les lois générales. »

bornant à un seul fait, et qui cadrent mieux avec toutes les proportions. Le poids d'un atome composé, est la somme du poids atomique des composants; nous en avons donné plusieurs exemples.

M. Berzélius dans l'important et immense travail qu'il a fait sur les proportions chimiques, dont nous avons cherché à donner l'esprit dans tout ce qui précède, a calculé le poids des atomes de tous les corps simples et d'un grand nombre de corps composés; nous adopterons ces nombres, en renvoyant à son ouvrage (1) pour les détails, et nous donnerons une table de ceux qui sont utiles à la minéralogie à la fin de ce volume.

(227) *Utilité du calcul atomique.* — Avant que M. Berzélius eût régularisé le système atomique, on n'a jamais indiqué la composition des corps que par des poids, tels qu'on les trouvait par l'analyse chimique, et qui exprimaient que dans 1 partie ou 100 parties d'un corps il existait telle ou telle quantité d'une matière ou d'une autre. Il en est résulté qu'on n'a jamais pu se former une idée nette de telle ou telle substance, surtout de celles où l'on trouve les mêmes éléments en diverses proportions. De là l'espèce d'opposition que les minéralogistes ont apportée pendant long-temps aux applications de la chimie au règne minéral, qu'en effet, elles ne nous pouvaient guère éclairer à cette époque. Mais au moyen du calcul atomique, on peut maintenant se former des idées nettes de la nature d'un corps et voir clairement les différences que présentent les divers composés; nous en donnerons quelques exemples.

On connaît depuis long-temps deux substances, le réalgar et l'orpiment, qui sont toutes deux des combi-

---

1) *Essais sur la Théorie des proportions chimiques*, Paris, 1819.

naisons d'arsenic et de soufre; les analyses de M. Laugier, ont fait voir que la première renferme en poids :

Arsenic. . . 0,6957	et la seconde. . .	Arsenic. . . 0,6186
Soufre. . . 0,3043		Soufre. . . 0,3814
1,0000		1,0000

Or, en examinant ces analyses, on voit bien qu'il existe une différence entre les deux composés, mais elle est difficile à retenir, et on s'en est fait une idée si peu nette, que les minéralogistes qui ne s'en rapportaient pas à des nuances de couleurs, ont toujours été tentés de réunir les deux composés en une même espèce, comme l'a fait Haüy, en signalant ces différences comme peu importantes. Il en est tout autrement, lorsqu'on vient à calculer ces analyses dans le système atomique; la différence des deux composés se peint clairement à l'esprit, on se la rappelle facilement, et on ne peut plus être tenté de les confondre : en effet, on trouve alors (231) que le réalgar est composé de 1 atome d'arsenic et 2 atomes de soufre, tandis que l'orpiment est formé de 1 atome d'arsenic, et 3 atomes de soufre ; c'est-à-dire, dans le langage chimique actuel, que le premier est un bisulfure d'arsenic, et le second un trisulfure.

Il existe aussi dans la nature deux oxides de cuivre, dont l'un renferme :

Cuivre. . . 0,88	et l'autre. . . .	Cuivre. . . . 0,80
Oxigène. . . 0,12		Oxigène. . . . 0,20
1,00		1,00

On ne peut guère encore se figurer par ces nombres quelle est la différence chimique de ces deux oxides, dont l'un est rouge, vitreux, et dont l'autre est noir et terreux. Mais si on calcule les analyses dans le système atomique, on trouve que l'un renferme 1 atome de cuivre et 1 atome d'oxigène; l'autre 1 atome de

cuivre et 2 atomes d'oxygène; dès lors la différence devient claire et précise.

Ces deux exemples suffisent pour faire voir qu'il est indispensable de présenter la composition des corps en atomes; or, comme les analyses ne peuvent être faites qu'en poids, il faut dans tous les cas savoir les traduire en atomes: c'est ce que nous montrerons bientôt; mais il est nécessaire avant, de dire quelques mots de la nomenclature et des signes atomiques.

(228) *Explications de nomenclature.* — Les divers composés binaires résultent, comme nous l'avons vu, de la combinaison de 1 atome d'un élément avec 1, 2, 3, 4, etc. atomes d'un autre élément. Or ces diverses combinaisons ayant des caractères différents, il est important de les distinguer dans le langage. Pour cela on a imaginé de joindre au nom générique, tiré de l'élément électro-négatif, et tel qu'on l'a adopté depuis le renouvellement de la chimie par Lavoisier, des épithètes qui puissent indiquer les proportions. On se sert des épithètes *mono*, *bi* ou *di*, *tri*, etc., pour indiquer la combinaison de 1 atome de tel ou tel corps électro-positif, avec 1, 2, 3, etc., atomes du corps électro-négatif. Ainsi on dit *mono-sulfure*, *bi-sulfure* ou *di-sulfure*, *tri-sulfure*, etc., pour indiquer la combinaison de 1, 2, 3, etc. atomes de soufre, avec 1 atome de tel ou tel autre corps: on dit de même *monarseniure*, *di-arseniure*, etc. etc. On peut dire dans le même sens *monoxide*, *di-oxide*, *tri-oxide*, etc., expressions dont nous nous servirons beaucoup par la suite, quoiqu'elles ne soient pas encore fort usitées, et qu'il ne faut pas confondre avec les expressions *protoxide*, *deutoxide*, *tritoxide*, fort en usage en chimie, qui n'ont le plus souvent aucun rapport avec le système atomique.

Il serait à désirer qu'on pût exprimer de même les rapports atomiques dans les composés ternaires; mais

la complication qui a souvent lieu dans ces rapports, comme nous l'avons fait voir, est un obstacle que l'on ne peut vaincre. On a été obligé de recourir aux rapports qui existent entre les quantités du principe commun aux atomes binaires qui se réunissent, et l'on a fait alors une nomenclature analogue à la précédente, quoique les expressions n'aient pas la même signification; ainsi on dit dans le cas des combinaisons oxigénées, *mono-sel*, *di-sel*, *tri-sel*, etc., pour désigner, non pas la combinaison de 1 atome d'un oxide, avec 1, 2, 3, etc., atomes d'un autre oxide, mais pour désigner que l'oxigène de l'acide est une fois, deux fois, trois fois l'oxigène de la base: c'est ce que l'on doit entendre par des expressions telles que, *mono-silicate*, *di-silicate*, *tri-silicate*, etc. Cependant il est à remarquer que dans le cas où la base et l'acide ont le même degré d'oxidation, la nomenclature exprime également les rapports atomiques.

Nous ferons remarquer aussi que plusieurs oxides ont reçu depuis long-temps des noms univoques dont on se sert habituellement, tels sont *alumine*, *baryte*, *chaux*, *glucine*, *magnésie*, *lithine*, *potasse*, *silice*, *soude*, *strontiane*, *yttria*, *zircone*, au lieu de *oxides aluminique*, *barytique*, *calcique*, etc., etc. Nous emploierons souvent ces dénominations simples.

(229) *Signes représentatifs des combinaisons.* — Tant qu'il n'y a qu'un petit nombre d'éléments combinés entre eux, et qu'ils sont réunis dans des rapports simples, on peut toujours exprimer la nature du composé par une phrase courte, facile à entendre et à retenir; mais à mesure que les composés deviennent plus compliqués, on a plus de difficultés; et dans tous les cas, d'ailleurs, il est toujours long, et quelquefois difficile, de comparer ces phrases pour voir en quoi diffèrent les composés qu'elles décrivent. Ces raisons ont

fait imaginer des moyens particuliers qui présentent la composition des corps par des espèces de formules très courtes, et dont on peut, d'un seul coup d'œil, comparer facilement plusieurs ensemble. Il suffit, pour cela, de désigner les différents corps simples par une ou deux lettres, qu'on peut prendre dans leurs initiales, comme l'indique le tableau suivant, où nous avons adopté la nomenclature latine de M. Berzélius, pour nous conformer à des signes d'un usage général.

Al	Aluminium.	Mo	Molybdænum.
Ag	Argentum.	Na	Natrium ou <i>Sodium</i> .
As	Arsenicum.	Ni	Niccolum ou <i>Nickel</i> .
Au	Aurum.	N	Nitricum ou <i>Azote</i> .
Ba	Barium.	Os	Osmium.
Bi	Bismuthicum.	O	Oxygenium.
Bo	Boron.	Pa	Palladium.
Br	Bromium.	P	Phosphorus.
Ca	Calcium.	Pt	Platinum.
Cd	Cadmium.	Pb	Plumbum.
C	Carbonium. <i>Carbonne</i> .	R	Rhodium.
Ce	Cerium.	Se	Selenium.
Ch	Chloron.	Si	Silicium.
Chr	Chromium.	Sn	Stannum ou <i>Etain</i> .
Co	Cobaltum.	Sb	Stibium ou <i>Antimoine</i> .
Cu	Cuprum.	Sr	Strontium.
Fe	Ferrum.	S	Sulphur.
Fl	Fluoricum ou <i>Phlore</i> .	Ta	Tantalum.
G	Glucinium ou <i>Berillium</i> .	Te	Tellurium.
Hg	Hydrargyrum.	Ti	Titanium.
H	Hydrogenium.	U	Uranium.
I	Iodicum.	W	Wolframium- <i>Tungstène</i> .
Ir	Iridium.	Y	Yttrium.
K	Kalium ou <i>Potassium</i> .	Zu	Zincum.
L	Lithium.	Zr	Zirconium.
Mg	Magnesium.		
Mn	Manganium. <i>Manganèse</i> .		

Deux de ces signes, placés à côté l'un de l'un de l'autre, indiquent un composé binaire formé des deux corps correspondants; ainsi FeS indique un sulfure de fer; Cu Se est un séléniure de cuivre; Fe C un carbure de fer, Co As un arseniure de cobalt. De même, Fe O est un oxide de fer, K O un oxide de potassium, Si O un oxide de silicium, etc. Pour désigner le nombre d'atomes des composants, on place un chiffre, en forme d'exposant, à côté de la lettre; tant qu'il n'y a pas d'exposant, le corps n'entre que pour un atome: ainsi FeS est un simple sulfure de fer:  $\text{FeS}^2$  est un bi-sulfure,  $\text{FeS}^4$  un quadrisulfure, etc. De même, F O désigne un oxide de fer,  $\text{Fe O}^2$  un bi-oxide,  $\text{Fe O}^3$  un tri-oxide, etc.; mais comme l'oxygène entre dans un très grand nombre de composés, M. Berzélius l'exprime d'une manière plus courte, par un ou plusieurs points placés au dessus du signe de la base, suivant qu'il y a un ou plusieurs atomes d'oxygène: ainsi, au lieu de FeO,  $\text{FeO}^2$ ,  $\text{FeO}^3$ , etc., il écrit  $\overset{\cdot}{\text{Fe}}$ ,  $\overset{\cdot\cdot}{\text{Fe}}$ ,  $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Fe}}$ , etc. De même, au lieu d'écrire  $\text{SO}^3$ ,  $\text{SiO}^3$ , etc., pour indiquer l'acide sulfurique ou la silice, qui renferment l'un et l'autre 3 atomes d'oxygène contre un de soufre ou de silicium, il écrit,  $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{S}}$ ,  $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Si}}$ , etc. Quant à l'eau qui entre dans beaucoup de composés, comme il fallait l'écrire  $\text{H}^2\text{O}$  ou  $\text{HO}^{\frac{1}{2}}$ , ou  $\overset{\cdot}{\text{H}}^2$ , il a pris le parti de la désigner par Aq, ce qui est beaucoup plus simple.

Les composés ternaires oxigénés peuvent se représenter d'une manière extrêmement facile; il suffit de placer les signes des deux composés binaires l'un à côté de l'autre: ainsi,  $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{A}} \overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Si}}$  indique un silicate d'alumine. Mais, comme il est nécessaire d'indiquer aussi si c'est un silicaté, un bisilicate un tri-silicate, il faut recourir aux exposants; le signe que nous venons de présenter indique un simple silicate;  $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{A}} \overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Si}}^2$  est un bisilicate;  $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{A}} \overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Si}}^3$  un tri-silicate, etc. Dans ces exemples,

les atomes composés binaires, renferment le même nombre d'atomes d'oxygène; mais il arrive souvent que ces atomes binaires qui entrent dans les composés ternaires, n'ont pas les mêmes nombres d'atomes d'oxygène; par exemple la chaux renferme 2 atomes d'oxygène, l'acide sulfurique et la silice renferment chacun 3 atomes; dès lors un sulfate ou un silicate de chaux ne peuvent plus s'écrire  $\text{Ca S}$ , ou  $\text{Ca Si}$ , car ces signes indiqueraient que dans le composé, l'oxygène de la base est à l'oxygène de l'acide dans le rapport de 2 à 3; il faut dès lors un exposant convenable à chaque signe pour rétablir le rapport, et on doit écrire  $\text{Ca}^3 \text{S}^2$ ,  $\text{Ca}^3 \text{Si}^2$ . On écrira, d'après le même principe, un bisulfate et un bi-silicate de chaux, de la manière suivante: le premier  $\text{Ca}^3 \text{S}^4$ , le second  $\text{Ca}^3 \text{Si}^4$ : un trisulfate ou un tri-silicate auront pour signe  $\text{Ca}^3 \text{S}^6$ ,  $\text{Ca}^3 \text{Si}^6$ , etc. Les sous-sels ne présenteront pas plus de difficultés; on écrira  $\text{A}^2 \text{S}$ ,  $\text{A}^3 \text{S}$  pour indiquer un sulfate bi-aluminique ou tri-aluminique;  $\text{Ca}^3 \text{Si}$ ,  $\text{Ca}^9 \text{Si}^2$  indiquent des silicates bi-calcique ou tri-calcique.

Les composés ternaires non oxygénés ne présentent pas plus de difficulté; d'abord on peut placer les trois signes avec les indications atomiques, l'un à côté de l'autre: ainsi le signe  $\text{Ag}^3 \text{Sb}^2 \text{S}^{12}$  indiquerait la réunion de 3 atomes d'argent, 2 atomes d'antimoine et 12 atomes de soufre. Mais les composés ternaires sont en général formés, ou peuvent être regardés comme formés par deux composés binaires, de sorte qu'on peut partager les atomes de soufre entre l'argent et l'antimoine, et cela de manière que dans chaque composé binaire les atomes de soufre soient un multiple des atomes de la base; ainsi le signe précédent peut se partager en  $\text{Ag}^3 \text{S}^6$ , et  $\text{Sb}^2 \text{S}^6$ ; on les réunit alors par le signe + comme il suit,  $\text{Ag}^3 \text{S}^6 + \text{Sb}^2 \text{S}^6$ ; le premier membre revient à 3 atomes de  $\text{Ag S}^2$ , et le second



à 2 atomes de  $\text{Sb S}^3$  ; de sorte qu'en définitive on peut encore écrire  $3 \text{ Ag S}^2 + 2 \text{ Sb S}^2$  ; c'est cette dernière manière que l'on emploie comme plus précisé, les coefficients indiquant alors les rapports atomiques des composants binaires.

Les mêmes observations s'appliquent aux composés quaternaires, etc., oxigénés ou non. Ainsi, pour désigner un composé de 1 atome de plomb, 1 atome d'antimoine, 1 atome de cuivre, et 6 atomes de soufre, on peut écrire  $\text{Pb Sb Cu S}^6$ , ou bien partager le soufre entre les trois métaux pour faire trois composés binaires qu'on écrit  $\text{Pb S}^2 + \text{Sb S}^3 + \text{Cu S}$ .

Pour indiquer la combinaison de 1 atome de potasse, 2 atomes d'alumine, 8 atomes de silice, trois corps, qui avec l'oxigène que chacun d'eux renferme, forment un composé quaternaire, on peut écrire  $\text{K} \ddot{\text{A}}^2 \ddot{\text{S}}^8$ , ou bien en former deux composés binaires, tels que  $\text{K} \ddot{\text{S}}^2$ ,  $\ddot{\text{A}}^2 \ddot{\text{S}}^6$  qu'on écrira ensemble, en les séparant par le signe +,  $\text{K} \ddot{\text{S}}^2 + 2 \ddot{\text{A}} \ddot{\text{S}}^3$ .

(230) *Signes minéralogiques.* — Les signes que nous venons de faire connaître indiquent rigoureusement et avec détail, la composition des corps; mais on peut leur trouver quelques inconvénients; car dans les composés oxigénés, ils sont souvent assez difficiles à lire couramment, ce qui arrive lorsque les deux corps réunis ne sont pas du même ordre d'oxidation. Par exemple, on éprouve toujours quelques difficultés à lire couramment des formules telles que  $\text{Pb} \ddot{\text{M}}^2$ ,  $\ddot{\text{C}}^2 \ddot{\text{S}}^2$ ,  $\ddot{\text{M}}^3 \ddot{\text{S}}^4$ ,  $\ddot{\text{C}}^3 \ddot{\text{S}}^8$ ,  $\ddot{\text{C}}^2 \ddot{\text{C}}$ , etc. Il faut beaucoup d'habitude pour faire à l'instant le petit calcul qui est nécessaire pour comparer l'oxigène de l'acide à celui de la base, et voir que  $\text{Pb} \ddot{\text{M}}^2$  est un tri-molybdate,  $\ddot{\text{C}}^3 \ddot{\text{S}}^2$ , un simple silicate;  $\ddot{\text{M}}^3 \ddot{\text{S}}^4$ , un bi-silicate;  $\ddot{\text{C}}^3 \ddot{\text{S}}^8$ , un quadri-silicate;  $\ddot{\text{C}}^2 \ddot{\text{C}}$ , un simple carbonate; etc. Pour remédier à cet inconvénient, M. Ber-

zélius a imaginé d'autres signes, qu'il nomme *signes minéralogiques*, pour les distinguer des premiers, qu'il nomme *signes chimiques*; il supprime, à cet effet, les signes d'oxidation, et il emploie des caractères italiques, afin qu'on distingue à l'instant ces sortes de signes des signes chimiques; lorsqu'il y a deux oxides d'un corps, il désigne le plus élevé par une capitale, et le plus bas par une lettre courante; ainsi, il écrit *F* pour l'oxide de fer à trois atomes d'oxigène et *f* pour l'oxide à 2 atomes. D'après cela il écrit les combinaisons dont nous venons de donner les signes chimiques, de la manière suivante *Pb Mo<sup>3</sup>, Ca Si, MSi<sup>2</sup>, CaSi<sup>4</sup>, Cu C*, qui indique à l'instant l'ordre du composé.

On voit que ces nouveaux signes offrent beaucoup moins de détails que les premiers, puisqu'ils indiquent seulement que l'oxigène de l'acide est égal à l'oxigène de la base, ou bien en est le double, le triple, etc, sans dire quel est le nombre atomique d'oxigène des composants; mais par cela même ils ont plus de fixité que les signes chimiques, car exprimant seulement un fait, ils ne changeraient en aucune manière, si des observations nouvelles conduisaient à changer le nombre atomique de l'oxigène dans l'acide ou dans la base.

M. Berzélius a cru devoir aussi dans ces nouveaux signes, changer la signification des coefficients des formules qui doivent représenter les corps formés par plusieurs composés binaires. Dans les signes chimiques, ces coefficients donnent le rapport entre les nombres d'atomes de l'un et de l'autre composant binaire; ainsi la formule  $\text{Ca Si}^2 + \text{Mg}^3 \text{Si}^4$ , indique 1 atome de trisilicate de chaux avec 1 atome de bisilicate de magnésie; la formule  $8 \text{Ca Si}^2 + \text{K Si}^4 + 32 \text{Aq}$  indique 1 atome de sexsilicate de potasse, 8 atomes de trisilicate de chaux, et 32 atomes d'eau. Mais il est clair que ces rapports ne seraient

plus les mêmes, si de nouvelles observations venaient à faire changer les nombres atomiques d'oxygène dans les oxides, et c'est pour cela que, dans ses formules minéralogiques, M. Berzélius prend d'autres coefficients, par lesquels il exprime seulement le rapport entre la quantité d'oxygène de l'une des bases et la quantité d'oxygène de l'autre; il écrit la première composition sous la forme  $Ca Si^3 + 3Mg Si^2$ , qui indique que l'oxygène de la magnésie est triple de l'oxygène de la chaux; il écrit la seconde composition sous la forme  $K Si^6 + 8Ca Si^3 + 16Aq$ , qui indique que l'oxygène de la chaux est 8 fois l'oxygène de la potasse, et l'oxygène de l'eau 16 fois l'oxygène de cette même base, ou 2 fois l'oxygène de la chaux. Construite de cette manière, la formule n'est plus que l'expression du fait même que présente l'analyse, et quoiqu'elle ne soit qu'une modification de la formule chimique, elle est indépendante de tous les changements qui pourraient arriver à celle-ci, par suite de ceux que de nouvelles observations pourraient opérer dans les nombres atomiques d'oxygène des oxides.

On voit donc que ces sortes de signes sont assez convenables en minéralogie, tant que l'on pourra soupçonner qu'on n'a pas une connaissance parfaite et complète de la composition atomique des oxides; mais il faut avouer qu'ils sont moins satisfaisants pour l'esprit que les signes chimiques, et par cela même plus difficiles à retenir et à comparer les uns aux autres.

On peut facilement repasser des signes minéralogiques aux signes chimiques, et réciproquement. En effet, soit le signe minéralogique  $N Si^3 + 3 Al Si + 2Aq$ ; pour repasser au signe chimique, on écrira d'abord séparément en signes chimiques, le trisilicate de soude et le silicate d'alumine; le premier est  $\ddot{N} \ddot{Si}^2$ , le second  $\ddot{Al} \ddot{Si}$ : maintenant il faut que l'oxygène de l'a-

lumine soit triple de l'oxygène de la soude ; or l'oxygène de la soude étant de 2 atomes, il faut que celui de l'alumine soit 6, et comme cette substance en renferme 3 atomes, il ne s'agit que de multiplier par 2 ; ainsi il faut écrire  $2\text{Ä}\text{Si}$ . L'eau doit renfermer aussi une quantité d'oxygène double de celui de la soude ; celle-ci en renferme 2 atomes, il faut donc que l'eau en renferme 4 ; or l'eau renferme 1 atome d'oxygène, donc il doit y avoir 4 atomes d'eau. D'après ces observations il faut écrire en signe chimique  $\text{N}\text{I}\text{Si}^2 + 2\text{Ä}\text{Si} + 4\text{Aq}$ .

Supposons au contraire qu'on ait la formule chimique  $3\text{Ca}\text{Si}^2 + 8\text{Ä}\text{Si}^3 + 48\text{Aq}$ . On voit d'abord qu'il y a un trisilicate de chaux,  $\text{Ca}\text{Si}^3$ , plus un trisilicate d'alumine,  $\text{Al}\text{Si}^3$  ; on voit ensuite que la chaux du composé renferme 6 atomes d'oxygène, l'alumine 24 atomes, et l'eau 48 atomes ; d'où il suit que l'oxygène de l'alumine est 4 fois l'oxygène de la chaux, et l'oxygène de l'eau 8 fois l'oxygène de la chaux. Il faut donc écrire  $\text{Ca}\text{Si}^3 + 4\text{Al}\text{Si}^3 + 8\text{Aq}$ .

(231). *Passer d'une analyse donnée en poids à la formule minéralogique ou chimique du corps.* — Les analyses des minéraux ne peuvent jamais être faites qu'en poids ; par conséquent, il faut ensuite les calculer pour les exprimer atomiquement, et prendre ainsi une idée nette de la composition du corps. Il faut observer qu'il est rare de rencontrer des substances naturelles pures, parce que ces substances ont le plus souvent cristallisé plusieurs ensemble, et se sont ainsi plus ou moins mélangées ; il en résulte qu'on est souvent obligé d'éliminer les matières étrangères par le calcul, et c'est là que se trouve la principale difficulté. Pour ne pas compliquer tout de suite les recherches que nous avons à faire, nous prendrons d'abord quelques exemples dans des analyses préalablement corrigées par la suppression des matières étrangères ; nous verrons

ensuite comment on peut calculer ces mélanges.

1<sup>o</sup> *Exemple de composé binaire.* Le minéral nommé galène, dans les échantillons les plus purs donnent, moyennement l'analyse, corrections faites :

Plomb. . . . .	86,50
Soufre. . . . .	13,50
	100

Or, nous avons vu que, dans les composés binaires, l'un des éléments entrait toujours pour 1 atome, et que l'autre en était un multiple par un des nombres 1, 2, 3, etc. Supposons donc que l'élément qui entre pour 1 atome, soit le plomb; on trouve dans les tables que le poids de l'atome de plomb est 258g. Substituons ce nombre à 86,50, et cherchons le poids correspondant du soufre par la proportion

$$86,50 : 13,50 :: 258g : x = 404,06.$$

Si l'on compare ce nombre au poids de l'atome de soufre, que l'on trouve dans les tables de 201,16, on voit qu'il en est à peu près le double; par conséquent la galène doit être composée de 1 atome de plomb, et 2 atomes de soufre, et sa formule, minéralogique ou chimique, est Pb S<sub>2</sub>.

Si l'on recalcule cette formule en poids, on trouve que la composition doit être :

Plomb.. . . . .	86,55
Soufre. . . . .	13,45

nombres si rapprochés de ceux qui ont été donnés, qu'on doit regarder les petites différences comme des erreurs de l'analyse, combinées peut-être à celle de la correction que l'on a faite.

Si l'on avait supposé le soufre pour 1 atome, on aurait substitué le poids de l'atome de soufre au nombre 13,50 et en cherchant le poids correspondant du plomb, on aurait trouvé 1288,8g. Or, en comparant ce nom-

bre à 2589, poids de l'atome de plomb, on voit qu'il en est sensiblement la moitié; par conséquent on a le rapport 1 atome de soufre à  $\frac{1}{2}$  atome de plomb, ou 2 à 1, comme précédemment.

On peut aussi faire le calcul autrement, le nombre 86,50 exprime un certain nombre d'atomes de plomb dont le poids total est 86,50, et le nombre 13,50 un certain nombre d'atomes de soufre dont le poids est 13,50. Or, si l'on divise 86,50 par le poids de l'atome de plomb, et 13,50 par le poids de l'atome de soufre, on aura deux nombres qui exprimeront les quantités relatives d'atomes de plomb et de soufre.

On a  $\frac{86,50}{2589} = 0,0330$  et  $\frac{13,50}{201,16} = 0,0671$ . En comparant maintenant ces deux nombres, on voit qu'ils sont entre eux dans le rapport de 1 à 2; ainsi il y a 1 atome de plomb, et 2 atomes de soufre. Cette méthode, que nous n'avons pas voulu donner d'abord, parce que le principe en paraît plus difficile à saisir, est celle qui donne pour résultats les nombres les plus faciles à comparer.

2° *Exemple de composés ternaires.* Ces sortes de composés n'offrent pas plus de difficultés que les précédents, seulement on peut distinguer les composés non oxigénés, et les composés oxigénés, parce que ces derniers peuvent être calculés de deux manières.

Supposons qu'on ait l'analyse suivante :

Soufre. . . . .	35
Cuivre. . . . .	35
Fer. . . . .	30 <sup>1</sup>
	100

qui est à peu près la composition qu'on tire de l'analyse du cuivre pyriteux par M. H. Rose. On cherchera les nombres relatifs d'atomes de soufre, de cuivre, de fer, en divisant les nombres que fournit l'ana-

lyse par 201,16, poids de l'atome de soufre, 791,39, poids de l'atome de cuivre, 678,83, poids de l'atome de fer : on aura

$$\frac{35}{201,15} = 0,173 \quad \frac{35}{791,39} = 0,044 \quad \frac{30}{678,83} = 0,044.$$

En comparant ces nombres, on voit qu'ils sont sensiblement dans le rapport de 4,1 et 1; par conséquent le composé est  $\text{Cu Fe S}_4$ . On peut le partager si l'on veut en deux composés binaires, et cela de deux manières différentes; on peut faire un bisulfure de cuivre  $\text{Cu S}_2$ , et un bisulfure de fer  $\text{Fe S}_2$ , ou bien un sulfure de cuivre  $\text{Cu S}$ , et un trisulfure de fer  $\text{Fe S}_3$ ; par conséquent, on a aussi les deux formules  $\text{Cu S}_2 + \text{Fe S}_2$ , qui est la plus naturelle, ou  $\text{Cu S} + \text{Fe S}_3$ , que M. Berzélius a adoptée.

Soit aussi l'analyse  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Oxide de plomb. . . . . } 60,59 \\ \text{Acide molybdique. . . . . } 30,41 \\ \hline 100,00 \end{array} \right.$

qui est celle du molybdate de plomb par Hatchett, en supprimant les matières étrangères.

On peut calculer cette analyse en atomes de deux manières, comme nous l'avons dit pour les composés oxigénés, et nous allons en donner l'exemple.

*Première manière.* On cherchera le poids atomique de l'oxide de plomb, qu'on trouve dans les tables, de 2789, et le poids atomique de l'acide molybdique, qu'on trouve de 896,80. On divisera 60,59 par le premier nombre et 39,41 par le second, et on aura

$$\frac{60,59}{2789} = 0,0217 \quad \frac{39,41}{896,80} = 0,0439.$$

comparant ces nombres, on voit qu'ils sont sensiblement dans le rapport de 1 à 2, par conséquent il y a, 1 atome d'oxide de plomb et 2 atomes d'acide molybdique, et la formule est  $\text{Pb Mo}_2$ ; c'est donc un trimolybdate.

*Deuxième manière.* Nous avons vu que, dans les composés ternaires, la quantité du principe électro-négatif de l'un des composants, est un multiple par un des nombres 1, 2, 3, etc., de la quantité du même principe dans l'autre (225); or, on peut partir de cette observation pour calculer les analyses des composés ternaires oxigénés, dont les composants binaires sont toujours connus. Pour cela on cherchera les quantités d'oxigène de chacun des oxides. Dans le cas présent, les tables indiquent que l'oxide de plomb renferme 7,171 pour 100 d'oxigène, et l'acide molybdique 33,45 pour 100, d'après cela on trouvera par une proportion simple;

60,59 d'oxide de plomb renferme. . . . .	4,34 d'oxigène.
39,41 d'acide molybdique renferme. . . . .	13,18

nombre qui sont sensiblement entre eux dans le rapport de 1 à 3. Ainsi l'oxigène de l'acide est trois fois l'oxigène de la base, d'où il suit que le composé est un tri-molybdate, dont la formule minéralogique est  $Pb Mo^3$ . Maintenant l'oxide de plomb est  $Pb$ , l'acide molybdique  $Mo$ , et par conséquent le signe chimique est  $Pb Mo_3$ , où l'on voit, comme précédemment, 1 atome d'oxide, et 3 atomes d'acide molybdique.

Cette seconde méthode est celle que l'on emploie le plus communément, parce qu'elle fournit immédiatement le signe minéralogique, d'après lequel on peut, si l'on veut, établir le signe chimique.

3<sup>o</sup> *Exemple de composés quaternaires.* Prenons d'abord l'analyse de la Bournonite par M. Smithson, qui a trouvé dans cette substance :

Soufre. . . . .	20
Plomb. . . . .	41,66
Antimoine. . . . .	25
Cuivre. . . . .	13,33
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1	<hr/>
	99,99



Le calcul est absolument le même que pour le cuivre pyriteux ; on trouve :

$$\frac{20}{201,16} = 0,099. \frac{41,66}{2589} = 0,016. \frac{25}{1612,90} = 0,015. \frac{13,33}{791,30} = 0,016.$$

et l'on voit que les nombres sont entre eux comme 6, 1, 1 et 1 ; on a donc la formule Pb Sb Cu S<sup>6</sup>, ou bien Pb S<sup>2</sup> + Sb S<sup>3</sup> + Cu S.

Soit encore l'analyse

Silice. . . . .	68,35
Alumine. . . . .	17,60
Glucine. . . . .	<u>13,13</u>
	99,08

qui est celle d'une émeraude de Brodbo, par M. Berzelius, abstraction faite d'une petite quantité de matières étrangères.

*Première manière.* On divisera comme précédemment les trois nombres donnés par l'analyse, par les poids atomiques des oxides correspondants. On aura :

$$\frac{68,35}{577,50} = 0,118. \frac{17,60}{642,32} = 0,027. \frac{13,13}{962,56} = 0,013.$$

On voit que ces nombres sont entre eux dans le rapport de 9, 2 et 1, par conséquent, le signe chimique est  $\ddot{G} \ddot{A}l^2 \ddot{S}i^9$ , ou bien en partagent le nombre d'atomes de silice, entre les deux autres oxides  $\ddot{G} \ddot{S}i^3 + 2 \ddot{A}l \ddot{S}i^3$ . Cette formule est un peu différente de celle qu'on a donnée jusqu'au moment où la composition de la silice a été mieux connue ; il est fort curieux de savoir si elle se soutiendra dans toutes les analyses.

*Deuxième manière.* En cherchant dans les tables la composition de la glucine et de l'alumine, et admettant dans la composition de la silice 51,948 pour 100 d'oxygène, comme il résulte des derniers travaux de M. Berzelius, on trouve que,

68,35 de silice renferme. . . . .	35,50 d'oxygène.
17,60 d'alumine. . . . .	8,22
13,13 de glucine. . . . .	4,09

nombres qui sont aussi à peu près dans le rapport 9 , 2 et 1 ; le signe minéralogique est donc  $G Al^3 Si^9$  ; c'est le même que le signe chimique , parce que les oxides présentent les mêmes rapports atomiques.

Enfin pour dernier exemple , prenons l'analyse d'une mésotype qui a fourni à M. Smithson :

Silice. . . . .	49 tenant oxygène.	25,45 . . . . .	6
Alumine. . . . .	27 . . . . .	12,61 . . . . .	3
Soude. . . . .	17 . . . . .	4,34 . . . . .	1
Eau. . . . .	9,5 . . . . .	8,44 . . . . .	2

On voit que les quantités d'oxygène sont à peu près entre elles comme les nombres 6, 3, 1 et 2 , de sorte que le signe minéralogique est  $NAl^3 Si^6 Aq^2$  , ou bien en le divisant en composés binaires ,  $NSi^3 Al^3 Si^3 Aq^2$  , ou enfin  $NSi^3 + 3AlSi + 2Aq$  , dont la traduction en signe chimique est  $\ddot{N} \ddot{Si}^2 + 2\ddot{Al} \ddot{Si} + 4Aq$ .

(232) *Repasser d'une formule à une analyse en poids.*  
— Il est quelquefois utile , ne fût ce que pour vérifier les résultats de la théorie , de repasser de la composition d'un corps exprimée en formule à sa composition en poids. Cette transformation ne présente encore aucune difficulté. Soit la formule  $Pb S_2$  , qui est celle de la galène (131, 1<sup>o</sup>).

Il faut pour repasser aux poids , prendre l'expression d'un atome de plomb , et celles de deux atomes de soufre ; or on trouve dans les tables :

1 atome de plomb. . . . .	=	2589
2 atomes de soufre. . . . .	=	402,32
Poids de l'atome de bisulfure. . .		<u>2991,32</u>

c'est la composition en poids, qu'il ne s'agit plus que d'exprimer en pour 100, par les proportions.

$$\begin{aligned} 2991,32 : 2589 &:: 100 : x = 86,55 \\ 2991,32 : 402,32 &:: 100 : \gamma = 13,45 \\ &\hline &100,00 \end{aligned}$$

L'expression  $\text{Cu S} + \text{Fe S}^3$ , qui est la formule du cuivre pyriteux (231,20), se traduit absolument de la même manière. On peut la partager immédiatement en ses trois éléments, en la remettant d'abord sous la forme  $\text{Cu Fe S}^4$ , ou bien chercher la quantité de chacun des composés binaires. Dans le premier cas on a

$$\begin{aligned} 4 \text{ atomes de soufre. . . . .} &= 804,64 \\ 1 \text{ atome de cuivre. . . . .} &= 791,39 \\ 1 \text{ atome de fer. . . . .} &= 678,43 \\ \text{Poids de l'atome ternaire. . .} &2274,46 \end{aligned}$$

Et pour calculer en pour 100, on fera

$$\begin{aligned} 2274,46 : 804,64 &:: 100 : x = 35,38 \\ 2274,46 : 791,39 &:: 100 : \gamma = 34,79 \\ 2274,46 : 678,43 &:: 100 : z = 29,83 \\ &\hline &100,00 \end{aligned}$$

résultats peu différents de ceux de l'analyse donnée.

Si l'on veut partager la composition en deux composés binaires, on cherchera dans les tables le poids atomique du sulfure de cuivre, -et celui du tri-sulfure de fer, et dans le cas où ils ne s'y trouveraient pas, on les composera comme nous avons fait pour le bi-sulfure de plomb. On trouvera :

$$\begin{aligned} 1 \text{ atome de sulfure de cuivre. . . .} &992,55 \\ 1 \text{ atome de trisulfure de fer. . . .} &1281,91 \\ \text{Poids de l'atome ternaire. . .} &\hline &2274,46 \end{aligned}$$

Après quoi l'on fera

$$\begin{aligned} 2274,46 : 992,55 &:: 100 x = 43,64 \\ 2274,46 : 1281,91 &:: 100 \gamma = 56,36 \\ &\hline &100,00 \end{aligned}$$

de sorte que le corps se compose de

Sulfure de cuivre. . .	43,64	}	Soufre. . . . .	35,38
Trisulfure de fer. . .	56,36		Cuivre. . . . .	34,79
			Fer. . . . .	29,83
100,00				100,00

Les composés quaternaires n'offriront pas plus de difficultés; on les partagera immédiatement en leurs éléments, ou bien on les divisera en trois composés binaires dont on cherchera isolément le poids; en tout on se conduira comme précédemment.

Donnons aussi l'exemple de quelques composés oxygénés. Soit la formule  $\text{Pb Mo}_2$ , qui est celle du molybdate de plomb; on cherchera le poids de l'atome d'oxide de plomb, le poids de l'atome d'acide molybdique et on fera.

1 atome d'oxide de plomb. . . . .	2789
2 atomes d'acide molybdique. . . . .	1793,60
Poids de l'atome ternaire. . . . .	4582,60
$4582,60 : 2789 \quad :: 100 x =$	60,86
$4582,60 : 1793,60 \quad :: 100 y =$	39,14
	100,00

Soit enfin la formule minéralogique  $\text{NSi}^3 + 3\text{AlSi} + 2\text{Aq}$ , qui est celle de la mésotype. On la traduira en signes chimiques  $\text{N}\ddot{\text{S}}\text{i}^2 + 2\ddot{\text{A}}\text{l}\ddot{\text{S}}\text{i} + 4\text{Aq}$ ; cela fait, on cherchera les poids atomiques du tri-silicate de soude, du silicate d'alumine et de l'eau, ou on les composera comme nous venons de faire pour le molybdate de plomb, s'il ne se trouve pas dans les tables; on trouvera :

1 atome de trisilicate de soude. . . . .	1936,84
2 atomes de silicate d'alumine. . . . .	2439,64
4 atomes d'eau. . . . .	449,7416
Poids de l'atome quinaire. . . . .	4826,2216

On fera ensuite les trois proportions suivantes pour traduire ces quantités en pour 100.

$$\begin{aligned}
 4826,2216 : 1936,84 &:: 100 : x = 40,13 \\
 4826,2216 : 2439,64 &:: 100 : y = 50,55 \\
 4826,2216 : 449,7416 &:: 100 : z = 9,32 \\
 &\hline
 &100,00
 \end{aligned}$$

Si l'on veut isoler les composants binaires, silice, alumine, soude, on mettra le signe sous la forme  $\ddot{N} \ddot{Al}^2 \ddot{Si}^4 Aq^4$ ; on cherchera les nombres atomiques de chaque oxide, ce qui donnera :

4 atomes de silice. . . . .	2310
2 atomes d'alumine. . . . .	1284,64
1 atome de soude. . . . .	781,84
4 atomes d'eau. . . . .	449,7416
	4826,2216
Poids de l'atome quintenaire. .	4826,2216

Pour la transformation en pour 100 on aura

$$\begin{aligned}
 4826,2216 : 2310 &:: 100 : x = 47,86 \\
 4826,2216 : 1284,64 &:: 100 : y = 26,62 \\
 4826,2216 : 781,84 &:: 100 : z = 16,19 \\
 4826,2216 : 449,7416 &:: 100 : u = 9,32 \\
 &\hline
 &99,99
 \end{aligned}$$

par conséquent la formule donne la composition en poids.

Trisilicate de soude. . . . .	40,13	}	Silice. . . . .	47,86
Silicate d'alumine. . . . .	50,55		Alumine. . . . .	26,62
Eau. . . . .	9,32		Soude. . . . .	16,19
	100,00		Eau. . . . .	9,32
			99,99	

En comparant ces divers résultats du calcul avec les analyses que nous avons prises pour exemples, on verra que les différences sont assez petites, pour qu'on reste persuadé que les formules présentent réellement la composition des corps auxquels nous les avons rapportées. Nous allons voir à quoi peuvent tenir les différences

qu'on peut avoir, qui s'élèvent souvent plus haut que celles que nous voyons ici, et quels sont les moyens de mettre plus de précision dans la recherche des formules.

(255) *Observations sur les mélanges.* — Les lois de composition que nous avons établies, se manifestent d'une manière claire et précise dans les composés que nous savons former artificiellement; les proportions des composants y sont sensiblement constantes, et les petites différences qu'on observe dans les analyses ne sortent pas de la limite des erreurs possibles d'opération. Il est naturel de penser qu'il doit en être de même dans les substances minérales, et cependant il arrive souvent que les analyses de ces corps présentent des proportions qui s'éloignent plus ou moins des proportions définies, en sorte que, même dans les combinaisons les plus simples, il y a surabondance d'un principe ou d'un autre. Quelquefois même on trouve par l'analyse, tant de substances diverses, et en proportions si singulières, que l'on ne sait que penser de la composition du minéral qui en est l'objet, si l'on n'a pas suffisamment réfléchi à tout ce qui doit se passer dans les grands laboratoires de la nature.

Avant d'aller plus loin, faisons remarquer que ce n'est qu'en prenant toutes les précautions imaginables, que nous parvenons à obtenir des composés purs dans nos laboratoires; que dans nos fabriques, où l'on opère en grand, ce n'est souvent que par des cristallisations répétées, que l'on parvient à porter les sels à l'état de pureté que réclament les arts, état où souvent ce n'est pas encore la pureté chimique. Si au lieu de prendre ces précautions, nous agissons, au contraire, de manière à faire cristalliser les différents corps, dans des circonstances analogues à celles où se sont trouvés les minéraux au moment de leur cristallisation, nous

obtenons des résultats tout-à-fait différens. Ainsi, comme nous l'avons déjà dit, lorsqu'une solution tient des matières étrangères en suspension, les sels qui s'en précipitent en renferment presque toujours une plus ou moins grande quantité, qui s'y trouve disséminée plus ou moins uniformément, ou placée entre les couches d'accroissement. Si on fait dissoudre plusieurs sels à la fois dans le même liquide, et qu'après avoir concentré la solution jusqu'à un certain point, on l'abandonne à l'évaporation spontanée, on remarque que ce n'est que dans le cas où les sels diffèrent beaucoup par leur degré de solubilité, qu'ils cristallisent l'un après l'autre, et se trouvent chacun sensiblement à l'état de pureté. Lorsqu'au contraire leur solubilité est à peu près la même, ils se mélangent tous les uns avec les autres en plus ou moins grande quantité; en sorte qu'il n'en est pas un seul qui soit pur. Ces mélanges, sur lesquels j'ai fait un grand nombre d'expériences, ont lieu indifféremment entre toutes espèces de sels, en sorte qu'ils semblent être dus tout-à-fait au hasard; la partie accidentelle est toujours alors en petite quantité. Mais il y a aussi des mélanges qui se font sous certaines conditions qu'il est très-important de connaître, et qui peuvent avoir lieu, dès lors, en toutes proportions; en sorte qu'il arrive quelquefois qu'il n'y a aucune matière qui domine sensiblement. En général on remarque, dans toutes les expériences, que les sels de même formule de composition se mélangent très-facilement les uns avec les autres, surtout lorsqu'ils ont des formes cristallines à peu près semblables, ou seulement de même genre et très rapprochées. Ainsi, toutes les espèces d'alun, l'alun potassé, l'alun ammoniacal, un sel de même formule où le trioxide de fer remplace l'alumine, etc., ont une telle tendance à se mélanger, qu'on ne peut les en empêcher, quelque

précaution que l'on prenne, et qu'on ne parvienne pas même à les séparer complètement par des cristallisations répétées, lorsqu'elles se sont une fois réunies. Il se fait des mélanges de même genre entre le nitrate de baryte et le nitrate de plomb; entre les nitrates de potasse et de soude : entre les sulfates de fer, de cobalt, de nickel, etc.; entre les sulfates de zinc, de soude, de magnésie, etc., etc. Non-seulement ces mélanges ont lieu lorsque la solution ne renferme que les sels de chacun des groupes que nous venons de citer, mais encore ce sont ceux qui se font de préférence lorsqu'un grand nombre de sels se trouvent dissous dans le même liquide; de manière qu'on peut dire que les sels de même formule se recherchent, en quelque sorte, pour cristalliser ensemble, en se mélangeant en toutes proportions.

Dans ces cas de mélange de différents sels de même formule, on remarque que les formes cristallines ne sont pas très sensiblement altérées; en sorte même qu'on n'aperçoit souvent aucune différence lorsqu'on se sert du goniomètre ordinaire. Cela tient à ce qu'en général les sels de même formule ont, sinon des formes identiques, du moins des formes du même genre, et très rapprochées par leurs angles; c'est ce que M. Mitscherlich a observé le premier, il y a quelques années, et ce qui a été vérifié depuis sur un assez grand nombre de corps: on conçoit, dès lors, qu'au moment de la consolidation, un certain nombre de molécules d'un sel peuvent se substituer à un autre, sans que pour cela la cristallisation devienne irrégulière, ou soit sensiblement changée.

Cette identité de forme pour les mêmes formules de composition, ne se fait pas seulement remarquer entre des sels de même acide qui ont des bases diverses de même degré d'oxygénation, mais aussi entre des sels



de même base, ou de bases dont les degrés d'oxygénation sont semblables, qui ont des acides divers du même ordre de composition. De là il résulte que non-seulement il y a des sels de bases différentes qui ont des formes analogues plus ou moins rapprochées, mais aussi des sels d'acides différents qui se trouvent dans le même cas. M. Mitscherlich, en combinant ces données et beaucoup d'autres prises dans le règne minéral même, en a conclu que les différentes bases de même degré d'oxydation qui, en se combinant en même proportion avec le même acide, donnaient lieu à des corps de formes analogues, quelquefois semblables, devaient être elles-mêmes susceptibles de formes analogues ou semblables; et qu'il devait en être de même des acides différents, de même degré d'oxydation, susceptibles de produire des corps de même forme en se combinant avec la même base. Ce sont ces conclusions qu'il a exprimées par l'épithète *isomorphe*, appliquée à diverses bases et divers acides, dans lesquels il a pu jusqu'ici vérifier ces propriétés. Il est essentiel de remarquer que le mot *isomorphe* ne peut pas être pris dans un sens rigoureux; que fréquemment il indique seulement une analogie très grande, les formes des substances dites *isomorphes* ne différant que très peu par leurs angles.

(234) Tout ce que nous venons de dire des sels que nous faisons cristalliser à volonté dans les laboratoires, paraît devoir s'appliquer de point en point aux substances naturelles. En effet, ces substances ont dû cristalliser dans des circonstances tout-à-fait analogues à celles que nous avons indiquées; ce n'est que rarement qu'on trouve une substance seule, dans une cavité où elle a pu cristalliser tout-à-fait à l'état de pureté, de manière à offrir à l'analyse un petit nombre de matières en proportions définies; le plus sou-

vent les substances ont dû se précipiter plusieurs en même temps de la même solution, puisqu'on les trouve groupées ensemble, entremêlées de toutes les manières, colorées les unes par les autres (183). On conçoit dès lors que ces substances ont dû se mélanger entre elles précisément comme les sels; c'est-à-dire qu'une substance déterminée peut en avoir entraîné une autre quelconque, et que les matières isomorphes, ou plus généralement les matières de même formule atomique, ont pu se mêler en toute proportion, etc. De là probablement l'inexactitude des proportions et la complication qu'on remarque souvent dans les analyses. En examinant attentivement les substances minérales sous ce point de vue, on reconnaît en effet que les choses se passent précisément de cette manière. D'un côté on observe fréquemment, soit à la vue simple, soit au microscope, qu'il y a des parcelles, tantôt cristallines, tantôt irrégulières, de telle ou telle matière, qui se trouvent enfermées dans la masse de telle ou telle autre, et souvent même dans les cristaux les mieux prononcés : or il est clair que ces matières, lorsque, malgré les précautions préparatoires, on n'a pu parvenir à les isoler, compliquent les analyses et dérangent les proportions. D'un autre côté, en faisant simultanément les analyses de diverses substances qui se trouvaient réunies deux à deux, trois à trois, etc., en un même groupe, et qui, par conséquent, avaient dû cristalliser ensemble, j'ai reconnu d'une manière positive qu'il n'y avait pas une de ces substances qui ne renfermât une certaine quantité de la plupart de celles avec lesquelles elle était associée, lors même qu'on ne pouvait apercevoir aucune trace du mélange par les plus forts instruments; je suis toujours parvenu par le calcul à isoler alors les diverses substances mélangées, et

à rétablir ainsi, pour la substance principale, des proportions conformes aux lois générales que nous avons citées. Enfin, on reconnaît que ces matières de même formule atomique, sont aussi celles qui se sont le plus fréquemment mélangées, et en proportions les plus considérables. En effet, si dans les analyses compliquées, où les composants ne présentent aucun des rapports simples que nous avons indiqués, on rassemble d'un côté les principes électro-positifs, de l'autre les principes électro-négatifs, on trouve entre la somme des atomes des uns et celle des atomes des autres, précisément le même rapport que si le composé était réduit à son plus grand degré de simplicité; ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que les matières mélangées sont de même formule atomique. S'il s'agit d'un composé oxigéné, on trouve aussi que la somme des quantités d'oxigènes des oxides électro-positifs, et celle des oxides électro-négatifs, sont dans le même rapport que dans le composé réduit à la plus grande simplicité; c'est-à-dire que un ou plusieurs oxides se trouvent en remplacement d'un autre du même ordre atomique d'oxidation, et de telle manière que la quantité d'oxigène de cet oxide, ou de ces oxides, est précisément égale à celle que renfermerait l'oxide qui est en moins.

Eclaircissons ces dernières observations par quelques exemples :

10. Nous avons vu que le sulfure de plomb est composé de

Soufre. . . . .	0,1345
Plomb. . . . .	0,8655
	1,0000

ce qui donne la formule  $PbS^2$ ; or l'analyse d'une galène de Schemnitz m'a fourni, réduction faite d'une

petite quantité de silice et de peroxide de fer qui appartiennent à la gangue ;

Soufre.. . . . .	0,134
Plomb. . . . .	0,796
Argent. . . . .	0,070
	1,000

Si l'on cherche les quantités atomiques de ces matières, on trouve les nombres suivants :

Pour le soufre. . . . .	0,000666	: 2
Pour le plomb. . . . .	0,000307	} 0,000332 : 1
Pour l'argent. . . . .	0,000025	

où l'on voit que la somme des nombres atomiques du plomb et de l'argent est sensiblement la moitié du nombre atomique du soufre. Par conséquent, le minéral est un bisulfure dont les bases sont l'argent et le plomb, que l'on peut écrire ainsi,  $(\text{Pb}, \text{Ag})\text{S}^2$ , ou  $\left. \begin{matrix} \text{Pb} \\ \text{Ag} \end{matrix} \right\} \text{S}^2$ , ou enfin  $(\text{Pb Ag S}^2)$ ; c'est un mélange de deux sulfures de même formule, dont nous déterminerons tout à l'heure les quantités relatives en poids.

2<sup>o</sup> Il existe dans la nature une substance, l'amphibole tremolite, qui se rapporte à la formule chimique  $\text{Ca Si}^2 + \text{M}^3 \text{Si}^4$ , où l'on voit que l'oxygène des bases est à l'oxygène de la silice dans le rapport de 4 à 9, celui de la magnésie étant d'ailleurs trois fois celui de la chaux. Cette formule donne en poids :

Silice. . . . .	0,6050
Chaux. . . . .	0,1243
Magnésie. . . . .	0,2707
	1,0000

Mais il y a beaucoup d'autres substances, que leurs caractères physiques font regarder aussi comme des

amphiboles, et dont les analyses sont beaucoup plus compliquées, telles que par exemple :

Silice. . . . .	0,531	tenant	oxygène	0,2758	. . . . .	9
Alumine.. . . .	0,041	. . . . .		0,0191		
Chaux. . . . .	0,106	. . . . .		0,0297	. . . . .	1
Magnésie.. . . .	0,104	. . . . .		0,0402	} . . . 3	} 4
Bioxide de fer. .	0,218	. . . . .		0,0496		

où l'on ne voit pas d'abord comment il peut en résulter une formule analogue à la précédente. Or, si après avoir cherché les quantités d'oxygène, on rassemble celle de la chaux, de la magnésie et du bioxide de fer, on trouve 0,1195, nombre qui est à celui 0,2758 dans un rapport assez rapproché de 4 à 9; de plus, si l'on réunit seulement l'oxygène de la magnésie et du bioxide de fer, on trouve 0,898, nombre qui est à celui 0,0297, que présente la chaux, à peu près comme 3 à 1. On voit donc que la seule différence importante qui existe entre cette analyse et la composition que nous avons donnée, consiste en ce qu'il y a une certaine quantité de bioxide de fer qui remplace la magnésie; ou autrement que le corps proposé est un mélange de la formule  $\text{Ca Si}^2 + \overset{\text{M}}{\text{Si}}^3$ , avec une autre qui serait  $\text{Ca Si}^2 + \overset{\text{F}}{\text{Si}}^3$ ; ou généralement  $\text{Ca Si}^2 + \overset{\text{M}}{\text{F}}^3 \text{Si}^4$ .

A la vérité il faut négliger ici un peu de silice en excès, de l'alumine dont on ignore l'origine, et un léger excès de magnésie ou de bioxide de fer, relativement à la chaux; mais nous allons bientôt voir à quoi tiennent ces différences, et en isolant d'autres matières étrangères, faire encore mieux ressortir le résultat que nous avons annoncé.

(235) C'est par ces sortes de substitutions d'un oxide à un autre, qu'on peut concevoir la coloration accidentelle des substances par combinaisons chimiques, et c'est en effet ce que l'on observe le plus ordinaire-

ment. La trémolite, par exemple, est blanche lorsqu'elle est tout-à-fait pure; mais du moment qu'un peu de bi-oxide de fer vient à remplacer une portion de magnésie, la couleur passe au vert, qui est d'autant plus foncé, que la quantité de cet oxide est plus grande. Lorsque le corps renferme comme principe essentiel une certaine quantité d'alumine, il arrive que cette substance est remplacée par du tri-oxide de fer (peroxide de fer) ou du tri-oxide de manganèse (oxide rouge de manganèse) et la couleur devient rouge. Nous aurons occasion, dans la description des espèces, de faire plusieurs autres observations à cet égard.

(236) *Calcul des mélanges.* — Toutes les fois qu'une analyse, faite avec précision, ne présente pas entre ses principes, d'une manière sensiblement exacte, les rapports simples que nous avons indiqués, il est extrêmement probable que la substance qui en a été l'objet, renferme des matières étrangères, et il devient alors nécessaire de la discuter, pour découvrir, si l'on peut, la nature et la quantité de ces matières. Il se présente alors deux cas principaux; 1° l'analyse dont il est question peut être tout-à-fait isolée; 2° cette analyse peut être accompagnée de renseignements sur la nature des substances qui ont cristallisé en même temps que celle qu'on a spécialement étudiée: ce dernier cas se divise lui-même en plusieurs autres.

(237) *Calcul d'une analyse isolée.* — Tout ce que l'on peut faire sur une analyse isolée, est de chercher si elle n'offre pas une réunion de corps isomorphes dont on puisse calculer les quantités en poids, ou si elle ne satisfait pas à quelque hypothèse qui se présente plus ou moins naturellement. Quelquefois alors on arrive à un résultat exact, mais le plus souvent on trouve des restes, qu'on peut alors regarder comme des principes surabondants, dont quelquefois il est

possible de faire des combinaisons en proportions définies. Établissons par des exemples, le mode de calcul que l'on peut suivre.

*Premier exemple.* Reprenons d'abord l'analyse de la galène de Schemnitz, qui a donné

	Nombres atomiques.	
Soufre.. . .	0,134 . . . . .	0,000666 : 2
Plomb. . . .	0,796 . . . 0,000307	} 0,000332 : 1
Argent. . . .	0,070 . . . 0,000025	
	1,000	

En cherchant les nombres atomiques correspondants, on voit, comme nous l'avons dit, que le nombre atomique du soufre est sensiblement le double de la somme des nombres atomiques du plomb et de l'argent; par conséquent, à très peu de chose près, le corps analysé est un mélange de bisulfure de plomb et de bisulfure d'argent. Cela posé, pour calculer la quantité de chacun de ces bisulfures, on cherchera la composition en poids du bisulfure de plomb et du bisulfure d'argent, que l'on trouve.

Bisulfure de plomb.		Bisulfure d'argent.	
Soufre. . . .	0,1345	Soufre. . . .	0,1295
Plomb. . . .	0,8655	Argent.. . .	0,8705
	1,0000		1,0000

On fera ensuite les proportions suivantes ,

			Soufre cherché.
Plomb.	Soufre.	Plomb donné.	
0,8655	: 0,1345	:: 0,796	: x = 0,1236
		Plomb donné. . . .	0,7960
			Bisulfure de plomb. 0,9196

			Argent cherché.
Argent.	Soufre.	Argent donné.	
0,8705	: 0,1295	:: 0,070	: x = 0,0104
		Argent donné. . . .	0,0700
			Bisulfure d'argent. . . 0,0804

Par conséquent le corps est un mélange de

Bisulfure de plomb, ou galène. . . . .	0,9196
Bisulfure d'argent . . . . .	<u>0,0804</u>
	1,0000

*Deuxième exemple.* Nous venons de voir une analyse dans laquelle on reconnaît immédiatement des rapports dans les nombres atomiques, ce qui conduit directement au calcul que nous avons fait. Mais il n'en est pas toujours ainsi : les analyses sont quelquefois telles, qu'on ne trouve plus de rapport, même par à peu près, dans les nombres atomiques qui correspondent aux poids relatifs des diverses matières; dès lors on n'a plus qu'à chercher si les éléments satisfont à quelques combinaisons simples, prises parmi celles que l'on est conduit à regarder comme les plus naturelles. Prenons-en un exemple. M. Stromeyer a fait l'analyse d'une matière, qu'on a érigée en espèce, sous le nom de *Wodan-Kies*, dans laquelle il a trouvé

	Nombres atomiques.
Arsenic. . . . .	56,2015 . . . 0,0599
Soufre . . . . .	10,7137 . . . 0,0532
Nikel. . . . .	16,2890 . . . 0,0220
Fer. . . . .	11,1238 . . . 0,0164
Cobalt, avec traces de manganèse. . . . .	4,2557 . . . 0,0058
Cuivre . . . . .	0,7375 . . . 0,0009
Plomb . . . . .	0,5267 . . . 0,0002
Antimoine . . . . .	Traces.

où l'on voit que les nombres atomiques ne présentent aucun rapport entre eux, même en rassemblant d'un côté les matières électro-négatives; soufre et arsenic, et de l'autre les matières électro-positives; par conséquent la substance est très probablement un mélange de matières fort hétérogènes. Pour le calculer, il faut remarquer que le nikel et le cobalt, se trouvent dans la nature, à l'état de biarséniures; que le fer se trouve



soit à l'état de quadrisulfure , soit réuni avec le cuivre et le soufre , où il constitue le cuivre pyriteux ; que le plomb se trouve à l'état de bisulfure , etc. On peut donc essayer de faire ces divers composés , en partant des nombres atomiques pour vérifier promptement la supposition , avant de faire aucun calcul. On prendra donc

Pour Ni As <sup>2</sup> . . .	{	Ni = 0,0220	
		As <sup>2</sup> = 0,0440	
Pour Co A <sup>2</sup> . . .	{	Co = 0,0058	
		As <sup>2</sup> = 0,0116	
Pour Cu F S <sup>4</sup> , cuivre pyriteux.	{	Cu = 0,0009	
		F = 0,0009	
		S <sup>4</sup> = 0,0036	
Pour Pb S <sup>2</sup> . . .	{	Pb' = 0,0002	
		S <sup>2</sup> = 0,0004	
Pour F S <sup>4</sup> . . .	{	S <sup>4</sup> = 0,0492	soufre restant.
		F = 0,0123	
Restes. . . . .	{	F = 0,0032	
		As = 0,0043	

On peut, avec ce reste , faire un arsénure de fer , et il y aura 0,0011 d'atome d'arsenic surabondant , ou bien un biarsénure, et il y aura 0,00105 d'atome de fer surabondant La première supposition est la plus naturelle , parce qu'on trouve souvent l'arsenic à l'état métallique parmi les minerais de nikel et de cobalt , tandis qu'on n'y connaît pas le fer. Il résulte de cette discussion que la substance peut être considérée comme un mélange de

- Biarsénure de nikel.
- Biarsénure de cobalt.
- Arsénure de fer.
- Quadrisulfure de fer, ou pyrite.
- Cuivre pyriteux.
- Bisulfure de plomb, ou galène.
- Arsenic métallique.

Si l'on veut établir les poids de chacune de ces matie-

res, il n'y a qu'à réunir les éléments proportionnellement aux compositions en poids de chaque substance, que l'on trouve dans les tables, ou que l'on peut établir. On fera :

Nikel.	Arsenic.	Nikel donné.	Arsenic cherché.
28,21	: 71,79	:: 16,289	: $x = 41,452$
		Nikel donné. . . . .	16,289
			<hr/>
		Biarséniure de nikel. .	57,741

Cobalt.	Arsenic.	Cobalt donné.	Arsenic cherché.
28,17	: 71,83	:: 4,2557	: $\gamma = 10,8515$
		Cobalt donné. . . . .	4,2557
			<hr/>
		Biarséniure de cobalt.	15,1072

Cuivre.	Fer.	Cuivre donné.	Fer cherché.
34,79	: 29,82	:: 0,7375	: $z = 0,6321$

Cuivre.	Soufre.	Cuivre donné.	Soufre cherché.
34,79	: 35,38	:: 0,7375	: $u = 0,7500$
		Cuivre donné. . . . .	0,7375
			<hr/>
		Cuivre pyriteux. . . .	2,1196

Plomb.	Soufre.	Plomb donné.	Plomb cherché.
86,55	: 13,45	:: 0,5267	: $v = 0,0817$
		Plomb donné. . . . .	0,5267
			<hr/>
		Sulfure de plomb. . . .	0,6084

Soufre.	Fer.	Soufre restant.	Fer cherché.
54,26	: 45,74	:: 9,8820	: $t = 8,3303$
		Soufre restant. . . . .	9,8820
			<hr/>
		Quadrifusure de fer. .	18,2123

Fer.	Arsenic.	Fer restant.	Arsenic cherché.
41,90	: 58,10	:: 2,1614	: $s = 2,9971$
		Fer restant. . . . .	2,1614
			<hr/>
		Arséniure de fer. . . .	5,1585

par conséquent le minéral se compose en poids de  
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Biarséniure de nikel. . . . .	57,7410
Biarséniure de cobalt. . . . .	15,1072
Arséniure de fer. . . . .	5,1585
Quadrifluore de fer (pyrite). . . . .	18,2123
Cuivre pyriteux. . . . .	2,1332
Bisulfure de plomb (galène). . . . .	0,6084
Arsenic métallique. . . . .	0,9009

*Troisième exemple.* Reprenons aussi l'analyse d'amphibole, que nous avons comparée à la formule de l'amphibole tremolite.

Silice. . . . .	0,531	tenant	oxygène	0,2758	. . . . .	9
Alumine. . . . .	0,041	. . . . .	0,0191	. . . . .		
Chaux. . . . .	0,106	. . . . .	0,0297	. . . . .		1
Magnésie. . . . .	0,104	. . . . .	0,0402	} . . . . .		3
Bioxide de fer. . . . .	0,218	. . . . .	0,0496			

La comparaison des quantités d'oxygène nous fait voir que le corps qui a fait l'objet de cette analyse, est un mélange d'une substance de la formule  $\text{Ca}\ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{M}}^3\ddot{\text{Si}}^4$  avec une autre de la formule  $\text{Ca}\ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{F}}^3\ddot{\text{Si}}^4$ , comme nous l'avons déjà fait remarquer : or il s'agit de calculer en poids la quantité de l'un et de l'autre de ces corps, dont l'un est la *tremolite* pure, et dont l'autre est le type de l'espèce que nous décrirons sous le nom d'*actinote*.

On peut faire ce calcul de deux manières ; dans l'une on peut partir des quantités pondérables fournies par l'analyse, et combiner d'une part, la magnésie, la chaux, la silice proportionnellement aux quantités que donne la formule  $\text{Ca}\ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{M}}^3\ddot{\text{Si}}^4$  exprimée en poids, et de l'autre le bioxide de fer, la chaux, la silice proportionnellement aux quantités que la formule  $\text{Ca}\ddot{\text{Si}}^2 + \ddot{\text{F}}^3\ddot{\text{Si}}^4$  donne en poids. Dans la seconde manière, il faut partir des quantités relatives d'oxygène que renferment les différents oxides, combiner l'oxygène

de la magnésie avec des portions de l'oxygène qui appartient à la chaux et à la silice, suivant les relations indiquées par la formule  $\text{Ca}\ddot{\text{S}}\text{i}^2 + \text{M}^3\ddot{\text{S}}\text{i}^4$ , et ensuite le reste de l'oxygène de la chaux avec de l'oxygène du bioxide de fer et de la silice, suivant les relations indiquées par la formule  $\text{Ca}\ddot{\text{S}}\text{i}^2 + \text{F}^3\ddot{\text{S}}\text{i}^4$ . On repasse ensuite de ces portions d'oxygène aux quantités relatives de matières correspondantes. Cette dernière méthode a, sur la première, le grand avantage qu'il n'est pas nécessaire d'établir par avance la composition en poids des corps que l'on soupçonne d'être mélangés, et qu'on n'a de calculs à faire qu'après avoir vérifié si la supposition que l'on a faite est admissible; nous donnerons cependant un exemple de chacune des méthodes.

*Première méthode.* Les formules  $\text{Ca}\ddot{\text{S}}\text{i}^2 + \text{M}^3\ddot{\text{S}}\text{i}^4$ , et  $\text{Ca}\ddot{\text{S}}\text{i}^2 + \text{F}^3\ddot{\text{S}}\text{i}^4$ , donnent en poids les quantités suivantes.

<i>Première Formule.</i>	<i>Deuxième Formule.</i>
Silice. . . . . 0,6050	Silice. . . . . 0,5086
Chaux. . . . . 0,1243	Chaux. . . . . 0,1045
Magnésie. . . . . 0,2707	Bioxide de fer. . . . . 0,3868
<u>1,0000</u>	<u>0,9999</u>

On prendra donc d'abord la magnésie que présente l'analyse, et on la combinera avec de la chaux et de la silice, proportionnellement aux nombres de la première formule par les proportions.

Magnésie.	Chaux.	::	Magnésie donnée.	::	Chaux cherchée.	=	0,0477
0,2707	0,1243		0,104		x		
Magnésie.	Silice.	::	Magnésie donnée.	::	Silice. cherchée.	=	0,2324
0,2707	0,6050		0,104		y		
			Magnésie donnée. . . . .		0,1040		
			Trémolite. . . . .		<u>0,3841</u>		

On prendra ensuite le reste de la chaux 0,0583 que

l'on combinera avec du bioxide de fer et de la silice, proportionnellement aux nombres de la seconde formule par les proportions.

Chaux.	Bioxide de fer.	::	Chaux donnée.	:	Bioxide de fer cherché.	
0,1045	0,3868	::	0,0583	:	x	= 0,2157
Chaux.	Silice.	::	Chaux donnée.	:	Silice cherchée.	
0,1045	0,5086	::	0,0583	:	γ	= 0,2837
			Chaux restante. . . . .			0,0583
			Actinote. . . . .			<u>0,5577</u>

Ce calcul fait, il reste :

Silice. . . . .	0,0139
Alumine. . . . .	0,0410
Bioxide de fer. . . . .	0,0023

d'après cela, on peut admettre que la substance analysée, se compose de

Amphibole.	{	Trémolite. . . 0,3831	}	0,9418
		Actinote . . . 0,5577		
Mélange de	{	Silice. . . . . 0,0139		
		Alumine. . . . . 0,0410		
		Bioxide de fer. . . . . 0,0023		
				<u>0,9990</u>

la petite erreur tient aux décimales négligées dans le calcul.

On pourrait chercher si la silice, l'alumine et le bioxide de fer qui restent, ne peuvent pas se combiner en quelque proportion; mais ce serait agir au hasard, puisque l'analyse n'étant accompagnée d'aucun renseignement, on ignore entièrement ce qui a pu introduire le mélange, qui peut être tout différent de ce que l'on pourrait faire avec le reste.

*Deuxième méthode.* Il faut remarquer dans les formules que nous avons indiquées, que les quantités

d'oxygènes de la chaux, de la magnésie ou bien du bioxide de fer, et de la silice, sont comme les nombres 1, 3, 9. Partant donc de l'oxygène de la magnésie, on prendra  $\frac{1}{3}$  de cette quantité d'oxygène pour la chaux, et 3 fois cette quantité pour la silice, ce qui donnera la trémolite comme il suit :

Oxygène de silice. . . . .	0,1206	: 9
Oxygène de chaux. . . . .	0,0134	: 1
Oxygène de magnésie. . . . .	0,0402	: 3

Cherchant le reste de l'oxygène de la chaux, on prendra 3 fois autant d'oxygène dans le bioxide de fer, et 9 fois autant d'oxygène dans la silice, ce qui donnera pour l'actinote :

Oxygène de silice. . . . .	0,1467	: 9
Oxygène de chaux. . . . .	0,0163	: 1
Oxygène de bioxide de fer. . . . .	0,0489	: 3

Après cela il reste :

Oxygène de silice. . . . .	0,0085
Oxygène d'alumine. . . . .	0,0191
Oxygène de bioxide de fer. . . . .	0,0007

Il n'y a plus qu'à calculer les quantités de silice, de chaux, de magnésie, de bioxide de fer, qui correspondent aux portions d'oxygène que nous venons de trouver. Il suffit pour cela de chercher dans les tables les quantités d'oxygène et de base que chacun de ces oxides renferme, et d'établir ensuite les proportions.

Pour la trémolite.	}	Oxygène. . . . .	Silice. . . . .	::	Oxygène donné.	:	Silice cherchée.	=	0,2322
		0,5195	: 1		0,1206	:	$x$		
		Oxygène. . . . .	Chaux. . . . .	::	Oxygène donné	:	Chaux cherchée.	=	0,0477
		0,2809	: 1		0,0134	:	$\gamma$		
		Oxygène de magnésie.	0,0402	=	Magnésie	0,1040			
					Trémolite. . . . .				0,3839

Pour l'actinote.	{	Oxigène.	Silice.	::	Oxigène donné.	:	Silice cherchée.	=	0,2824	
		0,5195	1		0,1467	x				
		Oxigène.	Chaux.	::	Oxigène donné.	:	Chaux cherchée.	=	0,0580	
		0,2809	1		0,0163	y				
		Oxigène.	Bioxide de fer.	::	Oxigène donné.	:	Bioxide de fer cherché.	=	0,2147	
		0,2277	1		0,0489	z				
							Actinote. . . . .		0,5551	
Pour les restes.	{	Oxigène.	Silice.	::	Oxigène donné.	:	Silice cherchée.	=	0,0163	
		0,5195	1		0,0085	x				
		Oxigène.	0,0191 correspond à alumine. . . . .							0,0410
		0,0191								
		Oxigène.	Bioxide de fer.	::	Oxigène donné.	:	Bioxide de fer cherché.	=	0,0030	
		0,2277	1		0,0007	x				

par où l'on voit que la substance se compose de

Amphibole. . .	{	Trémolite. . . . .	0,3839
		Actinote. . . . .	0,5551
		Silice. . . . .	0,0163
Mélange de. . .	{	Alumine. . . . .	0,0410
		Bioxide de fer. . . . .	0,0030
			0,9993

Les nombres que l'on trouve ici se rapportent, par les premiers chiffres décimaux, à ceux que l'on a trouvés par la première méthode; mais ils en diffèrent dans les suivants, ce qui tient à ce que les décimales négligées pour le calcul des quantités d'oxigènes, ne sont pas exactement dans le même rapport que celles qu'on a négligées pour établir les compositions en poids, dont nous sommes partis dans la première méthode.

(238) *Calcul des analyses accompagnées de renseignements.* — En voilà assez pour des analyses isolées; il est rare qu'elles fournissent des résultats exacts, et il en résulte seulement qu'elles indiquent assez sou-

vent que la matière qu'on a analysée, renferme une grande quantité de telle ou telle formule, ce qui permet de la rapporter à telle ou telle espèce, ou bien d'en faire peut-être une espèce nouvelle. Cependant il reste toujours quelques doutes dans l'esprit, soit par suite des résidus dont on ne sait que faire, soit parce qu'on ne peut pas être certain que les mélanges, en dérangeant les proportions réelles, ne leur ont pas donné une fausse apparence d'autres proportions définies. Passons au cas où l'on possède quelques renseignements sur la nature des substances qui accompagnent celle qu'on veut particulièrement examiner. Il se présente alors diverses circonstances, qui tantôt facilitent le calcul, et tantôt le compliquent; nous allons en offrir quelques exemples.

*A.* L'analyse pouvant se partager immédiatement en deux.

Reprenons de nouveau l'analyse d'amphibole que nous venons de discuter, en la supposant isolée. La substance qui en a été l'objet était en prismes rhomboïdaux d'environ 124<sup>d</sup>, accompagnée d'une matière granulaire verte, comparable à celle qu'on nomme épidote, et de la quelle j'ai tiré

Silice. . . . .	0,424	tenant	oxigène	0,21996	. . . . .	3
Alumine. . . . .	0,273	. . . . .		0,12751	. . . . .	2
Chaux. . . . .	0,109	. . . . .		0,03062	} . . . . .	1
Bioxide de fer. . . . .	0,183	. . . . .		0,04167		
Magnésie. . . . .	0,011	. . . . .		0,00426		
	<hr/>					
	1,000					

On voit dans cette analyse, qu'en laissant de côté la magnésie, la somme des quantités d'oxigène de la chaux et du bioxide de fer, est à peu près le tiers de la silice, et un peu plus du double de l'oxigène de l'alumine, en sorte qu'on peut partager la silice entre



l'alumine et les bases bioxides, pour former avec ces matières de simples silicates, dans lesquels l'alumine renfermerait deux fois l'oxygène des autres bases; c'est-à-dire

qu'on aurait la formule minéralogique  $\left. \begin{matrix} Ca \\ f \end{matrix} \right\} Si + 2 A Si,$

ou la formule chimique  $\left. \begin{matrix} \text{Ca} \\ \text{F} \end{matrix} \right\} \text{Si}^3 + 4 \text{Ä Si}.$  La substance

serait un mélange de deux formules de même genre, dont l'une constitue l'épidote zoïsite, l'autre l'épidote thallite; mais il y aurait de la silice, de la magnésie, du bioxide de fer en surabondance. En effet en calculant cette analyse comme nous avons fait de la première, on trouverait

Épidote. .	{	Zoïsite. . . . .	0,417	}	0,896
		Thallite. . . . .	0,479		
		Silice. . . . .	0,055		
Mélange de	{	Magnésic. . . . .	0,011		
		Bioxide de fer. . . . .	0,037		
					0,999

On trouverait à faire avec ces restes du bisilicate de magnésie et du bisilicate de fer, avec très peu de silice surabondante; mais puisque les substances minérales en cristallisant ensemble, se mélangent entre elles de toutes les manières, il est bien plus naturel de penser que l'anomalie qu'on trouve ici, provient du mélange d'une petite quantité de l'amphibole; et réciproquement, que l'anomalie que présente l'amphibole provient du mélange d'une certaine quantité de l'épidote avec laquelle elle a cristallisé. En effet si on discute les analyses dans cette hypothèse, elles deviennent toutes les deux parfaitement claires.

Pour faire cette discussion, il faut remarquer que l'alumine doit appartenir tout entière à l'épidote, par conséquent les analyses peuvent chacune se par-

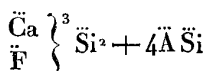
tager en deux. Considérons d'abord l'analyse de l'amphibole qui présente

Silice. . . . .	0,531	tenant	oxigène	0,2758
Alumine . . . . .	0,041	. . . . .		0,0191
Chaux. . . . .	0,106	. . . . .		0,0297
Magnésie. . . . .	0,104	. . . . .		0,0402
Bioxide de fer. . . . .	0,218	. . . . .		0,0496

Le mode de calcul le plus simple, est de partir des quantités d'oxigène, et pour cela de réunir en une seule somme, celles qui se rapportent aux oxides à deux atomes d'oxigènes, ce qui donnera

Silice tenant oxigène. . . . .	0,2758
Alumine . . . . .	0,0191
Oxigène de bioxide. . . . .	0,1195

Maintenant la formule des épidotes étant



les quantités d'oxigène de la silice, de l'alumine et des bioxides de cette substance sont dans le rapport des nombres 3, 2 et 1. On prendra donc l'oxigène de l'alumine pour point de départ, et on le réunira avec des quantités d'oxigène de silice et de bioxide, de manière à avoir le rapport des nombres 3, 2 et 1; c'est-à-dire qu'on prendra

Oxigène de silice. . . . .	0,02865	: 3
Oxigène d'alumine donné. . . . .	0,01910	: 2
Oxigène de bioxide. . . . .	0,00955	: 1

Voilà les épidotes isolées, et il nous reste

Oxigène de silice. . . . .	0,24715	: 9
Oxigène de bioxide. . . . .	0,10995	: 4

Ces restes sont exactement dans le rapport des nombres 4 et 9, qui constituent les amphiboles; par conséquent la supposition que nous avons faite, que la substance

était un mélange d'épidote et d'amphibole, se trouve complètement vérifiée, et il ne s'agit plus que de calculer les quantités numériques de chaque substance.

Pour faire ce calcul, il faut actuellement choisir les bioxydes que nous avons tous réunis; pour faire ce choix, nous remarquerons que les analyses que l'on possède des épidotes, n'indiquent pas que la magnésie fasse partie de leur composition, et qu'au contraire, presque toutes les analyses d'amphiboles présentent de la magnésie: c'est donc à un amphibole, et particulièrement à l'amphibole trémolite que nous devons affecter cette base. Pour faire l'amphibole trémolite, on prendra toute la magnésie, que l'on réunira à de la silice et de la chaux, de telle manière que les quantités d'oxygène soient dans le rapport des nombres 3, 9 et 1, savoir:

Oxygène de silice. . . . .	0,1206 : 9
Oxygène de la magnésie. . . . .	0,0402 : 3
Oxygène de chaux. . . . .	0,0134 : 1

On fera ensuite l'amphibole actinote, en prenant le reste de l'oxygène de la silice consacrée aux amphiboles, et la joignant, suivant les mêmes rapports, avec de la chaux et du bioxyde de fer, savoir:

Oxygène reste de la silice. . . . .	0,12655 : 9
Oxygène de bioxyde de fer. . . . .	0,04218 : 3
Oxygène de chaux. . . . .	0,01406 : 1

Maintenant on prendra le reste de la chaux pour former de l'épidote zoisite, en combinant la quantité d'oxygène qui s'y rapporte avec 3 fois autant d'oxygène de silice et 2 fois autant d'oxygène d'alumine, suivant la formule  $\text{Ca}^3\text{Si}^2 + 4\text{AlSi}$ , c'est-à-dire

Oxygène de silice. . . . .	0,00672 : 3
Oxygène d'alumine. . . . .	0,00448 : 2
Oxygène de chaux. . . . .	0,00224 : 1

Enfin on fera de l'épidote thallite avec tous les restes qui sont

Oxigène reste de silice. . . . .	0,02193	: 3
Oxigène reste d'alumine. . . . .	0,01462	: 2
Oxigène reste de bioxide de fer. . . . .	0,00731	: 1

Ce partage fait, il n'y a plus qu'à calculer les quantités relatives d'oxide, d'après les proportions d'oxigène que chacun d'eux renferme, et qu'on trouvera dans les tables. Pour la trémolite, on fera

Oxigène.	Silice.	Oxigène donné.	Silice cherchée.
0,5195	: 1	:: 0,1206	: $x = 0,2322$
Oxigène.	Chaux.	Oxigène donné.	Chaux cherchée.
0,2809	: 1	:: 0,0134	: $\gamma = 0,0477$
Oxigène de magnésic.		0,0402 = magnésic	0,1040
		Trémolite. . . . .	<u>0,3839</u>

Pour l'actinote, on fera ces autres proportions :

Oxigène.	Silice.	Oxigène donné.	Silice cherchée.
0,5195	: 1	:: 0,12655	: $x = 0,2436$
Oxigène.	Chaux.	Oxigène donné.	Chaux cherchée.
0,2809	: 1	:: 0,01406	: $\gamma = 0,0501$
Oxigène.	Bioxide de fer.	Oxigène donné.	Bioxide de fer cherché.
0,2277	: 1	:: 0,04218	: $z = 0,1852$
		Actinote. . . . .	<u>0,4789</u>

Pour l'épidote zoïsité on aura les proportions

Oxigène.	Silice.	Oxigène donné.	Silice cherchée.
0,5195	: 1	:: 0,00672	: $x = 0,0129$
Oxigène.	Alumine.	Oxigène donné.	Alumine cherchée.
0,4671	: 1	:: 0,00448	: $\gamma = 0,0096$
Oxigène.	Chaux.	Oxigène donné.	Chaux cherchée.
0,2809	: 1	:: 0,00224	: $z = 0,0080$
		IRIS - LILLIAD - Université Lille 1	<u>0,0305</u>
		Zoïsité. . . . .	0,0305

Enfin on aura pour l'épidote thallite

Oxigène.	Silice.	Oxigène donné.	Silice cherchée.
0,5195	: 1	:: 0,02193	: x = 0,0422
Oxigène.	Alumine.	Oxigène donné	Alumine cherché.
0,4671	: 1	:: 0,01462	: y = 0,0313
Oxigène.	Bioxide de fer.	Oxigène donné.	Bioxide de fer cherché.
0,2277	: 1	:: 0,00731	: z = 0,0321
Thallite. . . .			0,1056

par conséquent l'analyse donnée est transformée exactement en

Amphibole. .	{	Trémolite. . . 0,3839	
		Actinote.. . . 0,4789	} 0,863
Épidote. . .	{	Zoisite. . . . 0,0305	
		Thallite. . . . 0,1056	} 0,999

En prenant la seconde analyse, celle de la substance granulaire qui a tous les caractères physiques de l'épidote, et qui approche d'en avoir la composition chimique, et la discutant absolument de la même manière, on trouvera qu'elle peut être transformée exactement en

Épidote.. . .	{	Thallite. . . . 0,527	
		Zoisite. . . . 0,371	} 0,898
Amphibole. .	{	Actinote. . . . 0,060	
		Trémolite.. . . 0,042	} 1,000

On voit par conséquent que ces deux analyses qui présentaient l'une et l'autre des anomalies très marquées, s'éclairent mutuellement par la circonstance qu'elles appartiennent à des substances qui ont cristallisé ensemble; discutées simultanément, elles sont ramenées à des composés fixes, qui renferment des mélanges dont la nature est alors bien connue :

l'une est réellement de l'épidote mélangée d'amphibole, l'autre de l'amphibole mélangée d'épidote.

*B. Analyses renfermant des composés de même base, ou de bases isomorphes, d'ordres différents.*

Tous les corps qui se trouvent ensemble dans la même solution, sont susceptibles de se mélanger; par conséquent s'il s'y trouve des composés de même base, qui diffèrent par les proportions, comme par exemple, un sel et un bi-sel, ils doivent également se mélanger. C'est en effet ce que j'ai observé dans mon travail sur les sels, et ce que j'ai constaté par des analyses comparatives à l'égard des substances minérales; mais ce mélange fait que le calcul des analyses des corps qui en résultent, est un peu plus compliqué que ceux dont nous avons jusqu'ici donné des exemples. Le partage des éléments ne peut avoir lieu que par la solution de quelques équations à plusieurs inconnues.

Le problème qu'on a alors à résoudre, consiste à partager la quantité de chacun des corps trouvés par l'analyse, ou bien les nombres atomiques correspondants, ou enfin les quantités d'oxygènes si ce sont des oxides, en diverses portions, de manière à avoir autant de séries de nombres que l'on suppose de corps mélangés, sous la condition que, dans chaque série, les nombres soient en rapport avec telle ou telle formule de composition.

Soient  $x, x', x'',$  etc., les portions de divers éléments électro-positifs et électro-négatifs, ou les quantités atomiques de ces corps, ou enfin les portions d'oxygène correspondantes, qui se rapportent à l'une des formules de composition. Soient  $y, y', y'',$  etc., des portions des mêmes corps qui se rapportent à une seconde formule; soient  $z, z', z'',$  etc., les portions qui

se rapportent à une troisième formule, etc. etc.,  $x, y, z$ , appartenant au corps électro-négatif,  $x', y', z'$ ,  $x'', y'', z''$ , etc., appartenant aux corps électro-positifs. On aura d'abord les équations

$$\begin{aligned} x + y + z, \text{ etc.} &= \left\{ \begin{array}{l} \text{Poids du corps électro-négatif, quantité atomique de ce corps, ou oxygène correspondant.} \end{array} \right. \\ x' + y' + z', \text{ etc.} &= \left\{ \begin{array}{l} \text{Poids d'un des corps électro-positifs, quantité atomique de ce corps, ou oxygène correspondant.} \end{array} \right. \\ x'' + y'' + z'', \text{ etc.} &= \left\{ \begin{array}{l} \text{Poids d'un autre corps électro-positif, quantité atomique de ce corps, ou oxygène correspondant.} \end{array} \right. \\ \text{etc.} & \qquad \qquad \qquad \text{etc.} \end{aligned}$$

Maintenant on connaît, par des observations quelconques, les lois de composition de chacun des corps que l'on suppose mélangés; par conséquent on a des rapports entre les quantités  $x, x', x''; y, y', y''; z, z', z''$ , etc. d'où l'on peut tirer  $x'$  et  $x''$  en fonctions de  $x; y'$  et  $y''$ , en fonctions de  $y; z'$  et  $z''$ , en fonctions de  $z$ , etc. etc. Il en résulte donc que la première équation restant la même, les autres se trouvent transformées en  $x, y, z$ , etc.; c'est-à-dire que l'on parvient en général à avoir autant d'équations qu'il y a d'inconnues  $x, y, z$ , etc.: il n'y a plus qu'à résoudre ces équations, et à substituer les valeurs de  $x, y, z$ , dans les expressions conditionnelles que l'on a pour  $x', x'', y', y'', z', z''$ , etc.

Telle est la marche générale qu'il faut suivre; nous allons l'éclaircir par des exemples.

Un échantillon de matière minérale de l'île St-Jean dans les Antilles, présentait deux sortes de matières, l'une verte, partie bacillaire, partie granulaire, et une rougeâtre en cristaux dodécaèdres. La première semblait minéralogiquement se rapporter à de l'épidote, l'autre présentait les caractères des grenats. Les analyses ont fourni :

Silice. . . . .	0,409	tenant oxygène	0,21247	. . . . .	: 3
Alumine . . . . .	0,289	. . . . .	0,13499	. . . . .	: 2
Chaux . . . . .	0,162	. . . . .	0,04550	} . . . . .	: 1
Bioxide de fer. . . . .	0,140	. . . . .	0,03188		

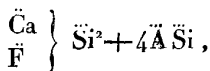
Silice. . . . .	0,403	tenant oxygène	0,20936	. . . . .	: 2
Alumine . . . . .	0,234	. . . . .	0,10930	. . . . .	: 1
Chaux . . . . .	0,210	. . . . .	0,05899	} . . . . .	: 1
Magnésie. . . . .	0,037	. . . . .	0,01432		
Bioxide de fer. . . . .	0,116	. . . . .	0,02641		

On voit qu'en effet, dans la première, l'oxygène des deux bioxides réunis, celui de l'alumine et de la silice, approchent d'être dans le rapport des nombres 1, 2 et 3, ce qui est le cas des épidotes; dans la seconde, les mêmes quantités approchent d'être dans le rapport des nombres 1, 1 et 2, ce qui est le cas des grenats: mais ni dans l'une ni dans l'autre analyse, ces rapports ne sont exacts. Or comme les deux substances se trouvent ensemble, et qu'elles sont toutes deux formées des mêmes principes en diverses proportions, on peut soupçonner que c'est de leurs mélanges que résultent les inexactitudes que l'on remarque dans les rapports.

Pour vérifier cette conjecture, nommons  $x$ ,  $x'$ ,  $x''$  les quantités d'oxygène de la silice, de l'alumine et des bioxides, qui doivent former les épidotes; nommons  $y$ ,  $y'$ ,  $y''$  les quantités de même genre qui doivent entrer dans les grenats, nous aurons d'abord :

$$\begin{aligned} x + y &= 0,21247 \text{ oxygène de la silice.} \\ x' + y' &= 0,13499 \text{ oxygène de l'alumine.} \\ x'' + y'' &= 0,07738 \text{ oxygène des bioxides réunis.} \end{aligned}$$

Maintenant la formule des épidotes étant

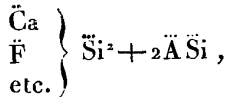


les quantités d'oxygène de la silice, de l'alumine et



des bioxides, sont comme les nombres 3, 2 et 1; par conséquent nous avons  $x' = \frac{2x}{3}$ , et  $x'' = \frac{x'}{2} = \frac{x}{3}$ .

La formule des grenats étant



les quantités d'oxygène de la silice, de l'alumine et des bioxides, sont dans cette substance dans le rapport des nombres 2, 1 et 1; par conséquent nous avons

$$\gamma' = \frac{\gamma}{2}, \gamma'' = \gamma' = \frac{\gamma}{2}.$$

En substituant ces conditions dans les équations précédentes, elles deviennent

$$x + \gamma = 0,21247$$

$$\frac{2x}{3} + \frac{\gamma}{2} = 0,13499$$

$$\frac{x}{3} + \frac{\gamma}{2} = 0,07738$$

Comme il y a ici trois équations et seulement deux inconnues, ce qui arrive très fréquemment dans ces sortes de calcul, il faut que deux d'entre elles satisfassent à la troisième, si l'analyse renferme réellement les deux substances supposées, et rien qu'elles, et si les données fournies par l'opération chimique, sont rigoureusement exactes.

Les deux premières équations donnent les valeurs

$$x = 0,172534, \quad \gamma = 0,039936$$

et en substituant dans les diverses équations on a

$$x' = 0,1150226 \quad \gamma' = 0,019968$$

$$x'' = 0,0575113 \quad \gamma'' = 0,019968$$

$$x + \gamma = 0,21247$$

$$x' + \gamma' = 0,1349906$$

$$x'' + \gamma'' = 0,0774793$$

par où l'on voit qu'il n'y a qu'une légère erreur de 0,0000993 en plus dans la dernière équation, comparativement aux quantités données; c'est-à-dire que nous aurions dû trouver une légère quantité de plus en chaux ou en bioxide de fer, ou peut-être de l'un et de l'autre : si l'erreur était tout entière sur la chaux, on aurait dû en trouver 0,00035 de plus dans l'analyse; or cette quantité est presque inappréciable par nos moyens, et par conséquent elle rentre dans la limite des erreurs possibles.

Cette petite erreur ne peut donc pas nous empêcher d'admettre les valeurs que nous venons de trouver pour  $x$  et  $y$ ; cependant comme il y a trois équations et seulement deux inconnues, et qu'on n'arrive pas à des valeurs rigoureusement exactes, il doit y avoir trois solutions, dont il est nécessaire de comparer les résultats pour savoir s'il n'y en a pas de plus favorable encore que ceux que nous venons de trouver.

La première équation combinée avec la troisième, donne :

$$\begin{array}{rcl} x & = & 0,17313 \\ x' & = & 0,11542 \\ x'' & = & 0,05771 \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} y & = & 0,039342 \\ y' & = & 0,019671 \\ y'' & = & 0,019671 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} x + y & = & 0,21247 \\ x' + y' & = & 0,13509 \\ x'' + y'' & = & 0,07738 \end{array}$$

La seconde équation et la troisième donnent :

$$\begin{array}{rcl} x & = & 0,172725 \\ x' & = & 0,11515 \\ x'' & = & 0,057575 \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} y & = & 0,03968 \\ y' & = & 0,01984 \\ y'' & = & 0,01984 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} x + y & = & 0,212405 \\ x' + y' & = & 0,13499 \\ x'' + y'' & = & 0,077415 \end{array}$$

Dans la seconde solution, l'erreur est portée sur

l'alumine dont on aurait dû trouver 0,0002 de plus par l'analyse. Dans la troisième solution, l'erreur est partagée entre la silice et les bioxydes; il y aurait dans ce cas 0,0001 de silice de trop et 0,0001 de chaux ou de bioxyde de fer de moins, dans les résultats que l'analyse a fournis.

Il est naturel d'adopter cette dernière solution qui partage l'erreur sur deux substances. Nous prendrons donc pour former les épidotes,

$x$	=	oxygène de silice. . . . .	0,172725
$x'$	=	oxygène d'alumine. . . . .	0,115150
$x''$	=	oxygène de bioxydes. . . . .	0,057575

et pour former les grenats

$\gamma$	=	oxygène de silice. . . . .	0,03968
$\gamma'$	=	oxygène d'alumine. . . . .	0,01984
$\gamma''$	=	oxygène de bioxyde. . . . .	0,01984

Maintenant il faut faire le choix des bioxydes pour composer le zoïsite et la thallite, du grenat à base de chaux, ou grossulaire, et du grenat à base de fer, ou almandin, s'il y a lieu. Or, à l'égard du grenat, nous avons encore un nouveau calcul à faire; il est clair que le grenat mélangé est celui dont nous avons fait l'analyse, et nous voyons par cette analyse, que l'oxygène de la chaux qu'il renferme, est à celui du bioxyde de fer, à peu près comme 59 à 26; c'est donc dans ce rapport que nous devons prendre la chaux et l'oxyde de fer des grenats, et que par conséquent nous devons partager le nombre 0,01984 que nous venons de trouver pour  $\gamma''$ , oxygène des bioxydes.

Pour faire ce partage, nommons  $z$  et  $z'$  les deux nombres qui correspondent l'un à la chaux et l'autre au bioxyde de fer; nous aurons d'un côté  $z : z' :: 59 : 26$ , et de l'autre,  $z + z' = 0,01984$ . De ces deux relations nous tirerons  $z = 0,01377$ , et  $z' = 0,00607$ .

Nous prendrons donc pour le grenat à base de chaux, ou grossulaire,

oxygène de silice. . . . .	0,02754	: 2
oxygène d'alumine. . . . .	0,01377	: 1
z = oxygène de chaux. . . . .	0,01377	: 1

Et pour le grenat à base de fer ou almandin,

oxygène de silice. . . . .	0,01214	: 2
oxygène d'alumine. . . . .	0,00607	: 1
z' = oxygène de bioxide de fer. .	0,00607	: 1

Cela fait, nous prendrons pour base le reste de l'oxygène de la chaux, et nous composerons le zoïsite par les quantités

Oxygène de silice. . . . .	0,09519	: 3
Oxygène d'alumine. . . . .	0,06346	: 2
Oxygène reste de chaux. .	0,03173	: 1

Enfin les restes de l'oxygène de la silice, de l'alumine et du bioxide de fer composeront la thallite, pour laquelle on aura :

Oxygène de silice. . . . .	0,077535	: 3
Oxygène d'alumine. . . . .	0,051690	: 2
Oxygène de bioxide de fer. .	0,025845	: 1

Voilà le partage complet ; il ne s'agit plus que de calculer les quantités d'oxide qui correspondent à ces portions d'oxygène. On fera pour le grossulaire :

Oxygène.	Silice.	Oxygène donné.	Silice cherchée.
0,5195	: 1	:: 0,02754	: x = 0,0530
Oxygène.	Alumine.	Oxygène donné.	Alumine cherchée.
0,4671	: 1	:: 0,01377	: γ = 0,0294
Oxygène.	Chaux.	Oxygène donné.	Chaux cherchée.
0,2809	: 1	:: 0,01377	: z = 0,0489
			Grenat grossulaire. . . 0,1313

Pour l'almandin, on fera :

Oxigène.	Silice.	::	Oxigène donné	:	Silice cherchée.	
0,5195	1		0,01214	=	x	= 0,0234
Oxigène.	Alumine.	::	Oxigène donné.	:	Alumine cherchée.	
0,4671	1		0,00607	=	γ	= 0,0130
Oxigène.	Bioxide de fer.	::	Oxigène donné.	:	Bioxide de fer cherché.	
0,2277	1		0,00607	=	z	= 0,0266
Grenat almandin.						<u>0,0630</u>

Pour le zoïsite, on fera :

Oxigène.	Silice.	::	Oxigène donné.	:	Silice cherchée.	
0,5195	1		0,09519	=	x	= 0,1832
Oxigène.	Alumine.	::	Oxigène donné.	:	Alumine cherchée.	
0,4671	1		0,06346	=	γ	= 0,1358
Oxigène.	Chaux.	::	Oxigène donné.	:	Chaux cherchée.	
0,2809	1		0,03173	=	z	= 0,1129
Zoïsite.. . . .						<u>0,4319</u>

Enfin, pour la thallite, on fera :

Oxigène.	Silice.	::	Oxigène donné.	:	Silice cherchée.	
0,5195	1		0,077535	=	x	= 0,1492
Oxigène.	Alumine.	::	Oxigène donné.	:	Alumine cherchée.	
0,4671	1		0,05169	=	γ	= 0,1106
Oxigène.	Bioxide de fer.	::	Oxigène donné.	:	Bioxide de fer cherché.	
0,2277	1		0,025845	=	z	= 0,1135
Thallite.. . . .						<u>0,3733</u>

On voit par ces calculs, dont la longueur est le seul inconvénient, que l'analyse donnée, est transformée en

Épidote.. . .	{	Zoïsite.. . . 0,4319	}	
		Thallite.. . . 0,3733		0,8052
Grenat.. . .	{	Grossulaire.. . 0,1313	}	
		Almandin.. . . 0,0630		0,1943
				<u>0,9995</u>

qui montre d'une manière claire et précise, en quoi consiste la substance, et sous quelle espèce elle doit être rangée.

En discutant de la même manière l'analyse de la substance regardée comme grenat, on trouve :

Grenat. . . . .	{	Grossulaire. . . 0,501	}	0,871
		Almandin. . . 0,247		
		Magnésien. . . 0,123		
Épidote. . . . .	{	Zoisite. . . . . 0,090	}	0,129
		Thallite. . . . . 0,039		
			1,000	

Nous voyons comme précédemment, que ces deux analyses s'éclairent mutuellement, que l'une indique une épidote mélangée de grenat, l'autre un grenat mélangé d'épidote.

Prenons encore un exemple pour montrer une autre circonstance que présentent les problèmes qui nous occupent. M. Bonsdorff a trouvé par l'analyse d'une trémolite d'Aker dans le Sudermanland, les matières suivantes :

Silice. . . . .	0,5624	tenant	oxigène	0,2921
Alumine . . . . .	0,0432			0,0202
Magnésie. . . . .	0,2413			0,0934
Chaux . . . . .	0,1295			0,0364
Bioxyde de fer. . . . .	0,0100			0,0023
Bioxyde de manganèse. . . . .	0,0026			0,0006
Acide fluorique. . . . .	0,0078			0,0057
Eau. . . . .	0,0050			

Ce chimiste a indiqué que la substance était engagée dans du carbonate de chaux, et accompagnée de spinelle, de wernerite compacte et de mica. D'après cela, on peut soupçonner que le dérangement que l'on remarque dans les proportions tient au mélange de ces matières, ce qu'il faut tâcher de vérifier.

Pour se la procurer, il faut employer l'acide fluori-

que ; et comme on ignore avec quoi il peut être combiné, le plus simple est de supposer du fluat de chaux pour lequel il faut prendre

Oxigène d'acide fluorique. . . . .	0,0057
Oxigène de chaux. . . . .	0,0057

après quoi il reste

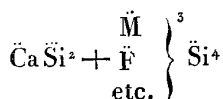
Oxigène de silice. . . . .	0,2921
Oxigène d'alumine. . . . .	0,0202
Oxigène de magnésie. . . . .	0,0934
Oxigène de chaux. . . . .	0,0307
Oxigène de protoxide de fer. . . . .	0,0023
Oxigène de protoxide de manganèse. . . . .	0,0006

Maintenant, si l'on suppose seulement un mélange d'amphibole, de spinelle et de wernerite, on trouve que la quantité de silice est un peu trop petite ; il faut, pour parvenir à un résultat exact, admettre une petite quantité d'un silicate d'un ordre moins élevé, et l'admission du pyroxène, qui se présente naturellement, satisfait à la question.

Pour arriver à connaître les quantités respectives de ces différentes substances, nommons  $x$  et  $x'$  l'oxigène de la silice et celui des bases bioxides qui entrent dans l'amphibole ; nommons  $\gamma$ ,  $\gamma'$  les quantités d'oxigène de la silice et des bases bioxides qui entrent dans le pyroxène ; nommons  $z$ ,  $z'$ ,  $z''$ , les quantités d'oxigène de la silice, de l'alumine et des bases bioxides qui entrent dans la wernerite ; enfin, nommons  $u$  et  $u'$  les quantités d'oxigène de l'alumine et des bases bioxides qui entrent dans le spinelle. Nous aurons les équations suivantes :

$$\begin{aligned} x + \gamma + z. . . . . &= 0,2921 \text{ oxigène de la silice.} \\ x' + \gamma' + z' + u. . . &= 0,1270 \text{ oxigène des bioxides.} \\ z + u. . . . . &= 0,0202 \text{ oxigène de l'alumine.} \end{aligned}$$

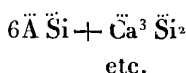
La formule des amphiboles étant



les quantités d'oxygène de la silice et des bases sont comme les nombres 9 et 4 : par conséquent  $x : x' :: 9 : 4$ ; d'où  $x' = \frac{4x}{9}$ .

Le pyroxène étant une réunion de bisilicates, l'oxygène de la silice est à celui des bases comme 2 à 1 ; par conséquent  $y' = \frac{y}{2}$ .

La formule de la wernerite est



c'est-à-dire que les quantités d'oxygène de la silice, de l'alumine et des bases bioxydes sont comme les nombres 4, 3 et 1 ; par conséquent on a

$$z : z' :: 4 : 3 \quad \text{d'où} \quad z' = \frac{3z}{4}$$

$$z : z'' :: 4 : 1 \quad \text{d'où} \quad z'' = \frac{z}{4}$$

Enfin, la formule des spinelles est  $\ddot{\text{M}} \ddot{\text{A}}^4$ , c'est-à-dire que l'oxygène de l'alumine est à celui de la base comme 6 à 1 ; par conséquent on a  $u' = \frac{u}{6}$ .

En inscrivant ces conditions dans les équations précédentes, elles deviennent

$$x + y + z \dots = 0,2921$$

$$\frac{4x}{9} + \frac{y}{2} + \frac{z}{4} + \frac{u}{6} = 0,1270$$

$$\frac{3z}{4} + u \dots = 0,0202$$



Nous n'avons ici que trois équations, et il existe quatre inconnues; par conséquent il y a un certain nombre de solutions dont il est nécessaire de chercher les limites, sous la condition que toutes les valeurs soient positives et qu'aucune ne soit nulle.

Pour avoir ces limites, il suffit de résoudre ces équations en une des inconnues, en  $z$ , par exemple; ce qui donne :

$$\begin{aligned} u &= 0,0202 - \frac{3z}{4} \\ x &= 0,403488 - \frac{27z}{4} \\ y &= \frac{23z}{4} - 0,111388 \end{aligned}$$

Maintenant, pour que  $u, x, y$  soient positifs, il faut qu'on ait, d'après leurs valeurs exprimées en fonctions de  $z$ ,

$$\begin{aligned} \frac{3z}{4} &< 0,0202 \quad \text{ou} \quad z < 0,0269 \\ \frac{27z}{4} &< 0,403488 \quad \text{ou} \quad z < 0,05977 \\ \frac{23z}{4} &> 0,111388 \quad \text{ou} \quad z > 0,01937 \end{aligned}$$

on peut donc prendre toutes les valeurs entre  $z > 0,01937$  et  $z < 0,0269$

Telle est la limite des solutions. Si l'on fait  $z = 0,02$ , ce qui donne à peu près le maximum de wernerite, on a

$$u = 0,0052 \quad x = 0,268488 \quad y = 0,003612$$

D'après cela, les autres valeurs deviennent

$$x' = \frac{4x}{9} = 0,119327$$

$$y' = \frac{y}{2} = 0,001806$$

$$z' = \frac{3z}{4} = 0,015$$

$$z'' = \frac{z}{4} = 0,005$$

$$u' = \frac{u}{6} = 0,000866$$

qui vérifient toutes les équations.

Il résulte de là qu'il faut prendre, pour la formation des amphiboles,

$$\begin{aligned} x &= \text{oxigène de silice. . . . . } 0,268488 \\ x' &= \text{oxigène de bioxide. . . . } 0,119327 \end{aligned}$$

pour la formation des pyroxènes,

$$\begin{aligned} y &= \text{oxigène de silice. . . . . } 0,003612 \\ y' &= \text{oxigène de bioxide. . . . } 0,001806 \end{aligned}$$

pour former la wernerite,

$$\begin{aligned} z &= \text{oxigène de silice. . . . . } 0,020 \\ z &= \text{oxigène d'alumine. . . . } 0,015 \\ z' &= \text{oxigène de bioxide. . . . } 0,005 \end{aligned}$$

et enfin, pour former le spinelle,

$$\begin{aligned} u &= \text{oxigène d'alumine. . . . } 0,00520 \\ u' &= \text{oxigène de bioxide. . . . } 0,00086 \end{aligned}$$

Il ne s'agit plus maintenant que de choisir les bioxides qui doivent entrer dans chacun des corps; pour cela, il faudrait avoir des renseignements sur la composition de chacune des substances mélangées, qui se trouvent isolément à Aker; on les formerait alors proportionnellement à cette composition, comme nous avons fait pour les grenats de l'exemple précédent. N'ayant pas ces renseignements, le plus simple est de supposer que l'amphibole est uniquement formé de trémolite; que tout le reste de la chaux appartient à la wernerite, et que c'est la magnésie et l'oxide de ser qui saturent le reste de la silice destinée à cette substance; que le spinelle est à base de magnésie; et qu'enfin, le pyroxène est à base de fer et de manganèse.

D'après ces conventions, on prendra, pour l'amphibole trémolite,

$$\begin{aligned} \text{Oxigène de silice. . . . . } & 0,268488 : 9 \\ \text{Oxigène de chaux. . . . . } & 0,029832 : 1 \\ \text{Oxigène de magnésie. . . . . } & 0,089436 : 3 \end{aligned}$$

Pour le spinelle, on prendra

Oxigène d'alumine. . . . .	0,0062	: 6
Oxigène de magnésie. . . . .	0,00086	: 1

Pour la wernerite, on prendra les trois compositions suivantes :

Oxigène de silice. . . . .	0,003472	: 4
Oxigène d'alumine. . . . .	0,002604	: 3
Oxigène de chaux. . . . .	0,000868	: 1
Oxigène de silice. . . . .	0,012176	: 4
Oxigène d'alumine. . . . .	0,009132	: 3
Oxigène de magnésie. . . . .	0,003044	: 1
Oxigène de silice. . . . .	0,004352	: 4
Oxigène d'alumine. . . . .	0,003264	: 3
Oxigène de bioxide de fer. . . . .	0,001088	: 1

Enfin, pour les pyroxènes, on aura

Oxigène de silice. . . . .	0,002424	: 2
Oxigène de bioxide de fer. . . . .	0,001212	: 1
Oxigène de silice. . . . .	0,0012	: 2
Oxigène de bioxide de manganèse. . . . .	0,0006	: 1

Il n'y a plus qu'à calculer les diverses quantités d'oxides correspondantes à ces portions d'oxigène. On fera, pour la trémolite,

Oxigène.	Silice.	Oxigène.	Silice.	
0,5195	: 1	::	0,268488	: x = 0,5168
Oxigène.	Chaux.	Oxigène.	Chaux.	
0,2809	: 1	::	0,029832	: γ = 0,1062
Oxigène.	Magnésie.	Oxigène.	Magnésie.	
0,3871	: 1	::	0,089496	: z = 0,2312
			Trémolite. . .	0,8542

Pour le spinelle, on fera les proportions

Oxigène.	Alumine.	Oxigène.	Alumine.	
0,4671	: 1	::	0,0052	: x = 0,0111
Oxigène.	Magnésie.	Oxigène.	Magnésie.	
0,3871	: 1	::	0,00086	: γ = 0,0022
			Spinelle. . . .	0,0133

Pour les wernerites, on aura les proportions

Oxigène.	Silice.	Oxigène.	Silice.	
0,5195	: 1	:: 0,003472	: x	= 0,0067
Oxigène.	Alumine.	Oxigène.	Alumine.	
0,4671	: 1	:: 0,002604	: y	= 0,0056
Oxigène.	Chaux.	Oxigène.	Chaux.	
0,2809	: 1	:: 0,000868	: z	= 0,0031
Wernerite de chaux.				<u>0,0154</u>

Oxigène.	Silice.	Oxigène.	Silice.	
0,5195	: 1	:: 0,012176	: x	= 0,0234
Oxigène.	Alumine.	Oxigène.	Alumine.	
0,4671	: 1	:: 0,009132	: y	= 0,0196
Oxigène.	Magnésie.	Oxigène.	Magnésie.	
0,3871	: 1	:: 0,003044	: z	= 0,0078
Wernerite magnésienne.				<u>0,0508</u>

Oxigène.	Silice.	Oxigène.	Silice.	
0,5195	: 1	:: 0,004352	: x	= 0,0084
Oxigène.	Alumine.	Oxigène.	Alumine.	
0,4671	: 1	:: 0,003264	: y	= 0,0069
Oxigène.	Bioxide de fer.	Oxigène.	Bioxide de fer.	
0,2277	: 1	:: 0,001088	: z	= 0,0048
Wernerite ferrugineuse.				<u>0,0201</u>

Pour les pyroxènes, on fera les proportions

Oxigène.	Silice.	Oxigène.	Silice.	
0,5195	: 1	:: 0,002424	: x	= 0,0046
Oxigène.	Bioxide de fer.	Oxigène.	Bioxide de fer.	
0,2277	: 1	:: 0,001212	: y	= 0,0053
Bisilicate de fer.				<u>0,0099</u>

Oxigène.	Silice.	Oxigène.	Silice.	
0,5195	: 1	:: 0,0012	: x	= 0,0023
Oxide de manganèse donné.				<u>0,0026</u>
Bisilicate de manganèse.				0,0049

Enfin, pour le fluat de chaux, on a

Oxigène.	Chaux.	Oxigène.	Chaux.	
0,2809	: 1	:: 0,0057	: x	= 0,0203
Acide fluorique donné.				<u>0,0078</u>

Fluat de chaux. . . 0,0281

L'analyse de M. Bonsdorff peut donc se transformer en

Trémolite. . . . .		0,8542
Wernerite	{	Calcaire. . . . . 0,0154
		Ferrugineuse. . . . . 0,0201
		Magnésienne. . . . . 0,0508
	}	0,0863
Spinelle. . . . .		0,0133
Pyroxène	{	Ferrugineux. . . . . 0,0099
		Manganésien . . . . . 0,0049
	}	0,0148
Fluate de chaux. . . . .		0,0281
Eau hygrométrique. . . . .		0,0050
		1,0017

On voit par ces exemples combien il est important de discuter les analyses pour découvrir la nature du corps qui souille celui que l'on examine spécialement, et établir la véritable composition des espèces. Par conséquent il faut, autant que possible, ne pas se borner à faire une simple analyse d'un corps pris au hasard; mais examiner soigneusement les associations, afin de se procurer les renseignements nécessaires aux calculs subséquents, qui, sans cela deviennent impossibles ou insignifiants. L'importance de cet examen se fait encore mieux sentir lorsque les mélanges sont compliqués, ou en de fortes proportions, car alors il arrive ou que l'on ne trouve aucun rapport entre les principes, ou bien, ce qui est encore pire, qu'on croit découvrir des rapports qui sont tout-à-fait faux, et d'après lesquels on établit fort mal à propos des espèces.

Il y a aussi des cas particuliers où les analyses ne peuvent être discutées que par tâtonnement. Cela arrive toutes les fois que les recherches analytiques ont présenté des matières dont on n'a trouvé que des traces qu'il est impossible de doser. Il y a de ces matières qui ont peu d'importance et que l'on peut négliger sans erreurs bien sensibles; mais il en est d'autres qui peuvent avoir plus d'influence: ce sont celles qui

entrent elles-mêmes pour de très petites proportions dans certaines substances qui se trouvent mélangées avec le minéral dominant, et dont les autres éléments, plus abondants sont alors confondus avec ceux de celui-ci. Il est clair que si l'on peut recommencer l'analyse sur une plus grande quantité du minéral, de manière à doser les substances que l'on n'avait d'abord fait qu'apercevoir, on retombe ensuite dans les différents cas de discussion précédents ; mais lorsque, par une cause ou par l'autre, cette analyse ne peut être refaite, il faut se déterminer à la laisser avec toutes ses incertitudes, ou bien chercher, d'après les renseignements que l'on possède sur les substances associées naturellement à celle dont on s'occupe, à établir approximativement les doses des matières qu'on a aperçues. On conçoit qu'alors il n'est plus possible d'agir que par tâtonnement, et il n'y a plus moyen de donner des préceptes généraux ; c'est tantôt à une circonstance, tantôt à une autre qu'il faut s'attacher, et souvent après avoir fait un calcul, il faut le modifier en augmentant ou diminuant les proportions que l'on avait d'abord adoptées. Nous pourrions prendre quelques exemples de ces sortes de calculs, où l'on trouverait peut-être quelques idées pour des cas analogues ; mais comme le plus ordinairement on reste après tout dans une assez grande incertitude, je me contenterai, pour ne pas allonger encore cette partie de mon ouvrage, de renvoyer à mon *Mémoire sur la Discussion des Analyses minérales*, inséré dans ceux de l'Académie des Sciences, tom. VIII, pag. 221.

---

---

## CHAPITRE II.

### DE L'ESSAI CHIMIQUE DES SUBSTANCES MINÉRALES.

(239) L'ANALYSE chimique est le seul moyen que nous ayons de connaître avec précision la composition d'un minéral, c'est-à-dire de déterminer les proportions relatives de ses parties constituantes; mais, sans recourir à une analyse rigoureuse, qui demande de grands soins, des instruments, et même un local particulier, il existe des moyens de reconnaître la nature des matières qui entrent dans la composition d'un corps, en n'opérant que sur des parcelles de ce corps, par des moyens simples et qui causent peu d'embarras. Les opérations peuvent se faire tantôt par la voie sèche tantôt par la voie humide.

(240) *Opération par la voie sèche.* Pour opérer par la voie sèche et produire la chaleur nécessaire, on se sert du chalumeau, instrument dont beaucoup d'ouvriers font usage dans leurs travaux; c'est ordinairement un tube de laiton, qui va en se rétrécissant à une de ses extrémités, vers laquelle il est courbé, et où il se termine par une ouverture, plus ou moins fine suivant l'emploi qu'on en veut faire. On a imaginé, pour la minéralogie, un grand nombre de chalumeaux de formes différentes, tantôt pour une raison, tantôt pour une autre: celui dont on voit la figure, pl. I, fig. 13, me paraît mériter la préférence; la partie renflée *ab*, est prin-

ci principalement destinée à recevoir l'eau que les poumons chassent dans le tube, et qui finit souvent, sans cette disposition, par gêner l'opération. Les deux pièces *cd*, *ef*, se montent à frottement sur ce réservoir, de sorte qu'on peut facilement le nettoyer dans son intérieur; on peut d'ailleurs disposer en *a* un fond qui se monte à vis, et que l'on peut ouvrir à volonté. Le petit bout *g* est en platine, et se monte aussi à frottement sur le tube *ef*; on doit en avoir plusieurs de rechange, et au moins un dont le trou soit un peu plus gros, pour quelques opérations. Ces petites pièces se font en platine, par deux raisons: l'une, qui n'est pas la meilleure, parce que ce métal est un assez mauvais conducteur du calorique, et que dès lors le chalumeau s'échauffe très peu; l'autre, qui est la véritable, parce que ce métal ne s'oxide ni ne se fond. Toutes les autres pièces peuvent être faites en métal quelconque; mais en argent l'instrument est assez cher, et en laiton il a une odeur désagréable: j'en ai fait construire qui n'ont ni l'un ni l'autre de ces inconvénients, où le réservoir est en étain, et les tubes *bd ef* en fer; le premier est vernis dans toute sa longueur. Il faut avoir soin de tenir les petits ajutages très propres; le meilleur moyen de les nettoyer est de les faire rougir, ce qui débouche les petits trous, sujets à s'encrasser, sans le secours d'aucun agent mécanique, qui finirait par les déformer.

Pour se servir du chalumeau il faut, tenant l'instrument à la main et l'extrémité *d* à la bouche, en diriger le bec devant la flamme d'une bougie, ou mieux, d'une lampe à mèche plate (on présente alors l'instrument dans le plan de la plus large face); lorsqu'on vient alors à souffler dans le tube, on projette en avant un dard de flamme, comme on le voit fig. 14, dont la chaleur est extrêmement active. Il faut un peu



d'habitude pour projeter cette flamme régulièrement et constamment sur le corps qu'on veut éprouver, comme aussi pour continuer à souffler pendant un temps suffisant, sans cependant se fatiguer. Pour parvenir à cette dernière condition, il faut commencer par remplir sa bouche d'air, que le ressort des joues doit ensuite seul chasser dans le tube, sans que la poitrine y ait la moindre part; pour renouveler cet air dans la bouche, il faut en inspirer successivement par le nez, ce qui peut toujours se faire sans discontinuer le jet. En s'y prenant ainsi, on pourra souffler très long-temps sans se fatiguer en aucune manière.

On a aussi imaginé des chalumeaux à réservoir d'air, tantôt à la tension ordinaire, tantôt comprimé, qui évitent par conséquent le souffle continu de la bouche. Cet air s'échappe par une pression quelconque exercée sur le réservoir lorsqu'il est à la tension ordinaire, ou bien par la tension qu'on lui a d'abord communiquée, lorsqu'on vient à lui ouvrir une issue. On dirige alors l'ajutage devant la flamme dont on veut se servir. Ces sortes d'instruments peuvent être utiles aux personnes qui n'ont pas l'habitude du chalumeau simple, ou plutôt qui se fatigant au premier moment parce qu'elles ne savent pas encore souffler, désespèrent trop vite de pouvoir jamais l'apprendre; mais ils sont embarrassants, et en les employant il est impossible d'être maître de son feu comme avec le chalumeau simple, qui sera toujours préféré par les personnes qui auront eu la patience d'apprendre à s'en servir.

On fait au moyen du chalumeau toutes les opérations pour lesquelles on emploie le feu des fourneaux dans les laboratoires, telles que les fusions, soit simples, soit avec des fondants, les calcinations ou les grillages, soit qu'on récolte les produits pour les exa-

miner à part, soit qu'on puisse les distinguer immédiatement par quelques caractères. La simple flamme de la lampe sert pour les dissolutions, pour les évaporations, le desséchement des précipités, etc. ; il suffit pour cela de placer au-dessus de cette flamme un anneau de fil de fer sur lequel peuvent poser les petites capsules, dans lesquelles les opérations doivent se faire.

Pour soumettre un corps à l'action du feu, on le place tantôt à l'extrémité d'une pince, fig. 15, dont le corps est en fil de fer écroui et les bouts en fil de platine, tantôt sur un charbon, surtout lorsqu'on veut l'essayer avec des réactifs, ou bien sur une feuille de platine, qui doit être très mince, dans laquelle on fait quelquefois une petite cavité, en l'emboutissant avec un poinçon à tête ronde, pour former comme un petit creuset. On se sert quelquefois aussi, comme d'un creuset, d'une très petite cuillère de platine également très mince, dont on fourre la queue au bout d'un tuyau de pipe. M. Le Baillif a imaginé de faire les essais où l'on emploie des réactifs sur une petite coupelle blanche (1), de 4 lignes de diamètre, d'un tiers de ligne d'épaisseur, qu'il place sur un charbon, et dans laquelle il met la matière d'essai avec le fondant. Cette manière ingénieuse d'opérer présente ce grand avantage, que l'on peut garder la coupelle où l'on a fait l'essai, et en faire voir en tout temps le résultat.

Lorsqu'on chauffe un corps à l'extrémité *a* de la flamme, sur un charbon, et par conséquent avec le contact de l'air, il s'oxide; lorsqu'on le chauffe au contraire, sans contact de l'air, ce qui se fait en pro-

---

(1) Elles sont faites de parties égales de terre à porcelaine et de terre à pipe.

jetant la flamme sur le charbon de manière qu'elle environne le corps de toutes parts, il se désoxide en tout ou en partie, s'il était oxigéné : les résultats qu'on obtient de l'une et de l'autre manière sont par conséquent très différents et servent à établir des distinctions importantes. Nous indiquerons la première manière d'opérer, sous le nom de *feu d'oxidation*, et la seconde sous le nom de *feu de réduction*.

Pour recueillir les produits de la calcination, on chauffe le corps dans un petit tube, fermé par un bout lorsqu'on ne veut pas avoir le contact de l'air, et ouvert aux deux bouts lorsque le contact de l'air est nécessaire pour oxider quelques matières, qui sans cela ne se vaporiseraient pas ; on peut se servir de tubes droits, mais mieux de tubes un peu courbés : le tube fermé doit être un peu renflé vers le bas, pour former un petit matras ou uné petite cornue. Dans les tubes ouverts, on place la pièce d'essai auprès de l'extrémité, de manière que l'air puisse avoir un libre accès autour d'elle. En opérant ainsi les matières qui se dégagent se portent dans la partie fraîche du tube, sur les parois duquel elles se déposent alors, soit en gouttelettes, soit sous la forme cristalline ou pulvérulente ; on peut les recueillir pour les soumettre à de nouveaux essais, si par les phénomènes qu'elles ont présentés, on n'en a pas déjà reconnu la nature ; s'il se dégage des gaz, c'est à leur odeur ou à quelque autre caractère qu'il faut les distinguer, car il est à peu près impossible de les recueillir en opérant sur de si petites quantités.

(241) *Usage des réactifs par la voie sèche.* — On se sert, par la voie sèche, de différents réactifs qui ont pour but soit de désoxider les corps, en tout ou en partie, et de les ramener ainsi à un état qui puisse fournir des caractères décisifs ; soit pour dégager un principe en s'emparant de celui avec lequel il était

combiné; soit pour décomposer des sels insolubles, en forçant leur acide de se combiner avec une base alcaline; soit pour former des verres, qui se trouvant alors transparents ou opaques, limpides ou colorés de diverses manières, fournissent autant de moyens de reconnaître la nature de la substance soumise à l'essai; soit enfin pour former par la fusion de nouveaux composés qui puissent être attaqués par les acides.

Comme réactifs capables de désoxygéner les corps, on emploie d'abord la poussière de charbon, ou bien une matière grasse, que l'on mélange avec le corps, et on chauffe le tout soit sur le charbon, soit sur la feuille de platine; il se fait alors de l'acide carbonique qui s'échappe dans l'air, et la matière est réduite, ou ramenée à un moindre degré d'oxydation. On emploie aussi l'étain, qu'on introduit dans les globules de verre qu'on a formés, pour désoxyder quelques métaux qui masquent la couleur de ceux qu'on cherche à découvrir. Enfin on emploie le bicarbonate de soude (sous-carbonate) pour aider la désoxydation, et dans ce cas on opère sur le charbon. On réduit le corps qu'on veut essayer en poussière fine, dont on mêle une petite quantité avec le sel, et on chauffe le tout sur un charbon bien net. Si le métal est abondant, on le voit bientôt paraître en globules; s'il est en très petite quantité, il passe dans le charbon avec la soude, et pour le mettre alors en évidence, on enlève la pellicule de charbon qui se trouve au-dessous du point où l'on a fait l'essai; on la broie à l'eau, et on lave en décantant successivement jusqu'à ce que tout le charbon soit enlevé; le métal reste alors sous forme de paillettes brillantes, s'il est ductile, et sous forme pulvérulente s'il est cassant.

Pour dégager un principe, en s'emparant de celui avec lequel il était combiné, on emploie un acide ou

un alcali, suivant que c'est l'un ou l'autre de ces deux corps que l'on veut mettre à nu. Comme acide on se sert de l'acide borique, ou bien du double phosphate de soude et d'ammoniaque préalablement fondu, ce qui le réduit en sel acide par la volatilisation de l'ammoniaque. En opérant dans un tube on peut reconnaître l'acide dégagé s'il est volatil, soit par des caractères immédiats, soit en le soumettant à de nouveaux essais.

Pour dégager un alcali, on emploie la soude qui décompose le corps, en s'emparant de son principe acide, et met la base à nu; on reconnaît ensuite cette base par d'autres moyens.

Pour décomposer les sels insolubles, c'est toujours le carbonate de soude qu'on emploie; il suffit, après avoir réduit le corps en poussière, de le mêler avec le sel alcalin, et de le chauffer sur une feuille de platine. Il se fait alors un sel soluble à base de soude, qu'on obtient pur en le dissolvant dans l'eau et filtrant, et sur lequel on peut ensuite faire différents essais pour reconnaître l'acide que renfermait le minéral. Il reste sur le filtre un carbonate insoluble que l'on peut attaquer par les acides pour en reconnaître la base.

Pour former des verres, dont les couleurs, à chaud et à froid, au feu d'oxidation ou au feu de réduction, font connaître la nature des oxides qui étaient dans le minéral, ou qui se sont formés, on se sert du borax ou du phosphate double de soude et d'ammoniaque, avec lesquels on fond la substance réduite en poudre, soit sur la feuille de platine, soit sur un charbon, pour en former un globule. Les couleurs des verres que l'on obtient par l'un et l'autre réactif sont assez souvent différentes et se servent mutuellement de vérification. Nous rassemblons dans les tableaux suivantes, les résultats les plus utiles.

## FUSION AVEC LE BORAX.

NOMS DES CORPS.	COULEUR DU VERRE	
	AU FEU D'OXYDATION.	AU FEU DE RÉDUCTION.
Acide molybdique.	Incolore.	Brun sale et opaque lorsqu'il y a beaucoup d'oxide.
— tungstique.	Incolore.	Jaune orangé à chaud, jaune brun après le refroidissement.
Oxide de tellure.	Incolore.	Gris et opaque (*).
— de titane.	Incolore à chaud; blanc opaque après le refroidissement.	Jaune, améthiste ou bleu, suivant la quantité d'oxide.
— de bismuth.	Incolore.	Se réduit, et donne au verre un œil trouble.
— de chrome.	Vert émeraude, surtout à froid.	Jaune brun à chaud, incolore à froid.
— de cuivre.	Vert.	Incolore à chaud, rouge cinabre à froid.
— d'antimoine.	Jaune à chaud, presque incolore à froid. <sup>1</sup>	Opaque et grisâtre lorsqu'il est saturé (*).
— d'urane.	Jaune sombre.	Vert sale (**).
— de plomb.	Jaune à chaud, incolore à froid.	Se réduit en partie.
— de cérium.	Orangé ou rouge à chaud, jaunâtre à froid.	Incolore (***).
— nikel.	Orangé ou rougeâtre à chaud, jaunâtre ou incolore à froid.	Opaque et grisâtre lorsqu'il est saturé (*).
— fer.	Rouge sombre à chaud, jaunâtre ou incolore à froid.	Vert bouteille ou vert bleuâtre.
— manganèse.	Améthiste.	Incolore s'il est refroidi promptement.
— cobalt.	Bleu.	Bleu.

(\*) Par suite de l'interposition d'un grand nombre de grains de métal réduit.

(\*\*) Très saturé, il peut devenir noir par le flamber.

(\*\*\*) Il tourne de lui-même au blanc d'émail, lorsqu'il est saturé; autrement, il prend cet aspect par le flamber.

## FUSION AVEC LE DOUBLE PHOSPHATE.

NOMS DES CORPS.	COULEUR DU VERRE	
	AU FEU D'OXIDATION.	AU FEU DE RÉDUCTION.
Acidemolybdique.	Vert à chaud, se perd à froid.	Vert opaque à chaud, vert émeraude à froid.
— tungstique.	Incolore.	Beau bleu pur (*).
Oxide de tellure.	Incolore.	Gris et opaque (**).
— de titane.	Incolore.	Jaune à chaud, beau violet à froid (*).
— de bismuth.	Brun-jaunâtre à chaud, Incolore à froid.	Incolore à chaud, opaque et gris à froid.
— de chrome.	Vert, teinte forte,	Vert.
— de cuivre.	Vert.	Rouge cinabre à froid.
— d'antimoine.	Incolore.	Incolore (***).
— d'urane.	Jaune à chaud, jaune paille à froid.	Vert à chaud, et plus intense à froid.
— de plomb.	Incolore.	Incolore. Ne se réduit pas.
— de cérium.	Rouge à chaud, incolore à froid.	Incolore.
— nikel.	Orangé ou rougeâtre à chaud, incolore à froid.	Mêmes couleurs.
— fer.	Rouge sombre à chaud, jaunâtre ou incolore à froid.	Vert bouteille.
— manganèse.	Améthiste.	Incolore.
— cobalt.	Bleu.	Bleu.

(\*) Rouge sanguin s'il y a du fer. L'addition de l'étain au globule détruit l'influence de l'oxide de fer, et le bouton devient vert ou bleu,

(\*\*) Par suite de l'interposition des petits globules de métal réduit.

(\*\*\*) Rouge sanguin s'il renferme du fer. Il perd sa couleur par l'addition de l'étain.

On fait quelquefois fondre le corps avec le carbonate de soude, sur la feuille de platine; cette opération a pour but de reconnaître soit l'oxide de manganèse, soit les oxides de chrome. La couleur verte qui devient bleuâtre par le refroidissement, est un indice certain du premier corps; la couleur vert-émeraude au feu de réduction, jointe à la couleur jaune au feu d'oxidation, indique les oxides de chrome.

La nécessité de préparer les matières pour les rendre susceptibles d'être attaquées par les acides, se manifeste surtout dans certaines combinaisons siliceuses. On les traite alors par la soude ou la potasse, ou leurs carbonates, avec lesquelles on les fait fondre; ces corps réagissent sur la silice, et forment avec elle un sel soluble dans l'eau ou dans les acides. On se sert aussi du nitrate de baryte pour le même objet, lorsqu'on a le projet de rechercher ensuite les alcalis dans la solution que l'on doit opérer.

(242) *Opération par la voie humide.* — Pour opérer par la voie humide, il faut que les substances minérales soient préalablement mises en solution; il en est un petit nombre qui se dissolvent dans l'eau, d'autres qui sont attaquables par les acides, d'autres qu'il est nécessaire de fondre d'abord avec le carbonate de soude qui forme d'une part un sel alcalin qui se dissout dans l'eau, et de l'autre un carbonate des bases qui se dissout par les acides. Il est enfin des substances qui ont besoin d'être préalablement fondues avec la soude, pour pouvoir être attaquées par l'eau, ou mieux par les acides. Nous avons vu ces opérations dans les détails que nous avons donnés sur la voie sèche.

Il y a des solutions qui exigent un peu de chaleur: elles peuvent être faites avec une goutte du liquide qu'on emploie, dans un verre de montre, qu'on fait chauffer au-dessus de la flamme d'une bougie, ou



mieux dans les petits matras dont nous avons parlé. L'examen par divers réactifs, se fait sur différentes gouttes de la solution, étendue de quelques gouttes d'eau, qu'on place sur des verres de montre, et sur chacune desquelles on porte, avec un tube, une goutte du réactif; quelquefois seulement on a besoin de petits verres à patte, les plus petits que l'on peut trouver, et dans ce cas les solutions sont très étendues d'eau. Pour filtrer, lorsqu'il est absolument nécessaire, ce que l'on doit en général éviter, puisqu'il ne s'agit pas de séparer des matières, mais seulement d'en reconnaître la présence, on se sert de très petits entonnoirs coniques, soufflés à la lampe, ou d'un très petit anneau formé d'un fil de platine dont on tord les deux bouts ensemble, sur lequel on place le filtre qui est alors un petit cornet de papier Joseph. Pour les évaporations les plus considérables, on n'a besoin que d'une très petite capsule de porcelaine, ou mieux de platine, de la grandeur d'un verre de montre. On peut ainsi faire tous les essais imaginables, et de plus les faire partout, parce que, opérant en très petit, les vapeurs, quelles qu'elles soient, ne pourront incommoder ni rien dégrader.

Les réactifs dont on a besoin; et qui doivent être très purs, sont :

#### RÉACTIFS LIQUIDES.

Acide hydrochlorique.	Hydrocyanate ferruginé de potasse.
— hydrosulfurique.	Hydrosulfate d'ammoniaque.
— nitrique.	— de potasse.
— sulfurique.	Infusion de noix de Galle.
Alcool.	Nitrate d'argent.
Ammoniaque.	— de baryte.
Eau de chaux.	— de cobalt.
— distillée.	— de plomb.
Hydrochlorate d'ammoniaque.	Potasse caustique.
— de platine.	Oxalate d'ammoniaque.

Soude caustique.	Sulfate de soude.
Sous-carbonate d'ammoniaque.	

## RÉACTIFS SECS.

Borax.	Lame de cuivre.
Nitrate de baryte.	— de fer.
— de potasse.	— d'étain.
Phosphate double de soude et d'ammoniaque.	— de zinc.
Sous-carbonate de soude.	Étain en feuille très mince.
Limaille de cuivre.	Proto-chlorure d'étain.
	Proto-sulfate de fer.

On n'a besoin que d'une très-petite quantité de chacun de ces réactifs, dont l'ensemble par conséquent ne forme qu'un très petit volume, surtout lorsqu'on est dans la position de les renouveler souvent. Pour mon usage, en y joignant la lampe, le charbon, les pinces, un petit mortier d'agate ou de porcelaine, les tubes, entonnoirs, capsules et verres de montre, tout se trouve enfermé dans une boîte d'un pied de longueur sur sept pouces de largeur et hauteur; elle s'ouvre par le milieu pour former une espèce de pupitre dont la partie antérieure sert alors de petite table; j'en ai fait disposer de beaucoup plus petites, et pour voyager une trousse d'un très petit volume peut tout contenir.

(243) *Déterminer à quel corps simple ou à quel genre de composé une matière minérale appartient.* — Appliquons maintenant les moyens d'essai aux substances minérales; nous avons vu (220) qu'il n'y a que treize corps simples qui se trouvent à l'état libre dans la nature, et qu'il n'y a aussi qu'un très-petit nombre de corps, simples ou composés, qui soient en général électro-négatifs par rapport à tous les autres, et parmi lesquels se trouve par conséquent l'un des principes de tous les corps composés. Ce sont ces corps dont il faut déterminer la présence pour résoudre la question

que nous nous proposons; ainsi nous avons à reconnaître si le corps que l'on soumet à l'essai, est

Antimoine	Mercure.
Argent.	Or.
Arsenic.	Palladium.
Bismuth.	Platine.
Carbone.	Soufre.
Cuivre.	Tellure.
Fer.	

seuls corps que nous connaissons à l'état libre dans la nature; ou bien s'il est un

Antimoniure.	Iodure.
Arseniure.	Osmiure.
Aurure.	Phlorure.
Carbure.	Seleniure.
Chlorure.	Sulfure.
Hydrargure.	Telluriure

qui sont les seuls composés non oxigénés; ou enfin si c'est un

Aluminate.	Manganate.
Arseniate.	Molybdate.
Arsenite.	Nitrate.
Borate.	Phosphate.
Carbonate.	Silicate.
Chromite.	Tantalate.
Ferrate.	Titanate.
Hydrate.	Tungstate.

seuls composés ternaires, quaternaires, etc., oxigénés, que l'on ait trouvés jusqu'à présent dans la nature. Nous ne parlons pas des oxides, parce que d'un côté il est assez difficile, par les simples essais que nous nous proposons, de déterminer en général si le corps donné est un oxide, et de l'autre parce que c'est plutôt l'espèce que le genre qu'il est ici nécessaire de déterminer.

Les essais qu'il faut faire pour reconnaître ces corps, se bornent à un petit nombre d'expériences, savoir :

A chauffer le corps, sans réactifs, dans un tube fermé ou ouvert, et à examiner par divers moyens les matières qui se dégagent ;

A le traiter de la même manière avec du charbon en poudre, ou avec un acide, qu'on emploie tantôt seul, tantôt avec du péroxide de manganèse ou de la limaille de cuivre.

A le fondre avec du carbonate de soude pour produire un sel alcalin, par conséquent soluble, dont on reconnaît ensuite l'acide par différents moyens.

A fondre les corps, ou les précipités obtenus, avec le phosphate de soude et d'ammoniaque.

On peut toujours, par l'une ou l'autre de ces expériences principales, reconnaître les corps simples, ou les différents genres de composés, dont nous venons de donner la liste, et dont nous allons maintenant exposer les caractères.

**HYDRATES.** Chauffés *dans le tube fermé*, ils donnent de l'eau qui se condense dans la partie froide ; on peut essayer si cette eau est alcaline ou acide, par les papiers de tournesol et de curcuma. Il ne faut pas se contenter de déterminer qu'un corps est un hydrate, il faut encore chercher s'il n'appartient pas à un genre de sel, parce que les hydrates ont pour base tantôt de simples oxides, tantôt des composés oxigénés ternaires, quaternaires, etc.

**HYDRARGURES.** Éclat métallique. Chauffés *dans le tube fermé*, ils donnent des vapeurs de mercure qui se condensent en gouttelettes métalliques dans la partie supérieure froide ; la base reste dans le tube, en globule fondu, à moins qu'elle ne soit aussi volatile.

**SÉLÉNIURES.** *Dans le tube fermé*, la chaleur fait dégager le sélénium qui se condense sous la forme d'une

poudre rouge. *Dans le tube ouvert*, ou sur le charbon, le sélénium est transformé en un oxide volatil d'une forte odeur de chou ou de raifort pourri; ce caractère est assez précis pour faire apercevoir de très petites portions de sélénium dans des composés qui appartiennent à des genres différents par leur parties constituantes principales.

ARSENIC. Éclat métallique et gris d'acier dans la cassure fraîche. *Dans le tube fermé*, se volatilise en entier et se dépose en cristaux métalliques; *dans le tube ouvert*, donne une forte odeur d'ail, et il se dépose des cristaux blancs qui sont de l'acide arsenieux: si l'arsenic est pur, il ne reste rien à la fin de l'opération.

ARSENIURES. Éclat métallique. *Dans le tube ouvert* même caractère que l'arsenic, mais laissant un résidu à la fin de l'opération ou donnant des vapeurs particulières. *Dans le tube fermé* il y a quelquefois volatilisation d'arsenic.

L'arsenic est quelquefois combiné avec le soufre; il présente alors les mêmes réactions qu'à l'état de pureté, mais en même temps on reconnaît celles du soufre: si l'on n'obtient pas de résidu, le corps est un simple sulfure d'arsenic; s'il y a un résidu, le corps est un sulfo-arseniure.

ACIDE ARSÉNIEUX. *Dans le tube fermé*, se volatilise en entier et se dépose en petits cristaux blancs; *avec le charbon*, développe l'odeur d'ail.

ARSENITES. *Dans le tube fermé*, donnent une sublimation d'acide arsenieux et laissent un résidu (du moins pour les matières minérales); *avec le charbon*, donnent l'odeur d'ail.

ARSENIATES. *Dans le tube fermé*, ne donnent pas de sublimation; *avec le charbon*, donnent de l'acide arsenieux et l'odeur d'ail.

Les arseniates sont souvent mélangés de phosphates,

ce qui n'empêche pas les réactions indiquées; mais pour manifester l'acide phosphorique, il faut recourir à l'essai des phosphates; voyez plus loin.

L'odeur d'ail développée par la calcination, soit simple, soit avec le charbon, est assez marquée pour faire reconnaître des portions infiniment petites d'arsenic dans des composés de genres différents.

**ANTIMOINE.** Métal blanc d'argent. *Dans le tube ouvert*, donne des vapeurs blanches abondantes, sans odeur d'ail, qui se condensent sur le tube sous forme pulvérulente, et que l'on peut volatiliser et chasser d'un endroit à l'autre en chauffant de nouveau; cet oxide, est insoluble dans l'*acide nitrique*, soluble au contraire dans l'*acide hydrochlorique* d'où il est précipité en blanc par l'*eau*, et en jaune orangé par l'*hydrogène sulfuré*.

**ANTIMONIURES.** Éclat métallique; même caractère que l'antimoine: laissent un résidu lorsqu'il ne se dégage plus de vapeur blanche.

L'antimoine dans les composés est tantôt le corps électro-négatif, tantôt le corps électro-positif; il produit les mêmes réactions dans les deux cas, mais dans le second on obtient en même temps les réactions du soufre ou de l'arsenic, etc.; s'il y a un résidu, le corps renferme une autre matière.

**OXIDES D'ANTIMOINE.** Avec le charbon se réduisent en globules métalliques, qui chauffés à l'air présentent les caractères de l'antimoine. Voyez les deux oxides parmi les espèces.

**TELLURE.** Métal gris d'acier. *Dans le tube fermé*, donne un sublimé gris; *dans le tube ouvert*, donne des vapeurs blanches qui s'attachent aux parois du tube, et s'y fondent en gouttelettes limpides lorsqu'on les chauffe de nouveau; ne laisse pas de résidu après l'opération.

**TELLURIURES.** Éclat métallique; même caractère que le tellure; mais laissent un résidu.

Lorsque le corps essayé ne renferme que très peu de tellure, on peut encore avoir la vapeur blanche; mais il faut y regarder de très près pour n'être pas trompé en chauffant de nouveau le tube, parce que les gouttelettes étant très petites et très limpides, on pourrait croire que tout est évaporé et que la sublimation blanche était due à l'antimoine.

OSMIURES. On n'en connaît encore qu'un seul dans la nature (Voyez osmiure dirridium). Calciné avec le nitrate de potasse, ils donnent une odeur analogue à celle du chlore.

SOUFRE. Donne, en brûlant, l'odeur bien connue, qui est due à la formation de l'acide sulfureux; ne laisse pas de résidu lorsqu'il est mécaniquement pur.

SULFURES. Éclat souvent métallique. *Dans le tube ouvert*, la plupart donnent de l'acide sulfureux comme le soufre, ils en donnent tous lorsqu'ils ont été préalablement mêlés avec la limaille de fer; avec la *soude* ou le *carbonate de soude*, ils donnent tous par la fusion, une matière qui, projetée dans de l'eau acidulée, laisse dégager de l'hydrogène sulfuré, dont l'odeur est celle des œufs pourris. Ils laissent un résidu fusible, ou donnent des vapeurs qui décèlent les substances avec lesquelles le soufre est combiné

ACIDE SULFUREUX. Gazeux ou dissous dans l'eau, ayant immédiatement l'odeur de soufre brûlé.

ACIDE SULFURIQUE. Liquide. *La poussière de charbon* qui en est imbibée donne de l'acide sulfureux par la chaleur.

SULFATES. *Dans le tube fermé*, donnent souvent des vapeurs acides ou de l'acide sulfureux; *avec le charbon, seul ou mêlé de carbonate de soude*, donnent par la fusion une fritte qui dégage de l'hydrogène sulfuré par l'action de l'eau acidulée; *par l'acide sulfurique* ne donnent pas d'odeur sulfureuse.

**CARBONE.** Substance cristalline et très dure (diamant), ou en masses noires quelquefois métalloïde. *Dans le tube ouvert*, brûle avec plus ou moins de difficulté; *avec le nitrate de potasse*, fuse à la chaleur rouge, et donne pour résidu du carbonate de potasse. (Voyez les matières charbonneuses parmi les espèces).

**CARBURES.** Dans le règne minéral, les carbures sont à base d'hydrogène, gazeux (hydrogène carburé), liquides (naphte et pétrole) ou solides et analogues à des matières résineuses (asphalte etc.) Voyez ces corps parmi les espèces. Ce qu'on nomme carbure de fer, ou graphite, ne paraît être que du carbone mélangé accidentellement de matière ferrugineuse, et présente les caractères du carbone.

**ACIDE CARBONIQUE.** Gazeux, sans odeur, absorbable par les alcalis, ou dissous dans l'eau à laquelle il communique une saveur aigrelette, la propriété de mousser et de donner par l'eau de chaux un précipité qui se dissout avec effervescence dans les acides.

**CARBONATES.** *Avec les acides*, se dissolvent, soit à froid soit à chaud, avec une effervescence plus ou moins vive, produite par un gaz sans odeur, sans couleur, qui est de l'acide carbonique.

**NITRATES.** Corps solubles ou déliquescents, fusant *avec le charbon*; *avec l'acide sulfurique*, dégagent des vapeurs rouges d'acide nitreux, lorsqu'on les a mêlés avec de la limaille de cuivre.

**CHLORURES.** *Avec l'acide sulfurique*, donnent du chlore, reconnaissable à l'odeur safranée et à la couleur jaune verdâtre, lorsqu'on les a préalablement mélangés avec le peroxyde de manganèse en poudre. *Avec le phosphate de soude et d'ammoniaque*, préalablement fondu avec de l'oxyde de cuivre, donnent autour du globule fondu une belle flamme bleue, tirant sur le pourpre, qui résulte de la décomposition du chlorure de cuivre.



**PHTORURES.** Avec l'acide sulfurique, quelques-uns donnent un gaz piquant qui corrode le verre. Avec le phosphate de soude et d'ammoniaque, préalablement fondu, tous laissent dégager ce même gaz. Dans le tube fermé, quelques matières chauffées sans réactifs produisent le même effet, qui est dû à la présence du phtore.

**IODURES.** Avec l'acide sulfurique, ils dégagent des vapeurs violettes qui ont l'odeur du chlore.

**ACIDE BORIQUE.** En paillettes nacrées; donnant immédiatement à l'alcool la propriété de brûler avec une flamme verte.

**BORATES, BOROSILICATES.** Avec l'acide nitrique, ils sont attaqués, et laissent un résidu comme savonneux, qui donne à l'alcool la propriété de brûler avec une flamme verte: le résidu des borosilicates fritté avec le carbonate de soude, et traité par l'eau, laisse encore une matière insoluble qui est la silice. Les simples borates ne laissent dans ce cas aucun résidu.

Les phosphates, chromates, molybdates, tungstates, tantalates, ne présentent aucun des caractères précédents. Ceux de la nature, à l'exception du phosphate de soude qui est soluble, ont besoin d'être traités sur une feuille de platine, avec le carbonate de soude; il en résulte un sel alcalin soluble dans l'eau, à laquelle il faut ajouter un peu d'acide nitrique ou acétique pour saturer le carbonate alcalin surabondant. On reconnaît ensuite la nature de l'acide du corps essayé, en traitant la solution par divers réactifs.

**PHOSPHATES.** La solution précipite en blanc par les nitrates de plomb, de zinc et de mercure, en jaune par le nitrate d'argent.

Les phosphates sont souvent mélangés d'arseniate, dont la présence est annoncée par l'odeur d'ail avec le charbon, mais qui masquent les réactions que nous venons d'indiquer. Si l'arseniate est assez abondant, le pré

cipité par le nitrate de mercure, prend une légère teinte jaune, celui du nitrate d'argent se rembrunit. Mais pour bien distinguer les deux sels, il faut recueillir le précipité par le nitrate de plomb, et le chauffer sur un charbon ou feu de réduction; l'arseniate est alors décomposé, donne des vapeurs d'arsenic, et il en résulte du plomb métallique, qui reste avec un globule de phosphate susceptible de cristalliser.

**CHROMATES:** La solution précipite en jaune par le nitrate de plomb, en rouge par les nitrates d'argent et de mercure.

**CHROMITES,** Le chromite de fer, le seul que l'on connaisse, n'est pas attaqué par le carbonate de soude, à moins qu'on ne pousse fortement au feu d'oxydation. Avec le nitrate de potasse ou de soude, l'oxide de chrome est transformé en acide chromique, et la solution aqueuse donne les caractères des chromates.

**OXIDE DE CHROME.** Traité comme les chromites, produit le même effet. Au feu de réduction toute substance qui renferme du chrome, forme avec la soude une matière fondue d'un vert clair, qui passe au jaune par le feu d'oxydation.

**MOLYBDATES.** La solution donne par l'addition d'un acide un précipité blanc d'acide molybdique; une lame d'étain la fait ensuite passer au bleu. Précipité fusible et volatil, donnant avec le double phosphate un verre vert au feu de réduction.

**TUNGSTATES.** Un excès d'acide ajouté à la solution donne un précipité, blanc d'abord, et qui jaunit par l'ébullition. Ce précipité est infusible; il donne avec le double phosphate un verre bleu au feu de réduction.

**TANTALATES.** L'addition d'un des acides nitrique et hydrochlorique détermine un précipité blanc qui ne se redissout pas, quoique ces acides soient en excès et la

solution étendue), infusible, devenant, lorsqu'il est encore humide, orangé par l'infusion de noix de galle, et brun par l'hydrosulfate d'ammoniaque. Fusion avec le double phosphate donnant un verre incolore.

**SILICATES** ou **SILICE**. Fusion beaucoup plus difficile, exigeant plus de sel de soude, et un feu plus long-temps soutenu, pour faire une matière soluble; solutions précipitant par les acides nitrique, hydrochlorique, etc., si elle est suffisamment concentrée, non lorsqu'elle est très-étendue, mais donnant alors un précipité par l'évaporation. Précipité blanc, ne se colorant par aucun réactif, infusible, donnant un verre incolore avec le double phosphate.

Plusieurs silicates sont attaquables immédiatement par les acides, qui forment alors avec eux une gelée transparente. Cette gelée est produite par la silice qui se sépare du corps. Toute substance qui fait gelée avec les acides est jusqu'ici un silicate.

La silice qu'on obtient de l'une ou de l'autre manière, renferme quelquefois de l'acide borique, qu'on reconnaît par l'alcool.

**TITANATES** ou **OXIDES DE TITANE**. Résultat de la fusion insoluble dans l'eau, soluble dans l'acide hydrochlorique. Solution précipitant en vert pré, s'il y a présence d'oxide de fer, par l'hydrocyanate de potasse, et en rouge brun si l'on a un titanate non ferrugineux; fournissant par l'acide oxalique un précipité blanc qui donne un verre violet avec le sel de phosphore au feu de réduction.

**ALUMINATE** ou **ALUMINE**. Fusion incomplète. Résultat insoluble dans l'eau, souvent difficile à attaquer par l'acide hydrochlorique. Solution ne précipitant pas par l'évaporation; donnant par l'ammoniaque, un précipité gélatineux qui se redissout par l'addition

de la potasse ; précipité devenant d'un beau bleu par la calcination avec un sel de cobalt.

Les *ferrates* et *manganates* ne peuvent être distingués des oxides de fer et de manganèse, et de leur combinaison comme corps électro-positif, qu'en démontrant que le corps proposé n'appartient à aucun des genres de composés que nous venons de caractériser, et qu'il renferme une base avec laquelle l'oxide ferrique ou manganique est combiné.

**MANGANATES, OXIDE DE MANGANÈSE, ou SUBSTANCE MANGANÉSIÈNE.** Donnent par la fusion avec le sel de soude, une matière de couleur verte, qui devient bleuâtre par le refroidissement.

**FERRATES, OXIDES DE FER ou SUBSTANCE FERRUGINEUSE.** Si l'on peut en faire une solution dans l'acide nitrique, on obtient un précipité bleu abondant par l'hydrocyanate ferruginé de potasse.

Les métaux à l'état libre, dont nous avons parlé, se reconnaissent aux caractères suivants :

**ARGENT ;** Blanc ; attaquable par l'acide nitrique. Solution donnant par l'acide hydrochlorique, ou un chlorure, un précipité insoluble dans les acides, qui se dissout dans l'ammoniaque.

**BISMUTH.** Blanc rougeâtre. Attaquable par l'acide nitrique ; solution précipitée en blanc par l'eau. La calcination sur le charbon ou dans un tube, donne un oxide peu volatil, jaunâtre, qui ne communique aucune couleur à la flamme.

**FER.** Couleur connue. Attaquable par l'acide nitrique. Solution précipitant en bleu par l'hydrocyanate ferruginé de potasse, et en noir par l'infusion de noix de galles.

**GUIVRE.** Rouge. Attaquable par l'acide nitrique. Solution d'un bleu verdâtre, donnant avec les alcalis

fixes un précipité bleu, et avec l'ammoniaque un précipité bleuâtre qui se redissout dans un excès de l'alcali, et forme une liqueur d'un beau bleu céleste.

**PALLADIUM.** Blanc. Attaquable par l'acide nitrique. Solution rouge, donnant un précipité olive par l'hydrocyanate ferruginé de potasse, et un précipité métallique par le proto-sulfate de fer.

**OR.** Jaune. Attaquable seulement par l'eau régale. Solution donnant un précipité pourpre par le proto-chlorure d'étain.

**AURURES.** L'aurure d'argent le seul que l'on connaisse est jaune d'or ou blanc jaunâtre. Soluble dans l'eau régale, donnant immédiatement un précipité (chlorure d'argent), et ensuite un précipité pourpre par le proto-chlorure d'étain.

**PLATINE.** Blanc. Attaquable seulement par l'eau régale. Solution précipitant en jaune par les hydrochlorates d'ammoniaque et de potasse.

Les corps qui ne se rapportent à aucun des précédents, sont des oxides d'étain, de bismuth, de plomb, d'urane, de cobalt, de cuivre; voyez plus loin leurs caractères.

(244). *Déterminer la nature des corps électro-positifs qui entrent dans les composés.* — Pour pouvoir reconnaître ces corps positivement, dans tous les cas, il faut que la substance soit préalablement mise en solution. Or,

Lesantimoniures } doivent être toujours attaqués par  
arséniures, } l'acide nitrique, quelquefois par  
hydrargures, } l'eau régale; la solution sera évapo-  
sélénieurs, } rée avec précaution à siccité, et le  
sulfures, } résidu repris par l'eau, autant qu'il  
telluriures, } en est susceptible.

Les carbonates seront dissous, à froid ou à chaud, dans les acides nitrique ou hydrochlorique.

Les arséniates,  
borates,  
chlorures,  
chromates,  
iodures,  
molybdates,  
phosphates,  
phosphorures,  
sulfates,  
tantalates,  
tungstates,

insolubles, doivent être fondus avec le carbonate de soude, et le résultat traité par l'eau et lavé; le résidu sera dissous dans l'acide hydrochlorique, la solution évaporée à siccité et la matière reprise par l'eau.

Lessilicates,  
titanates,  
aluminates,

doivent être fondus avec le carbonate de soude; le résultat sera dissous immédiatement par l'acide hydrochlorique, évaporé à siccité et repris par l'eau.

Tous les corps solubles dans l'eau seront immédiatement dissous dans ce liquide.

*A. Corps de la première série.*

Les seules bases que nous connaissons jusqu'ici dans ces composés, sont

Arsenic.	Argent.
Antimoine.	Mercure.
Cadmium.	Plomb.
Manganèse.	Cuivre.
Cobalt.	Fer.
Étain.	Nickel.
Molybdène.	Zinc.
Bismuth.	

On aura déjà reconnu l'arsenic, l'antimoine, le tellure, le sélénium, en quelque petite quantité qu'ils soient, par la recherche du genre auquel appartient la substance.

On pourra rechercher d'avance le cadmium, le

manganèse, le cobalt, pour n'avoir pas à s'en occuper dans la solution; on les reconnaîtra aux caractères suivants :

**CADMIUM.** Chauffé sur le charbon donne une auréole de poussière rouge, ou jaune orangé, en quelque petite quantité qu'il soit dans le minéral.

**MANGANÈSE.** Donne avec le carbonate de soude sur la feuille de platine, une matière verte, qui prend une teinte bleuâtre en refroidissant.

**COBALT.** Après le grillage, donne avec le borax un verre bleu très intense au feu de réduction.

L'acide nitrique, en agissant sur les corps dont nous nous occupons, les fait tous passer à l'état d'oxide ou d'acide. L'étain, l'antimoine, le molybdène, une fois oxigénés, se précipitent immédiatement au fond du petit matras; on les distingue l'un de l'autre à ce que

L'OXIDE D'ÉTAIN, ne se volatilise pas par la chaleur sur le charbon, qu'il s'y réduit avec le carbonate de soude, et donne un bouton métallique malléable, à moins qu'il ne renferme de l'oxide antimonieux, ce qui arrive quelquefois; dans ce cas, le bouton métallique répand des fumées blanches, et devient ductile lorsqu'il cesse d'en donner, ou se convertit en oxide qui reste autour de la matière d'essai.

L'ACIDE ANTIMONIEUX, qui s'est formé, donne des vapeurs blanches sur le charbon; il se réduit avec le carbonate de soude en globule métallique cassant: si ce globule complètement grillé, laisse un bouton ductile, ou donne un oxide blanc fixe, il contient de l'étain.

L'ACIDE MOLYBDIQUE a été caractérisé à l'article molybdates.

Si la substance dissoute par l'acide nitrique renferme du soufre et du plomb, il se fait aussi un préci-

pité qui est du *sulfate de plomb*; on reconnaîtra le sulfate par les caractères indiqués, et le plomb en traitant la matière comme les corps de la troisième série.

Si l'on a traité un arsénure ou un corps qui renferme de l'arsenic, il pourra se former des cristaux d'acide arsenieux par le refroidissement de la liqueur, ou des précipités d'arseniates; mais ces derniers n'auront pas lieu, tant que l'acide nitrique sera surabondant. On aura reconnu la présence de l'arsenic par les premiers essais de la recherche du genre.

Si l'on a traité un sélénure, ou un corps qui renferme du sélénium, on pourra avoir des cristaux d'acide sélénié. On aura reconnu le sélénium par les essais préliminaires.

Il pourra quelquefois arriver aussi qu'il reste une petite quantité d'une matière jaune métallique, insoluble si l'on a employé l'acide nitrique, et qui consiste en quelques parcelles d'or.

Cela posé, examinons la liqueur; elle renfermera :

**Du BISMUTH.** Si une goutte projetée dans une assez grande quantité d'eau, la trouble immédiatement en blanc.

**De L'ARGENT.** Si une goutte d'acide hydrochlorique, ou de solution de chlorure de sodium, ajoutée à une portion de cette liqueur, donne un précipité blanc, floconeux, soluble dans l'ammoniaque.

**Du MERCURE.** Si une portion de la liqueur traitée par l'acide hydrochlorique, précipite sur une lame de cuivre une poudre grise, qui l'argente, et que l'on peut volatiliser facilement par la chaleur.

**Du CUIVRE.** Si une portion de la liqueur traitée par l'acide hydrochlorique, avant l'introduction du cuivre, forme sur une lame de fer un enduit rouge de cuivre.

**Du PLOMB.** Si une goutte d'acide sulfurique, ou de solution de sulfate de soude, ajoutée à la même



portion de liqueur y forme un précipité blanc.

Du FER. Si une portion de solution dans laquelle on n'a pas introduit de fer, précipite en bleu par l'hydrocyanate ferruginé de potasse.

Du NIKEL. Si la liqueur dans laquelle on a laissé séjourner une lame de fer assez long-temps pour séparer tous les métaux précédents, devient bleue par l'addition de l'ammoniaque.

Du ZINC. Si une portion de solution traitée par la potasse caustique en excès, et filtrée, retient encore quelque chose, qu'elle précipite en blanc, lorsqu'on la sature avec ménagement par un acide.

On pourrait trouver par la suite les métaux qui ont la propriété de former des composés doubles, du genre de ceux dont nous nous occupons : tels que

TUNGSTÈNE.	}	Ils formeraient un précipité immédiat d'acide tungstique et tantalique.
TANTALE.		
PLATINE.	}	Resteraient insolubles par l'acide nitrique; seraient attaqués par l'eau régale, et se précipiteraient avec le mercure sur la lame de cuivre.
OR.		
IRRIDIUM.		
RHODIUM.		
PALLADIUM.	}	Précipiterait avec le mercure, donnerait un précipité métallique par le protosulfate de fer.
URANE.		
	}	La solution traitée par le carbonate de soude en excès, retiendrait quelque chose qui se précipiterait par l'addition d'un acide : ce précipité remis en solution par cet acide, donnerait un nouveau précipité, rouge de sang, par l'hydrocyanate ferruré de potasse.

CERIUM.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Attaqué seulement par l'eau régale,} \\ \text{précipité alors en blanc par l'hydro-} \\ \text{cyanate ferruginé de potasse, et aussi} \\ \text{par les alcalis et l'hydrosulfure de} \\ \text{potasse.} \end{array} \right.$

*B. Corps des autres séries.*

Les solutions de ces séries pourront renfermer à peu près tous les oxides ; mais nous remarquerons qu'on n'y trouve pas, et qu'il paraît même qu'on n'y peut pas trouver d'or, de platine, de palladium, rhodium, iridium, parce que ces corps sont trop peu oxidables. On ne trouve jamais qu'un petit nombre d'oxides réunis ensemble ; mais pour ne pas entrer dans trop de détails, nous supposerons tout ce que l'on peut rencontrer, réunis dans la même solution, savoir :

Cadmium.	Baryte.
Manganèse.	Strontiane.
Cobalt.	Alumine.
Chrome.	Ytria.
Lithine.	Glucine.
Ammoniaque.	Zircone.
Bismuth.	Urane.
Argent.	Zinc.
Mercure.	Chaux.
Cuivre.	Magnésie.
Nickel.	Potasse.
Fer.	Soude.
Plomb.	

On cherchera, comme précédemment, par des essais préliminaires, si la substance renferme du cadmium, du manganèse, du cobalt ; on cherchera aussi, lorsque ce n'est pas un chromate, si elle renferme de l'oxide de chrome, et en général s'il s'y trouve de la lithine ou de l'ammoniaque.

**OXIDE DE CHROME.** La substance traitée par le carbonate de soude sur la feuille de platine, donne une matière verte au feu de réduction, qui devient jaune au feu d'oxidation.

**LITHINE.** Le minéral étant réduit en poudre et traité par la soude sur une feuille de platine, la lithine dégagée produit sur le métal une tache brune, autour de la masse fondue : en enlevant la tache avec de l'eau, on reconnaît que le métal a perdu son brillant. Ce caractère est cependant assez équivoque, parce que la soude elle-même produit un effet analogue, quoique moins marqué, que divers autres corps le produisent aussi, et que la présence de la potasse empêche la réaction.

**AMMONIAQUE.** Cet alcali ne se trouve que dans des sels solubles. En délayant ces sels avec un peu de potasse ou de soude caustique, la présence de l'ammoniaque se manifeste par l'odeur piquante et urinéuse.

Ces essais préliminaires étant faits, passons aux autres substances. Le **BISMUTH** manifestera sa présence par l'addition de l'eau, soit à la liqueur acide qui a dissous les carbonates, soit au résidu d'évaporation que l'on reprend par ce liquide. L'**ARGENT**, le **MERCURE**, le **CUIVRE**, le **NICKEL**, le **FER**, se reconnaîtront comme précédemment.

Maintenant nous n'avons plus à nous occuper que des autres matières, dont nous allons donner les caractères.

**OXIDE DE PLOMB, BARYTE, STRONTIANE.** Une goutte d'acide sulfurique, ou d'un sulfate, produit un précipité dans la solution; pour le *plomb*, le précipité noircit à l'instant par des vapeurs d'hydrogène sulfuré; pour la *baryte* le précipité ne noircit pas, et il se forme toujours quelle que soit la quantité d'eau que l'on ajoute à la liqueur; pour la *strontiane*, le précipité ne noircit pas,

mais il cesse de se former lorsque la solution est très étendue.

Après ces expériences il faut ajouter de l'ammoniaque en excès. Les matières se partagent alors en deux ; les unes se précipitent , les autres restent en solution.

**A. Matières précipitées.** C'est dans le précipité qu'il faut chercher l'urane, l'alumine, la glucine, l'yttria, le cerium, la zirconne. On laissera ce précipité exposé quelque temps à l'air, on l'agitera ensuite dans de l'eau, que l'on partagera en quatre portions pendant qu'elle est trouble. On reconnaîtra les diverses substances de la manière suivante.

**URANE.** Si du carbonate de potasse, qu'on fait dissoudre dans une des portions de l'eau, enlève quelque chose aux matières qu'elle tenait en suspension, et si le liquide filtré, saturé d'acide, précipite en rouge sanguin par l'hydrocyanate ferruginé de potasse.

**YTTRIA, GLUCINE.** Si du carbonate d'ammoniaque dissous dans une autre partie de l'eau en extrait quelque chose. *Yttria*, si le liquide saturé d'acide précipite par la soude caustique en excès. *Glucine*, s'il ne précipite pas : *l'une et l'autre*, si la liqueur alcaline qui surnage après la séparation de l'yttria, renferme quelque chose.

**ALUMINE, GLUCINE.** Si la soude caustique ajoutée à une troisième portion de l'eau, en extrait quelque chose. *Alumine*, si la solution saturée d'acide précipite par le carbonate d'ammoniaque en excès. *Glucine*, si le précipité n'a pas lieu : *l'une et l'autre*, si la liqueur qui surnage après la séparation de l'alumine renferme quelque chose.

**CERIUM, ZIRCONNE.** Si ajoutant un acide à la quatrième portion d'eau, pour dissoudre ce qu'elle tient en suspension, l'oxalate d'ammoniaque y fait un précipité.

*Cerium*, si le précipité devient brun par calcination,

s'il donne avec le borax un verre rouge, ou orangé foncé, tant qu'il est chaud, et qui devient jaune par refroidissement. *Zircone*, si le précipité jette une vive lumière par la calcination, s'il donne un verre blanc opaque avec le borax : l'un et l'autre si, après une bonne calcination, un acide dissout une partie du précipité, et en laisse une autre, qui est de la zircone.

B. *Liqueur ammoniacale*. Elle renferme le zinc, la chaux, la magnésie, la lithine, la soude et la potasse, que nous avons à chercher.

CHAUX. Précipitée à l'instant par l'oxalate d'ammoniaque; le précipité rougit le papier de curcuma humide, après la calcination.

Le nikel et le cobalt se précipitent quelquefois en même temps, si la liqueur en renferme; mais ni l'un ni l'autre ne rougit le papier de curcuma.

ZINC. Si, la liqueur étant évaporée et le résidu repris par un acide, la nouvelle solution, traitée par la soude caustique en excès, retient quelque chose qu'on puisse précipiter ensuite en blanc, en la saturant avec précaution par un acide.

MAGNÉSIE. Si la liqueur évaporée et le résidu repris par un acide, la nouvelle solution, traitée par l'hydro-sulfate de potasse et filtrée, précipite par la soude.

Après ces essais, il n'y a plus que la lithine, la soude, la potasse, qui puissent exister dans le composé examiné. Ces alcalis se trouvent dans des sels solubles ou dans les silicates. Pour les chercher dans ces derniers, il faut, s'ils ne sont pas solubles dans les acides, les fondre avec le nitrate de baryte, broyer la matière qui en résulte, la faire digérer dans l'acide nitrique.

Ayant, de cette manière, ou bien par la solution immédiate dans l'eau ou dans un acide, une solution à laquelle on n'a ajouté aucun des trois alcalis, on pré-

cipitera tout ce qui en est susceptible par le carbonate d'ammoniaque; après avoir filtré, on évaporera le liquide, et on calcinera le résidu jusqu'à ce qu'il ne dégage plus de vapeur. S'il reste alors dans la capsule quelque chose de soluble dans l'eau, c'est un des trois alcalis; on les distinguera aux divers caractères suivants.

**LITHINE.** Sa solution concentrée précipite par le carbonate de soude; le précipité corrode le platine.

**POTASSE.** Sa solution précipite en jaune par le chlorure de platine.

**SOUDE.** Ne présente ni l'un ni l'autre de ces caractères.

Si les trois alcalis sont ensemble, on reconnaîtra encore le premier et le second de la même manière; quant au troisième, il faudra transformer tout en sulfate, faire évaporer doucement et laisser former des cristaux: on reconnaîtra alors la présence de la soude à l'efflorescence de son sulfate, qui, après quelques jours, détermine quelques petits points blancs parmi les autres cristaux.

(245). *Opérations dans des cas plus simples.*—Nous avons supposé, dans ce qui précède, que les oxides qu'on a trouvés dans diverses combinaisons, étaient tous réunis dans la même solution. Cette manière a eu l'avantage d'abrèger la description, qui, sans cela, aurait exigé une multitude de divisions pour les différents cas qui peuvent se présenter; mais aussi elle a compliqué le problème beaucoup plus qu'il ne l'est ordinairement. En effet, il est rare qu'on trouve six ou sept bases dans le même composé; le plus souvent on n'en trouve que trois ou quatre, et quelquefois il n'y en a qu'une seule. Les recherches sont alors beaucoup plus faciles; en ce que l'on n'a pas besoin d'attaquer les précipités que l'on a formés, et que chaque goutte de solution peut indiquer si telle matière existe ou n'existe pas: nous en donnons quelques exemples. Remarquons

d'abord que l'urane, l'yttria, la glucine, le cerium, la zircone sont rares dans les composés; qu'il n'y a que quelques minéraux, qui ont la plupart des caractères particuliers, dans lesquels on les trouve. Il en résulte que, dans les cas les plus ordinaires, on n'a plus, après la recherche, d'ailleurs si facile, de l'oxide de plomb, de la baryte et de la strontiane, qu'à déterminer la présence de la chaux, de l'alumine, de l'oxide de zinc, de la magnésie et des trois alcalis.

On prendrait alors la partie de solution traitée par l'acide sulfurique ou un sulfate; on reconnaîtrait qu'elle contient.

*Chaux.* Si elle précipite par l'oxalate d'ammoniaque.

*Alumine, oxide de zinc.* Si traitée par la soude en excès, elle retient quelque chose qu'on puisse précipiter en saturant avec précaution par un acide. *Alumine*, si la solution sursaturée d'acide, de manière à redissoudre le précipité, donne un nouveau précipité blanc, floconneux, par l'ammoniaque en excès. *Oxide de zinc*, si l'ammoniaque fait d'abord un précipité qui se redissout bientôt après : *l'un et l'autre*, si la liqueur qui surnage le précipité d'alumine, retient quelque chose, qu'on puisse précipiter en saturant de nouveau, avec précaution, par un acide.

*Magnésie.* Si traitée par l'hydrosulfate de potasse et filtrée, elle précipite encore par la soude ou la potasse.

Si la substance proposée ne renfermait aucun des métaux reconnus avant le plomb, la baryte et la strontiane, la recherche serait encore singulièrement simplifiée. Après avoir traité par l'acide sulfurique ou un sulfate, on reconnaîtrait à l'instant :

*La chaux* par l'oxalate d'ammoniaque,

*La magnésie* immédiatement par la soude,

*L'alumine* par l'ammoniaque, qui donne alors un précipité blanc floconneux.

L'oxide de zinc dans la liqueur ammoniacale, en saturant avec précaution par un acide.

On ne pourrait pas opérer de la même manière dans le cas où l'on soupçonnerait plus de complication, parce qu'alors les précipités seraient trop mélangés. En effet, dans le premier cas l'alumine pourrait renfermer de la glucine, et la magnésie de l'yttria, qu'il faudrait alors y chercher. Dans le second cas ces deux substances seraient encore mêlées avec beaucoup d'autres, c'est-à-dire avec toutes les matières précipitables par la soude et par l'ammoniaque. La liqueur ammoniacale, outre l'oxide de zinc, pourrait renfermer encore du nikel, du cobalt, du cuivre.

(246)—*Observations.* Dans les différents genres d'essais que je viens d'indiquer, je n'ai eu en vue que d'offrir les moyens les plus simples, et les plus faciles, de mettre en évidence les diverses matières qui entrent dans la composition d'un minéral, et lorsqu'elles n'y sont pas en trop petite quantité. N'ayant pas pour but de séparer ces matières les unes des autres, je me suis peu occupé d'avoir des précipités purs; et en effet, pourvu qu'on puisse découvrir la présence d'une substance, peu importe qu'elle en entraîne d'autres en se précipitant ou se volatilissant. J'ai cependant senti fréquemment qu'il serait nécessaire d'entrer dans plus de détails, de procéder même par d'autres moyens, pour arriver à plus de précision; mais je crains déjà, malgré les bornes étroites dans lesquelles je me suis resserré, que les minéralogistes ne me reprochent, en général, d'avoir trop compliqué ces sortes de recherches. Pourtant je ferai remarquer, à cet égard, qu'il est impossible de se dispenser des essais chimiques dans l'étude des minéraux, sous peine de tomber dans une foule d'erreurs, dont les plus grands minéralogistes n'ont pu se défendre, et que dès lors il faut tâcher de ne pas restreindre



tellement les moyens, qu'ils deviennent tout-à-fait illusoires. Il ne suffit pas, en effet, d'employer les prétendus caractères chimiques indiqués dans tous les ouvrages, car bien certainement on n'en tirerait aucun résultat. Que signifie, en effet, le caractère chimique que l'on donne au carbonate de chaux, de faire effervescence avec les acides? vingt autres substances sont dans le même cas. A quoi peut conduire le caractère de faire gelée dans les acides? tous les silicates hydratés, quelques silicates même, produisent le même phénomène. Les caractères de fusibilité qu'on indique encore si souvent, n'ont guère plus d'importance, puisqu'ils ne diffèrent que du plus au moins dans des substances éminemment distinctes, et ne dénotent en aucune manière la nature du corps. Toutes ces indications sont trop vagues pour être réellement utiles, et pour pouvoir servir de caractères spécifiques; ceux-ci ne peuvent avoir de valeur qu'autant qu'ils sont susceptibles d'indiquer les divers composants des corps. Nous ferons remarquer encore que si nos collections fourmillent de méprises, ou au moins d'incertitudes, c'est par suite de l'éloignement qu'on a toujours eu d'employer convenablement les réactifs pour la distinction des substances; il en est résulté qu'un grand nombre de matières minérales, surtout parmi celles qui ne sont pas cristallisées régulièrement, se trouvent rangées dans telle ou telle espèce, d'après les considérations les plus vagues, souvent sur la foi du vendeur, ou sur celle de telle ou telle personne qui, ayant rencontré un minéral, lui a imposé, à peu près au hasard, tel ou tel nom.

Bien loin qu'on puisse restreindre les essais chimiques, tout porte au contraire à y mettre autant de précision qu'il est possible, et il serait de la plus haute importance de les transformer réellement en

analyse du minéral. En effet, il ne suffit pas de savoir en gros qu'une substance renferme telle ou telle matière, puisque ces matières peuvent être réunies en diverses proportions qui constituent des corps très différents; il faut donc en connaître les quantités relatives, ce qui ne peut se faire que par des opérations où l'on sépare rigoureusement les différentes matières les unes des autres, et où on peut les peser isolément. Il faut aussi savoir à quel degré d'oxidation tel ou tel métal se trouve dans un minéral, parce que les conséquences sont alors toutes différentes; or cette circonstance, déjà si difficile à établir dans les analyses les plus soignées, devient le plus souvent impossible à reconnaître dans les essais en petit. On peut encore moins distinguer s'il y a deux oxides différents du même métal, dont l'un fait fonction de base, l'autre fonction d'acide, comme nous en avons déjà plusieurs exemples. Enfin, on ne peut parvenir à reconnaître que tel corps est en remplacement de tel ou tel autre dans la composition d'un minéral, que par une discussion approfondie qui exige la connaissance des quantités relatives des composants. Ainsi il faut de toute nécessité posséder l'analyse d'un minéral pour le bien connaître. Or, ce sont les minéralogistes mêmes qui doivent faire les analyses, parce que ce sont eux qui y ont le plus grand intérêt; les chimistes de profession, ont trop d'autres sujets de recherches, dans leur spécialité, pour s'occuper activement de l'analyse des minéraux, dont ils n'obtiennent que rarement, dans l'état actuel, des résultats utiles à la science dont ils s'occupent. Le minéralogiste est le seul aussi qui puisse mettre à profit une multitude de circonstances, que seul il peut connaître dans leur détail, et qu'il est important d'apprécier pour tirer parti d'une analyse; enfin c'est lui seul qui peut connaître les be-

soins de la science, et choisir par conséquent les corps sur lesquels l'examen doit spécialement porter. La science serait bien plus avancée, si depuis quelques années, qu'on a été forcé de l'envisager sous un nouveau point de vue, chaque minéralogiste s'était adonné à ce genre d'études; il ne resterait pas tant d'incertitudes, qui sont encore à lever, sur beaucoup de substances, et probablement on ne verrait plus éclore tant d'espèces qui ne peuvent être placées que dans un *incertæ sedis*.

D'après ces considérations, nous ne pouvons qu'engager les personnes qui prendront quelque goût pour la minéralogie, à se livrer à la chimie minérale, et à se mettre en état de faire elles-mêmes les analyses que la science réclame; elles verront bientôt qu'en s'aidant des ouvrages de chimie, et s'exerçant d'abord sur des mélanges faits exprès, ou sur des matières bien connues, elles pourront en peu de temps se mettre à même de faire la plupart des recherches qui sont nécessaires aujourd'hui. Il n'y a que certaines substances, pour lesquelles elles pourront trouver quelques difficultés dans l'état actuel; mais pour peu qu'elles y mettent de l'importance, elles ne manqueront pas de trouver auprès des chimistes les conseils qui pourront leur être utiles, et même de provoquer les recherches qui peuvent être nécessaires pour découvrir les méthodes d'opération.

---

## LIVRE TROISIÈME.

### DISTINCTION ET CLASSIFICATION DES SUBSTANCES MINÉRALES.

---

(247) NOUS venons d'étudier, de la manière la plus générale qu'il nous a été possible, les différents genres de propriétés que présentent les minéraux, et nous avons fait connaître les moyens que l'on peut employer pour les constater. C'est dans ces propriétés que sont pris les différents caractères au moyen desquels on parvient à distinguer les divers corps entre eux, à les rapprocher ou à les éloigner suivant leurs analogies ou leurs différences, et par conséquent à former des groupes dont l'ensemble constitue ce qu'on nomme une classification. Mais il est clair que ces sortes de groupes seront très différents, suivant qu'on prendra pour base telle ou telle sorte de caractères; aussi chaque ouvrage de minéralogie présente-t-il une classification particulière, et chaque professeur a-t-il la sienne. Personne jusqu'ici ne s'est accordé, et l'on ne peut trop s'étonner que dans un siècle où toutes les

autres branches d'histoire naturelle sont professées partout suivant les mêmes principes, la classification minéralogique soit encore si peu fixée, et se trouve en quelque sorte au même point que dans son enfance ; c'est que, dans cette science, on n'a jamais eu autre chose que des *méthodes artificielles*, et qu'on n'a jamais pris les moyens d'arriver à une méthode naturelle, qui réunirait ici tous les suffrages, comme les méthodes introduites dans la botanique et la zoologie. Essayons de discuter les bases qu'on doit adopter pour parvenir à une bonne classification des substances minérales ; et si, dans l'état actuel de la science, nous ne pouvons encore arriver à un degré bien élevé de perfection, tâchons au moins de ne pas prendre une route opposée à celle qui y conduit.

(248) *Idee générale des classifications.* — Commençons par prendre une idée générale de ce qu'on entend par classification. Tant qu'on n'a connu qu'un petit nombre d'êtres ou de corps, on n'a pu sentir la nécessité de les classer ; aussi voyons-nous les anciens naturalistes distinguer seulement les trois règnes de la nature, qui se sont présentés d'abord à l'observation, et décrire ensuite, sans aucun ordre, les différentes productions qu'ils connaissaient dans chacun d'eux. Mais lorsque la masse de nos connaissances s'est accrue, il a bien fallu penser à distribuer ces êtres suivant un certain ordre, sans quoi leur ensemble n'eût bientôt formé qu'un chaos, où il eût été impossible de se reconnaître. On a imaginé dès lors d'en faire des catalogues, divisés et subdivisés d'après les caractères des êtres, de manière qu'en partant de l'observation de ces caractères, on puisse arriver à la connaissance du nom et des autres propriétés dont on ne s'était pas servi. On a établi d'abord dans chaque règne de grandes divisions ou *classes*, en réunissant tous les êtres qui pouvaient

présenter quelques caractères communs, applicables à un grand nombre; c'est ainsi qu'on a formé la division des animaux à mamelles, celle des oiseaux, etc. Dans chaque classe, on a rapproché de même tous les êtres dans lesquels il existait quelques caractères communs, et on a formé des subdivisions désignées sous le nom d'*ordres* ou *familles*, qui ont été encore subdivisés de la même manière, et ont donné lieu à ce qu'on a désigné sous le nom de *genres*. Ces genres ont été divisés en *espèces*, où ne se sont plus trouvés que des individus ou leurs variétés. Rien ne fut dès lors plus facile, en cherchant dans ces tableaux, que de trouver le nom d'un être qu'on avait sous les yeux, s'il avait été déjà décrit, ou de reconnaître qu'il était nouveau pour la science.

Tout le monde s'est accordé sur l'utilité d'un tel ordre dans l'ensemble des productions naturelles; mais on a été long-temps avant de s'entendre sur les bases dont on devait partir, et chacun a disposé les êtres comme il lui a plu, en se fondant tantôt sur un principe, tantôt sur un autre. Il en est résulté une foule de *méthodes arbitraires*, dont plusieurs peuvent être fort utiles aux commençants pour les familiariser avec la nature, mais qui ont toutes de grands défauts sous les rapports philosophiques. On ne s'est d'abord attaché, dans toutes les méthodes qu'on a imaginées, qu'à chercher des caractères bien tranchés, sans s'inquiéter du plus ou moins d'importance des parties dont on les tirait; et de là il est résulté qu'on a réuni très souvent les êtres les plus différents par leurs caractères essentiels, et séparé, au contraire, ceux qui avaient entre eux le plus d'analogie. Ce n'est que fort tard qu'on a envisagé les classifications sous un point de vue réellement scientifique, qu'on les a établies sur les bases que nous offre la nature elle-même, et qui semblaient

devoir se présenter les premières. On a vu, en étudiant particulièrement les animaux et les végétaux, qu'il existait des rapports naturels entre les différents êtres de chacun de ces règnes; que certains d'entre eux se ressemblaient plus par l'ensemble de tous leurs caractères, comprenant à la fois leur organisation, leur forme générale et celles de toutes leurs parties, leur port, leurs mœurs, et souvent même jusqu'à leurs propriétés matérielles, qu'ils ne ressemblaient à tous les autres. L'étude de ces rapports, qui doit être l'objet essentiel de la science, a conduit à rapprocher les êtres qui ont réellement entre eux le plus d'analogie, et à en former des groupes, qu'on a aussi comparés les uns aux autres pour reconnaître leur plus ou moins d'affinité, et les disposer convenablement entre eux. C'est de cette manière de procéder qu'est résulté ce qu'on nomme la *méthode naturelle*, qui, bien différente de toutes les autres, que la moindre observation faisait souvent crouler, se consolide et se perfectionne de plus en plus par la découverte de nouveaux êtres, et par les travaux réunis de tous les savants. Cette méthode n'est plus seulement un moyen de suppléer aux bornes de notre esprit; elle offre encore le tableau fidèle de ce que nous savons de plus important et de plus général sur les différents êtres; et si l'on pouvait la pousser à son dernier degré de perfection, dans toutes les parties de la science, elle deviendrait l'exposé exact et complet de la nature entière.

(249) *Notion de l'espèce en général.* — Ce n'est que dans la méthode naturelle qu'on peut avoir une idée précise de l'espèce : on nomme ainsi *la collection des êtres qui, par l'ensemble de leurs caractères, ont entre eux des analogies dont on ne retrouve la somme dans aucun autre.* Cette définition convient également aux trois règnes de la nature; mais dans le règne organique,

on la complète en quelque sorte, ou plutôt on l'explique, en ajoutant que *les êtres se reproduisent constamment par la génération, sans subir de modification essentielle, et de manière que tous peuvent être regardés comme originairement sortis d'un seul individu.* Dans le règne inorganique on peut ajouter, lorsqu'il s'agit de corps composés, que *les êtres se reproduisent constamment, lorsque les mêmes éléments se trouvant en présence, se réunissent dans les mêmes proportions.*

(250) *Du choix des caractères.* — On conçoit facilement que toutes les qualités que l'on découvre dans les êtres, ne sont pas également propres à établir les comparaisons qui sont nécessaires pour prononcer sur le plus ou moins d'analogie qui existe entre eux, et par conséquent pour établir l'espèce; il faut donc choisir parmi ces qualités celles qui peuvent le plus sûrement conduire au but que l'on se propose.

Les détails dans lesquels nous sommes entrés dans les livres précédents, montrent assez clairement que les diverses propriétés que nous avons reconnues dans les minéraux, n'ont pas toutes le même degré d'importance; il nous suffira de les rappeler brièvement, pour voir quelles sont celles que l'on doit prendre plus particulièrement pour caractériser les espèces. Il est évident que les formes et les structures irrégulières, ou accidentelles, qui peuvent varier à l'infini suivant les circonstances, et se trouver à peu près dans tous les minéraux, ne peuvent avoir que fort peu d'importance, et qu'il n'y a que les formes et les structures régulières qui puissent être prises en considérations. Dans les caractères optiques, l'éclat, les couleurs accidentelles, ne peuvent avoir qu'une très faible valeur, et il n'y a que les couleurs propres, les phénomènes de réfraction ou de polarisation, qui puissent avoir de l'importance. La dureté, la ténacité, la flexibilité, la ductilité, les



divers genres d'action sur le toucher, sont ou trop difficiles à comparer d'un corps à un autre, ou trop variables, par suite de la structure ou de l'état d'aggrégation des particules, pour pouvoir être employés avec quelque confiance, si ce n'est dans des cas particuliers. Les odeurs propres; les saveurs, très utiles dans plusieurs circonstances, ne peuvent servir que pour certains corps, et même faut-il être bien sûr qu'elles ne tiennent pas à quelques mélanges; d'ailleurs elles entrent dans les caractères chimiques. L'électricité ne peut encore être prise en considération, puisqu'elle peut varier et d'intensité et d'espèce, par diverses causes dont la plupart nous échappent entièrement. L'action sur l'aiguille aimantée ne peut tout au plus distinguer qu'un très petit nombre de corps dans lesquels le fer ou ses oxides, en conservant leurs propriétés, entreraient comme parties constituantes; et encore comme les proportions de ces principes entraîneraient de grandes différences, qu'il serait difficile de mesurer avec quelque précision, ces propriétés ne pourraient rien dire de positif. Quant à la pesanteur spécifique, elle doit avoir plus d'importance, puisqu'elle tient évidemment à la nature intime des corps et aux proportions des éléments qui les composent. Nous avons vu, à cet égard, les précautions qu'il faut prendre pour n'être pas induit en erreur par les variations que le mode d'aggrégation des particules peut produire; cependant ce caractère ne peut encore être d'une très grande valeur, parce que souvent il n'y a que de très petites différences entre des corps fort éloignés par leur nature. Il serait inutile de nous étendre beaucoup pour faire voir que la composition chimique et tous les caractères qui en dérivent, sont d'une haute importance, et cependant nous ferons remarquer que cette importance ne peut être réelle dans le cas de spécification, qu'autant que,

du moins pour les corps composés, les proportions sont définies.

Il résulte de ce résumé rapide, que les caractères de première valeur pour la spécification des minéraux, sont la forme ou la structure régulière, les couleurs propres et les phénomènes de réfraction, la pesanteur spécifique, la composition chimique; d'où il suit qu'on peut définir aussi l'espèce minérale, *la collection des corps qui, par la forme ou la structure régulière, les couleurs propres, le genre et l'espèce de réfraction, la pesanteur spécifique, la composition chimique, ont entre eux des analogies qu'on ne trouve dans aucun autre.*

L'espèce est rigoureusement déterminée toutes les fois qu'on peut réunir cet ensemble de caractères; mais comme il n'arrive pas toujours que cette heureuse réunion se manifeste dans les minéraux que l'on a à examiner, on est conduit naturellement à demander quels sont ceux des caractères de première valeur auxquels on doit donner la préférence. Cette question est impossible à résoudre *à priori*, parce que les caractères que nous venons de citer, sont des propriétés de genres tout-à-fait différents, entre lesquels il est par conséquent impossible d'établir des rapports de plus et moins: on ne peut pas savoir, en effet, ce qu'il y a de plus important de la forme ou de la composition, etc. Le seul moyen qui soit en notre pouvoir, est de chercher quelles sont celles de ces propriétés qui se soutiennent le plus constamment dans les minéraux; et qui peuvent, par conséquent, servir à les distinguer ou à les confondre dans le plus grand nombre des cas.

(251) *Degré de permanence des caractères minéralogiques.* — En étudiant avec soin le degré de permanence des caractères de première valeur que nous venons de citer, on est conduit à reconnaître que celui

qui mérite le plus d'attention est la *composition chimique*. En effet, quelque importance que paraissent avoir les formes régulières et le clivage, d'après le succès avec lequel Haüy, le premier des cristallographes, les a employés pour établir des analogies ou des différences entre des substances qui avaient été mal à propos séparées ou réunies, il n'en est pas moins vrai qu'elles ne suffisent pas pour distinguer un corps dans tous ses états, puisque, dans un grand nombre de circonstances, il peut se présenter sous des formes et avec des structures, qui sont produites par aggrégation ou par accident. Il faut donc recourir à la composition, ou à des caractères qui en dérivent, pour pouvoir prononcer avec quelque certitude; et les cristallographes les plus exclusifs nous en donnent continuellement l'exemple. En effet, ce n'est pas d'après la forme ou le clivage, que dans les systèmes cristallographiques, les marbres saccharoïdes ou compactes, les calcaires fibreux, la craie, les tufs calcaires, etc., se trouvent réunis en une même espèce avec les cristaux de spath calcaire. Ce n'est pas par la forme qu'on peut distinguer les diverses sortes de pierre à plâtre, fibreuses, saccharoïdes, compactes, etc., des pierres calcaires auxquelles elles ressemblent; enfin, ce n'est pas sur la forme que sont établies plus de vingt espèces de substances minérales qu'on n'a jamais trouvées cristallisées, et qui n'en sont pas moins regardées comme parfaitement distinctes.

Mais il y a plus : si les corps se trouvaient toujours parfaitement cristallisés, leur forme ne pourrait encore servir seule à les distinguer; car il en est un assez grand nombre, qu'on ne peut confondre les uns avec les autres, et qui cependant se rapportent identiquement au même système de cristallisation. Pour prendre des exemples frappants, il suffit de citer le sel

marin, le sel ammoniac, l'alun, les sulfures de plomb et de fer, les métaux les plus connus, comme l'or, l'argent, le cuivre, etc., qui tous se rapportent au système de cristallisation cubique, et dont plusieurs donnent aussi le cube par le clivage. On a cru long-temps, et peut-être un grand nombre de minéralogistes croient-ils encore que cette similitude de cristallisation, entre des corps évidemment différents, n'avait lieu que pour les formes régulières de la géométrie; mais nous savons actuellement d'une manière positive, par les expériences de M. Mitscherlich, et par les miennes, qu'elle existe également pour des formes cristallines qui n'appartiennent pas aux polyèdres réguliers de la géométrie. En effet, le sulfate de fer a bien évidemment la même forme que le sulfate de cobalt; le sulfate de magnésic a la même forme que le sulfate de zinc et le sulfate de nickel; plusieurs sels doubles très différents présentent aussi des formes tout-à-fait identiques, ou bien des formes si rapprochées les unes des autres, qu'il est très facile de les confondre, surtout quand on les examine à des températures différentes.

Nous ferons des observations analogues sur les modifications qu'éprouve la lumière en passant à travers les corps; car ces phénomènes exigent de la transparence, une cristallisation régulière, et dans une multitude de circonstances, les minéraux sont absolument opaques et cristallisés confusément. Les couleurs propres sont souvent masquées par des couleurs accidentelles, par l'état d'aggrégation des particules matérielles, et d'ailleurs ne se distinguent fréquemment que par des nuances qu'une longue habitude permet seule de reconnaître. Enfin, si nous rappelons ce que nous venons déjà de dire de la pesanteur spécifique, il demeure certain que les caractères tirés

de la composition chimique sont ceux auxquels on doit attribuer le plus d'importance lorsqu'on veut comparer deux ou un plus grand nombre de corps, pour savoir s'ils appartiennent ou s'ils n'appartiennent pas à la même espèce : ce n'est, le plus souvent, que par la nature et par les proportions de leurs parties constituantes, qu'on peut prononcer qu'il y a entre eux identité ou différence. Partant de là, il est clair que la définition la plus exacte, comme la plus simple, de l'espèce, est *la collection des minéraux de même composition, ou des minéraux formés des mêmes principes, et en mêmes proportions.*

C'est aussi à cette même définition qu'on arrive, par un raisonnement fort simple. La notion générale de l'espèce dans les trois règnes est, *la collection des individus, qui, par l'ensemble de leurs caractères, ont entre eux des analogies qu'on ne retrouve dans aucun autre.* Pour appliquer cette définition au règne minéral, il ne s'agit que de savoir ce que l'on doit alors entendre par individu. Or, tant qu'il ne s'agit que des êtres organisés, il est facile de comprendre la notion de l'individu ; car tous ces corps présentent un certain nombre de parties qui ont chacune leur forme, leur grandeur, et dont les positions relatives sont définitivement arrêtées : d'où il résulte que l'on ne peut diviser ces corps sans les détruire, et c'est ce que l'on indique par l'expression individu. Dans le règne inorganique, il est plus difficile d'acquérir l'idée *d'individualité*, et l'on ne peut même y parvenir tant que l'on considère ces corps sous des rapports purement physiques ; cela tient à ce que ni la forme ni la structure ne sont essentielles aux substances inorganiques (3. B.) qui dès lors peuvent être divisées et subdivisées à l'infini, sans cesser d'être toujours le même corps, la moindre parcelle possédant évidemment les mêmes pro-

priétés que le tout. Mais dès que l'on envisage la question sous les rapports chimiques, on parvient à des idées précises de l'individu. En effet, du moins pour les corps composés, nous voyons qu'il y a certaines opérations que l'on ne peut pratiquer sur eux sans les détruire, sans les diviser en parties hétérogènes : ces opérations sont donc les limites de leur divisibilité, et pour elles les corps deviennent des individus. Il résulte de là que l'individu minéralogique ne peut être que l'assemblage d'un certain nombre d'éléments en certaines proportions.

De là il est facile de tirer la notion de l'espèce. En effet, des individus qui ont plus d'analogie entre eux qu'ils n'en ont avec tous les autres, ne peuvent être que des corps formés des mêmes principes ; mais comme ces principes peuvent se combiner en diverses proportions, il en résulte que l'analogie n'est la plus grande possible que dans les corps où ces proportions sont identiques. Donc l'espèce, qui doit être la réunion d'individus la plus simple possible, est nécessairement, en minéralogie, *la collection des corps formés des mêmes principes et en mêmes proportions.*

(252) *Réflexions sur cette définition.* — Cette définition suppose, à la vérité, qu'on a toujours les moyens de déterminer la véritable composition d'un corps ; et malheureusement, la chimie des minéraux n'est pas encore assez avancée pour qu'on puisse prononcer avec certitude dans tous les cas ; mais les difficultés que l'on rencontre dans les travaux d'analyses chimiques ne peuvent attaquer, en aucune manière, les considérations que nous avons exposées ; elles montrent seulement, que nous ne sommes pas encore en état de tirer tout le parti possible de l'unique caractère qui puisse nous guider au milieu du dédale des espèces et de leurs nombreuses modifications.

Il ne faut pas croire cependant que le nombre des cas où l'analyse chimique laisse des incertitudes soit très considérable ; on peut regarder comme bien connus les corps simples, les oxides des anciens métaux, leurs divers sels, ainsi que ceux des terres alcalines, la plupart des sulfures et des arséniures simples, ce qui forme déjà plus des deux tiers des substances minérales. Le reste se compose en grande partie de corps formés par les oxides qu'on a, pendant longtemps, désignés sous le nom de terres, et la nature de ces corps s'éclaircit de jour en jour, depuis qu'on a reconnu que la silice y fait fonction d'acide : il en est déjà un assez grand nombre qu'on doit regarder comme assez bien connus, et s'il existe des incertitudes sur beaucoup d'autres, cela paraît tenir à ce que les analyses n'ont pas été faites avec toutes les précautions que nous savons aujourd'hui nécessaires ; elles s'éclairciront certainement, à mesure qu'on pourra examiner de nouveau ces corps.

(253) *Comparaison des caractères physiques et chimiques.* — Si l'on ne peut comparer entre eux, sous le rapport du plus ou moins d'importance, les caractères qui sont tirés de propriétés de genres différents, on peut les examiner comparativement sous un autre point de vue, celui de déterminer jusqu'où ils peuvent être d'accord, pour établir qu'il y a analogie ou différence entre telle ou telle substance. Or, si nous étudions ainsi les caractères tirés de la forme régulière, des propriétés optiques, de la composition chimique, nous remarquons qu'ils peuvent être mis assez souvent sur la même ligne. En effet, nous avons fait observer que le mode d'action des corps sur la lumière était en rapport avec le système de cristallisation ; qu'il y avait identité d'action pour identité de formes, et différence, soit dans le genre soit dans l'espèce, toutes les fois que les

formes étaient différentes. L'ensemble des comparaisons qu'on a pu faire jusqu'ici entre la forme et la composition, nous fait voir aussi que très souvent les minéraux de même forme sont composés de la même manière, et que les minéraux de formes différentes sont composés différemment. Il résulte de là, que ces trois sortes de caractères, les deux premiers surtout, peuvent, dans quelques circonstances, se suppléer mutuellement, et conduire aux mêmes résultats; c'est-à-dire que ce qu'on distinguera par l'un de ces moyens sera assez souvent distinct par l'autre. Mais si ces caractères peuvent être mis quelquefois sur la même ligne, il ne faut pas croire cependant qu'on puisse toujours les employer indifféremment, parce que, comme nous venons de le voir, ils n'ont pas tous le même degré de généralité. Il en est ici tout autrement que dans le règne organique, où il paraît qu'on peut partir indifféremment de l'une ou de l'autre des grandes classes d'organes (ceux de la nutrition, de la reproduction, etc.), et arriver à la même classification. En minéralogie, les classifications faites par la forme et par les phénomènes optiques seraient tout-à-fait identiques; mais, sans être absolument opposées à la classification chimique, elles s'en éloigneraient cependant, en cela qu'elles seraient moins complètes. En effet, un assez grand nombre de corps que la chimie distinguera toujours, cristallisant de la même manière, se trouveraient nécessairement réunis dans une classification faite rigoureusement par les formes; c'est ainsi que l'on confondra le phosphate et l'arséniate de plomb, le sulfate de fer et le sulfate de cobalt, les diverses espèces d'alun, le chlorure de sodium et le chlorure de potassium, etc., etc.

Une autre circonstance qui s'oppose à l'identité des classifications physiques et chimiques, est la faculté



que paraissaient avoir les corps d'affecter plusieurs formes différentes, et que la méthode purement chimique rapprochera toujours. Pendant long-temps cette diversité de formes d'un même corps n'avait été reconnue que dans une seule substance, dans le carbonate de chaux, dont une partie se trouvait en rhomboèdre et l'autre en prisme droit rhomboïdal (arragonite); mais aujourd'hui nous la reconnaissons dans plusieurs autres : dans le sulfure de fer, qui cristallise tantôt en cube (sulfure jaune), tantôt en prisme rhomboïdal (sulfure blanc); dans un double silicate d'alumine et soude, qui cristallise tantôt en prisme hexagone régulier, et constitue la néphéline, tantôt en dodécaèdre rhomboïdal, où il constitue le lazulite. Nous pouvons nous-mêmes provoquer ces différences dans nos laboratoires, comme l'a fait M. Mitscherlich, en faisant cristalliser le soufre, à volonté, en prisme droit ou en prisme oblique, et comme je l'ai fait moi-même, avec le nitrate de potasse, le nitrate de soude, le sulfate de fer, etc. (137)

(254) *Difficulté qui résulte de cette comparaison.* — Maintenant il se présente une question importante à résoudre : doit-on suivre, pour la classification des corps susceptibles de plusieurs formes, l'analogie fournie par les caractères chimiques, ou conserver la distinction établie par la cristallisation ? Il y a des données en faveur de cette dernière manière de voir, et d'autres qui militent en faveur de la première. Si l'on fait attention que tout change dans ces corps avec la forme, que les phénomènes de réfraction, la pesanteur spécifique, la dureté, etc., ne sont plus les mêmes, on sera conduit, comme plusieurs chimistes célèbres, à modifier la définition de l'espèce que nous avons vue précédemment, en y ajoutant la condition que *les particules réunies se trouvent arrangées entre elles de*

*la même manière.* Mais si l'on se reporte à l'expérience importante que M. Mitscherlich a faite avec le soufre, il me semble qu'on est conduit à penser tout autrement; car les cristaux qu'il a obtenus appartiennent trop visiblement au même corps, pour qu'on puisse en faire deux espèces distinctes. Je ne puis m'empêcher de comparer ces états différents qu'un même corps est susceptible d'offrir à ceux de l'acier recuit et de l'acier trempé, du métal de *tam-tam* refroidi lentement à l'air ou subitement dans l'eau, de la larme batavique et du verre refroidi lentement, du phosphore refroidi graduellement ou brusquement, etc. En effet, dans ces différents corps, les caractères de dureté, de pesanteur spécifique, les propriétés optiques (qu'on peut observer dans la larme batavique), etc., en un mot, l'arrangement des particules, se trouvent entièrement différents dans les deux états. Or, cependant, personne n'a eu, et n'aura probablement l'idée de considérer les métaux *doux* et les métaux *tremvés*, le phosphore jaune et le phosphore doué de la couleur noire, le verre qu'on a coulé sur le sable et celui qu'on a laissé tomber en gouttes dans l'eau, comme constituant des corps différents. D'après ces considérations, il me semble qu'on doit maintenir la définition de l'espèce, telle que nous avons été conduits à la donner, et que la différence de forme, et par suite celle de pesanteur spécifique, de dureté, etc., ne doit établir que des subdivisions. Il n'est pas inutile de remarquer que quand ces corps cessent d'être cristallisés régulièrement, ou au moins transparents, les différences s'évanouissent plus ou moins complètement, et que le caractère chimique est encore le seul qui reste. Nous ne réunirons cependant, dans la même espèce, des corps qui affectent des formes différentes, ou en général des propriétés physiques différentes, que

dans le cas où il sera bien prouvé qu'ils sont composés de la même manière; nous en ferons alors des *sous-espèces*.

(255) *Difficultés résultantes du mélange des corps.*

— Les mélanges, quels qu'ils soient, apportent toujours quelques difficultés dans l'application de la définition que nous avons donnée de l'espèce, et, comme nous l'avons dit, ce n'est que par de nombreuses analyses, par l'étude minéralogique du corps et de ses diverses associations, que l'on parvient à reconnaître ce qu'il renferme d'essentiel et ce qui est accidentel. Mais les mélanges chimiques, qui sont de véritables combinaisons, offrent des difficultés de plus, surtout lorsqu'ils se font entre des substances de même formule. En effet, d'un côté la combinaison de ces corps peut se faire en toutes proportions, et de l'autre nous avons beaucoup d'exemples où tout nous indique qu'elle doit avoir lieu en proportions définies : or, on se demande naturellement quels sont les moyens que nous avons de distinguer ces deux cas, et lorsqu'il y a mélange en proportions illimitées, comment on peut rapporter le corps à telle ou telle espèce.

1<sup>o</sup> *Reconnaître s'il y a espèce ou mélange.* La solution de cette difficulté est une des plus embarrassantes que l'on puisse avoir ; car c'est là que se trouve la question de savoir s'il y a des espèces dans le règne minéral, ou s'il n'existe que des individus ; on peut dire même qu'elle est rigoureusement impossible, car tout ce que l'on peut faire est de tracer artificiellement des limites auxquelles on admettra l'espèce, et entre lesquelles on ne verra que de simples mélanges. Pour cela, rappelons-nous ce que l'on entend aujourd'hui par proportions définies ; ce sont, pour les substances naturelles, les proportions qui se présentent constamment dans un assez grand nombre d'analyses, faites

sur des échantillons de localités diverses, et qui offrent des rapports simples de 1 atome à 1, 2, 3, 4, etc., plus rarement de 2 atomes à 3, de 3 à 4, etc. : ce sont ces nombres que l'on peut prendre pour limites; on admettra espèce toutes les fois qu'il y aura constance et simplicité de rapports, et au contraire on adoptera qu'il y a mélange toutes les fois qu'on ne trouvera ni cette constance ni cette simplicité. Ainsi, on fera une espèce distincte du double carbonate de chaux et magnésie dans lequel on trouve constamment 1 atome du premier à 1 atome du second; peut-être même devra-t-on faire d'autres espèces de diverses réunions de ces deux corps, ou de quelques autres qui sont isomorphes, dans lesquelles on trouve 2 atomes de carbonate de chaux à 1 atome de carbonate de magnésie, quelquefois en partie remplacé par des carbonates de manganèse et de fer. Au contraire, on devra regarder comme des mélanges, les réunions qui ne présentent aucune constance dans les divers échantillons, et dans lesquels les rapports sont plus compliqués, tels que 3 atomes de carbonate de chaux, 5 atomes de carbonate de fer, 13 atomes de carbonate de manganèse, et beaucoup d'autres qui varient à l'infini. Si l'on ne possède qu'une seule analyse, et qu'on y remarque des rapports simples, il sera encore prudent d'attendre, à moins qu'elle n'offre quelques particularités déterminantes, pour voir si les mêmes rapports se soutiennent constamment; autrement on risquerait de prendre pour une combinaison définie, un mélange qui par hasard, dans l'échantillon analysé, se serait trouvé dans des proportions convenables.

Telle est la seule manière de sortir de l'embarras que présente la question proposée. Qu'on ne croie pas qu'il soit plus facile de sortir de cette difficulté en admettant la spécification cristallographique, car les

mélanges des corps de même formule, en quelques portions qu'ils aient lieu, font toujours varier les angles proportionnellement (13); par conséquent il faudrait de même établir des limites qui souvent n'auraient ici d'autres bases que l'idée particulière de chaque minéralogiste. Il n'y a que les considérations atomiques qui puissent fournir ici des bases certaines à la cristallographie; ainsi, pour ne pas sortir des exemples précédents, si l'on admet l'angle de  $105^{\text{d}}45'$  pour le carbonate de chaux le plus pur, celui de  $107^{\text{d}}25'$  pour le carbonate de magnésie, les considérations atomiques nous donneront pour caractères cristallographiques du double carbonate, composé de 1 atome de l'un à 1 atome de l'autre, l'angle de  $106^{\text{d}}15'$ . Nous verrons de même que les mélanges de 5 atomes à 2, de 19 à 5, doivent avoir pour mesures  $105^{\text{d}}45'$ ,  $105^{\text{d}}34'10''$  (13), et que, par conséquent, ils se trouvent entre deux espèces définies: ils peuvent être rangés avec l'une ou avec l'autre; avec la première, comme carbonate de chaux magnésifère, ou avec la seconde, comme double carbonate de chaux et magnésie calcifère. Nous pourrions prendre d'autres exemples dans un grand nombre de corps, comme dans ceux que l'on désigne sous les noms de pyroxène, d'amphibole, où l'on remarque les mêmes variations d'angles, quoiqu'elles soient moins sensibles.

2<sup>o</sup> Trouver la place d'un mélange parmi les espèces. Les mélanges des matières de même formule, que l'on observe si souvent parmi les espèces minérales, donnent lieu à beaucoup d'incertitude sur la place qu'on doit leur assigner dans la méthode; ils semblent même, au premier abord, renverser la définition de l'espèce; et en effet une réunion de corps formés des mêmes principes et en mêmes proportions, ne paraît guère pouvoir admettre ces combinaisons en

proportions illimitées. Mais ici il en doit être précisément comme des *métis* dans les règnes organiques, où leur existence n'a pu faire concevoir de doutes sur la définition de l'espèce; et en effet le *mulet* et le *bardeau*, par exemple, ne peuvent empêcher de regarder l'âne et le cheval comme des espèces distinctes, qui ont seulement assez d'analogie pour pouvoir se croiser de toutes les manières: de même en minéralogie, les mélanges, quelque variés qu'ils puissent être, n'empêcheront jamais de regarder l'une et l'autre des substances réunies comme des espèces parfaitement déterminées. Quant à la place de ces mélanges, il faut encore suivre ici la règle que l'on observe dans les autres parties de l'histoire naturelle, où l'on place les *métis* en appendice auprès de l'espèce avec laquelle ils ont conservé le plus de rapport, et qui, dans l'ordre naturel, doit toujours être voisine de celle qui leur a aussi imprimé plus ou moins son type: cela veut dire qu'en minéralogie le mélange doit être placé auprès de l'espèce dont les proportions dominent, et qui, pour suivre l'ordre naturel, doit être voisine de celle que l'on trouve mélangée en plus ou moins grande quantité. Il ne peut y avoir de difficulté que dans le cas où les corps mélangés sont en parties à peu près égales: dans ce cas on est libre de placer le mélange où l'on veut, et le corps est alors un être flottant entre les espèces réelles qu'il renferme. Il est assez remarquable que la plupart des espèces que nous devons faire entrer dans la classification, ne sont pas autrement établies, puisque, comme nous l'avons vu, il est infiniment rare que les substances minérales soient pures. Tous nos soins dans la discussion d'une analyse ont pour but de découvrir la composition des corps dominants; si l'on trouve que ce corps se rapporte à une espèce établie, c'est auprès de cette espèce qu'on

le range ; s'il ne se rapporte à aucune espèce connue , on en forme une nouvelle pour le placer dans la méthode ; s'il arrive même qu'on reconnaisse un mélange d'espèces inconnues , dont aucune ne domine , on en laisse pas , et avec raison , de former une espèce particulière , qui n'est elle-même que l'appendice des corps que l'on pourra trouver par la suite à l'état de pureté.

(256) *Des variétés de l'espèce.* — Dans le règne minéral , comme dans toutes les autres parties de l'histoire naturelle , l'espèce se sous-divise en variétés ; mais il ne peut y avoir ici aucune difficulté , et d'ailleurs chacun se trouve à peu près maître d'ajouter ou de retrancher. Ces distinctions sont fondées sur la diversité des formes régulières qui dérivent d'un type déterminé , sur les formes obliuées , les formes accidentelles , les formes empruntées , etc. ; sur les diverses sortes de structures , lamellaire , bacillaire , fibreuse , grenue , compacte , schisteuse , fissile , etc. ; sur les degrés de transparence , et d'opacité ; sur le genre d'éclat ; sur les couleurs , simples ou bigarrées ; sur les degrés de ténacité , de flexibilité ; sur l'odeur ; sur les mélanges chimiques de diverses sortes ; sur le mode de formation ; sur le gisement ; sur les matières minérales disséminées ; sur la nature des débris organiques qui se trouvent renfermés dans une substance , ou sur lesquels cette substance est modelée ; etc. , etc. Sans doute il y a divers degrés d'importance dans ces variétés , mais toutes doivent être prises en considération dans une collection minéralogique ; seulement il faut se garder d'attribuer à certaines variétés une importance telle , que leurs détails fassent perdre de vue toutes les autres. A cet égard , je ne puis partager les idées que Haüy a émises dans ses ouvrages , où il attribue une telle valeur aux variétés cristallines , qu'il leur a imposé à toutes un nom particulier ; je crois que c'est

vouloir surcharger la mémoire (1) sans aucun avantage, et qu'il y a même dans cette manière d'agir un très grand inconvénient, celui de faire perdre dans les détails les objets généraux qui méritent le plus d'attention. Les détails minutieux de ces variations, auxquelles, dans tout état de cause, il ne faudrait pas donner de nom, ne peuvent convenir qu'à des monographies de chaque espèce.

(257) *Du genre en minéralogie.* — Nous venons de définir l'espèce minérale, et je ne crois pas qu'il puisse rester maintenant beaucoup à dire sur cette matière; mais pour compléter la classification, il faut chercher à réunir les espèces en genres, les genres en familles, et, si l'on peut, les familles en classes. Ces réunions présentent encore des difficultés, et quoiqu'on ait tenté plusieurs fois de les vaincre, il ne me paraît pas qu'on ait encore réussi; je crois en trouver la cause dans les bases mêmes qu'on a jusqu'ici adoptées, et qui me semblent ne pouvoir conduire qu'à des méthodes tout-à-fait artificielles.

Le genre doit être la réunion des espèces qui ont entre elles plus d'analogie qu'elles n'en ont avec toutes les autres; c'est le principe général de la méthode naturelle dans tous les règnes; mais sur quoi doivent être fondés les rapprochements entre les espèces minérales, pour qu'ils soient le plus conformes possible à toutes les analogies? C'est ce que nous allons essayer de déterminer.

(1) Haüy n'a guère connu plus d'un sixième des variétés cristallines du carbonate de chaux, et déjà il présente dans cette substance cent cinquante noms différents; d'où il suit que la nomenclature cristalline des variétés de cette substance serait beaucoup plus étendue que la nomenclature générale des espèces. Que serait-ce s'il arrivait que ces noms ne convinsent pas à tout le monde, et que chacun voulût, comme pour les espèces, faire sa nomenclature en particulier



D'abord, puisque les propriétés physiques ne sont pas suffisantes pour caractériser l'espèce, il est évident que leur réunion en genres ne peut être fondée sur ces caractères, et qu'il faut recourir à des analogies chimiques. Or, il est impossible d'établir aucune comparaison entre des espèces dont la nature serait entièrement différente; donc on ne peut penser à réunir en genres que les espèces dans lesquelles il existe un ou plusieurs principes chimiques communs. Tout le monde paraît d'accord à cet égard; mais par lequel de leurs principes constituants doit-on rapprocher les espèces les unes des autres pour en former des genres? est-ce par le principe électro-positif, ou par le principe électro-négatif? C'est de la solution de cette question que dépend tout l'édifice de la classification, et il n'est pas indifférent de choisir un des principes plutôt que l'autre pour arriver à une distribution naturelle, c'est-à-dire pour arriver à un ordre tel, que les espèces les plus analogues par tous leurs caractères soient aussi les plus rapprochées.

Cette question, qui revient à savoir quelle est dans un corps composé la partie la plus importante, me paraît avoir été jusqu'ici plutôt tranchée que résolue. Les mineurs, qui, par état, se sont les premiers livrés à l'étude des minéraux, ont naturellement considéré les corps qui étaient le but définitif de leurs travaux, comme plus importants que tous ceux dont ils étaient obligés de les débarrasser. Ils ont donc regardé les métaux usuels, l'argent, le cuivre, le plomb, le fer, etc., comme plus importants que les principes divers qui les *minéralisaient*. Ils ont été imités en cela par les premiers minéralogistes systématiques, qui dès lors ont pris chacun des métaux connus pour base d'un groupe, dans lequel ils ont réuni toutes les modifications, ou *mines*, d'un même métal. Depuis on a tou-

jours suivi les mêmes errements ; tous les métaux qui ont été successivement découverts ont été regardés comme les matières les plus importantes dans les composés où ils se trouvaient , par cela seul qu'ils étaient métaux , et avaient ainsi des analogies avec ceux dont la valeur réelle avait fixé l'attention des premiers minéralogistes. Enfin la force de l'habitude, et les applications directes de la minéralogie à l'art des mines , ont entraîné , dans tous les cas , à considérer le principe modifié comme plus important que le principe modifiant , quoique nous ne puissions avoir le plus souvent aucune raison d'attribuer plus de valeur réelle à l'un qu'à l'autre. On n'a pas fait assez d'attention à la différence qu'il devait y avoir entre la minéralogie considérée en elle-même , et la minéralogie appliquée aux arts ; on a admis la même classification pour tous les cas , tandis qu'il fallait une classification particulière pour chacun d'eux.

Voilà bien certainement la marche des idées depuis les premiers moments où l'on s'est occupé des minéraux jusqu'à nos jours ; d'où il suit que l'importance attribuée à l'un des composants de tel ou tel minéral , a été entièrement établie , soit immédiatement , soit par comparaison , sur la valeur commerciale des premières substances qui ont été employées dans les arts ; mais est-ce bien là ce qui doit guider la classification dans la minéralogie considérée comme science ? Il est clair que ces valeurs idéales ne sont rien dans la nature , et que l'importance d'un corps ne peut être bien jugée que d'après l'étendue du rôle qu'il joue dans le système général des choses créées.

Or , en examinant les corps sous ce nouveau point de vue , il me semble qu'on est conduit à considérer , comme les plus importants , ceux que , au contraire , les minéralogistes ont jusqu'ici regardés comme d'une

très faible valeur. En effet, les corps électro-négatifs, ou corps modifiants, qui comprennent le carbone, l'oxygène, le soufre, les différents acides qu'ils peuvent former, etc., etc., sont ceux qui jouent évidemment le plus grand rôle dans la nature : ce sont les principes éminemment actifs; sans eux, il n'existerait pas de corps composés, et tout le règne minéral se réduirait aux cinquante-deux corps simples que nous avons fait connaître; la chimie elle-même serait réduite à rien. Les corps électro-positifs, ou corps modifiés, au contraire, sont le plus souvent comme des êtres passifs, et plus particulièrement encore ceux auxquels on avait attribué le plus d'importance, comme l'or et l'argent, qui ont servi de terme de comparaison à tous les autres. Ils ne sont pas plus importants dans nos laboratoires que dans la nature même; et peut-être, s'ils existaient seuls, seraient-ils aussi d'une très faible utilité dans les usages de la vie.

Il me paraît résulter évidemment de ces considérations, que ce sont les principes électro-négatifs qui doivent être pris pour base de la réunion des espèces en genres. Non-seulement ce mode de classification est plus fondé en raison, mais encore il présente l'important avantage de rapprocher réellement les unes des autres les espèces qui ont entre elles le plus de rapports par tous leurs autres caractères, comme l'exige la définition du genre naturel. En effet, en réunissant par exemple tous les *carbonates* en un seul genre, on trouve tant d'analogies de forme, de structure, enfin de manière d'être, en général, entre les différentes espèces qui résultent de la diversité des bases, que ces espèces ont été, et sont souvent confondues les unes avec les autres par leurs caractères extérieurs. Quoi de plus analogue, en effet, que les carbonates de chaux, de zinc, de fer, de

manganèse, etc., dont les formes cristallines appartiennent toutes au système rhomboédrique, qui donnent par le clivage des rhomboèdres presque identiques, dont les formes et les structures irrégulières, la réfraction, la dureté etc., sont presque les mêmes. Les sulfates sont absolument dans le même cas; quelle analogie n'existe-t-il pas entre les sulfates de plomb, de baryte, de strontiane, etc.; entre les sulfates de zinc, de magnésie, de nikel; entre les sulfates de fer et de cobalt, ceux de cuivre et de manganèse, etc.! Les sulfures offrent de même des analogies sans nombre. Mais l'importance de ce mode de réunion se fait encore plus sentir dans le genre des silicates; tout ce qui était le plus confus dans les anciennes méthodes devient parfaitement clair; toutes les objections des cristallographes contre les résultats de la chimie disparaissent, parce que les corps qui en ont fait le sujet se trouvent tout naturellement placés à côté les uns des autres, et peuvent, à volonté, être considérés comme un groupe d'espèces très analogues par tous leurs caractères extérieurs, ou comme une même espèce; tels sont, par exemple, les grenats. Ajoutons que les genres formés de cette manière donnent une étonnante facilité pour ranger les mélanges des corps de même formule, qui, dès lors, se trouvent toujours naturellement entre les espèces pures dont la réunion les constitue, précisément comme les mélanges des règnes organiques, se trouvent entre les espèces dont le croisement les a produits. La réunion en genres d'après les principes électro-positifs, ne présente aucun de ces avantages; car en partant d'une base, on ne trouve aucune analogie entre les différentes espèces qui résultent de la diversité des principes électro-négatifs. En effet, en formant, par exemple, le genre *calcium*, il est impossible de

trouver aucune analogie entre les chlorures, fluorures, carbonates, sulfates, nitrates, tungstates, titanates, silicates, de cette base, qui formeraient alors autant d'espèces, et il est absolument impossible de ranger les mélanges, qui résultent le plus souvent de la réunion de sels de diverses bases.

Je ne m'étendrai pas plus sur les avantages de la nouvelle méthode que je propose; j'espère qu'on les sentira de plus en plus quand je décrirai les espèces. J'ai eu la satisfaction, dans mon cours, de reconnaître qu'elle donne une grande facilité à l'étude des minéraux, en écartant entièrement de l'esprit de la jeunesse ces méthodes empiriques qui ne peuvent conduire qu'à des à-peu-près intolérables, et souvent à l'erreur, pour y substituer le désir de ne s'arrêter qu'à des faits clairs et positifs. Enfin, ce qui est plus notable encore, j'ai été assez heureux pour convaincre un des hommes dont le suffrage m'était le plus précieux, celui dont les travaux ont le plus contribué à l'avancement moderne de la science. M. Berzelius dans une nouvelle classification des minéraux (1), a adopté exactement la même manière de voir; et si nous ne nous trouvons pas d'accord sur plusieurs autres points (2), du moins est-il constant qu'il a aussi adopté le principe fondamental, qui renverse tous les anciens systèmes, et qui établit, au contraire, celui que tôt ou tard on suivra dans toutes les écoles.

(259) *Disposition des espèces dans les genres.* — On doit facilement concevoir que dans des genres nombreux, il n'est pas indifférent de placer telle espèce après telle ou telle autre, et qu'il faut en général

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, janvier 1826.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, février, mars 1826.

chercher à rapprocher celles qui ont entre elles le plus d'analogie. Mais pour effectuer ces rapprochements d'une manière convenable, il faudrait pouvoir disposer les espèces en séries ramifiées, réticulées, car en les disposant en séries linéaires, comme l'exige un ouvrage ou un cours, où il faut suivre nécessairement l'ordre des idées, il est impossible de ne pas rompre plus ou moins les analogies. Cependant il ne faut pas pour cela les disposer au hasard, et il y a encore quelques règles qu'il n'est pas inutile d'établir. Celle qui me paraît la plus importante, consiste à rapprocher, autant que possible, les composés qui sont de même formule, sans s'embarrasser de la nature des bases, parce que ce sont là les corps qui, sous tous les rapports, ont entre eux le plus d'analogie, et qu'alors on forme dans le genre, des divisions qui sont très-utiles. En effet, les corps de même formule ont presque toujours des formes analogues ou des formes identiques, et se ressemblent, en général, beaucoup par tous les caractères extérieurs. Ce sont ces corps qui se mélangent le plus fréquemment, et l'on remarque souvent qu'ils se trouvent aussi dans le même gisement général. C'est dans le genre des silicates qu'il est surtout utile de prendre ces sortes d'analogies en considération. Ainsi, en faisant une division des silicates à base de chaux, une autre des silicates à base de fer, une troisième des silicates à base de manganèse, etc. etc., ce qui paraîtrait d'abord assez naturel, on romprait les rapports les plus importants qui existent entre les espèces. Au contraire l'on conserve, ou l'on établit ces rapports toutes les fois qu'on se laisse guider par les formules. Ainsi, il est très naturel de placer à la suite l'un de l'autre le grossulaire, l'almandin, la mélanite, etc., qui ont constitué jadis l'espèce grenat, et qui sont des silicates isomor-

phes de même formule, parce qu'ils ont entre eux toutes les analogies possibles, que leur réunion forme un groupe très important; il en est de même de la trémolite et de l'actinote qui ont constitué l'espèce amphibole, de la sahlite, l'hedenbergite, la jeffersonite qui ont constitué l'espèce pyroxène, de l'orthose, et de l'albite qui ont constitué l'espèce feldspath, et à la suite desquelles se placent naturellement plusieurs autres espèces que l'on avait en même temps confondues dans le même groupe, etc. etc. Ces sortes de disposition des espèces sont tellement importantes, que M. Berzélius les a considérées comme des genres dans le groupe des silicates: plusieurs naturalistes ont partagé cette manière de voir, que j'avais eue moi-même depuis long-temps en réfléchissant aux bases de ma nouvelle classification; mais dans ma première édition je me suis contenté d'indiquer les divisions que ces corps formaient dans le tableau des espèces, et c'est encore ce que je ferai aujourd'hui, en les désignant toutefois sous le nom de *sous-genre* pour les mieux faire ressortir. Je ne crois pas, en effet, qu'on puisse encore les ériger en genres, d'un côté parce qu'ils sont trop peu nombreux, et que dès lors ils seraient comme perdus dans les autres silicates qu'il faudrait laisser ensemble, et je ne sais trop alors sous quelle dénomination; d'un autre côté, comme il faut être conséquent, on devrait, en adoptant ces genres, considérer chacune des formules de sel double que l'on connaît, comme le type d'un genre semblable, dans lequel il pourrait, à l'avenir, exister plusieurs espèces différentes. Il y a plus, comme l'analogie se fait tout aussi bien remarquer dans les sels simples qui se partagent aussi en plusieurs groupes de formules, il faudrait encore faire autant de genres qu'on pourrait trouver de formules différentes. Ainsi,

par exemple, il faudrait faire un genre des carbonates de la formule  $\ddot{R} \ddot{C}^2$ ,  $\ddot{R}$  exprimant la base bioxide quelconque; il en faudrait faire un autre des espèces de la formule  $\ddot{R} \ddot{C}$ ; un troisième, un quatrième de ces mêmes carbonates hydratés, puis d'autres encore dans les carbonates doubles. Le genre sulfate offrirait encore bien plus de sous-divisions, et on en trouverait à l'infini dans tous les autres; il n'y aurait plus alors que des genres dans la méthode minéralogique, qui n'offrirait qu'un cadre fait à priori, en attendant les espèces. Sans doute, c'est déjà un inconvénient; mais il en existe encore un autre, car des substances qui ne diffèrent entre elles que par les proportions dans les mêmes éléments chimiques, et qui ont, du reste, entre elles beaucoup d'analogie, se trouveraient nécessairement fort éloignés les uns des autres, à moins qu'on n'admît le principe qu'en partie, comme M. Berzélius, ce qui serait réellement une faute de philosophie naturelle. Enfin en admettant tous ces genres, il ne suffirait pas de les indiquer vaguement, car ils seraient inutiles, et je ne vois réellement pas comment on pourrait actuellement les caractériser. C'est par suite de ces considérations que j'ai cru devoir faire des genres plus étendus dans ma première édition, et que je crois devoir les conserver encore dans celle-ci. Au reste, si quelque jour le nombre des espèces exigeait qu'on admît ces sortes de sous-divisions, mon tableau des espèces n'en souffrirait aucun changement, puisque chacune d'elles est sensiblement à sa place naturelle; il n'y aurait que des coupures à faire, et à changer les mots genres en ceux de famille, et les mots de famille en ceux de classe.

(260) *Des familles en minéralogie.* — Après avoir réuni les espèces en genres, il faut chercher à grouper



les genres en familles, et pour former les familles, il faut suivant le principe général des classifications naturelles, *rapprocher les genres qui ont entre eux le plus d'analogie*. Or, si pour la formation des espèces et des genres, on n'a pu employer les propriétés physiques, il est clair qu'on pourra encore moins s'en servir pour l'établissement des familles : donc il faut recourir à des caractères chimiques, et ces caractères entraînent nécessairement un principe commun dans les genres, puisqu'il serait impossible de comparer chimiquement des corps complètement différents par la nature de leurs éléments. Mais il se présente ici des difficultés de différents genres : d'abord si l'on vient à imaginer de réunir les genres en famille d'après l'élément électro-négatif seul, on ne peut arriver à rien; en effet il ne peut pas exister deux genres de composés qui aient le même principe électro-négatif, puisqu'ils n'en formeraient réellement qu'un seul (1); d'où il suit que tout ce que l'on pourrait faire alors, serait de réunir certains composés auprès de l'élément qui joue en eux le rôle électro-négatif; c'est-à-dire réunir par exemple les sulfures avec le soufre, les arséniures avec l'arsenic, les antimoniures avec l'antimoine, les telluriures avec le tellure, les hydrargures avec le mercure, etc. Tous les genres de sels resteraient nécessairement isolés, à moins qu'on ne les plaçât à la suite de leur acide, auquel cas il faudrait démembler le genre formé par la réunion des corps oxigénés (oxides et acides), ce qui est un autre inconvénient, et encore ne formerait-on jamais que des couples de genres; or, il est évident

---

(1) A moins qu'il ne soit question de genres analogues à ceux dont nous venons de combattre, pour le moment, l'idée, auquel cas les mêmes difficultés se reproduiraient dans les groupes supérieurs, c'est-à-dire dans la réunion des familles en ordre.

que ce ne sont pas de tels petits groupes, qui ne pourraient jamais s'étendre quels que soient les progrès de la science, que l'on peut regarder comme des familles, et comparer aux familles naturelles des autres règnes.

On n'est pas plus avancé si l'on imagine, par suite de ces difficultés, de prendre les corps électro-positifs pour bases des diverses sortes de réunions. En effet il faut d'abord changer les genres, qui dès-lors n'offrent plus, comme nous l'avons fait voir, rien qui puisse les faire regarder comme naturels; et ce changement absurde étant fait, on retombe sur des difficultés plus grandes encore que les précédentes, car on ne trouve alors que des genres isolés, qu'il est impossible dans la plupart des cas, de réunir même deux à deux.

C'est donc nécessairement d'une autre manière qu'il faut former les familles, et d'abord rejeter l'idée d'un principe unique, déterminé *à priori*, pour base de la réunion des genres; il faut se borner simplement à admettre un principe chimique commun, sans spécifier qu'il soit électro-positif ou électro-négatif, et le prendre seulement de telle manière qu'il y ait le plus d'analogie possible entre les genres qu'on réunit. Or, voici comment on est conduit. Le *soufre* et les *sulfures* vont parfaitement ensemble; c'est un corps simple, puis le même corps faisant fonction de principe électro-négatif. Après ces deux genres, se présentent naturellement les *sulfates* qui renferment un principe commun aux deux autres, et offrent par cela même un caractère chimique facile à saisir, qui ont du reste de l'analogie avec les sulfures puisque chacun d'eux peut être considéré comme un sulfure oxidé; il serait d'ailleurs impossible de trouver une autre place à ce genre, car auprès de quelque autre qu'on puisse le mettre, il n'aura jamais avec lui la moindre des analogies qu'il peut avoir avec les pré-

cédents. Mais les sulfates entraînent nécessairement l'*acide sulfurique* auprès d'eux, et par suite l'*acide sulfureux*, de sorte qu'en définitive on groupera naturellement ensemble le *soufre*, les *sulfures*, l'*acide sulfureux*, l'*acide sulfurique* et les *sulfates*; cette réunion de toutes les substances qui renferment du soufre, et où ce corps est tantôt électro-négatif, tantôt électro-positif, a l'avantage de pouvoir être assez nettement caractérisé pour qu'on ne puisse jamais errer dans l'application du caractère à la reconnaissance des corps qui lui appartiennent.

En faisant des raisonnements analogues, on trouve à réunir ensemble le *carbone*, les *carbures*, l'*acide carbonique*, les *carbonates* et les *carbonites*; l'*arsenic*, les *arséniures*, l'*acide arsénieux*, les *arséniates* et *arsénites*; la *silice* et les *silicates*; l'*oxide titanique*, les *titanates* et *silicio-titanates*, etc., etc. Le seul inconvénient réel de ces sortes de réunions est le démembrement du genre formé par les corps oxidés, qui est en quelque sorte forcé, et qui une fois commencé, paraît devoir être continué puisqu'il serait ridicule de laisser subsister un reste de genre. C'est sans doute un résultat fâcheux, beaucoup moins cependant qu'on ne pourrait le croire au premier abord, parce que ce genre oxide est presque impossible à caractériser; mais en voulant l'éviter, on tombe dans un inconvénient plus grave encore. En effet, pour être conséquent, il n'y a alors d'autre parti à prendre, que de former un groupe de corps simples, un groupe de composés non oxigénés, un groupe de corps oxigénés simples, et un groupe de sels comprenant les hydrates. Or, non-seulement ce serait alors la méthode la plus artificielle possible; mais encore si l'on était forcé d'admettre de tels groupes, il serait impossible de les caractériser d'une manière générale.

Etant ainsi conduit à classer les corps oxidés auprès de leur élément électro-positif, on doit leur annexer nécessairement les oxides hydratés, qui ont chacun plus d'analogie avec l'oxide anhydre qu'ils n'en ont entre eux; par conséquent il faut aussi démembler le genre hydrate: mais à cet égard j'observe que si l'on conservait un genre hydrate dans la méthode, il faudrait de toute nécessité y placer les sels hydratés; or, ces sels se trouveraient alors séparés des mêmes sels à l'état anhydre, avec lesquels cependant ils ont plus d'analogie qu'ils n'en ont entre eux. Ce dernier inconvénient me paraît assez grave pour que dans tout état de cause on rejette le genre hydrate.

On voit d'après cette discussion, que la réunion des genres en familles présente de grandes difficultés; mais qu'on ne croie pas qu'elles tiennent à l'état actuel de la science, ou à ce qu'on n'a pas encore trouvé la véritable manière de l'envisager; elles ont une tout autre cause, et quels que soient les progrès de la minéralogie, quelles que soient les considérations auxquelles on puisse se livrer, elles ne disparaîtront que pour être remplacées par d'autres; elles tiennent à la nécessité où l'on se trouve, dans un livre, dans un cours ou dans une collection, de faire des séries linéaires, qui sont toujours artificielles et rompent toujours plus ou moins les rapports. Dans le cas présent, si au lieu de former des familles, on réunissait les corps simples et les différents corps composés en tableau susceptible de plusieurs sens de lecture, on verrait toutes les anomalies disparaître, en même temps qu'on découvrirait toutes les analogies; il suffit même pour réaliser en partie ce fait, de disposer les corps simples et les genres de composés comme dans le tableau ci-joint.

GENRES ou ESPÈCES de CORPS SIMPLES.	GENRE DE COMPOSÉS NON OXIGÉNÉS.	GENRE OXIDE AVEC SES ESPÈCES.	GENRE HYDRATE		GENRES de SELS ANHYDRES.
			D'OXIDES	DE SELS.	
		Alumine. . . . .	Hydrate aluminique (gysite).	. . . . .	Aluminates.
		Silice . . . . .	Hydrate silicique (opale). Hydrate borique (acide borique cristallisé.)	Silicate hydraté. . . . . .	Silicates de diverses formules. Borates. Borosilicates.
Carbone. . . . .	Carbures. Oxycarbures. . . . .	Acide carbonique . . . . .	. . . . .	Carbonates hydratés. Carbonites hydratés.	Carbonates de diverses formules. Nitrates.
Soufre. . . . .	Sulfures. Oxisulfures. . . . . Phtorures. Chlorures. Iodures Seleniures. Telluriures.	Acide sulfureux. . . . .	Acide sulfurique hy- draté.	Sulfates hydratés.	Sulfates.
Tellure. . . . .					
Arsenic . . . . .	Arseniures et Sulfarseniures	Acide arsenieux . . . . .	. . . . .	Arsenate hydraté.	Phosphates. Arseniates. Arsenites.
Antimoine. . . . .	Antimoniures.	Oxide antimonique. Acide antimonique.	Acide antimonieux hy- draté.		
		Oxide d'étain. Oxide de zinc.	Magnésie hydraté.		
Bismuth. . . . .	. . . . .	Oxide de bismuth.			
Mercure. . . . . Argent.	Hydrargyre.				
		Oxide plombeux. — plombique. Oxide manganoux. — manganique. Oxide ferreux. — ferrique. Oxide cobaltique. Oxide cupreux. Oxide cuprique. Oxide uraneux.			Manganates. Ferrates.
Fer ? . . . . .	. . . . .				
Palladium.— Platine. Or. . . . .	Aurures.		Hydrate d'oxide d'u- rane.		
		Oxide chromique.	. . . . .	. . . . .	Chromites. Chromates. Tungstates. Molybdates. Titanates.
		Oxide titanique.	. . . . .	Titanates, silicio-tita- nates.	Tantalates.



Ce tableau présente dans les différentes colonnes la série des corps simples naturels, celle des genres de composés non oxigénés, des différentes espèces du genre oxide, du genre hydrate, (soit des hydrates simples, soit des hydrates de sels), et enfin des différents composés oxigénés. En lisant chaque colonne en particulier de haut en bas, on trouve les corps de chaque série rangés suivant un certain ordre d'analogie que nous ferons connaître plus loin; mais en lisant horizontalement les expressions qui s'alignent dans les différentes colonnes, on trouve d'autres analogies entre les différents genres, ou entre les espèces des genres oxide et hydrate. Si le tableau était ramifié, on pourrait même par différents sens de lecture, faire sentir d'autres rapports, et on aurait ainsi toutes les analogies; mais pour les bien saisir dans leur ensemble, il faudrait alors lire à la fois dans tous les sens. Dans le tableau présent, il faut lire à la fois dans le sens horizontal et dans le sens verticale or, comme il n'est pas possible de parler ou d'écrire, ni même d'arranger des collections dans plusieurs sens à la fois, on est forcé d'opter entre les diverses analogies pour former une série linéaire, qui par cela même est toujours un peu artificielle; tout ce que l'on peut faire est de choisir le sens dans lequel on rompt le moins possible de rapports importants, ou de rapports les plus prochains. Dans le cas de la disposition précédente, le sens horizontal est évidemment celui qui rompt le moins possible les rapports prochains, car le sens vertical donne tout simplement les groupes corps simples, corps non oxigènes, corps oxigénés simples, corps oxigénés complexes et hydrates, qu'il est impossible de caractériser d'une manière générale. La lecture dans le sens horizontal donne précisément les familles que nous avons adop-

tées, comme étant les moins artificielles possible.

Du moment que l'on convient de former les familles en réunissant les genres qui ont un principe commun, à quelque état qu'il soit, rien n'est plus facile que de les caractériser et aussi de les désigner. Relativement à ce dernier cas, on tirera le nom du principe qui sert de point de ralliement; ainsi le groupe qui renferme le *soufre*, les *sulfures*, l'*acide sulfureux*, les *sulfates*, sera pour nous la famille des *sulfurides*; nous appellerons famille des *anthracides* ou des *carbonides* le groupe qui renferme le carbone, les carbures, l'acide carbonique, les carbonates et carbonites: nous aurons de même les familles des *arsénides*, des *silicides*, des *titanides*, etc., etc. Il est clair que les propriétés du corps qui sert de type à une famille, serviront à la caractériser.

(261) *Manière de grouper les familles.* — Les familles une fois établies, il est clair qu'on ne peut pas les réunir indifféremment entre elles, comme si on les prenait l'une après l'autre au hasard; il doit exister un certain mode de réunion plus naturel qu'un autre, et c'est ce mode qu'il s'agit de chercher. Mais il se présente ici une difficulté de plus que dans la formation des genres ou des familles; dans ces deux cas on a trouvé dans les corps un principe commun qui a pu servir de point de ralliement, et ici il n'en peut plus être de même, puisque chaque famille, telle que nous avons pu les former, a pour type un corps différent. Il est évident qu'on ne peut pas non plus prendre pour base les caractères extérieurs, puisqu'ils n'ont pu même servir à la formation des groupes moins élevés; par conséquent, nous n'avons d'autres moyens que de chercher s'il existe quelques relations entre les différents corps simples que chaque famille renferme, soit à un état soit à l'autre. Ces corps sont:



Aluminium.	Molybdène.
Antimoine.	Or.
Azote.	Osmium.
Bismuth.	Palladium.
Bore.	Phosphore.
Carbone.	Phthore.
Chlore.	Platine.
Chrome.	Selenium.
Cobalt.	Silicium.
Cuivre.	Soufre.
Étain.	Tantale.
Fer.	Tellure.
Hydrogène.	Titane.
Iode.	Tungstène.
Magnesium.	Urane.
Manganèse.	Zinc.
Mercure.	

Voyons donc comment l'ensemble des propriétés que présentent ces corps peut servir à les disposer entre eux. Nous nous appuierons en grande partie pour cette recherche, sur un mémoire de M. Ampère, qui a pour objet la classification des corps simples (1).

Pour présenter d'une manière plus claire, les rapports que nous voulons faire connaître, nous partirons du silicium. Nous établirons facilement que ce corps a, d'une part, une grande analogie avec le tantale, le titane, le tungstène, le molybdène, et de l'autre, avec le bore, le carbone, etc. En effet, le *silicium* combiné avec l'oxygène, et par conséquent à l'état de silice, joue dans la nature le rôle d'un acide insoluble qui entre dans une foule de combinaisons; les *oxides de tantale*, de *titane*, de *tungstène*, de *molybdène*, sont dans le même cas, et les premiers forment même des sels, pierreux ou vitreux, qui ont, par quelques

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique.*

caractères extérieurs, assez d'analogie avec les silicates. Tous ces oxides se combinent avec la potasse et la soude, et forment, la plupart, des sels solubles, dont ils sont séparés, sous forme pulvérulente, par l'action d'un acide. Le silicium présente de l'analogie avec le bore et le carbone, par la propriété qu'ils possèdent tous trois, de former avec le fer des composés analogues à l'acier, et se trouvent aussi par là en rapport avec le phosphore et l'arsenic, quoiqu'ils en diffèrent beaucoup sous d'autres points de vues. Le bore et le silicium se combinent tous deux avec le phlore, et il en résulte des corps gazeux susceptibles de faire l'un et l'autre fonction d'acide.

On trouvera aussi de l'analogie entre le silicium et l'aluminium; d'un côté, ces corps à l'état d'oxide pur cristallisent dans le même système, et affectent des formes très rapprochées, le rhomboèdre de la silice étant de  $94^{\text{d}}15'$  et  $85^{\text{d}}45'$ , et celui de l'alumine (dans le corindon) étant de  $86^{\text{d}}4'$  et  $93^{\text{d}}56'$ ; d'un autre côté, l'alumine fait quelquefois fonction d'acide, et donne alors lieu à des corps pierreux assez analogues aux silicates; elle paraît aussi pouvoir remplacer la silice dans quelques circonstances, et former des aluminates, isomorphes peut-être avec les silicates, et susceptibles de se mélanger avec eux en toutes proportions.

Cela posé, prenons les autres corps. Le titane présente des analogies assez marquées avec l'étain; car, à l'état d'oxide, ces deux corps cristallisent de la même manière, tous deux en prismes à bases carrées de même dimension, et l'analogie se soutient jusque dans les mâcles. Ces deux oxides font également fonction d'acides, et tous deux, à l'état de peroxide, sont insolubles dans divers acides qui les séparent même de leurs sels. A côté de l'étain se place l'antimoine, qui a de l'analogie avec lui, non-seulement par sa couleur,

mais bien plus encore par ses oxides, dont la plupart sont des acides, et par ses chlorures, qui jouent comme ceux de l'étain le rôle d'acide. L'antimoine appelle naturellement près de lui l'*arsenic*, autre métal acidifiable, formant comme lui des oxides volatils. Il est impossible de ne pas voir aussi une analogie assez marquée entre l'arsenic et le *tellure*; car ces deux substances sont volatiles à l'état métallique et à l'état d'oxide, et toutes deux se combinent avec l'hydrogène en formant des gaz permanents. Le *sélénium*, présentant des propriétés analogues, vient se joindre naturellement à ces corps, auxquels il ressemble, en outre, par la propriété de donner une odeur particulière par la combustion, ce qu'on ne retrouve que dans l'*osmium*. Ce dernier corps présente aussi les mêmes caractères de volatilité et de combinaison avec l'hydrogène; mais il diffère des précédents, par la propriété de former des solutions colorées, ce qui le lie en outre avec une série de substances dont nous parlerons plus loin.

Ces derniers corps ne peuvent être éloignés du *chlore*; car, d'un côté, cette substance a quelque analogie d'odeur avec l'osmium, d'un autre, elle a la propriété de se combiner avec l'hydrogène, comme le sélénium, et de former aussi un corps qui joue le rôle d'acide. Le *phtore*, ou *fluor*, ne peut manquer d'être placé à côté du chlore, car il a nécessairement des propriétés analogues; l'*iode*, qu'on a aussi découvert dans le règne minéral, est en quelque sorte intermédiaire entre le sélénium et le chlore. Mais puisque nous sommes aux substances qui sont susceptibles de former des hydracides, il faut bien leur adjoindre le *soufre*, le seul des autres corps qui ait aussi cette propriété.

Nous n'avons pas encore fait remarquer que si l'ar-

senic a beaucoup d'analogie avec le tellure, il en a peut-être plus encore avec le *phosphore*; d'un côté par l'odeur particulière produite par la combustion; d'un autre par la propriété de former, avec l'hydrogène, des composés gazeux, d'une odeur analogue, tous deux insolubles dans l'eau, et incapables de faire fonction d'acide; enfin, par la propriété de former, avec l'oxygène, des acides solides qui se conduisent presque absolument de même avec les réactifs, et qui, en se combinant avec les oxides, produisent des sels isomorphes susceptibles de se mélanger en toutes proportions.

Aucun des autres corps qui servent de types aux familles minérales ne peut être intercalé entre ceux que nous venons d'indiquer; mais ils se rattachent tous aux groupes précédents, et les uns aux autres par différents caractères. Le *chrome* a évidemment une certaine analogie avec le molybdène : c'est, après les corps que nous avons déjà indiqués, celui qui produit le plus facilement des acides par sa combinaison avec l'oxygène. L'*urane* présente aussi les propriétés acides dans son peroxide, ce que l'on retrouve également dans les *peroxides de fer et de manganèse*; ces deux derniers métaux se rapprochent d'ailleurs, par beaucoup de propriétés analogues dans leurs oxides et dans leurs sels, et par leur fréquente réunion, leur substitution réciproque, dans les corps naturels. Le *cobalt* se lie au fer par la propriété magnétique dont il jouit, et qu'on ne retrouve ensuite que dans le *nikel*; les *oxides d'or et de platine* offrent encore, à un certain point, les propriétés acides, et ces deux corps ont entre eux et avec le *palladium*, la propriété commune de former facilement des sels doubles avec la potasse, la soude, l'ammoniaque, lorsqu'ils sont dissous dans l'eau.

Les *oxides de cobalt et de nickel* se rapprochent aussi du manganèse.

nèse en ce que ces deux corps peuvent former des sels de même formule qui ont beaucoup d'analogie dans leurs formes. Enfin tous ces corps ont la propriété de former des solutions colorées, ce qui les lie entre eux, et aussi avec le molybdène, le tungstène, le titane, le tantale.

En parlant de l'étain, nous avons déjà fait connaître plusieurs corps qu'on ne peut se dispenser de placer les uns à côté des autres; mais on peut aussi arriver par ce métal à une série différente: ainsi on ne peut s'empêcher de voir l'analogie qui existe entre ce corps, le *zinc* et le *bismuth*. Ceux-ci, en se combinant avec le chlore, produisent des composés qui ont des propriétés de même genre que les chlorures d'antimoine et d'étain, c'est-à-dire qui sont, comme eux, susceptibles de jouer jusqu'à un certain point le rôle d'acide; le zinc a encore une certaine analogie avec l'étain, en ce que son oxide saturant assez bien les alcalis, possède par conséquent, par rapport à ces bases, les propriétés acides, tandis qu'il se lie aux corps qui le suivent, en ce qu'il fait le plus souvent comme eux fonction de base. A la suite de ces deux métaux se placent tout naturellement le *mercure*, l'*argent*, le *plomb*, dont les oxides possèdent la propriété de saturer la chaux, la baryte, et qui se rapprochent cependant de plus en plus des bases salifiables alcalines: l'oxide de plomb a même une alcalinité bien prononcée dans son oxide jaune. Tous ces corps ont en outre la propriété commune de ne produire que des solutions blanches dans les acides.

Le *magnésium*, le seul corps métallique dont il nous reste à parler comme type de famille, se lie d'un côté avec le plomb par l'alcalinité de son oxide, de l'autre avec le zinc, en ce que les deux oxides sont isomorphes, comme le prouvent les sulfates, carbo-

nates et aluminates de ces bases. Il ne forme non plus que des solutions blanches avec les acides.

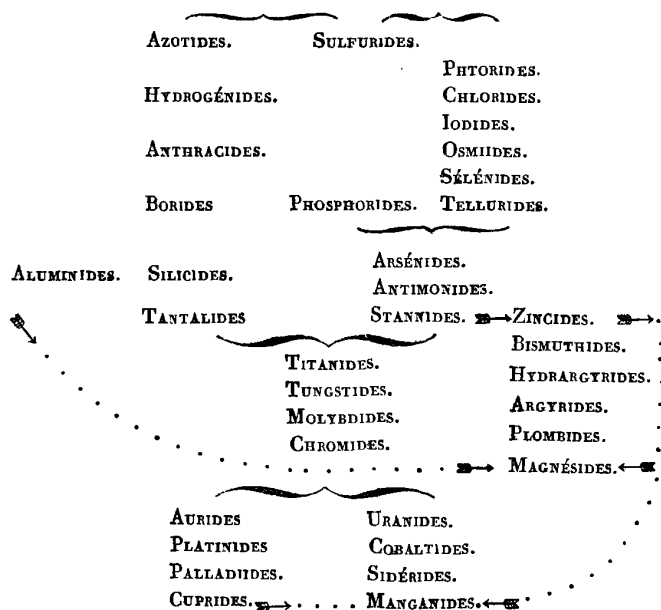
Si ces différents corps se lient les uns aux autres et par suite avec l'étain, on doit remarquer qu'ils se rattachent encore à plusieurs de ceux dont nous avons parlé précédemment. En effet, la magnésie et l'oxide de zinc se lient avec les protoxides de manganèse, de fer, de cobalt, qui sont des bases éminemment salifiables, isomorphes entre elles, et avec les deux précédentes, auxquelles par conséquent elles se substituent dans les combinaisons.

Nous devons aussi faire remarquer que l'alumine dont nous avons fait voir la relation avec la silice, présente aussi une analogie marquée avec cette nouvelle série, en ce qu'elle fait tantôt fonction d'acide, tantôt fonction de base, et que ses solutions, qui se font facilement dans tous les acides, sont aussi toujours blanches. Comme les corps de la dernière série, l'alumine se lie également avec la série précédente; car les peroxides de fer et de manganèse sont isomorphes avec l'alumine, et la remplacent dans diverses combinaisons.

Il ne nous reste plus à parler que de l'azote et de l'hydrogène, qui sont les corps les plus difficiles à classer. On ne peut établir l'analogie de ces corps qu'avec le soufre et le carbone, encore ces affinités sont-elles beaucoup moins marquées que celles que nous avons déjà citées. L'hydrogène, le carbone et l'azote semblent avoir surtout de l'analogie entre eux, par une égale affinité pour l'oxigène, par le rôle qu'ils jouent tous trois dans la composition des matières organiques. L'hydrogène et le carbone ont encore cela de commun, qu'ils se combinent tous deux avec l'azote, et forment des composés gazeux, l'ammoniaque et le cyanogène. L'azote et le soufre se rapprochent l'un de l'autre par la propriété de former des bases salifiables

en se combinant avec certains corps; par exemple, la combinaison de l'azote avec l'hydrogène forme l'ammoniaque, un des corps les plus salifiables, et l'on connaît plusieurs sulfures qui jouent le rôle d'alcalis dans quelques combinaisons.

On voit par cette discussion, que dans la série des corps que nous venons de citer, on peut former différents groupes dont les parties ont entre elles des analogies assez nombreuses, fondées sur un ensemble assez remarquable de propriétés, et que tous sont liés d'ailleurs par de certains rapports; mais on doit voir aussi que pour conserver ces rapports, on ne peut guère les réunir qu'en séries ramifiées, dont le tableau suivant est une faible esquisse



(262) Arrangement linéaire des familles. — Le

tableau précédent offre à peu près le groupement naturel des familles, et c'est certainement le seul qu'on puisse faire aujourd'hui, si l'on a admis des familles en séries linéaires; mais après avoir ainsi établi les rapports, il faut bien, pour arriver à décrire, et surtout à classer les minéraux en collection, commencer par l'une des familles, et suivre ensuite un certain ordre pour en parler, ou les classer l'une après l'autre. Or, cet ordre nécessaire de discours ou d'arrangement, détermine inévitablement une série linéaire, et par conséquent encore artificielle; tout ce que l'on peut faire, c'est de choisir la série qui rompt le moins possible les rapports.

Sans doute il y a plusieurs manières de lire dans le tableau ramifié pour décrire les familles l'une après l'autre, comme l'exige l'ordre naturel du discours ou l'arrangement d'une collection, et chacun est à peu près maître de commencer par où il voudra. Cependant il est clair que parmi toutes les manières possibles, il en est qui s'éloignent moins que d'autres des rapports naturels, et ce sont évidemment celles que l'on doit préférer. Or, en examinant toutes les manières d'étendre le tableau précédent en série linéaire, il me paraît que la moins artificielle possible est la suivante :

SILICIDES.	PHOSPHORIDES.
BORIDES.	ARSENIDES.
ANTHRACIDES.	—
HYDROGÉNIDES.	
SULFURIDES.	
PHTORIDES.	ANTIMONIDES.
CHLORIDES.	STANNIDES.
IODIDES.	ZINCIDES.
OSMIDES.	BISMUTHIDES.
SÉLÉNIDES.	HYDRAGYRIDES.
TELLURIDES.	ARGYRIDES.



PLUMBIDES.	URANIDES.
ALUMINIDES.	PALLADIIDES.
MAGNÉSIDES.	PLATINIDES.
—	AURIDES.
	CHROMIDES.
MANGANIDES.	MOLYBDIDES.
SIDERIDES.	TUNGSTIDES.
COBALTIDES.	TITANIDES.
CUPRIDES.	TANTALIDES.

Cette série linéaire, qui me paraît la moins artificielle, est tout-à-fait indépendante de toutes les divisions qu'on peut y établir; elle peut rester entière sans aucun inconvénient, et c'est peut-être ce qu'il y a de mieux à faire; mais aussi on peut y faire autant de coupures que l'on voudra, sans rien changer aux rapports établis, et par conséquent sans la rendre ni plus ni moins artificielle. Or, comme il est assez commode d'avoir des divisions dans une longue série de corps, on peut la partager en trois groupes, comme nous l'avons indiqué par la disposition. Cela fait, il faut chercher des caractères pour chacun de ces groupes; or ces caractères sont tout établis par suite des analogies que nous avons indiquées dans la discussion, et il n'y a plus qu'à les rappeler; mais dès que ces analogies ont été démontrées une fois pour toutes, il suffit, pour caractériser le groupe, de choisir un seul caractère qui soit commun à toutes les familles qu'il renferme, et ce caractère n'a pas même besoin d'être d'une grande valeur, puisque ce n'est pas lui qui détermine les rapprochements, et qu'il ne sert qu'à distinguer un groupe de l'autre.

D'après ces réflexions, on peut remarquer que dans le premier groupe, des silicides aux arsénides, les corps qui servent de type aux familles, ont tous cela de commun, qu'ils sont gazeux, ou peuvent produire des

gaz permanents, en se combinant soit avec l'oxygène, soit avec l'hydrogène, soit avec le phlore, ou fluor, et quelquefois avec tous. Le nom de *gazolytes*, imaginé par M. Ampère, le caractérise parfaitement.

Le second groupe offre aussi deux caractères qui sont communs à tous les corps qui servent de types aux familles qu'on y remarque; l'un est négatif, et consiste en ce que ces corps ne forment pas de gaz permanent; l'autre est positif, et consiste en ce qu'ils ne forment que des solutions incolores avec les acides: le nom de *leucolytes* (solutions blanches) exprime ce dernier caractère.

Enfin le troisième groupe présente aussi des caractères communs à tous les corps types qu'il renferme, l'un négatif, qui consiste encore en ce qu'aucun d'eux ne forme de gaz permanent; l'autre, positif qui consiste en ce que leurs solutions dans les acides sont colorées; le nom de *Chroïcolyte* (solution colorée) exprime ce dernier caractère.

Il n'est pas inutile de remarquer que les trois caractères que les mots gazolytes, leucolytes et chroïcolytes expriment, ne sont pas tout-à-fait absolus. En effet, la propriété d'être gazeux ou de former des gaz permanents, n'est pas absolument restreinte au type des familles qui constituent le premier groupe, puisqu'on reconnaît quelques indices de volatilité dans quelques oxides des autres séries; mais ce n'est pas à la température ordinaire, comme dans la première. On observe aussi que si les types des familles du second groupe donnent en général des solutions blanches, il en est cependant quelques-uns qui, dans certaines circonstances, donnent des solutions légèrement colorées. De même si les corps qui servent de types aux familles du troisième groupe, donnent en général des solutions colorées, il en est plusieurs qui, à un certain degré d'oxydation, donnent des solutions blanches. Mais ces

anomalies ne sont pas ici très importantes, parce qu'il ne s'agit que d'une indication générale, et non d'établir des séparations absolues, qui ne peuvent être fondées que sur l'ensemble des caractères, et qui le sont en effet ainsi dans les trois groupes. On ne doit pas être plus difficile ici dans ces sortes de grandes indications caractéristiques, que dans les autres parties de l'histoire naturelle, où il existe des anomalies du même genre dans les indications caractéristiques des grandes divisions, sans que personne y voie autre chose qu'un léger inconvénient provenant de la nécessité où l'on se trouve d'abrèger les caractères.

Telles sont les considérations qui me paraissent justifier la formation des espèces, leur réunion en genres, celle des genres en famille, et même l'arrangement naturel de ces familles, aussi bien que leurs divisions en trois classes. J'espère ne m'être pas écarté des voies d'une saine logique; mais je suis loin de croire que le tableau de classification auquel j'ai été ainsi conduit, puisse être regardé comme parfait; j'y reconnais moi-même quelques vides, quelques incohérences, et je suis persuadé qu'il subira de grands changements, auxquels j'espère au moins contribuer, à mesure que les connaissances minéralogiques positives s'étendront; mais je crois aussi que les bases en subsisteront, et qu'on l'améliorera sans le détruire.

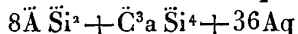
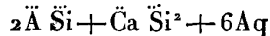
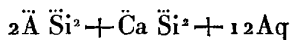
(263) *Observations.*—J'ai entendu plusieurs fois faire la réflexion que le nombre des substances minérales était si peu considérable, qu'il ne valait guère la peine que l'on se donne pour les classer, que chacun pouvait à peu près les disposer à sa manière, et que jusqu'à présent toute méthode était bonne. Ces assertions me paraissent tout-à-fait erronées: d'abord de ce que les substances sont peu nombreuses, je ne vois pas que ce soit une raison pour négliger les rapports qu'elles

ont entre elles, pour les étudier en amateur en se bornant à des caractères, à la vérité faciles à saisir, mais fort propres à tout brouiller, ce qui a lieu nécessairement quand on peut se contenter de les réunir au hasard. D'un autre côté, si le nombre des substances minérales est peu considérable, c'est précisément parce que pendant trop long-temps on les a traitées avec cette légèreté que l'on voudrait encore conserver, et qui n'est certainement pas un moyen d'agrandir le domaine de la science. Ce nombre augmente tous les jours, même de manière à faire penser que la minéralogie arrivera, sous ce rapport, au niveau des autres parties de l'histoire naturelle, (220) depuis qu'on examine les substances avec plus de précision; et je ne veux pas parler de cette multitude d'espèces que l'on fait tous les jours d'après des caractères extérieurs, et qu'on est obligé de reléguer parmi les *incertæ sedis*, mais bien de celles qui sont fondées sur de bonnes analyses, sur des proportions chimiques définies. Je pense que l'adoption d'une méthode, la plus naturelle que l'on puisse déduire de l'ensemble des faits connus, est un moyen infailible de conduire à de nouvelles recherches, soit pour établir les analogies qui peuvent encore manquer, soit pour remplir les lacunes que l'on aperçoit alors, et qui ne peuvent se manifester autrement. Une méthode, lorsqu'elle est fondée sur des analogies importantes, n'est pas seulement un moyen de nous aider dans la reconnaissance des corps, mais c'est encore la clef d'une foule de découvertes que les méthodes empiriques ne provoqueront jamais.

(264) *Nomenclature des espèces.* — Avant de quitter les considérations relatives aux méthodes minéralogiques, il n'est pas inutile de dire quelques mots de la nomenclature que nous adopterons. Lorsqu'on vient à réfléchir à ce sujet, l'idée qui se présente naturelle-

ment, est de suivre la nomenclature chimique, et en effet rien n'est plus convenable quant à la dénomination des genres; mais dans toute nomenclature, les êtres doivent être désignés par deux noms, nom de genre et nom d'espèce: c'est ainsi qu'il en est dans la botanique et la zoologie, et qu'il en doit être dans la minéralogie. Or, lorsqu'on veut appliquer la nomenclature chimique à l'espèce, on remarque bientôt que si elle paraît convenir à certains cas, elle présente des difficultés insurmontables dans d'autres. En effet, tant qu'il ne s'agit que de composés simples on trouve parfaitement à les indiquer dans le langage chimique, qui est sensiblement d'accord avec le langage de l'histoire naturelle; ainsi rien n'est plus naturel, plus conforme à la nomenclature imaginée par Linnæus et adoptée partout, que des expressions telles que *quadri-sulfure ferrique*, *bisulfure cuprique*, *bisulfure plumbique*, etc., ou bien *silicate ferreux*, ou *biferreux*, *silicate ferrique*, ou *biferrique*, etc., qui indiquent des combinaisons de soufre et de fer ou de cuivre, etc., de silice et de protoxide ou de peroxide de fer, en même temps qu'elles donnent les rapports atomiques des composants (228). Cependant on remarque déjà quelques inconvénients; d'un côté les noms spécifiques sont ici des adjectifs, ce que l'on cherche en général à éviter en histoire naturelle, afin de pouvoir employer ces noms substantivement; d'un autre côté, les expressions que nous venons de citer sont déjà assez longues, et de plus, offrent quelque chose de peu agréable, pour des descriptions où le nom revient sans cesse, par les modifications des noms génériques et spécifiques par les prépositions *quadri*, *bi*, etc. Ces inconvénients deviennent bien plus marqués lorsque les composés se compliquent; ainsi lorsqu'un sel renferme de l'eau, il faut ajouter de plus, l'épithète *hydraté*, et dire par exemple, *silicate ferreux*

*hydraté, silicate bi-ferrique hydraté, ou bien si l'on veut silicate hydro-ferreux, ou hydro-bi-ferrique, etc., ce qui n'est ni plus simple, ni plus court. C'est bien pis dans les composés doubles, car il n'y a plus moyen de les indiquer autrement que par une phrase; ainsi un corps de la formule  $2 \text{Ä Si}^3 + \text{Ca Si}^2 + 12 \text{Aq}$ , ne peut être indiqué autrement que par la phrase, *silicate double composé de 2 atomes de trisilicate d'alumine, 1 atome de trisilicate de chaux et 12 atomes d'eau*. On pourrait penser peut-être qu'il serait possible alors de dire tout simplement *trisilicate alumino-calcique hydraté, ou trisilicate hydro-alumino calcique*; mais outre que c'est réellement une phrase, et une phrase d'autant plus embrouillée qu'elle est plus concise, au lieu d'un nom spécifique, on ne pourrait employer une telle locution que dans le cas où il n'existerait, et ne pourrait exister, qu'un seul composé de ce genre. Or, nous trouvons les mêmes éléments combinés en diverses proportions, telles que*



et plusieurs autres; dès lors il faut bien se décider d'un côté à indiquer les diverses bases, de l'autre à noter l'ordre de chacun des composés immédiats, et enfin la relation qui existe entre l'un et l'autre composant; tout cela est impraticable d'une manière brève, et il faut recourir à des descriptions telles que celle que nous avons donnée.

Il résulte de là que, dans un grand nombre de cas, il est impossible de suivre la nomenclature chimique, ou plutôt qu'il ne peut pas exister de nomenclature chimique. Il faut recourir alors à des noms univoques quelconques, et comme la plupart des substances miné-

rales en ont reçu de particuliers, il n'y a qu'à les adopter comme noms spécifiques, et les joindre au nom du genre. Ainsi dans les quatre exemples de formules que nous avons pris, on dira tout simplement *silicate stilbite*, *silicate chabasie*, *silicate scolézite*, *silicate laumonite*.

Il ne peut y avoir aucun doute sur la nécessité d'en agir ainsi dans le cas des composés compliqués; mais est-il nécessaire de prendre d'autres expressions que celles qui sont en usage en chimie, lorsqu'il s'agit de composés plus simples? je crois que la chose est également évidente. En effet, si la nature se bornait à des composés très simples, comme ceux que nous savons former dans nos laboratoires, il n'y aurait aucune raison pour avoir une nomenclature particulière; ainsi, les expressions *carbonate calcique*, *carbonate barytique*, sont aussi simples que toute autre; mais des expressions telles que *bisulfate hydroferreux*, *sulfate hydro-biferrique*, etc., deviennent déjà plus compliquées; et que serait-ce, si l'on venait à découvrir plusieurs espèces formées des mêmes élémens, qui différassent entre elles par les proportions d'eau, ce qui est dans l'ordre des choses possibles, et ce qui existe déjà pour le dernier? il faudrait exprimer ces relations, et l'on retomberait encore dans des phrases qu'on ne pourrait éviter qu'en imposant un nom quelconque au composé. Or, comme ce serait une bigarrure intolérable que de suivre tantôt la nomenclature chimique, tantôt une autre, il est plus simple, plus clair et plus régulier, de prendre dans tous les cas un nom spécifique, univoque, qui vaudra toujours mieux que les modifications d'une épithète par les prépositions *mono*, *bi*, *tri*, etc. Ainsi, dans les exemples que nous avons cités, il est plus convenable de dire, *carbonate calcaire*, *carbonate witherite*, *sulfate couperose* ou *mélanterie*, *sulfate*

*pittizite*, etc., en se servant des noms de calcaire, witherite, couperose ou mélantérie, et pittizite, qui ont été donnés particulièrement à ces matières.

Je conclus de ces considérations, qu'on doit, dans tous les cas, prendre un nom univoque pour désigner une espèce, et que chaque espèce minérale doit porter un tel nom. Ce nom doit pouvoir se joindre facilement à celui du genre, et être tel qu'on puisse à volonté l'employer substantivement. Mais cette conclusion, qui est forcée par la nature même des choses, me met ici dans la nécessité, pour être conséquent avec moi-même, d'entrer dans une discussion qui devient une pure question de mots, qui, par cela même, a quelque chose de désagréable, et malgré tout pourra paraître tout-à-fait oiseuse. Beaucoup de substances minérales, qui sont de véritables espèces, comme le *silicate trimanganésique* (manganèse octaèdre de St.-Marcel, etc.), le *silicate hydro-manganeux*, le *bicarbonate ferreux*, le *bicarbonate zincique* et le *simple carbonate hydro-zincique*, le *sulfure cupro-argentique*, etc., etc., n'ont jamais reçu d'autres dénominations que celles qui sont tirées de leur composition. Beaucoup d'autres substances n'ont que des noms étrangers, souvent difficiles à retenir, et surtout à prononcer pour nous, tels que par exemple, *kupferglanz*, *buntkupfererz*, *sprædglanzerz*, *nickelspielglanzerz*, etc., etc. D'autres ont bien des noms français, mais qui ne sont point univoques, et qui présentent en outre quelque chose de bizarre, tels que *alun de plumes*, *argent corné*, *argent rouge*, etc. Il me paraît évident qu'il faut donner des noms aux uns, chercher des noms français pour les autres, et changer les dénominations vulgaires des derniers. C'est ce que je suis décidé à faire, pour mettre de l'uniformité dans le tableau de spécification, malgré mon éloignement naturel pour ces sortes d'innovations.



Je ne quitterai pas ce sujet sans dire encore un mot sur les noms que l'on doit de préférence adopter. Toutes les fois qu'une substance en possède un qui est univoque, facile à prononcer, je crois qu'on doit le conserver scrupuleusement quel qu'il soit, et qu'il faut toujours des raisons majeures pour le changer. Dans les noms qu'on est obligé de faire, il faudrait, autant que possible, éviter les noms significatifs qui sont dérivés de quelques idées théoriques, car de tels noms qui conviennent aujourd'hui à certains corps, demain deviendront absurdes, parce que les théories seront changées; c'est ce qui arrive par exemple au mot *pyroxène* (étranger au feu) formé sur une idée particulière à Dolomieu, et qui aujourd'hui est devenu fort mauvais, parce qu'on pense absolument le contraire: il en est de même d'une infinité d'autres dont il faut oublier l'étymologie. Les noms insignifiants seraient peut-être les meilleurs; mais ils ont un autre inconvénient, car par cela même qu'ils n'expriment rien qui ait rapport au minéral auquel ils sont appliqués, ils deviennent très difficiles à classer dans la mémoire. On voit donc qu'on se trouve ainsi entre deux écueils; mais on peut éviter l'un et l'autre, en prenant le nom dans quelque propriété inhérente au corps, et qui soit indépendante de toute espèce de théorie: par exemple les noms d'*Euclase* (qui se brise facilement), d'*Axinite* (qui a la forme de hache), de *Sphène* (qui a la forme de coin), etc., sont très bons, parce qu'ils expriment des propriétés des corps que les théories ne peuvent pas changer. Le premier rappelle la facilité avec laquelle la substance se clive, ce qui la distingue à l'instant de l'émeraude, avec laquelle elle a d'ailleurs quelques analogies. Le second rappelle les cristaux minces, très tranchants, et comme un fer de hache, que la substance affecte le plus ordinairement; enfin le troisième ex-

prime aussi une propriété analogue. Malheureusement il y a peu de noms en minéralogie qui aient été faits avec le même bonheur ; assez souvent ils sont fondés sur des observations si futiles , que c'est à peu près comme s'ils n'exprimaient rien , fort heureux encore s'ils ne présentent pas une idée fausse. Cependant il n'est pas nécessaire que la propriété d'où l'on tire le nom soit bien importante ; il suffit qu'elle rappelle quelque chose de constant , qui ne se rapporte pas indifféremment à un grand nombre de corps : elle peut être positive ou négative , exprimer un fait minéralogique , ou un emploi dans les arts , une opposition ou une comparaison à un objet quelconque , etc. , etc. Les noms de localités sont assez bons jusqu'à un certain point , parce qu'ils rappellent du moins un fait de minéralogie géographique ; le lieu où le minéral a été trouvé pour la première fois , où il existe en abondance , etc. ; mais il en résulte souvent des pléonasmes ou des contre-sens assez bizarres dans les indications des différentes localités où l'on rencontre le même corps , comme par exemple , *Vésuvienne* ( pierre du Vésuve ) du Vésuve , *Vésuvienne* du Tyrol , *Vésuvienne* des Etats-Unis , etc. Les noms d'hommes ont le précieux avantage , soit de rappeler l'auteur de la découverte du minéral , ou d'une matière qu'il renferme , ou de quelques-unes de ses propriétés importantes , soit d'être un hommage permanent à quelque savant distingué ; mais il est rare qu'ils puissent être formés autrement qu'en ajoutant les terminaisons *ite* ou *lithe* , et nous avons déjà tant de noms qui se terminent ainsi , qu'il en résulte une monotonie fastidieuse dans la nomenclature.

On voit donc combien il est difficile d'imaginer un nom convenable , et l'on ne sera plus étonné d'en trouver un grand nombre de fort mauvais , et et surtout de fort peu harmonieux , dans la série des

espèces. On ne peut trop recommander, comme accessoire agréable de la science, de choisir des noms sonores, d'intonations et de terminaisons variées, et surtout qui n'aient rien de bizarre. Enfin il est essentiel d'observer qu'on ne doit donner de noms qu'aux substances bien caractérisées comme espèces, dont on connaît la composition et dont on peut fixer nettement la place dans la méthode. Il faut de grandes raisons pour se déterminer à donner un nom à un corps qui doit, jusqu'à nouvel ordre, rester dans un appendice parmi les espèces douteuses, et dont il ne sortira peut-être que pour être une simple variété d'une espèce déjà connue. Il est réellement à regretter qu'on ait ainsi appliqué la plupart des noms des savants les plus distingués, à des corps qu'on n'a pu étudier que d'une manière très vague, souvent sur des parcelles imperceptibles, et que l'on ne sait où placer faute de données positives.

---

## LIVRE QUATRIÈME.

MANIÈRE D'ÊTRE DES SUBSTANCES MINÉRALES DANS LA  
NATURE, OU GISEMENT.

---

### CHAPITRE PREMIER.

#### NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

(265) LES détails que nous avons déjà donnés nous ont appris à connaître les diverses propriétés des minéraux, à nous en servir pour distinguer les espèces et leurs variétés, à établir une classification où les familles, les genres, les espèces, sont caractérisés d'une manière positive, et rangés dans l'ordre le plus conforme possible à toutes leurs analogies; mais il ne suffit pas d'avoir étudié les substances minérales sous le rapport de leurs propriétés physiques ou chimiques, et de les avoir classées méthodiquement, il faut connaître encore leur manière d'être à la surface du globe, leurs différents genres d'association, la manière dont elles sont distribuées sur nos continents, etc. : ce qui constitue la partie la plus importante de leur histoire. Ce genre de recherches tient de très près à la géologie,

ou plutôt n'en est réellement qu'une partie ; mais , n'ayant que les minéraux simples pour objet ; ne s'occupant qu'accidentellement des grandes masses, la plupart composées, qui constituent la surface du globe ; ne s'élevant à aucune des considérations qui ont rapport à la forme des montagnes, à leur dégradation, à leur structure, à leur mode de formation, etc. etc. , il se trouve restreint dans des limites très resserrées, et n'est que le complément de la minéralogie descriptive.

Les espèces minérales, ou leurs variétés, se trouvent à la surface du globe de différentes manières ; quelques-unes, en très petit nombre, forment à elles seules des montagnes, et même des chaînes de montagnes, ou des couches, des amas, des filons dont l'étendue est encore très grande ; d'autres se trouvent seulement en petites parties disséminées çà et là dans les grands dépôts, ou en tapissent les fentes et les cavités. Mais, avant de faire connaître les substances qui affectent ces diverses manières d'être, il faut définir quelques expressions, comme aussi donner quelques détails sur les différents âges des masses qui composent la surface terrestre.

(266) *Définition des couches.* — On nomme *couches* ou *bancs* des masses minérales plus ou moins épaisses, dont les deux faces sont sensiblement parallèles, et qui souvent s'étendraient indéfiniment en longueur et largeur, si elles n'étaient accidentellement bornées par des escarpements, par les flancs des vallées et des bassins où les matières se sont déposées. Elles sont tantôt horizontales, tantôt inclinées, pl. XI, fig. 1 et 2, tantôt planes, tantôt contournées, fig. 3, ou repliées en zigzag, fig. 4.

On distingue dans une couche son *inclinaison* et sa *direction*. L'inclinaison est l'angle que son plan fait avec l'horizon, auquel on ajoute la désignation

du point vers lequel il plonge. Ainsi, on dit que telle couche est inclinée de tel ou tel degré, et plonge à l'est, à l'ouest, etc., ou simplement quelle plonge vers tel point, sous tel angle. La direction d'une couche est celle d'une ligne horizontale menée sur son plan; indiquer la direction, c'est assigner les points de l'horizon vers lesquels cette ligne se dirige. On doit remarquer que la direction et l'inclinaison étant à angle droit, on peut toujours conclure la première de la seconde: ainsi, dire qu'une couche plonge à l'est ou à l'ouest, c'est indiquer tacitement qu'elle se dirige du nord au sud. En prenant l'inclinaison et la direction d'une couche, on fait abstraction des sinuosités, de même qu'en indiquant la direction d'une rivière, on fait abstraction de tous ses détours.

(267) *Définition des amas.* — On désigne sous le nom d'amas, des dépôts de matières qui ne sont plus étendus indéfiniment comme les couches, mais qui sont au contraire enveloppés, en tout ou en grande partie, par des matières d'un genre différent, fig. 5 et 6, et forment ainsi des masses plus ou moins irrégulières, quelquefois arrondies, ovales, ou lenticulaires. Ces dernières, fig. 6, qui sont fréquemment situées entre deux couches de roches, horizontales ou inclinées, ont été souvent prises elles-mêmes pour des couches, et sont quelquefois distinguées par le nom d'*amas couchés* (*liegende Stocke*, all.) Les premières, au contraire, sont souvent situées dans l'intérieur des montagnes dont la masse n'est pas divisée en couches, ou dans l'épaisseur même d'une couche. Il y a des amas qui sont extrêmement volumineux, de plusieurs milliards de pieds cubes; mais il en est de beaucoup plus petits, et si l'on voulait même désigner par la même expression des manières d'être tout-à-fait semblables, pour lesquelles on emploie des dénominations

tions particulières, on pourrait dire qu'il y a des amas de la grosseur du poing, et même de celle d'un pois.

(268) *Des nids, rognons, noyaux.* — Les très petits amas qui se trouvent dans l'épaisseur des couches, prennent les noms de nids, de rognons, de noyaux. Ces expressions sont à peu près synonymes, et très souvent employées indifféremment l'une pour l'autre; cependant le nom de *nids* se donne plus particulièrement à de petits amas de matières friables dont la forme est très irrégulière; le nom de *rognons* s'applique aux petits amas solides dont la forme est plus ou moins arrondie, souvent étranglée en différents points, et dont le volume est en général au moins celui du poing; enfin on nomme *noyaux* de très petits amas, le plus souvent solides, qui ont fréquemment la forme d'une amande, ne sont presque jamais étranglés, et semblent, dans beaucoup de cas, s'être modelés dans des cavités préexistantes: c'est d'après cette dernière considération qu'on désigne sous le nom de noyaux, les matières solides ou terreuses qui se sont modelées dans l'intérieur des coquilles.

(269) *Des filons.* — On donne le nom de filon à des masses minérales aplaties, dont les deux surfaces ne sont pas parallèles, et qui, par conséquent, se terminent en coin à une distance plus ou moins grande. Ces masses ne s'étendent pas parallèlement aux couches des montagnes où elles se trouvent; elles les coupent, au contraire, dans un sens qui approche toujours plus ou moins de la verticale, fig. 8, traversant ainsi fort souvent plusieurs couches de nature différente. Quelquefois les filons se trouvent dérangés dans leur route, et suivent pendant quelques instants l'intervalle de deux couches; ailleurs, ils se divisent en plusieurs branches; etc. La matière qui les remplit est ordinairement tout-à-fait différente de celle de la masse qu'ils

traversent, ou, tout au moins, présente des caractères particuliers.

Cette manière d'être, qu'affectent plusieurs substances, mais que pendant long-temps on a particulièrement remarquée dans les métaux usuels, peut en général donner l'idée de fentes faites dans la masse du terrain postérieurement à sa consolidation, et dont les vides auraient été remplis, soit immédiatement, soit après un laps de temps plus ou moins long. Il ne peut guère y avoir de doute à l'égard de la première partie de cette assertion; car autour de beaucoup de filons on reconnaît des preuves irrécusables du mouvement du terrain; en effet, il arrive fréquemment que de part et d'autre de la fente, les couches ne sont plus dans le même plan, et il semble qu'une des parties ait fait un mouvement de rotation sur l'autre, fig. 9; presque toujours même on reconnaît les indices de ce mouvement, et ceux d'un mouvement de translation, de haut en bas, en sorte que les couches de même nature ne se correspondent plus, fig. 7. Quant au remplissage, il est clair qu'il a eu lieu, puisque la masse existe; mais il est difficile d'adopter définitivement une idée sur la manière dont il s'est fait. Quelques observations semblent indiquer qu'il a eu lieu quelquefois par le haut, et surtout dans les filons dont la partie la plus large se trouve à la surface du terrain: dans quelques cas même on peut soupçonner qu'il s'est fait ainsi par le moyen d'un liquide qui tenait les matières principales en solution, et pouvait charrier accidentellement divers débris; c'est à quoi conduit la présence des cailloux roulés et des débris organiques que l'on dit avoir été observés dans quelques-uns de ces dépôts. Dans d'autres cas, au contraire, on est forcément conduit à d'autres idées; en effet plusieurs filons ont leur plus grande largeur vers



le bas, et vont en se rétrécissant vers la surface du terrain; d'où il résulte que la fente s'est faite de l'intérieur à l'extérieur, et, par suite, que le remplissage n'a pu avoir lieu que par l'injection intérieure d'une matière qui était nécessairement en fusion, et dont la masse a cristallisé. On rend bien plus facilement raison dans cette hypothèse que dans l'autre, de toutes les particularités que présentent les filons, de l'altération de la roche sur ces parois, de la cristallisation des diverses matières qui se trouvent entremêlées, des cavités tapissées de cristaux qu'on y remarque, enfin d'une multitude de petits accidents. Par exemple, on rencontre assez fréquemment de gros cristaux de certaines substances qui tapissent les parois des cavités du filon, et dont les faces inférieures sont toutes saupoudrées de petits cristaux de sulfure, d'arseniure, etc., dont il n'y a pas apparence sur les faces tournées vers le haut : or, rien n'est plus simple que cette circonstance dans la seconde hypothèse, car ces petits cristaux peuvent être regardés comme le résultat d'une sublimation produite par la chaleur des parties non encore consolidées, dont les matières ont dû se déposer à la partie inférieure du premier obstacle qu'elles ont rencontré. Cette circonstance même peut être donnée en preuve de l'origine ignée des filons métallifères.

Il faut distinguer dans les filons les matières principales qui les remplissent, et les matières accessoires : celles-ci sont disposées irrégulièrement, dans la masse des premières, en cristaux, en rognons, en grains, en veines, etc. etc., ou bien alternent par petites couches avec elles, ou enfin, se trouvent dans des cavités dont elles tapissent les parois. Dans les filons métallifères, les parties non métalliques, qui forment souvent la masse principale du dépôt, prennent le nom de *gangue*, expression tirée du mot allemand *gang*, qui signifie

lui-même un filon ; quelquefois aussi on les a nommées *matrices*, d'après l'ancienne idée que les métaux s'engendraient au milieu d'elles.

On fixe la position des filons, comme celle des couches, par l'angle d'inclinaison, et le point de l'horizon vers lequel ils plongent, d'où l'on déduit la direction.

(270) *Des veines.* — Ce que les amas et les filons nous présentent en grand, les veines nous l'offrent à peu près en petit ; on nomme *veines* de petites masses minérales longues et étroites, simples ou ramifiées, tantôt droites, tantôt contournées, qui se trouvent dans l'épaisseur des couches, des amas, et même des filons, et les traversent dans toutes les directions. Dans les unes, on reconnaît tous les caractères de petites fentes, qui se sont remplies de différentes manières ; dans les autres, au contraire, on ne peut guère voir autre chose que de petits amas dont la formation est nécessairement contemporaine de celle des masses qui les renferment. Les plus frappants des caractères qui conduisent à l'idée de fentes remplies, se tirent de la position relative des parties de la roche située sur les côtés de la veine ; on voit les angles saillants de l'un correspondre aux angles rentrants de l'autre ; lorsque les masses ont une structure stratoïde, il arrive que la direction des couches est tout-à-fait différente des deux côtés, comme si une des parties avait fait un mouvement de rotation sur l'autre : quelquefois les différentes stractes ne sont plus au même niveau, et il semble qu'une des parties ait glissé sur l'autre, comme nous l'avons déjà vu dans les filons ; ailleurs les fragments étrangers et les débris organiques que la roche renferme, se trouvent eux-mêmes divisés par la veine, ce qui ne peut évidemment s'être fait que par une fente. Mais on ne trouve pas toujours ces sortes de caractères, et en examinant les veines on est conduit à les regarder

comme de petits amas contemporains, de certaines matières qui se sont cristallisées au milieu de quelques autres plus ou moins différentes, et précisément comme nous l'avons montré dans ce qu'on nomme le savon marbré (184) : nos marbres ne sont pas autre chose. Tantôt la matière de la veine est de nature différente de celle de la masse où elle se trouve; c'est ce qui a toujours lieu dans les véritables fentes, et le plus souvent alors elle est en fibre perpendiculaire aux parois de la fissure; tantôt, au contraire, la matière est de même nature que la masse, et n'en diffère que par la structure ou la couleur: c'est ce qui a lieu fréquemment dans les marbres, car les veines y sont de la même nature que le fond, et seulement il arrive qu'elles sont lamelleuses, tandis que le fond est compacte, ou blanches, tandis que le fond est coloré, ou pures, tandis que le fond est mélangé d'une matière étrangère, ou réciproquement, d'où est résulté, comme dans le savon, une différence de cristallisation.

(271) *Etat de dissémination.* — On dit qu'une substance se trouve disséminée, lorsqu'elle est dispersée çà et là, en cristaux, en paillettes, en globules, etc., dans des masses minérales simples, ou dans des dépôts composés dont elle ne fait pas essentiellement partie. Il ne faut pas confondre ces disséminations, qui sont, en quelque sorte, des circonstances accidentelles, avec certaines réunions de substances qui constituent des masses d'une étendue immense, où elles sont uniformément entremêlées, comme dans les granites et plusieurs autres roches analogues; dans ce cas les substances sont les parties constituantes essentielles des roches, qu'on nomme roches composées, et qui peuvent renfermer accidentellement des nids, des cristaux, des paillettes, etc., de diverses autres matières qui seules peuvent être appelées disséminées.

(272) *Âges relatifs des dépôts.* — La division des grandes masses en couches superposées les unes aux autres, conduit nécessairement à admettre des dépôts de différents âges. En effet, lorsqu'en creusant verticalement dans un terrain de sédiment, on rencontre différentes couches successives, il est évident qu'elles sont relativement de plus en plus anciennes; c'est-à-dire que la seconde couche que l'on distingue a été nécessairement déposée avant celle qui constitue la surface actuelle du sol, que la troisième a été déposée avant les deux précédentes, et ainsi de suite, quelque petit d'ailleurs que puisse être le temps écoulé entre deux dépôts successifs. La conclusion est la même soit que le terrain présente des couches horizontales, soit qu'il en présente d'inclinées, et ce n'est que pour certaines masses cristallines, que l'on peut être conduit à d'autres idées dont nous parlerons bientôt. Or, ces divisions se font remarquer partout à la surface du globe; on les observe dans les puits, dans les galeries et les tranchées creusées par la main des hommes, dans les escarpements des montagnes, sur les flancs des vallées qui sillonnent leur masse, etc. Il en résulte que l'on doit regarder comme un fait constant, que la surface du globe est formée par une série non interrompue de dépôts, qui se succèdent régulièrement, et qui, en général, sont de plus en plus anciens à mesure qu'ils se trouvent au-dessous d'un plus grand nombre d'autres.

(273) *Distinction des dépôts en deux grandes classes.* — En examinant l'ensemble des dépôts qui constituent la croûte terrestre, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'ils se partagent en deux grandes classes parfaitement distinctes. Dans une certaine série de ces dépôts, on trouve un assez grand nombre de roches, toutes d'apparence cristalline, presque entièrement

formées de silicates, qui diffèrent les unes des autres soit par leur nature, soit par la disposition de leurs parties; on n'y a jamais observé la moindre trace de débris organiques, ni aucune couche formée de matière arénacée, ni cailloux roulés. Dans une autre série, bien que l'on trouve encore quelques couches cristallines analogues aux précédentes, intercalées avec toutes les autres, la plus grande partie des dépôts appartiennent au carbonate calcaire, et présentent fréquemment le caractère de dépôts mécaniques; ils alternent de toutes les manières avec des dépôts, souvent considérables, évidemment formés de matières arénacées, ou de cailloux roulés plus ou moins volumineux; de plus, ils renferment des débris organiques de toute nature, qui sont souvent d'une abondance extrême, et qui varient en général d'espèce, souvent même de genres et de classes, à différentes hauteurs. On voit par conséquent que ce sont deux ordres de choses parfaitement distinctes, qui sont peut-être en relation intime l'une avec l'autre, mais qui ont eu lieu nécessairement dans des circonstances tout-à-fait différentes.

Nous ne pouvons sans doute nous former une idée de ces circonstances que par induction; mais en comparant ce qui existe avec ce qui se fait journellement, nous ne pouvons guère errer dans nos conceptions. Il paraît d'abord de toute évidence que des matières arénacées, composées de cailloux et de grains arrondis, n'ont pu être formées que par le roulis des eaux, précisément comme celles que nous voyons aujourd'hui se former dans nos rivières et sur les rivages des mers sujettes au flux et reflux, où tous les fragments arrachés aux divers terrains, continuellement remués, s'arrondissent par leur frottement mutuel, et se broyent toutes les manières. Des débris organi-

ques, souvent en quantité prodigieuse, dont la plupart appartiennent à des mollusques testacés, à des zoophytes, etc., ne peuvent avoir été déposés que sous les eaux, précisément comme nous les voyons se déposer encore au fond de nos mers (Toulon, Nice, côtes d'Angleterre, Ceylan, Nouvelle-Hollande, etc., etc.), où ils forment des dépôts tout-à-fait comparables, sinon aux plus anciens de ceux que nous trouvons dans les différents terrains, du moins à ceux que nous observons dans les couches des parties moyennes et des derniers étages des formations. Ainsi, il paraît évidemment que la série de terrains où l'on trouve tant de débris organiques, tant de matières arénacées, a été formée sous les eaux, et par des transports successifs des matières d'un lieu dans un autre, etc., etc.

Quant aux dépôts éminemment cristallins que nous avons cités, et dont les couches, lorsqu'il en existe, ne renferment entre elles, ni dans leur intérieur, aucune trace de débris organiques, aucune matière arénacée, il y a guère que deux hypothèses possibles sur leur origine.

1<sup>re</sup> *Hypothèse.* On peut admettre que ces dépôts ont été également formés sous les eaux, mais par voie exclusive de cristallisation; qu'ils datent d'une époque antérieure à l'existence des êtres organisés sur la terre, puisqu'ils n'en renferment aucune trace, et qu'ils étaient consolidés avant qu'aucune catastrophe eût ravagé notre globe, et produit les fragments, les cailloux roulés que nous observons dans la série suivante. Ce qui tend à confirmer cette hypothèse, c'est que partout ces dépôts cristallins se trouvent en général au-dessous des autres, dont ils supportent les différentes assises. Il résulte de là que ces dépôts peuvent être regardés comme les premiers membres de la création du

globe, comme les témoins de toutes les catastrophes qui ont depuis ravagé la terre; et c'est en s'arrêtant à cette idée qu'on leur a donné le nom de *terrains primitifs*: par opposition, on a donné aux dépôts de la série suivante le nom de *terrains secondaires*. Il faut toutefois excepter de cette supposition de primordiale certains dépôts, que l'on a d'abord confondus avec les premiers, qui sont évidemment d'origine ignée, et postérieurs à beaucoup de dépôts secondaires, qu'ils ont soulevés, crevassés, et à travers lesquels ils se sont fait jour jusqu'à la surface de la terre, où ils ont formé des masses qui sont souvent d'une immense étendue.

2<sup>e</sup> *Hypothèse*. L'hypothèse que nous venons de présenter, a été pendant long-temps la seule admise par tous les géologues, et elle a paru si naturelle, qu'on n'a pas même cherché si l'on pouvait en faire une autre. Cependant il en est une qui est tout aussi plausible, et que beaucoup de géologues ont adoptée dans ces derniers temps, parce qu'elle rend raison d'un grand nombre de faits qui sont inexplicables dans la première: nous allons en faire l'exposition.

En examinant les volcans en activité, on voit que les matières qu'ils vomissent à la surface de la terre, sont toutes des silicates, dont la plupart sont éminemment cristallins, dont un grand nombre présentent des caractères particuliers de porosité et d'âpreté au toucher, dont les autres sont vitreux, ponceux, et parmi lesquels il se trouve beaucoup de matières scoriacées de toute espèce. Ces diverses matières sortent toujours à l'état liquide ou pâteux; tantôt elles sont expulsées par des ouvertures situées au sommet ou sur les flancs d'une montagne de même nature, dont l'origine remonte à des époques inconnues, et se répandent en bandes étroites à la surface du terrain, en

suisant fréquemment la direction des vallées (Vésuve, Etna, presque tous les volcans brûlants); tantôt elles s'échappent par de larges crevasses qui se manifestent dans la plaine (Islande 1783, etc.), et elles s'étendent en nappes immenses à la surface du sol, ou bien forment des collines, des buttes coniques plus ou moins considérables, toutes alignées suivant la direction de la fente, qu'elles recouvrent dans toute son étendue. Ailleurs, des montagnes qui s'élèvent au même moment, ou successivement, se trouvent groupées les unes auprès des autres, ou autour d'une masse plus ou moins volumineuse qui en est comme le centre; chaque éruption augmente ce groupe par des montagnes qui se placent entre les premières, ou s'élèvent sur leurs flancs. Souvent on a vu, au milieu même des mers, s'élever tout à coup des buttes isolées de matières pâteuses, à demi-fondues, qui ont formé autant d'îles, dont les unes sont restées isolées, et dont les autres se sont entourées, soit à peu près dans le même moment, soit à diverses époques, de buttes du même genre plus ou moins nombreuses, qui en ont augmenté la masse (Archipel de la Grèce, îles Açores et Aleutiennes etc.). Beaucoup d'îles d'origine ignée qu'on rencontre en tant de lieux différents, paraissent avoir été produites de la même manière, et fréquemment on trouve à leur sommet des amas de débris organiques qu'elles doivent avoir soulevés avec elles du fond des mers. Remarquons enfin que les efforts volcaniques produisent fréquemment des crevasses très profondes dans le sol environnant, bouleversent des montagnes, engloutissent des contrées entières (à Java), tandis qu'ailleurs ils soulèvent des terrains très étendus à une hauteur plus ou moins considérable (Malpais de Jorullo, 1759).

Après avoir reconnu ces phénomènes généraux qui se passent sous nos yeux, qui sont consignés dans des



narrations positives, il est impossible de ne pas admettre qu'il y a eu des effets semblables à beaucoup d'époques antérieures, dont l'histoire ne conserve aucune trace; ces effets sont marqués par des dépôts cristallins de silicates qui présentent des caractères analogues à ceux des volcans, et qui sont situés à la surface de la terre d'une manière tout-à-fait semblable. On y trouve des roches cristallines de diverses espèces, poreuses ou âpres au toucher, qui sont toujours plus ou moins analogues à celles qu'on observe dans les produits des volcans, se trouvant seulement dans quelques cas en liaison intime avec d'autres roches qui en diffèrent plus ou moins, et dans lesquelles on ne peut plus alors reconnaître les caractères volcaniques ordinaires. Ces dépôts forment aussi des montagnes coniques, tantôt isolées au milieu des plaines, tantôt groupées les unes à côté des autres et souvent aussi autour d'une montagne plus élevée qui est comme le centre du dépôt ( Puy-de-Dôme et buttes environnantes, etc. ). Ailleurs ce sont des buttes, des monticules, des plateaux, qui, dans une même contrée, se trouvent sur la même ligne, comme s'ils étaient des protubérances sorties d'une grande fente, et précisément comme se trouvent les volcans brûlants dans beaucoup de localités. Ailleurs ce sont des espèces de murailles (*Dyke* des Anglais, *murs du diable* (*Teuffelmauer* des Allemands) d'une épaisseur plus ou moins considérable, qui s'élèvent verticalement de 30 à 40 pieds au-dessus du sol environnant, s'étendent sur de grandes longueurs ( Angleterre, Écosse, etc. ; Roche rouge et lambeaux basaltiques adjacents près le Puy en Velay etc. , ) et que l'on voit quelquefois descendre aussi verticalement dans l'intérieur de la terre à travers toutes les couches du terrain, en remplissant ainsi une grande fente par laquelle les matières sont sorties. Les

roches qui encaissent ces grands filons, sont altérées dans leur voisinage à une distance plus ou moins considérable; tantôt les matières en sont durcies, ont éprouvé des retraits plus ou moins considérables, ont pris des caractères cristallins qu'elles ne possèdent pas ailleurs; tantôt au contraire, elles se sont délitées, ou ont perdu quelques-uns de leurs principes, c'est ce qui est arrivé à des matières charbonneuses qui ont perdu leur bitume, et se trouvent converties en coake, ou à des hydrates de fer, qui ont perdu leur eau et sont convertis en peroxyde, etc., etc.

Ces terrains reposent indifféremment sur toute espèce de matières, sur des dépôts très anciens dans l'ordre de superposition, comme sur des dépôts très modernes, précisément comme les matières volcaniques qui, expulsées du sein de la terre après avoir traversé des roches quelconques, s'épanchent sur la dernière qui constitue le sol. Enfin, une circonstance très remarquable, c'est que les roches qui constituent ces terrains, renferment fréquemment des débris de celles qu'elles ont dû traverser pour arriver au jour : celles que l'on trouve au milieu des dépôts granitiques, renferment des fragments de granite, qui sont souvent altérés précisément comme s'ils avaient été chauffés, et quelquefois sont à demi-fondus; celles qui ont traversé des dépôts calcaires, des grès des diverses espèces, etc., en renferment également. Quelquefois des lambeaux de ces roches sont restés suspendus à la surface de la matière expulsée à travers leurs masses, comme s'ils avaient été arraché lors de son passage (Roche rouge, près le Puy en Velay).

Il est impossible, d'après ces caractères, de ne pas admettre que ces dépôts sont formés à la manière des dépôts volcaniques; or, il en est qui sont en bandes étroites sur la surface des montagnes, ou

dans le fond des vallées, et qui sont sortis, soit d'un cratère culminant dont on voit encore les restes, soit du flanc de la montagne (volcans éteints du Vivarais; coulées de St.-Amand, de Volvie, etc., en Auvergne; etc., etc.) D'autres n'ont pu arriver au jour que par une crevasse, par une ouverture quelconque, au-dessus de laquelle ils sont restés, et où sans doute ils se prolongent dans la profondeur; on a trouvé le prolongement de ces dépôts dans quelques localités (dépôts basaltiques du sommet du Meisner en Hesse, du Schneekoppe en Silésie), et les prolongements des *Dykes* que nous avons cités, offrent des circonstances semblables. Or, ces sortes de dépôts, qui ont formé des buttes ou des montagnes au-dessus de l'ouverture par laquelle ils ont dû sortir, se partagent en deux grandes classes, qu'on nomme *terrain basaltique* et *terrain trachytique*, qui sont très différents par leurs caractères généraux. D'un côté, ils paraissent indépendants l'un de l'autre, car ils ne se sont jamais développés en grand dans les mêmes lieux, et lorsqu'ils se trouvent réunis, le terrain basaltique, alors peu considérable, est postérieur au terrain trachytique, à travers lequel il est toujours sorti. D'un autre côté, le terrain basaltique s'est toujours développé sur une petite échelle, et, au contraire, le terrain trachytique s'est développé sur une échelle immense; il forme en effet des montagnes entassées les unes sur les autres, qui atteignent ainsi une très grande élévation (Cordillères des Andes), et couvrent plusieurs centaines de lieues carrées (Amérique équinoxiale, Hongrie, etc.), ce qui annonce une activité, une force prodigieuses dans les phénomènes auxquels elles doivent leur origine. Enfin le terrain basaltique offre peu de variations dans les matières, et le terrain trachytique, au contraire, parmi des produits infiniment analogues à ceux des volcans, offre une grande variété d'autres roches qui

ressemblent à quelques-unes de celles qu'on trouve dans les terrains auxquels on a consacré le nom de primitif, ou dans certaines parties des terrains secondaires.

Maintenant que nous voyons le terrain trachytique occuper des étendues immenses, s'élever à des hauteurs considérables, renfermer beaucoup de roches qui ne portent pas en elles-mêmes les empreintes du feu, qui sont plus ou moins analogues à des roches cristallines des terrains primitifs, nous pouvons facilement concevoir l'hypothèse que l'on peut faire relativement à ces derniers. En effet, il est possible que ces terrains, prétendus primitifs, aient été aussi produits de la même manière que les masses trachytiques, c'est-à-dire qu'ils soient sortis du sein de la terre à l'état de fusion pâteuse, à travers tous les dépôts secondaires déjà formés, et qu'ils se soient ainsi placés au-dessous d'eux, comme nous les voyons aujourd'hui. On peut d'autant mieux faire cette hypothèse, que ces terrains anciens ont aussi une certaine relation avec tous ceux d'origine ignée; en effet, les volcans actifs sont en général ouverts dans le trachyte, et les dépôts trachytiques, partout où l'on a pu les étudier convenablement, sont, ou dans le terrain primitif ou sur leur lisière, et en relation intime avec des roches cristallines de ces terrains, qu'on a souvent la plus grande peine à distinguer à la jonction. Il semble par conséquent que nous voyions de nos jours la continuation des mêmes effets dans les mêmes lieux, et qu'il y ait une transition des terrains primitifs aux trachytes, et des trachytes aux basaltes ou aux volcans modernes; seulement l'intensité des phénomènes semble avoir été successivement en s'affaiblissant.

Mais, il y a plus; on connaît aujourd'hui des faits qui semblent démontrer l'origine ignée des terrains pri-

mitifs; en effet on voit quelquefois des roches des parties les plus anciennes de ces terrains, s'étendre de bas en haut, en filons ramifiés, au milieu des matières généralement superposées, comme par exemple des filons de granite au milieu des schistes argileux, etc. M. Elie de Beaumont a observé dans les montagnes de l'Oisan des recouvrements partiels des dépôts secondaires; même assez modernes, par des roches primitives, ce qui ne peut être regardé que comme le résultat d'épanchements partiels d'une matière en fusion pâteuse, sur les roches qu'elle a traversées en soulevant leurs couches, et en les fracturant de toutes les manières.

En admettant cette hypothèse, rien n'est plus facile que de concevoir l'inclinaison, souvent considérable, des couches secondaires dans le voisinage de celles qu'on nomme primitives; car c'est alors un effet tout naturel des soulèvements occasionés par l'éjection de ces derniers. Si l'on admet l'hypothèse d'une formation aqueuse, il faut nécessairement en faire une seconde pour expliquer ces inclinaisons; car des amas de cailloux roulés, n'ont pu évidemment se déposer en couches inclinées d'une égale épaisseur dans toute leur étendue, et surtout les cailloux se poser à plat parallèlement aux surfaces de la couche; il est évident que de tels dépôts ont dû se faire horizontalement, et que c'est après leur consolidation qu'ils ont été soulevés par une de leurs extrémités, ou, si l'on veut, abaissés par l'autre, pour prendre la position actuelle: ainsi il faut admettre des catastrophes d'une espèce ou d'une autre pour produire de tels effets.

Remarquons aussi que, dans l'hypothèse d'une origine aqueuse dans les terrains primitifs, on doit être singulièrement étonné des différences minéralogiques que présentent les terrains secondaires, dans les montagnes à couches horizontales éloignées des hautes chaî-

nes, et sur les flancs ou au milieu des hautes montagnes. Mais on voit immédiatement les causes de ces différences, dans l'hypothèse d'une origine ignée; en effet, ces montagnes incandescentes soulevées du sein de la terre, ont dû agir violemment sur les matières qui s'en sont trouvées rapprochées, et changer entièrement leur aspect; des carbonates de chaux plus ou moins terreux, ont pu, comme dans les expériences de Sir James Hall, sous de fortes compressions, passer à l'état saccharoïde; les matières argileuses, marneuses, qui les séparaient, ont pu prendre des caractères tout différents; enfin serait-il bien étonnant que, dans ces convulsions épouvantables de la nature, résultats de forces prodigieuses, il ait pu s'introduire entre les couches secondaires voisines des dépôts primitifs, des filons, des amas de matières cristallines qui n'existent pas ailleurs.

On voit par ces détails, que l'hypothèse où l'on considérerait les terrains nommés primitifs, comme étant d'une origine ignée, postérieure aux dépôts secondaires, qu'ils auraient soulevés, est tout aussi plausible que celle d'une origine aqueuse antérieure à l'apparition des êtres organisés; et que, de plus, elle a l'avantage de s'accorder avec des faits, et d'expliquer des circonstances, dont il est impossible de rendre autrement raison: aussi est-ce l'hypothèse qui est aujourd'hui le plus généralement admise par les géologues. Partant de là, on considère aussi comme d'origine ignée, des dépôts plus ou moins considérables qui se trouvent çà et là au milieu des diverses périodes que présentent les terrains secondaires; cependant il y a à cet égard quelques difficultés, car si on conçoit facilement qu'il se soit formé des filons de ces matières, on a toujours quelque peine à comprendre comment elles ont pu s'introduire en couches, les unes

très épaisses, les autres très minces, toutes parallèles les unes aux autres, au-dessous de divers dépôts d'un poids énorme, qui constituent souvent des montagnes entières, et y alterner un grand nombre de fois, d'une manière très régulière, avec des couches tantôt épaisses, tantôt très minces de matières que tout annonce avoir été formées par l'eau : C'est un point de théorie géologique qui exige encore bien des recherches, pour être tiré complètement au clair.

(274) *Coup d'œil général sur les terrains qui renferment des débris organiques.* — Les terrains qui ne renferment ni cailloux roulés ni débris organiques, et que nous désignerons encore, quelle que soit l'origine qu'on veuille admettre, par le nom de *terrain primitif*, sous lequel ils sont généralement connus, n'offrent pas de divisions bien tranchées dans l'ensemble des roches dont ils sont composés, et par cela même ne présentent que peu de faits généraux importants à connaître. Il n'en est pas de même des terrains où l'on trouve des débris organiques : ceux-ci nous présentent une série de faits fondamentaux dont il est nécessaire de donner avant tout un aperçu général.

Les faits les plus importants nous indiquent d'abord trois grandes périodes de formation.

1<sup>o</sup> Une période dont les dépôts n'ont présenté jusqu'ici aucune espèce de débris d'animaux vertébrés, et que l'on peut regarder par conséquent comme antérieurs à l'existence des poissons, des reptiles, des oiseaux, des mammifères sur la terre. On n'y connaît que des débris de crustacés, de genres tout-à-fait particuliers, des mollusques dont les genres n'existent plus maintenant, et dont les analogues ne se retrouvent pas même dans les dépôts suivants.

2<sup>o</sup> Une période qui commence immédiatement au-dessus des grands dépôts arénacés, désignés sous le nom

de *terrains houillers*, dans laquelle on trouve des débris de poissons et de reptiles de différents genres, mais où l'on ne connaît aucun débris d'oiseaux ni de mammifères. On peut par conséquent considérer les dépôts de cette époque, comme postérieurs à l'existence des poissons et des reptiles sur la terre, et antérieurs à celle des oiseaux et des mammifères.

3<sup>o</sup> Une période qui ne commence qu'après une longue série de dépôts de l'époque précédente, immédiatement au-dessus des grands dépôts calcaires dont les montagnes du Jura nous offrent le type, et avant les dépôts de craie, où l'on trouve des débris de mammifères et d'oiseaux, d'abord peu nombreux et qui finissent par être très abondants à des époques plus récentes, dont nous aurons occasion de parler. C'est donc une période de formation postérieure à l'existence des oiseaux et des mammifères sur la terre, et par conséquent fort différente des deux autres. Ce qu'il y a de très remarquable surtout, c'est que les débris que nous trouvons dans ces dépôts, diffèrent de tous ceux que nous connaissons actuellement vivants dans les diverses contrées du globe; les différences se manifestent quelquefois même dans les genres, plus souvent dans les espèces, et s'il se trouve quelques espèces qui semblent avoir de l'analogie avec celles qui habitent aujourd'hui la terre, elles s'en éloignent par une taille beaucoup plus considérable: ce n'est que dans les derniers attérissements, que l'on peut regarder comme des formations locales de l'époque moderne, qu'on trouve des débris d'animaux exactement comparables à ceux que nous connaissons aujourd'hui vivants.

Une autre circonstance très remarquable, c'est que, jusqu'ici, on n'a trouvé aucun débris humain, ni rien qui ait appartenu à l'homme dans la série des formations minérales. Ce n'est que dans les dépôts formés au



fond des vallées actuelles (dans les tourbières), qu'on a trouvé quelques produits de l'industrie humaine, et encore tout prouve qu'ils n'ont pas été recouverts, mais se sont seulement enfoncés dans ces matières pâteuses par suite de leur poids, après avoir été portées à leur surface dans des temps modernes; ce n'est que dans les attérissements historiques qu'on a trouvé des squelettes d'hommes et encore très rarement, et dans des circonstances toutes particulières. Il résulte de là que la dernière et grande catastrophe, dont le souvenir s'est conservé chez tous les peuples, dont le résultat a été la presque destruction du genre humain, et par conséquent des animaux terrestres, ne peut avoir aucun rapport avec les formations dont nous venons de parler. On peut supposer que cette catastrophe a changé la forme des montagnes, creusé des vallées, modifié toute la surface de la terre; mais les déblais qu'elle a entraînés ne sont déposés nulle part sur nos continents actuels, et ce n'est qu'au fond des mers qu'il reste à les chercher.

La première des grandes divisions que nous venons d'indiquer, peut correspondre à ce que l'on a désigné sous le nom de *terrains intermédiaires*; mais il faut alors y comprendre les grands dépôts de grès houiller, et faire abstraction d'un caractère que dans le principe on avait cru particulier à la période que l'on voulait désigner. D'après les faits observés, on avait cru pouvoir admettre que cette partie des formations, où l'on voyait des roches analogues à celles des terrains primitifs, intercalés avec des couches de matière arénacée, ou remplies de débris organiques, pouvait être regardée comme offrant les restes de la période primitive avec les premiers dépôts des formations subséquentes; et c'était sur cette simultanéité qu'était fondée l'expression *terrains intermédiaires*. Aujourd'hui ces associations ont perdu con-

sidérablement de leur importance. parce qu'on les connaît à plusieurs étages fort différents des dépôts secondaires, et de telle sorte que plusieurs dépôts regardés dans le principe comme appartenant aux formations intermédiaires, se trouvent aujourd'hui rangés beaucoup plus haut. De là, il résulte qu'il n'y a plus que le caractère zoologique pour distinguer la période dont nous nous occupons, et c'est par suite de cela qu'on peut y joindre le terrain houiller.

La seconde période, où l'on trouve des débris de poissons et de reptiles, pourrait être regardée comme constituant les *terrains secondaires* proprement dits; mais sous ce nom, on comprend généralement une série plus étendue, qui n'a que des limites arbitraires. En effet, on réunit généralement sous le nom de terrain secondaire, toute la série des couches, depuis et compris le terrain houiller, jusques et compris la craie; ce n'est qu'après ce dernier dépôt que l'on a coutume de commencer la série de terrains que l'on désigne sous le nom de *terrains tertiaires*. Cependant il semblerait que, si l'on veut établir quelques grandes divisions dans la série des dépôts, il serait plus naturel de commencer la période secondaire proprement dite immédiatement au-dessus du terrain houiller, où les poissons et les reptiles commencent à se montrer, et de la finir au point où les oiseaux et les mammifères se trouvent pour la première fois: c'est à ce point qu'il serait naturel aussi de commencer la série des terrains tertiaires, où semble se présenter encore un nouvel ordre de choses.

(275) *Différences des diverses assises des dépôts à débris organiques.*—Indépendamment des trois grands caractères distinctifs que nous venons d'indiquer, il existe beaucoup de faits qui distinguent les dépôts que présentent les différentes périodes. Ces faits sont

fournis par la nature des autres débris organiques que l'on rencontre dans les diverses couches, et qui diffèrent considérablement des unes aux autres.

Dans la première période des formations, celle que nous continuerons à désigner sous le nom de période intermédiaire, on découvre, soit au milieu de quelques roches qui ont plus ou moins les caractères arénacés, soit dans les couches de carbonate calcaire qui les recouvrent, ou qui y sont intercalés, des débris organiques qui sont tout-à-fait caractéristiques; ce sont des corps qui diffèrent de tous ceux qui se trouvent dans les dépôts plus élevés, et de tous ceux que l'on connaît aujourd'hui vivants. Ces corps paraissent appartenir à la classe des crustacés, et constituent une famille toute particulière, qu'on a désignée sous le nom de *Trilobites*, dans laquelle on distingue les genres *Calymène*, *Asaphe*, *Isotelle*, *Ogygie*, *Paradoxide* et *Agnostes*. On reconnaît aussi dans les mêmes dépôts, des débris de mollusques, des genres *Orthocératite*, *Spirifère*, *Evomphale*, etc; dont on ne trouve plus de traces dans les dépôts suivants, et quelques espèces particulières de *Productus*; il paraît qu'il n'y a ni *Ammonites* ni *Bélemnites*.

Dans les dépôts suivants, tous les débris dont nous venons d'indiquer les genres, disparaissent entièrement, et dans les diverses couches que l'on peut distinguer, les autres débris organiques que l'on trouve varient considérablement. Ainsi, dans un certain dépôt de carbonate calcaire (Zeelstein des Allemands, calcaire pénécen), qui se trouve au-dessus du terrain houiller, on rencontre une assez grande quantité de débris de mollusques; mais il n'y a pas un des genres précédents, et s'il en existe qu'on retrouve également dans les terrains suivants, les espèces en sont complètement différentes. Ils y trouve peut-être quelques *Ammo nites*,

mais en petit nombre, et il n'y a pas encore de *Bélemnites*; celles-ci ne commencent à se montrer qu'à deux étages de calcaires au-dessus, dans ce qu'on nomme la formation du *lias*, et elles s'y trouvent avec beaucoup d'ammonites qui présentent un grand nombre d'espèces; c'est là aussi que les *Trochus*, les *Trigonies*, les *Échinites* commencent à se montrer, car jusqu'alors il n'en avait point paru : c'est encore dans ces dépôts que se trouvent probablement les premières traces de crocodiles, que l'on rencontre ensuite en plus grande abondance. Ces différents genres de débris se prolongent dans les dépôts suivants, mais ils sont représentés par des espèces tout-à-fait différentes, parmi lesquelles seulement il s'en retrouve quelques-unes semblables à celles des dépôts qui ont précédé.

Les genres bélemnites et ammonites qui se prolongent par diverses espèces particulières, dans plusieurs dépôts successifs, disparaissent ensuite tout à coup, pour ne plus se remonter, dans certains dépôts calcaires, dont les pierres à bâtir des environs de Paris, ont fourni les types. Il se présente alors un ordre de choses tout-à-fait particulier; les débris de mollusques que l'on rencontre, deviennent bien plus analogues à ceux qui vivent aujourd'hui dans nos mers; ils ne sont plus aussi altérés que dans les dépôts précédents, et ils ne sont plus fondus de la même manière dans la pâte calcaire qui les enveloppe.

Pendant long-temps on ne rencontre dans la série des dépôts de divers genres, que des débris de mollusques évidemment marins; mais arrivés à un certain terme, peu après l'apparition des premiers mammifères, on commence à rencontrer des *Paludines*, des *Cyrènes*, des *Cypris*, qui sont des mollusques d'eau douce. Ces premiers dépôts fluviatiles sont recouverts

par d'autres qui renferment encore des débris marins, puis ils reparaissent de nouveau à diverses époques; mais bientôt les genres se multiplient, et les espèces deviennent plus analogues à celles que nous voyons habituellement dans nos étangs, nos rivières, nos ruisseaux; enfin les mollusques marins disparaissent, et il n'y a plus que des mollusques d'eau douce, auxquels se joignent des mollusques terrestres, et même des espèces assez analogues à celles qui vivent encore en quelque sorte dans les mêmes lieux.

Voilà les faits que nous présente le règne animal, dans les débris qui ont été successivement enfouis dans les différentes couches du globe. Le règne végétal nous offre des circonstances moins distinctes, ce qui tient peut-être à ce que nous trouvons, tantôt les débris des plantes qui vivaient dans le lieu même où elles ont été enfouies, tantôt ceux des plantes qui végétaient dans un autre climat. Cependant il existe encore à cet égard quelques généralités; en effet, quoique l'on trouve presque partout des *Équisetacés* et des *Fougères*, ils sont plus abondants dans les parties inférieures du groupe, et en outre les espèces varient en général, suivant les différents étages. Il n'y a à cet égard, qu'une anomalie qui s'expliquera peut-être par la suite; elle consiste en ce que dans le lias des Alpes on trouve les mêmes espèces que dans le terrain houiller, qui est de beaucoup inférieur: c'est à ce sujet qu'on peut supposer que dans un cas les végétaux enfouis sont ceux qui croissaient sur les lieux, au moment où le climat local leur était propre, et que dans l'autre ce sont des végétaux transportés d'une région où le climat qui leur convenait avait été conservé. On ne rencontre d'autres familles de végétaux que dans des dépôts plus élevés; en effet ce n'est que dans les grès (grès bigarré) qui couvrent le calcaire péécén, qu'on

commence à trouver des *Conifères*, et c'est encore plus haut qu'on trouve des *Cycadés* : les *vrais dycotilédones* même, ne paraissent guère se présenter qu'après l'apparition des mammifères, c'est-à-dire un peu avant la craie, et on les retrouve ensuite assez abondamment dans les divers dépôts qui suivent.

Cette esquisse rapide nous fait voir clairement combien les générations animales ou végétales étaient différentes, lors des diverses circonstances qui les ont successivement ensevelies dans le sein de la terre; il semble qu'à chaque époque, tout ce qui existait sur la terre, ait été détruit et remplacé par des êtres d'autres genres ou tout au moins d'espèces différentes, qui bientôt après ont elles-mêmes subi le même sort. De là il résulte que les causes qui ont enfoui tant de débris organiques n'ont pu, en aucune manière, être lentes et graduées, comme on l'a supposé quelquefois; il faut, au contraire, que chacune des époques que nous apercevons dans les formations, soit le résultat d'une catastrophe brusque, qui ait détruit la plupart des êtres existants, et changé totalement, du moins sur une très grande partie du globe, les circonstances subséquentes de vitalité.

---

---

## CHAPITRE II.

### COMPOSITION GÉNÉRALE DES DIVERS TERRAINS.

(276) *Esquisse générale.* — Les différents dépôts subordonnés qui constituent la partie solide du globe, jusqu'à la profondeur à laquelle nous pouvons parvenir, sont formés essentiellement par un très petit nombre de matières, dont les unes se trouvent à toutes les époques, avec diverses modifications, et dont les autres appartiennent à des formations particulières. Les couches, ou masses quelconques, que l'on observe, sont tantôt simples, c'est-à-dire formées essentiellement d'une seule et même substance dans toute leur étendue, tantôt composées, c'est-à-dire formées essentiellement par la réunion d'un certain nombre de substances entremêlées entre elles, et en proportion assez constante, même dans les contrées les plus éloignées. Dans tous les dépôts qui sont d'origine ignée, ou auxquels on peut attribuer cette origine, soit les terrains primitifs, soit les diverses couches de cristallisation intercalées çà et là dans les dépôts secondaires, on trouve ou des *silicates* de diverses sortes, ou des couches de *silice pure*, tantôt seuls, tantôt contenant des couches subordonnées de *carbonate calcaire*, ou de *carbonate dolomie* (carbonate double de chaux et magnésie). Dans le reste de la série des formations, les silicates au contraire de-

viennent très rares comme roches, et même comme matière disséminée; la silice ne se montre plus que comme partie constituante des sables et des grès; tantôt uniquement quarzeux tantôt composés, ou à l'état de *silex*, et c'est le *carbonate calcaire* qui domine partout. Cette matière renferme quelques couches de *carbonate dolomie*, de *sulfate karstenite* (sulfate de chaux anhydre), et de *sulfate gypse* (sulfate de chaux hydraté); elle constitue différents groupes de formations séparés les uns des autres par des *roches arénacées* (grès de diverses espèces, poudingues, brèches), par des *matières argileuses* (argiles et marnes), qui se trouvent souvent aussi entre les assises des diverses formations.

(277) *Caractères des substances essentielles des formations.* — Les silicates qui entrent essentiellement dans la composition des terrains, soit comme roche simple, soit comme parties constituantes essentielles des roches composées, sont en très petit nombre. Les principaux sont les *silicates orthoses* et *albite* (feldspaths potassique et sodique), certains silicates alumineux mal connus, confondus sous le nom de *mica*, les *silicates diallages* et *serpentine*, les *silicates trémolite*, *actinote* et *hornblende* (amphiboles divers), le *silicate augite*, et enfin les *argiles*, qui sont aussi des silicates, le plus souvent très mélangés. Les autres matières sont, comme nous l'avons dit, le *quartz*, les *carbonates calcaire* et *dolomie*, les *marnes* qui sont des carbonates calcaires mélangés d'argiles, le *sulfate karstenite* et le *sulfate gypse*. On conçoit qu'il est nécessaire de prendre d'abord une idée des caractères que présentent ces différentes substances; or, dans le cas qui nous occupe, les caractères cristallographiques n'ont aucune importance, puisque ces substances sont en grandes masses, et il n'y a que la composition chimique et quelques caractères extérieurs qui puissent nous servir; malheureusement la composi-



tion chimique nous manque pour plusieurs substances, telles que les *micas*, les *diallages*, les *serpentes*, expressions sous chacune desquelles on confond plusieurs sortes de matières très différentes, que l'on connaît seulement par des considérations qui sont extrêmement vagues; nous les caractériserons comme elles peuvent l'être dans l'état actuel de la science.

L'*Orthose* est, dans les roches, une substance le plus souvent pierreuse, en masse lamellaire, granulaire ou compacte, le plus souvent blanchâtre, grisâtre ou rouge, approchant plus ou moins du rouge de chair, toujours fusible au chalumeau en émail blanc; elle se trouve quelquefois en cristaux dérivant d'un prisme rhomboïdal oblique dont les faces latérales sont inclinées entre elles de  $120^{\text{d}}$  et  $60^{\text{d}}$ , et dont les pans font avec le prisme des angles de  $112^{\text{d}}$  et  $68^{\text{d}}$

La pesanteur spécifique est de 2,40 à 2,60

La composition est  $\text{K}\ddot{\text{S}}\text{i}_2 + 2\ddot{\text{A}}\ddot{\text{S}}\text{i}^3$  ou en en poids.

Trisilicate d'alumine. . .	0,67	}	Silice	0,66.
Trisilicate de potasse. . .	0,33		Alumine	0,18.
			Potasse	0,16.
	1,00			1,00

L'*Albite*, beaucoup plus rare que l'orthose dans les grandes masses qui n'appartiennent pas aux terrains trachytiques, est ordinairement blanche ou blanchâtre, le plus souvent compacte, fusible en émail blanc; elle se trouve quelquefois en cristaux, qui alors sont clivables, et qui dérivent, suivant M. G. Rose, d'un parallépipède irrégulier, dont les pans sont inclinés entre eux de  $117^{\text{d}} 53'$  et  $62^{\text{d}} 7'$ , et dont la base est inclinée sur ces pans de  $56^{\text{d}} 24'$  et  $93^{\text{d}} 36'$ ,  $115^{\text{d}} 5'$  et  $64^{\text{d}} 55'$ .

La pesanteur spécifique est à peu près 2,60.

La composition, de même formule que l'orthose, est  $\text{Na}\ddot{\text{S}}\text{i}_2 + 2\ddot{\text{A}}\ddot{\text{S}}\text{i}^3$ ; ou en poids.

Trisilicate d'alumine. . .	0,71	}	Silice. . .	0,70
Trisilicate de soude. . .	0,29		Alumine . .	0,19
			Soude. . .	0,11
	1,00			1,00

*Les Micas* sont des substances qui se divisent facilement en feuilles très minces, élastiques, le plus souvent brillants, toujours fusibles et le plus souvent en émail blanc, qui se trouvent en masses feuilletées ou en petites paillettes agglutinées, et constituent alors à eux seuls les roches schisteuses connues sous le nom de *schistes argileux*. Ce sont des silicates alumineux, renfermant en outre diverses bases bioxydes, mais dont on ne connaît pas bien les proportions; les phénomènes optiques et la cristallisation y indiquent plusieurs espèces. Il y a aussi des matières, toutes aussi mal connues, qui présentent les mêmes caractères de divisions et de dispositions dans les roches, mais dont les feuilletés ne sont pas élastiques; quelques minéralogistes les désignent encore sous le nom de mica, en les distinguant par les épithètes doux ou talqueux, et quelques autres les nomment *talc*.

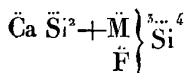
*Les Diallages* sont ordinairement des matières tendres, à poussière douce au toucher, quelquefois facilement clivables sur deux faces opposées et présentant alors un éclat nacré ou métalloïde; dans les autres directions la cassure est compacte, d'un éclat gras, et souvent esquilleuse. La composition est mal connue, on sait seulement que ces substances renferment beaucoup de magnésie, peu ou point d'alumine, et qu'il doit y avoir plusieurs espèces distinctes d'après les proportions. Toutes les espèces sont assez facilement fusibles.

On réunit souvent aux diallages une substance plus dure, d'une belle couleur verte, qui offre les mê-

mes clivages et le même éclat, mais dans laquelle l'analyse démontre une quantité notable d'alumine : Cette substance est aussi désignée sous le nom de *Smaragdite*.

Les *Serpentines*, géologiquement parlant, ne sont pas désignées par des caractères moins vagues que les diallages ; ce sont encore ordinairement des matières tendres, à poussière douce au toucher, mais qui ne se clivent pas, et dont la cassure est toujours compacte, le plus souvent esquilleuse. Quant à la composition, on connaît évidemment plusieurs espèces, mais dont les positions géologiques relatives ne sont pas déterminées : toutes ces espèces sont des silicates de magnésie ; les uns anhydres ; les autres hydratés, où la magnésie est souvent remplacée par divers oxides isomorphes, et qui diffèrent les uns des autres par les proportions. *Voyez* les espèces de silicates magnésiens.

La *Trémolite*, l'*Actinote*, la *Hornblende* sont des substances réunies par Haüy en une seule espèce sous le nom d'amphibole, qui cristallisent en prismes obliques rhomboïdaux, et se clivent suivant les pans de ces prismes ; elles se rapportent à la formule générale



La trémolite pure est blanche, et ne renferme que de la chaux et de la magnésie ; l'actinote est verte ou du moins à poussière verte, et renferme beaucoup de bioxide de fer ; la hornblende est noire, et la composition en est assez mal connue, quoiqu'on aperçoive dans les données de l'analyse certains rapports avec l'actinote. Dans les variétés noires, le clivage conduit au prisme de  $124^{\text{d}} 30$  ; dans les variétés vertes, cet angle est de  $125^{\text{d}}$  à  $126^{\text{d}}$  ; et dans la trémolite pure, il approche de  $127^{\text{d}}$ .

Dans les roches, ces matières sont le plus souvent bacillaires ou fibreuses, quelquefois en cristaux plus ou moins déformés, ou bien en particules excessivement fines distribuées uniformément. Voyez *Diorite* et *Sienite*.

L'*Augite* fait partie des pyroxènes de Haüy et se rapporte nécessairement à des bisilicates à base de chaux, de magnésie, de fer, de manganèse, plus ou moins mélangés entre eux; mais les analyses y indiquent toujours des mélanges de plusieurs autres matières et sont difficiles à discuter. Cette substance est noire, clivable suivant les pans d'un prisme rhomboïdal de  $92^{\text{d}} 55'$  et  $87^{\text{d}} 5'$ ; elle se trouve dans les roches en cristaux entremêlés avec de l'albite (Voyez *Dolérite*). ou en particules très fines. (Voyez *Basalte*).

Le *Quarz* est une substance plus ou moins hyaline, plus dure que le feldspath, infusible au chalumeau, et uniquement composée de silice. Le silex n'en diffère que par l'état pierreux. Lorsqu'on trouve cette substance cristallisée, ce qui est assez commun, elle offre des prismes à base d'hexagone régulier, terminés par des pyramides, et qui peuvent être dérivés d'un rhomboèdre obtus de  $94^{\text{d}} 15'$  et  $85^{\text{d}} 45'$ . La pesanteur spécifique est de 2,6 à 2,7.

Le *Carbonate calcaire*, comme l'expression l'indique, est formé d'acide carbonique et de chaux; il fait une vive effervescence à froid avec les acides, et la solution est précipitée par l'oxalate d'ammoniaque. Nos marbres divers, la craie, sont des exemples de cette espèce, que nous avons continuellement sous les yeux. Lorsqu'elle est cristallisée, elle se clive avec une grande facilité en rhomboèdre de  $105^{\text{d}} 5'$  et  $74^{\text{d}} 55'$ .

Les *marnes* sont des mélanges de calcaire et de matière argileuse; elles font aussi une effervescence très vive avec les acides, et sont le plus souvent terreuses, ou du moins ont peu de solidité.

Le *Carbonate dolomie* est composé de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie, suivant la formule  $\text{Ca C}^2 + \text{Mg C}^2$ . Il fait une effervescence très lente à froid avec les acides; l'ammoniaque en trouble la solution, et l'oxalate de potasse y fait un précipité abondant. Lorsqu'il est cristallisé, il se clive en rhomboèdre de  $106^{\text{d}} 15'$  et  $75^{\text{d}} 45'$ ; sa pesanteur spécifique est de 2,8 à 2,10.

Le *Sulfate karstenite*, est une matière ordinairement blanche, plus ou moins saccharoïde ou lamellaire, qui présente les caractères des sulfates, c'est-à-dire qui donne l'odeur d'hydrogène sulfuré, lorsqu'après avoir été chauffée avec un mélange de carbonate de soude et de charbon, on verse de l'eau acidulée sur le résidu: la solution acidule précipite par les oxalates.

Le *Sulfate gypse* ne diffère du précédent que par la présence de l'eau que l'on reconnaît en le chauffant dans un matras; il est beaucoup plus tendre, et se laisse rayer facilement par l'ongle. Les vases d'albâtre blanc, aujourd'hui si communs, sont un exemple familier d'une de ses variétés.

(278) *Caractère des roches composées.*—Les roches composées principales, sont désignées sous les noms de *Granite*, *Protogyne*, *Pegmatite*, *Gneiss*, *Leptinite*, *Micaschiste*, *Schiste argileux*, *Euphotide*, *Siénite*, *Diorite*, *Dolerite*, *Basalte* et *Trachyte*.

Le *Granite* est essentiellement composé de *quartz*, *orthose* et *mica*, réunis ensemble par petites parties assez uniformément entremêlées, et formant des masses granulaires; mais il arrive souvent que l'une ou l'autre des substances vient à manquer dans telle ou telle partie de la masse, en sorte que sur un échantillon isolé, on ne peut prononcer sur la nature du dépôt dont il provient.

*Protogyne*, on a donné ce nom à une sorte de gra-

nite, dans laquelle la matière micacée n'a, le plus souvent, aucune élasticité, et se rapproche plus ou moins du talc et de diverses matières, encore peu connues, que l'on a confondues sous le nom de *chlorite*; Voyez parmi les espèces.

Le *Pegmatite*, ou granite graphique, est composé d'orthose et de quartz, qui se trouvent souvent réunis par espèces d'amas consécutifs; en sorte que dans un point ce sont de gros nids de quartz, dans un autre, de gros nids d'orthose auxquels il se joint quelquefois de gros nids de mica, etc. Quelquefois l'orthose domine, et le quartz est disséminé en cristaux dans sa masse, où il se dessine, dans les fragments, ou mieux sur les morceaux polis, comme des caractères hébraïques.

Le *Gneiss* est composé des mêmes substances que le granite, mais elles sont entremêlées par feuillet, en sorte que la roche est schisteuse. De même que dans le granite, il arrive assez souvent dans telle ou telle partie de la masse, qu'une des substances vient à manquer, et la roche passe alors à une de celles que nous allons indiquer.

*Leptinite* (Weisstein des Allemands), composé d'orthose, tantôt granulaire ou la mellaire, tantôt compacte, et de mica; c'est en quelque sorte un gneiss dans lequel le quartz a disparu. On conçoit par conséquent qu'il y a des passages fréquents d'une roche à l'autre, et beaucoup de variétés que l'on ne sait minéralogiquement à quelle roche rapporter.

Le *Micaschiste* est composé de quartz et de mica, entremêlés par feuillet, et par conséquent constituant encore une roche schisteuse. Le mica y est en feuillet continus; le quartz est en petite quantité, ou même disparaît entièrement, en sorte que la roche passe au schiste argilleux; l'inverse a lieu, à savoir que le mica diminue,

la roche passe à l'hyalomictite. Le micaschiste est, comme l'on voit, un gneiss dans lequel l'orthose a disparu.

L'*Hyalomictite* est aussi composée de quartz et de mica, mais celui-ci est seulement disséminé et non en feuillets continus. Cette roche est alors tantôt grenue (Greisen des Allemands), tantôt schistoïde (quartz micacé, quartz schisteux).

Le *Schiste argileux* n'est que le micaschiste dont le quartz a disparu; il est essentiellement composé de feuillets, ou de paillettes de mica accumulées à plat les unes sur les autres, et constituant une roche à structure feuilletée ou schisteuse.

L'*Euphotide* est composée d'albite compacte, quelquefois d'orthose, et de diallage, qui est le plus souvent de l'espèce nommée smaragdite. C'est encore une sorte de roche granitoïde, mais où la partie feldspathique est, ordinairement assez abondante, et formant une masse homogène dans laquelle le diallage est disséminé, ou logé par paquet.

La *Siénite* est une roche composée d'orthose lamellaire et d'actinote, réunis ensemble, dont le premier domine ordinairement, et qui présente une structure granulaire, analogue à celle du granite avec lequel cette roche a été souvent confondue.

Le *Diorite* (Grünstein des Allemands) est, théoriquement, une roche composée principalement d'orthose compacte et d'actinote, tantôt en parties assez distinctes, tantôt tellement mélangés ensemble, qu'il en résulte une matière d'apparence homogène, le plus souvent verte, ou du moins à poussière verte, quelquefois tout-à-fait noire. Il arrive fréquemment que l'orthose est la matière dominante, et qu'elle est seulement colorée par une poussière uniformément disséminée d'actinote.

Le *Dolerite* est une roche composée d'albite lamel-

laire et d'augite entremêlés, et formant une masse granulaire analogue à la siénite.

*Basalte.* L'expression basalte indique plutôt un terrain qu'une roche; mais on comprend ordinairement sous ce nom des matières plus ou moins compactes, noires ou grises, dont la plupart sont formées d'albite, mélangé tantôt avec de l'augite, en sorte que c'est une dolerite compacte, tantôt avec des silicates ferrugineux. Il y a aussi des basaltes qui ont le labradorite pour base, ou même d'autres matières dont la nature n'est pas bien connue. En général on désigne sous le nom vague de basalte tout ce qui se trouve dans les terrains ou les contrées basaltiques.

*Trachyte;* c'est plutôt encore un nom de terrain, qu'un de roche. Il est fort difficile de caractériser d'une manière un peu claire, ce que l'on doit entendre par le mot trachyte, appliqué à une roche spéciale. C'est une roche essentiellement composée d'albite, tantôt en cristaux groupés confusément, tantôt plus ou moins compacte ou terreuse, qui renferme ou de la hornblende ou du mica, assez rarement de l'augite; ces roches ont toujours plus ou moins d'âpreté au toucher, ce qui est produit par une tendance à l'état poreux ou ponceux.

(279) *Observations sur les roches.* — En s'occupant de la description des terrains, on est obligé de distinguer plusieurs autres sortes de roches, dont la plupart sont des résultats d'association de diverses substances qui peuvent varier à l'infini. Il y en a auxquelles on peut imposer des noms, parce qu'elles sont abondantes, assez constantes dans la nature; telles sont les roches nommées *Hemithrène* (mélange d'actinote et de carbonate calcaire), *Calschiste* (calcaire feuilleté, dont les feuillets sont séparés par du mica, ou généralement par du schiste argileux), etc. D'autres sont des mélanges trop peu importants, trop



peu constants pour recevoir des noms, et on doit simplement les désigner par les substances mélangées lorsqu'on a besoin de les indiquer. Dans tout cela, il ne peut guère y avoir de difficulté; mais il y a beaucoup de cas où l'on en trouve de très grandes qui ont été plutôt tranchées que résolues. On voit dans les terrains trachytiques, dans les dépôts de laves, dans certaines parties des terrains primitifs, intermédiaires et secondaires, une multitude de roches, ou de dépôts quelconques, qui, par leurs caractères généraux, se distinguent éminemment les uns des autres, et qu'aucun naturaliste ne confondra en les voyant sur place ou dans des collections bien faites. Il est évident que pour indiquer ces variations dans le discours, pour faire connaître leurs positions relatives, il n'y a pas de moyen plus commode que de leur donner des noms; mais ces noms ne suffisent pas, il faut avoir des caractères qui permettent de reconnaître les matières dans tous les cas. Or, c'est ici que se présente la difficulté; la nature de ces matières est jusqu'ici tout-à-fait inconnue, et on est réduit à les caractériser par le *facies*, d'où il résulte que personne ne peut s'entendre, et qu'on applique les noms tout-à-fait au hasard, ou sur des soupçons plus ou moins fondés; les uns distinguent alors comme espèce des matières que les autres confondent dans une espèce différente, et il en résulte une immensité de noms tout aussi insignifiants les uns que les autres; telles sont les expressions *Vacke*, *Trapp*, *Trappite*, *Trapp-porphyre* ou *Porphyre trappéen*, *Cornéenne* ou *Aphanite*, *Argilolite*, *Argilophyre*, *Porphyre*, *Melaphyre*, *Ophyte*, *Sienite-porphyre*, ou *porphyre siénitique*, *Porphyre amphiboleux*, *Trachyte porphyrique*, *Porphyre trachytique*, etc., etc. Chaque auteur en employant telles ou telles dénominations, s'est toujours parfaitement entendu, et est

toujours parvenu à distinguer ce qui était différent dans tel ou tel terrain qu'il décrivait; mais le plus souvent il n'est pas parvenu à se faire entendre des autres : c'est ce qui m'est arrivé à moi-même pour ma description des terrains trachytiques, je n'ai fait comprendre à personne les grandes différences que j'avais aperçues et qui me paraissaient exprimées clairement. Tout cela tient à ce qu'on ne peut pas donner de caractères précis, et qu'il faudrait pour y parvenir commencer par connaître les matières qui constituent les roches dont on veut parler. Diverses analyses comparatives que j'ai faites, me font voir qu'il y a de très grandes différences chimiques dans les diverses matières que l'on nomme trapp, que les diverses roches porphyriques, comprenant les porphyres ordinaires, mes trachytes porphyriques, mes porphyres trachytiques, etc., etc., offrent également des différences de nature très remarquables, et qu'il en est de même des *argilolites*, des *argilophyres*, de *amigdaloides*, des *laves tephrique* et *leucostinique*, etc., etc. Je ne connais pas encore assez positivement ces différences pour pouvoir les définir rigoureusement; mais le peu de recherches que j'ai faites, me font voir clairement que l'on pourra établir un assez grand nombre d'espèces parfaitement distinctes; malheureusement ces espèces offriront les mêmes difficultés que les espèces minérales, et on ne pourra guère les reconnaître que par des essais chimiques.

En attendant qu'on établisse des espèces positives, il n'est pas inutile de faire connaître quelques distinctions dont on a fréquemment occasion de se servir. Ces distinctions sont fondées sur la structure et sur quelques caractères extérieurs.

*Porphyres.* On nomme ainsi des roches composées, qui présentent une matière compacte, ou base, dans

laquelle sont disséminés des cristaux, ordinairement d'orthose ou d'albite, qui ont fréquemment une couleur différente de celle du fond, sur lequel ils tranchent alors d'une manière plus ou moins nette. Il y a des porphyres à base d'orthose, d'autres à base d'albite, et d'autres à base de silicates alumineux divers non encore déterminés. Ces silicates sont assez souvent colorés, tantôt par de l'actinote, tantôt par de l'augite, et aussi par divers silicates de protoxide ou de peroxide de fer; de là plusieurs distinctions fondées sur les couleurs. Le mot porphyre devra être banni de la nomenclature, et remplacé par l'épithète porphyrique jointe au nom de la base de la roche lorsqu'elle sera connue.

*Variolites.* Ce sont encore des roches analogues aux porphyres, sur lesquelles il y a les mêmes réflexions à faire, mais dans lesquelles, au lieu de cristaux disséminés, on trouve des noyaux sphéroïdes très adhérents, de couleur différente de celle de la pâte, souvent plus dure et qui dans les morceaux roulés restent en saillie à la surface, en imitant ainsi des pustules de petite vérole d'où le nom est dérivé.

*Amygdaloïdes.* Roches à bases de silicates alumineux très variés, renfermant des noyaux de matières diverses, le plus souvent calcaires, qui se détachent facilement et se présentent fréquemment sous forme d'amande, d'où le nom est dérivé.

Il n'est pas inutile d'indiquer aussi les matières connues sous les noms de *Retinite*, *Obsidienne*, *Perlite*, *Ponce*. Les trois premières sont ordinairement des matières vitreuses, et toutes sont des silicates alumineux; mais les uns renferment en outre de la potasse, d'autres de la soude et d'autres de la chaux: il en est qui sont exactement composés comme l'orthose et l'albite, et d'autres qui présentent des proportions particulières

en sorte qu'il existe évidemment dans ces corps des espèces tout-à-fait différentes. Il me paraît impossible de définir les deux premières, sous les noms qui leur sont aujourd'hui imposés. Quant aux perlites qui présentent aussi plusieurs espèces, ce sont des matières plus ou moins vitreuses qui offrent une structure testacée, ou qui sont formés de globules accumulés les uns sur les autres. La ponce, dont il y a encore des espèces fort différentes, dont la plupart se rapportent à celles qu'on doit former aux dépens des retinites, obsidienne et perlite, est caractérisée par la légèreté, par la structure celluleuse, à cellules ou pores le plus souvent allongés.

Nous nous arrêterons ici dans les distinctions malheureusement trop vagues, que l'on peut faire ; nous en avons dit assez pour être entendu lorsque nous citerons par la suite le gisement de telle ou telle substance.

(280) *Des dépôts arénacés.* — Les dépôts de matières arénacées, étant formés de fragments arrachés à diverses roches, roulés ensemble, accumulés les uns sur les autres, on conçoit qu'on ne pourra jamais établir entre eux que des distinctions extrêmement vagues, à moins que ce ne soit sur la position géologique, ou sur des circonstances qui en dérivent. Minéralogiquement on ne peut établir de distinction que sur la forme ou la grosseur des parties ; c'est ainsi qu'on distingue les *brèches*, les *poudingues*, les *grès*. On a aussi remarqué que les fragments, cailloux roulés ou grains, étaient quelquefois agglutinés entre eux par une matière cristalline d'une nature ou d'une autre, et d'après cela on a encore établi une sorte de spécification.

*Brèches.* On nomme ainsi un amas de fragments anguleux, souvent de roches diverses, agglutinés

entre eux, ou réunis par un ciment plus ou moins abondant, d'une nature ou d'une autre, qui n'est souvent qu'une matière terreuse résultant de la trituration des fragments.

*Poudingues.* C'est un amas de cailloux arrondis, entassés les uns sur les autres, le plus souvent agglutinés par un ciment terreux ou quelquefois cristallin.

*Grès.* On nomme ainsi les matières arénacées à grains fins, ou qui ne dépassent par la grosseur d'un pois, qui sont réunis tantôt par simple juxtaposition, tantôt par un ciment terreux ou cristallin.

M. Brongniart a proposé de réserver le mot grès, à des matières composées uniquement de grains quarzeux, et à l'égard desquels il est difficile de prononcer si ce sont des grains cristallins ou des grains roulés. Il a donné dès-lors les noms de *psamite* et de *psephite* aux autres matières désignées sous le nom de grès. Le premier est appliqué à une réunion de petits grains quarzeux agglutinés par une très petite quantité d'argile ; le second est appliqué à une réunion de grains, ou de fragments de matières diverses, par une pâte assez abondante d'argile.

Remarquons que sous le nom d'argile on comprend encore un assez grand nombre de matières différentes, dont plusieurs paraissent être des silicates à proportions bien déterminées, et qui alors sont sensiblement homogènes. Les autres ne sont que les résultats d'une trituration très fine des matières qui ont formé les brèches, les grès, etc. ; on reconnaît alors, en les examinant à la loupe ou au microscope, une multitude de particules hétérogènes : c'est cette sorte d'argile qui sert ordinairement de ciment aux matières arénacées.

On peut si l'on veut distinguer plusieurs sortes de poudingues, de brèches, etc., d'après la nature des matières agglutinées, d'après la position géologique

dans la série des terrains , ou d'après une multitude de circonstances plus ou moins remarquables ; c'est ainsi qu'on a distingué sous les noms de *tufs trachytiques*, *ponceux*, *basaltiques*, etc., ou sous le nom général de *tufs volcaniques* ou *pepérine*, des poudingues ou des débris arénacés plus ou moins terreux , formés de trachyte, ou de roches du terrain trachytique, de ponce, de basalte, de matière volcanique quelconque , etc. C'est ainsi que l'on a distingué en Allemagne les roches arénacées diverses du terrain intermédiaire sous le nom de *grauwacke*, et plusieurs autres matières qui se trouvent dans des positions fixes à diverses hauteurs, sous les noms de *kohlensandstein* (grès houiller), *bunersandstein* (grès bigarré), etc. En Angleterre on en distingue aussi de la même manière, le *greywake*, le *old red sandstone* (vieux grès rouge), *new red sandstone*, (nouveau grès rouge), etc., etc. Ce sont autant de manières de s'entendre, mais qui forment en général un langage peu précis et qui varie continuellement.

(281) *Position relative des principales roches composées.* — Ces roches, comme nous l'avons dit, constituent principalement les dépôts qu'on a désignés sous le nom de terrains primitifs, et ceux que tout le monde regarde comme ayant décidément une origine ignée; on les retrouve aussi en couches ou en amas, dans différents dépôts secondaires, et elles constituent quelquefois des masses considérables dans des parties assez modernes de la série. C'est dans les terrains primitifs qu'elles sont les plus abondantes; celles qui paraissent en former la masse principale, sont les *granites*, *gneiss*, *micaschiste* et *schistes argileux*, qui se suivent en général dans l'ordre où nous les citons, mais qui paraissent aussi alterner entre eux de toutes les manières, comme nous allons l'indiquer.

Le *Granite* se montre d'abord dans les parties les plus

profondes que nous puissions observer où il semble servir de bases à tous les autres dépôts. C'est alors, en général, une roche à petits grains, très rarement divisée en couches, ne composant pas des montagnes élevées, renfermant peu de substances disséminées, et point de roches subordonnées. Au-dessus de ce premier dépôt se trouve une formation où le granite est en couches distinctes qui alternent périodiquement avec le gneiss et qui renferment quelquefois des micaschistes, des quartz schisteux, des roches calcaires, etc., subordonnés (Riesengebirge, Auvergne, Forez, Velay). Plus haut, dans une formation où le gneiss est la partie essentiellement dominante, ou du moins dans son voisinage, se trouvent çà et là des couches ou dépôts de granite à gros grains, où le feldspath, assez abondant, passe fréquemment à l'état de kaolin (Haute-Vienne? Écosse? Carlsbad en Bohême?) C'est dans une position analogue que se trouvent au centre des Alpes les espèces de granite qu'on a désignées sous le nom de protogyne; cependant les observations de M. Elie de Beaumont dans l'Oisan, jointes aux différences que que l'on a remarquées depuis long-temps entre ces roches et celles des autres contrées, sembleraient indiquer une époque particulière dans leur formation.

On trouve encore des granites plus haut dans les formations; il en existe en couches subordonnées aux dépôts de micaschistes, puis des masses considérables au-dessus de ces roches (St.-Gotard, Reichenstein et Striegau en Silésie, Högölm en Norwège, etc.) On en trouve encore, mais rarement, dans les dépôts de schiste argileux qui terminent la série primitive (Saxe et Hongrie), et il en existe aussi des dépôts indépendants au-dessus de ces roches, comme aux îles Shetland, à Kielvig à l'extrémité septentrionale de la Norwège. Enfin le

granite se montre dans les dépôts intermédiaires où il se lie avec les siénites dont nous parlerons tout à l'heure; souvent alors il est impossible de le distinguer des granites les plus anciens (Bords de l'Elbe, Vosges, etc.)

Le *Gneiss*, comme nous venons de le dire, commence à se montrer, en couches alternantes, avec les granites qui paraissent suivre immédiatement ceux que nous avons vus en masse à la partie la plus inférieure des formations minérales; mais il constitue bientôt à lui seul des dépôts indépendants, au milieu desquels on trouve beaucoup de roches calcaires ou amphyboliques, de quartz, d'hyalomictes, etc.; il alterne ensuite périodiquement avec des micaschistes, et lorsque cette dernière roche devient elle-même formation particulière, le gneiss s'y montre encore en couches subordonnées. Il se retrouve avec le granite postérieur au micaschiste, et même avec celui qu'on rencontre au-dessus du schiste argileux; il existe même dans les dépôts qui accompagnent la siénite.

Le *Leptinite* se montre immédiatement sur le granite le plus ancien où il semble être une petite formation indépendante, recouverte par le gneiss (Saxe) ou dont il tient la place; on le trouve aussi au milieu des dépôts de granite et gneiss intercalés, où il est en couches subordonnées (Silésie); on en retrouve également dans les terrains de siénites, où il est évidemment une modification des gneiss, ce qui est peut-être d'ailleurs la même chose partout.

Le *Pegmatite* constitue une formation indépendante, dont le granite à gros grains intercalé au gneiss, semble être le prélude, et qui est partout fort remarquable par les substances qui s'y trouvent disséminées. Cette formation est superposée au gneiss indépendant,



et se présente dans un grand nombre de localités sur des espaces très étendues (Limousin, Moravie, Suède, États-Unis d'Amérique, etc.)

Le *Micaschiste*, après s'être montré en couches subordonnées au gneiss indépendant, finit dans les parties moyennes du terrain primitif, par constituer à lui seul des dépôts très étendus, auxquels se trouvent subordonnées des couches de granites, de gneiss, comme nous l'avons dit, des couches calcaires et amphiboliques, du quartz, des hyalomictes de toutes les variétés, des schistes argileux; cessant bientôt de constituer lui-même une formation indépendante, il se retrouve en couches subordonnées aux schistes argileux, et plus haut on le retrouve quelquefois dans les terrains intermédiaires, soit avec les sienites, soit au milieu de tous les dépôts qui appartiennent à cette période.

L'*hyalomictite* constitue très rarement des formations indépendantes; ce sont plutôt en général, des couches subordonnées, qu'on trouve dans les différents dépôts superposés au granite ancien, jusqu'à la partie supérieure des dépôts intermédiaires. L'*hyalomictite* granitoïde (greisen des Allemands), paraît être postérieure au gneiss indépendant, et se rattacher plus ou moins aux dépôts de pegmatites, en formant des amas plus ou moins considérables. L'*hyalomictite* schistoïde (quartz micacé et schisteux), se trouve quelquefois dans le gneiss, mais plus particulièrement dans les micaschistes dont il n'est qu'une modification, tant dans ceux des terrains primitifs, que dans ceux qui se rattachent à la période intermédiaire; il existe aussi dans les dépôts de schiste argileux. Il paraît même, d'après l'observation de M. Eschwege, qu'il constitue une formation indépendante au-dessus de ces dépôts, et principalement au pic d'Itacolumi au Brésil, où il est remarquable par la présence du fer oligiste, de l'or, et plus encore

par celle du soufre; dans cette situation il a quelques caractères particuliers, et M. Eschwege a proposé de lui donner le nom d'*itacolumite*.

Le *schiste argileux* commence à se montrer en couches subordonnées au milieu du gneiss, même le plus ancien, ou au milieu des micaschistes, et finit par constituer des dépôts indépendants très considérables, qui terminent, ou plutôt par lesquels on termine, la série primitive. On le retrouve encore dans les dépôts intermédiaires, quelquefois avec des caractères absolument semblables à ceux qu'il présente dans les terrains précédents, mais le plus souvent avec des caractères particuliers qui le font reconnaître, même dans les fragments que renferment nos collections. Les paillettes de mica, si, bien liées entre elles dans les roches primitives, qu'elles ne semblent former qu'un tout, sont ici isolées les unes des autres, et jetées pêle-mêle au hasard; il semble que ce soit une pâte homogène dans laquelle les paillettes sont disséminées en très grand nombre. Ces roches schisteuses des terrains intermédiaires sont fréquemment désignées sous le nom *grauwacke*, auquel on ajoute l'épithète *grossière* ou *schisteuse*, suivant qu'elles sont plus ou moins fines, plus ou moins mélangées de fragments étrangers ou de grains roulés. Ce sont les roches désignées sous le nom de *Traumates*, par M. Daubuisson et M. Brongniart, et une partie des *phyllades* des mêmes auteurs.

La *siénite* commence à se montrer au-dessus des dépôts formés de couches alternatives de granite et gneiss, ou de protogine et gneiss, ou même en couches subordonnées au gneiss ( Mont Blanc, Mont Rose, Val Sesia, etc. ); mais elle se trouve en plus grande abondance entre les terrains primitifs et les terrains intermédiaires, et liée plus particulièrement avec ces derniers (bords de l'Elbe en Saxe, Hongrie, Guanaxuato au Mexique,

mont Sinaï en Égypte ); elle est quelquefois superposée à des roches arénacées intermédiaires ( Vosges, Bretagne ), ou à des calcaires noirs coquiller ( Norwège ). Elle se lie fréquemment à des porphyres à base de dolérite ( Vosges ), qui se lient eux-mêmes intimement aux trachytes dans certaines localités ( Hongrie, Mexique ); elle passe aussi à de véritables granites qui forment quelquefois des dépôts considérables ( bords de l'Elbe ).

L'*Euphotide*, les *diallages* et les *serpentes* sont des roches assez analogues de position à la siénite; elles commencent à se montrer dans les micaschistes indépendants où elles forment des couches subordonnées ( val Sesia en Piémont ). Plus haut elles constituent des formations particulières superposées aux micaschistes ( Piémont, Corse ) ou même au schiste argileux. C'est alors surtout que l'euphotide se lie avec des dépôts de diallage, ou plutôt de serpentines diallagiques, ou de serpentines simples, qui sont ordinairement les plus abondantes ( île Magero en Norwège, Dobschau en Hongrie ). On retrouve des dépôts absolument semblables dans des formations plus élevées, dans les siénites intermédiaires superposées à des calcaires noirs pour le moins intermédiaires ( Cuba, Guanaxuato ), et même à des dépôts qui appartiennent à des formations secondaires assez modernes, pour le moins contemporaines du *lias*, si même elles n'appartiennent aux sables verts qui préludent à la craie ( Euphotides et serpentines des Appennins ).

Il est à remarquer qu'il existe des serpentines plus anciennes que celles que nous venons de citer, qui peut-être sont de nature différente; telles sont les serpentines du leptinite ( Waldheim en Saxe, Buenavista à l'ouest de Caraccas ), celles de la formation de gneiss ( Zœblit en Saxe ) ou des dépôts alternatifs de gneiss et mica-schiste ( vallée d'Aost en Piémont ).

La *Diorite* est en général une roche subordonnée,

qu'on trouve dans différents terrains, en couches ou même en filons. Il s'en trouve à peu près dans tous les dépôts primitifs, superposés en granite ancien; tantôt ce sont des diorites granitoïdes, tantôt des diorites compactes. Celles-ci dominant dans les terrains intermédiaires, et y servent souvent de base à des roches porphyriques (porphyres verts, porphyres siénitiques) ou aux roches amygdaloïdes; on en trouve également, et souvent en assez grande quantité dans le grès houillier et le grès rouge, et ce sont toujours des diorites compactes, quelquefois vertes, quelquefois noires, et ressemblant alors plus ou moins aux basaltes; elles y sont aussi quelquefois amygdaloïdes, mais en général les roches amygdaloïdes, dont le grès rouge surtout offre de nombreux dépôts, ont une pâte fort différente, brune ou rouge, dont on ne connaît pas bien la nature.

La *Dolérite* paraît rarement se trouver ailleurs que dans les terrains basaltiques; cependant il est certain que plusieurs roches regardées comme diorite compacte, renferment une grande quantité d'albite et de pyroxène. Celles dont je connais le gisement appartiennent toutes aux terrains intermédiaires ou aux premiers dépôts secondaires; je n'en connais point jusqu'ici dans les terrains primitifs. Il s'en trouve également dans les terrains trachytiques, avec des roches fort analogues composées d'albite et de hornblend.

(281) *Gisement du carbonate calcaire.* — Nous venons de voir les positions relatives de diverses roches composées, qui constituent essentiellement les terrains primitifs, et une partie même des terrains intermédiaires. Les grands dépôts qui forment le reste de la croûte solide du globe sont en très grande partie formés de carbonate calcaire, qui présente quelques caractères particuliers suivant les différents âges, et qu'il

est nécessaire de faire connaître : nous parcourons les dépôts principaux des diverses époques.

*Dans les terrains primitifs*, on rencontre des couches calcaires, au milieu du gneiss indépendant, et surtout dans les micaschistes et les schistes argileux. Ces calcaires sont ordinairement saccharoïdes, à lamelles plus ou moins fines, tantôt blancs, tantôt gris bleuâtre, ou veinés de gris, de rouge, etc. Dans un très grand nombre de cas, ils sont mécaniquement purs; mais dans beaucoup d'autres, ils sont mélangés de diverses substances: tantôt ce sont des paillettes cristallines de mica, ou des cristaux très déliés d'actinote, qui s'y trouvent disséminés en plus ou moins grande quantité; tantôt ce sont des feuilletts, continus ou interrompus, et plus ou moins contournés, de mica, de diallage, de serpentine, etc., etc., ou bien des nids plus ou moins volumineux de ces diverses substances. Dans tous les cas, il en résulte des roches composées calcaires, à structure schisteuse ou entrelacée.

*Dans les terrains intermédiaires*, on retrouve encore des couches calcaires semblables à celles que nous venons de citer, et en relation avec des roches de même genre; mais c'est particulièrement dans les dépôts inférieurs, car dans les parties moyennes, ce sont des calcaires compactes, quelquefois blancs, le plus souvent colorés de diverses manières, tantôt purs, tantôt mélangés de mica, d'actinote, de diallage, etc. Dans les parties supérieures de cette grande période de formation, les dépôts calcaires (*Mountain limestone*, ou *Metalliferous limestone* des Anglais) deviennent encore beaucoup plus considérables; ce ne sont plus simplement des couches intercalées avec diverses autres sortes de roches, ce sont des montagnes entières qui se prolongent à de très grandes distances. Les calcaires qui forment ces montagnes sont compactes, le plus

souvent gris, noirs, ou de couleurs foncées, quelquefois verdâtres, rougeâtres, ou même d'un rouge décidé plus ou moins vif. Les mélanges de minéraux étrangers y sont beaucoup plus rares que dans les parties moyennes de la période; mais il s'y trouve beaucoup de débris organiques qui sont à peu près tous caractéristiques, tels que *Orthocératites*, *Spirifères*, *Evomphales*, *Productus* de diverses espèces, des *Encrinites*, souvent en quantités prodigieuses, diverses sortes de polypiers qu'on ne retrouve point ailleurs, différentes espèces de *Calymène*, d'*Asaphe*, etc., qui constituent la famille des trilobites. Ces débris sont quelquefois très abondants; mais, dans d'autres cas, ils sont fort rares, et l'on parcourt des espaces considérables dans les montagnes sans en rencontrer une trace.

*Dans les terrains secondaires*, le carbonate calcaire constitue presque tous les dépôts qu'on trouve aux différents étages. Ce sont alors en général, des calcaires compactes, ou plus ou moins terreux, ou des calcaires oolitiques, qui diffèrent principalement les uns des autres par la nature des débris organiques qui les renferment, lorsque, par une circonstance ou par une autre, on ne peut voir les dépôts qui précèdent et ceux qui suivent, et par conséquent reconnaître leur position dans la série.

*Le premier de ces dépôts calcaires* est désigné par les Allemands, sous le nom de *Zechstein*, et par M. d'Omalius de Halloy, sous le nom de *calcaire pénéen*, adopté par M. Brongniart. C'est en général un calcaire gris ou noirâtre, fréquemment bitumineux et fétide. Il est séparé du dernier des calcaires intermédiaires par des dépôts souvent considérables de matières arénacées, désignés sous les noms de *grès houiller* et de *grès rouge*. Il renferme peu de débris

organiques, ordinairement liés d'une manière intime avec la roche, et très altérés, mais qui sont tous caractéristiques, et principalement *Productus aculeatus* et *speluncarius*, *Terebratula paradoxa* et *pygmea*; il n'y a plus d'orthoceratites, d'évomphales, de trylobites, et on y trouve à peine des ammonites, que nous allons voir en abondance dans les dépôts suivants.

Le second dépôt, séparé du premier par les matières arénacées nommées *bundter sandstein* (grès bigarré), *red marle*, est désigné par les Allemands sous le nom de *muschelkalk*, qu'on a traduit par l'expression française *calcaire conchylien*. Il offre encore une matière compacte, mais d'une teinte plus claire que le calcaire précédent, et très remarquable, en outre, par le grand nombre de débris organiques, qui sont tous différents de ceux du calcaire pénéen, souvent même par les genres. On y trouve des *Cératites*, des coquilles particulières qu'on a désignées sous les noms d'*Ostracites pleuronectis lævigatus* et *discites*, *Mytulites socialis*, mais qui n'appartiennent ni au genre *Ostrea* (huître), ni au genre *Mytilus* (moule). Les *Buccinites*, les *Strombites*, les *Plagiostomes*, qui n'existent pas dans les dépôts précédents, s'y montrent en abondance; mais il n'y a pas encore d'ammonites.

Un troisième dépôt fort remarquable, désigné en Angleterre, où il a été d'abord remarqué, sous le nom de *lias*, se présente dans l'ordre des formations. Il repose sur le grès bigarré, lorsque le calcaire conchylien vient à manquer; mais il paraît être séparé de ce dernier par des dépôts terreux, assez analogues à quelques-uns de ceux qu'on trouve dans le grès bigarré, qu'on désigne sous le nom de *marnes keupriques*, et par des grès désignés sous le nom de *Quadersandstein* par les Allemands. Du reste, le calcaire *lias* diffère essentiellement de tous les autres; presque partout

c'est un calcaire blanchâtre peu compacte, souvent grossier et terreux; ce n'est qu'au centre des Alpes, dans le voisinage des roches primitives, qu'il présente des caractères différents, ce qu'on explique facilement pag. 547, en supposant un origine ignée à toutes les roches de cristallisation au milieu desquelles il se trouve. Il est alors compacte ou même saccharoïde, souvent varié de couleurs plus ou moins vives, et accompagné de roches schistoïdes, dont les unes sont nommées assez vaguement *schiste argileux*, ou *argilo-calcaire*, *calschiste*, et les autres *schiste stéatiteux* ou *steaschiste*. Mais dans ce cas même il présente les caractères zoologiques que l'on rencontre dans les dépôts situés loin des montagnes primitives. Cette formation calcaire est en effet éminemment distincte des autres, en ce que c'est au milieu d'elles qu'on rencontre pour la première fois les *Belenmites*, qui y sont souvent en quantité considérable. On y trouve beaucoup d'*Ammomites* d'espèces particulières et le *Gryphea arcuata*, qu'on n'observe nulle part ailleurs; il y existe aussi un grand nombre de genres de coquilles, dont les espèces sont presque toutes particulières à ce dépôt.

*Le quatrième dépôt calcaire* nous offre ce que l'on nomme la *formation jurassique*, parce que les montagnes du Jura en sont entièrement composées. On y distingue en général trois étages, qui sont assez nettement caractérisés. A la partie inférieure, il existe des *oolites ferrugineuses* et des *calcaires compactes*, souvent intimement liées; à la partie moyenne se trouvent de grands dépôts de *calcaires oolitiques* et de *calcaires compactes*, généralement blancs ou gris jaunâtre, souvent divisés irrégulièrement dans tous les sens. Enfin, à la partie supérieure on trouve ou des calcaires remplis de polypiers, et désignés par cela même sous le



nom de *coralrag* en Angleterre, et de *calcaire zoophytique* en France, ou des calcaires *schistoïdes*, qu'on désigne assez improprement sous le nom de *laves*, dans plusieurs parties du Bourbonnais et de la Franche-Comté.

Ces divers dépôts, qui se sous-divisent encore de diverses manières, se distinguent aussi les uns des autres par les débris organiques; les belemnites et les ammonites se trouvent dans les parties inférieures avec beaucoup d'autres coquilles, dont les plus caractéristiques sont *Trochus similis*, *Cirrus nodosus*, *Trichites*, *Plagiostoma punctata et rigida*, *Terebratula, carnea et spinosa*, qui ne se trouvent pas dans le lias, et qu'on ne connaît pas dans les parties moyennes du dépôt qui nous occupe. Dans celles-ci, où les coquilles sont généralement brisées, et dont on ne trouve presque que des fragments roulés, on reconnaît des *Nérinées* qui paraissent être caractéristiques, le *Pterocerus oceani*, quelques *modioles* d'espèces particulières, des *zoophytes*, tels qu'*Astrées* et *Caryophyllées*, dont le dépôt inférieur n'offre pas de trace, diverses espèces de reptiles, fort différentes de celles qu'on trouve plus haut, et de celles du lias. Dans la partie supérieure, il n'y a pas moins de différence; d'abord c'est là seulement qu'on commence à trouver des débris de mammifères et d'oiseaux; les reptiles dont on rencontre les débris, sont tous d'espèces particulières, et parmi les coquilles on distingue *Pinna granulata*, *Trigonia clavellata*, *Lutrania jurassi*, *Ostrea cristagalli*, *Terebratula digona* et *ornitoccephala*, qui sont caractéristiques, et beaucoup d'autres coquilles qui sont d'espèces différentes de celles des dépôts précédents.

Il existe aussi, dans cette partie supérieure, diverses couches calcaires, séparées des dépôts précédents, et entre elles, par des argiles ou des marnes ( marnes de

Kimmerigde, marnes du Havre, etc.), qui offrent des caractères particuliers; tels sont les *calcaires de Portland* et *de Purbeck*, en Angleterre; ce dernier est remarquable surtout par la présence des coquilles d'eau douce (*paludina vivipara*), les premières que l'on commence à trouver.

*Le cinquième dépôt calcaire*, séparé des précédents par des sables ferrugineux (*iron sand*), et des argiles (*Wald clay* des Anglais, *Argile veldienne* Brongniart), est le terrain crayeux, dans lequel on peut distinguer la *craie verte* (*Green sand* des Anglais, *Glauconie crayeuse* et *sableuse* Brongniart); la *craie tufau* et la *craie blanche*, qui se succèdent dans cet ordre, et sont intimement liées entre elles, quoiqu'elles diffèrent par les caractères minéralogiques, et même zoologiques jusqu'à un certain point. La *craie verte* est un calcaire terreux plus ou moins solide, renfermant une quantité plus ou moins grande de petits grains verts, et qui se lie intimement à un sable de même couleur, qu'on reconnaît spécialement à la partie inférieure du dépôt. La *craie tufau* est grisâtre, très sableuse, quelquefois assez solide; enfin la *craie blanche* est aussi plus ou moins sableuse, rarement solide, et forme en général la partie supérieure des dépôts. Ce terrain crayeux renferme beaucoup d'espèces de coquilles qu'on ne trouve nulle part ailleurs, et en outre en présente de particulières à différentes hauteurs; ainsi dans les sables verts inférieurs, on trouve *Cirrus depressus*, *Cassis avellana*, *Gryphea columba*, qui n'existent pas même dans la *craie verte* compacte. Dans celle-ci on reconnaît *Ammonites canteriatius* et *selliguius*, *Trochus gurgitis*, *Cerithium excavatum*, etc. Dans la *craie tufau*, on trouve *Belemnites mamillatus*, *Baculites anceps*, *Ammonites varians* et *rhotomagensis*, *Hamites alternatus*, etc. Ces corps sont d'ailleurs mélangés partout avec

beaucoup d'autres qui sont particuliers aux terrains crayeux, tels que *Turrilites costatus*, *Scaphites striatus* et *costatus*, *Pecten quinquecostatus*, etc. La première manque cependant dans la craie blanche, et peut-être cette craie est-elle en outre caractérisée par plusieurs échinites, tels que *Ananchites ovata*, *Cidarites vulgaris*, *saxatilis* et *papillata*, qu'on ne trouve pas dans d'autres divisions, et qui d'ailleurs n'existent nulle part que dans ces dépôts.

Dans les terrains tertiaires nous trouvons encore des dépôts calcaires très variés, dont la masse est séparée du terrain crayeux par des argiles, des sables ou des agglomérats de cailloux roulés. Les plus anciens, et aussi les plus abondants, sont les calcaires dont on se sert autour de Paris pour la bâtisse, et qui sont fréquemment désignés sous le nom de *calcaire marin parisien*, quoiqu'ils se trouvent dans beaucoup d'autres localités. Ils sont, en général, jaunâtres ou blanc sale, ternes, peu compactes, plus ou moins solides, presque toujours mélangés de sables fins, et le plus souvent remplis de coquilles d'un grand nombre de genres et d'espèces, qui se rapprochent beaucoup plus des coquilles qui vivent actuellement dans nos mers, que celles que nous avons citées dans les calcaires précédents, dont d'ailleurs on ne retrouve plus les espèces ni même les genres, car il n'y a plus d'ammonites, de bélemnites, etc., etc. Le nombre des espèces de coquilles qu'on a déterminées s'élève à plus de quinze cents, parmi lesquelles il est presque impossible de choisir des espèces caractéristiques. Les *Cérîtes*, les *Buccins*, les *Murex*, les *coquilles turbinées ou turriculées*, en général, y sont extrêmement nombreuses. On a souvent désigné ces calcaires sous le nom de *calcaires à Cérîtes*, parce que les *cérîtes* sont vraiment caractéristiques par leur nombre, et par la variété des espèces.

Dans les parties où le carbonate de chaux est beaucoup moins abondant que les parties sableuses, et où le dépôt est resté meuble, ces coquilles se trouvent parfaitement conservées; les appendices les plus fins, les contours de la bouche sont restés parfaitement intacts; il n'y a en tout que la couleur de perdue, et il est impossible, en les voyant en place, de ne pas penser que c'est un fond de mer, où les dépôts se sont formés lentement, où il n'y a eu depuis aucun bouleversement. Dans les parties solides, au contraire, le test des coquilles est souvent détruit, ce dont il est bien difficile d'imaginer la cause, et il ne reste que le moule intérieur de la coquille et l'empreinte extérieure sur la roche; entre les deux se trouve un vide qui dénote l'épaisseur du test. Il arrive aussi, dans quelques points, que les coquilles deviennent beaucoup moins abondantes, que les dépôts prennent plus de consistance, plus de compacité; quelquefois ils sont fissiles, et renferment fréquemment alors des impressions de poissons et de plantes entre leurs feuilletés.

Au-dessus de ce dépôt calcaire, qui renferme tant de coquilles essentiellement marines, c'est-à-dire qui se rapprochent considérablement, du moins par les genres, de celles qui vivent dans nos mers, il s'en trouve qui ne renferment plus que des coquilles analogues à celles de nos eaux douces, et qui souvent diffèrent à peine de celles que nous avons dans nos ruisseaux et nos rivières; tels que *Lymnées*, *Planorbes*, *Physes*, *Paludines*, ou des coquilles turriculées des genres *Mélanie* et *Mélanopside*. Il y en a de plusieurs époques; autour de Paris, on remarque des couches inférieures reposant immédiatement sur les calcaires précédents, et une couche plus élevée séparée de la première par une formation de *sulfate gypse*; cette dernière renferme quelquefois aussi des coquilles terrestres, du genre *Hé-*

lice, qu'on rencontre en assez grand abondance dans d'autres localités où il est difficile de fixer l'âge relatif du dépôt.

Ces calcaires sont quelquefois compactes, à grains très fins, et fort difficiles à distinguer alors de certains calcaires du Jura, sur les échantillons qui ne renferment pas de coquilles; ailleurs ils sont moins solides, souvent même tout-à-fait terreux, tantôt remplis de sable fin, tantôt mélangés d'argile. Les parties compactes sont fréquemment siliceuses; la silice y est tantôt disséminée uniformément, tantôt en espèce de réseau, qui reste sous la forme d'une masse celluleuse cariée, lorsqu'on a enlevé le carbonate de chaux par un acide. La présence de la silice a fait souvent désigner ces calcaires sous le nom de calcaires siliceux.

Au-dessus de ces calcaires à coquilles d'eau douce, se présentent de nouveau des calcaires à coquilles marines, que l'on désigne sous le nom de *calcaire moellon*, *marnes marines*, qui renferment quelques espèces des premiers dépôts tertiaires avec d'autres qui leur sont particulières. C'est aux environs de Paris (Montmartre, Ecouen, etc.) qu'ils sont bien caractérisés de position; dans d'autres localités ce n'est que par la nature des débris organiques, diverses sortes de considérations, qu'on peut parvenir à les distinguer avec probabilité (environs de Montpellier, collines Subapennines, environs de Vienne en Autriche, calcaires des molasses de Suisse, etc.)

*Dans les dépôts les plus modernes de nos continents*, dans ceux qui se rattachent aux formations qui se continuent de nos jours, il se trouve encore des masses très étendues de carbonate calcaire; tels sont les *tufs calcaires* qui se forment à la surface du sol, par les eaux qui se sont chargées de matières calcaires en traversant les dépôts plus anciens. Il en est qui constituent des masses considérables, dont la matière est compacte,

homogène, et plus ou moins cariée; d'autres sont fibreux, stalactiques, stratoïdes, et enfin il en est qui sont presque terreux. Ils renferment fréquemment des débris de plantes, de coquilles terrestres, quelquefois fluviatiles, qui tous appartiennent aux végétaux et aux coquilles qui vivent encore dans les lieux voisins.

Enfin, il se fait journellement encore des dépôts calcaires, qui paraissent fort étendus, dans nos mers, soit sur les rivages, où les matières arénacées de diverse nature se trouvent agglutinées (Messine en Sicile, môle de la Guadeloupe, île Ceylan), soit dans les bas-fonds où se trouvent à la fois des débris de roches de toutes espèces. des débris de coquilles, et des coquilles entières, qu'un ciment calcaire réunit, en donnant à la masse plus ou moins de solidité (Toulon, Nice, côtes d'Angleterre, de la Nouvelle-Hollande, etc.). Dans quelques localités, ces calcaires ressemblent tellement aux calcaires marins tertiaires (Baie des Chiens Marins, à la Nouvelle-Hollande), qu'il est très facile de se tromper; mais les coquilles qu'on y trouve sont identiquement celles qui vivent dans nos mers actuelles, à la latitude même où les dépôts existent.

Il se fait aussi journellement des dépôts calcaires sous les eaux douces: tels sont ceux que j'ai observés dans les marais de Czegled en Hongrie, qui deviennent assez solides pour servir de pierre à bâtir, et ceux du lac Bakie, dans le Forfarshire en Écosse. Ceux de Czegled offrent les mêmes tubulures, le même genre de fétidité, la même superposition à des limons vaseux, que le calcaire d'eau douce qu'on rencontre en diverses localités (Château-Landon près de Nemours, etc.).

(283) Nous venons de voir les matières qu'on peut regarder comme formant essentiellement la surface terrestre, depuis les parties les plus modernes de nos continents jusqu'à celles qui se présentent à la plus grande profondeur où nous puissions parvenir; mais il

existe aussi d'autres matières qui forment çà et là des couches subordonnées, plus ou moins considérables, et qui sont liées intimement aux divers dépôts principaux dont nous venons de parler. Telles sont les *porphyres* et *amygdaloïdes*, le *quartz*, le *carbonate dolomique*, les *sulfates karstenite* et *gypse*.

(284) *Gisement des porphyres, variolites, amygdaloïdes.* — Les porphyres commencent à se montrer en couches subordonnées au gneiss, aux micaschistes, aux schistes argileux des terrains primitifs; mais ils y sont en général peu abondants. C'est avec les siénites qu'ils commencent à se trouver en quantités considérables; ils y présentent plusieurs variétés plus ou moins remarquables, et passent souvent de toutes les manières à des variolites: tantôt ces porphyres sont à base de diorite et passent souvent à la siénite par toutes les nuances; tantôt ils sont à bases plus ou moins feldspathiques mélangées de diverses matières peu connues. On retrouve encore des porphyres au milieu des terrains secondaires, dans le grès houiller et surtout dans le grès rouge; ils y forment des amas, quelquefois des couches plus ou moins considérables, et fréquemment sont en relation avec les roches vitreuses que nous avons indiquées sous le nom de retinites. Il ne paraît pas qu'ils se trouvent plus haut, si ce n'est peut-être avec quelques euphotides des dernières formations; mais dans le terrain trachytique ils existent en grande abondance, et y offrent un assez grand nombre de variétés, dont quelques-unes se lient, minéralogiquement comme géologiquement, avec les porphyres des terrains siénitiques; ils y sont aussi en relations intimes avec les dépôts de matières vitreuses que nous avons nommées obsidiennes et perlites, ce qui présente une circonstance fort remar-

quable lorsqu'on la compare à leurs liaisons avec les rétinites dans le terrain de grès rouge. Ces porphyres des dépôts trachytiques sont fréquemment schistoïdes, et alors sont souvent désignés sous le nom de *phonolites* (*Klingstein des Allemands*), parce que les plaques dans lesquelles ils se divisent sont ordinairement très sonores; on en retrouve d'assez semblables dans les dépôts basaltiques, et ce sont ceux auxquels on a d'abord donné le nom que nous venons d'indiquer.

Les *amygdaloïdes* ne se montrent pas, à ce qu'il paraît, dans les terrains primitifs, mais on les observe à diverses hauteurs dans la série suivante. On en trouve d'abord dans les terrains intermédiaires, ordinairement intercalés avec les masses arénacées de ces dépôts auxquelles elles passent souvent par des nuances insensibles. Il en existe en abondance dans le terrain de grès houiller et surtout dans les dépôts de grès rouge, où elles sont en relation avec les porphyres et les rétinites, qui les remplacent dans quelques localités; elles y forment des amas, des filons, et souvent des buttes isolées, qui se lient plus ou moins avec les dépôts basaltiques lorsqu'il en existe dans les mêmes lieux. On retrouve aussi des amygdaloïdes (*variolites du Drac*), dans le lias alpin, où elles ont souvent des caractères particuliers; mais jusqu'ici on n'en connaît pas plus haut dans l'ordre des formations, et ce n'est que dans les terrains basaltiques qu'on en retrouve plus ou moins; on n'en connaît point dans le terrain trachytique, qui, sous ce rapport, présente de l'analogie avec les terrains primitifs,

(285) *Gisements du quartz.* — Nous avons vu le quartz comme partie constituante essentielle du granite, du gneiss, du micaschiste et de l'hyalomicté; mais il forme aussi à lui seul des couches subordonnées



à ces diverses sortes de dépôts, soit dans la série primitive, soit dans la série intermédiaire; il est tantôt compacte, hyalin, plus ou moins translucide, quelquefois laiteux, et rarement coloré; tantôt, au contraire, il a une texture approchant plus ou moins du granulo-compacte, et alors il est toujours opaque; sa masse est souvent en outre plus ou moins schistoïde: c'est sous ce dernier état qu'on le rencontre plus particulièrement dans les terrains intermédiaires, et aussi dans les dépôts secondaires où il se prolonge.

Pendant long-temps on a regardé le quartz en couches, comme n'appartenant qu'aux terrains primitifs et intermédiaires; mais une observation de M. de Humbolt a fait admettre sa présence dans les terrains secondaires. Ce savant célèbre, dans son mémorable voyage aux régions équinoxiales, en a observé des dépôts de plusieurs milliers de pieds d'épaisseur, qu'il a regardés comme étant à la base des terrains secondaires, et en remplacement du grès rouge. C'est tantôt du quartz compacte, à cassure écailleuse, analogue à celui qu'on trouve en couches dans le gneiss, et tantôt du quartz grenu, analogue à celui des terrains intermédiaires. Il repose tantôt sur le granite (Chula, près des côtes de l'Océan Pacifique), tantôt sur des porphyres intermédiaires, (près de San-Félice, Namas et Magdalena, Amérique équatoriale), et supporte immédiatement les dépôts calcaires secondaires, désignés sous le nom de zechstein (Magdalena et Contumaza); quelquefois même il y est intercalé (rives du Chamaya, sur la pente orientale des Andes).

Les observations de M. Élie de Beaumont, en faisant voir que tout ce que l'on a regardé comme terrain intermédiaire dans les Alpes, est réellement du terrain secondaire, donnent beaucoup d'extension au fait observé par M. de Humbolt. Il faut admettre actuellement des couches de quartz dans le grès houiller, dans le

grès rouge, et peut-être jusque dans les dépôts de lias, où il remplacerait le grès désigné par les Allemands sous le nom de *Quadersandstein*.

Après ces dépôts, ce n'est plus que dans les terrains tertiaires qu'on peut observer du quartz à l'état de pureté; il est alors à l'état granuleux, et constitue des dépôts sableux plus ou moins agrégés, que la plupart des observations conduisent à regarder comme des matières arénacées produites par le roulis des eaux: Tels sont les grès de Fontainebleau, les sables qui constituent la plupart des collines des environs de Paris.

On retrouve aussi, dans les terrains tertiaires, de la silice en dépôts formés évidemment par cristallisation, mais ce n'est plus du quartz proprement dit, c'est du *silex* qui constitue ce qu'on nomme la pierre *meulière*, et qu'on trouve tout-à-fait à la partie supérieure de cette série de formation. La pierre meulière couvre la plupart des plateaux des environs de Paris, où elle est superposée aux sables qui forment la masse principale de nos collines, et avec lesquels elle semble souvent avoir une liaison très intime. Elle se trouve par amas, par nids, au milieu de certaines argiles qui couronnent partiellement ces dépôts; elle renferme fréquemment des lymnées, des planorbes, des physes, et quelquefois le cyclostome élégant, qu'on trouve encore vivant sur les lieux.

( 286 ) *Gisement du carbonate dolomique.* Cette substance appartient à presque toutes les formations, où elle constitue le plus souvent des couches subordonnées à diverses autres sortes de roches, quelquefois des dépôts plus ou moins considérables. On la trouve d'abord dans les terrains anciens, qui sont au moins très rapprochés des primitifs, s'ils ne leur appartiennent (environs du Saint-Gothard); elle y forme des couches puissantes, intercalées avec des micaschistes (St.-Gothard) et des roches

serpentineuses (Campo Longo), et quelquefois des montagnes isolées; elle appartient alors aux variétés saccharoïde, grenue, d'une faible consistance, et renferme quelquefois plusieurs substances disséminées (silicates mica, tourmaline et trémolite; carbonate calcaire; sulfures d'arsenic, d'antimoine, de zinc et de fer; alumine corindon): telle est celle qu'on trouve autour du Saint-Gothard dans les Alpes. Il existe aussi des masses assez considérables de cette substance dans les terrains secondaires, où elle forme des collines souvent très étendues, des buttes coniques, isolées au sommet, mais qui se rattachent les unes aux autres par la base. Elle se trouve d'abord dans le calcaire péneen, que nous avons indiqué au-dessus du grès houiller (*Rauschstein* et *Asche* du Mansfeld et de la Thuringe), et quelquefois remplace entièrement cette roche (Angleterre), en renfermant alors, comme le schiste bitumineux, des empreintes de poissons, surtout dans les parties inférieures, ainsi que des débris de coquilles, des madrépores, etc. Elle existe aussi, en couches ou en amas au milieu du grès bigarré (Thuringe), puis dans le voisinage du lias, si elle n'en fait pas partie, (Figeac département du Lot), et plus haut dans la partie moyenne des formations jurassiques, peut-être même aussi dans la partie supérieure (Antibes, cap Saint-Hospice, près Nice, Italie, Hongrie, etc.). M. De Buch, a vu, dans le Tyrol, les dolomies secondaires, constamment en relation avec les amygdaloïdes et le basalte, d'où il a inféré, en les comparant avec les dolomies de la Somma, rejetées, ou attaquées par le Vésuve, qu'elles n'étaient alors qu'une transformation du carbonate calcaire par l'action des agents souterrains au moment où les amygdaloïdes et basaltes, considérées comme d'origine ignée, ont été expulsées du sein de la terre. D'après cette hypothèse, qui n'est nullement invraisemblable,

on voit qu'il peut se trouver de semblables dolomies partout où il y a du calcaire ordinaire en relation avec des roches cristallines qu'on peut regarder comme formées par le feu, et que cette substance n'aurait pas dans ce cas de gîte spécial. On pourrait peut-être distinguer alors deux sortes de dolomie, savoir : les *dolomies naturelles*, produites par sédiment cristallin, qui comprendraient celles qu'on trouve en couches à diverses époques de formation, et les *dolomies par transformation*, qui seraient celles qu'on trouve en relation avec les produits ignés, et auxquelles on joindrait peut-être celles qui existent dans les terrains primitifs. Peut-être par la suite des temps, viendra-t-on à reconnaître que dans tous les cas la dolomie n'existe que par transformation.

Ces dolomies secondaires sont presque toujours composées d'une multitude de petits cristaux très brillants, même nacrés, qui donnent à la masse une structure saccharoïde très fine et un éclat particulier; on y observe fréquemment une multitude de petites cavités irrégulières tapissées de cristaux isolés de dolomie et quelquefois d'arragonite : il y en a cependant aussi des variétés compactes, mates dans la cassure, qui est alors fréquemment esquilleuse; mais elles sont beaucoup moins fréquentes et ne se trouvent que çà et là au milieu des autres.

(287) *Gisement des sulfates de chaux.* — Il est fort douteux qu'il existe des sulfates de chaux dans les terrains primitifs, et il est difficile aujourd'hui d'en citer positivement dans les terrains intermédiaires; mais il s'en trouve dans toutes les autres parties de la série des formations, en couches ou plutôt en amas plus ou moins puissants. En effet, il en existe dans le calcaire pénéen (Zechsteir), dans le grès bigarré, dans le calcaire conchylien (Muschelkalk) dans

les marnes Keupriques, dans le lias, dans la partie inférieure des terrains jurassiques; c'est ce qu'on observe dans le Mansfeld, la Thuringe, le Salzburg, la grande chaîne du Jura, l'Italie, la Sicile, l'Angleterre, etc., etc. On ne fait encore qu'en soupçonner dans le grès vert qui prélude à la craie (revers méridional des Pyrénées, suivant M. Dufresnoy); mais on en retrouve dans les terrains tertiaires, où les dépôts en sont placés entre le calcaire d'eau douce inférieure et le calcaire d'eau douce supérieure: c'est ce qu'on voit à Montmartre, dans tous les environs de Paris, à Aix en Provence, etc., etc. Ces derniers dépôts sont particulièrement remarquables par une grande quantité de débris de mammifères, d'oiseaux, de reptiles, qui ont été pour M. Cuvier, l'objet de recherches et de découvertes du plus haut intérêt.

Dans toutes ces positions, c'est en général le sulfate hydraté, ou gypse, que l'on rencontre; le sulfate anhydre, ou karstenite, est beaucoup plus rare: il ne se trouve que par petits amas dans les dépôts les plus anciens (calcaire pénéen du Mansfeld); et ce n'est que dans les parties de terrain secondaire qui se trouvent enclavées dans les terrains primitifs, qu'il devient plus abondant. En effet, on le rencontre assez abondamment dans le lias et dans les dépôts jurassiques qui se trouvent enclavés dans les Alpes, et l'on est conduit à penser que le gypse que l'on voit ordinairement dans ces dépôts, partout où ils sont éloignés des montagnes primitives, a subi, au milieu d'elles, aussi bien que les calcaires, les argiles, etc., des modifications particulières qui l'ont converti souvent en sulfate anhydre. Mais il y a plus: divers faits que présentent les sulfates de chaux, dans le voisinage des montagnes primitives, conduisent encore à d'autres idées; en effet, leur position sur le flanc des mon

tagnes, dans la masse desquelles ils pénètrent peu, et souvent en espèce de ceinture autour de quelques grands cirques, semble indiquer des formations locales d'un genre particulier; leur liaison intime avec des roches amygdaloïdes (variolites du Drac dans les Alpes du Dauphiné), ou avec des serpentines (Cogne dans la vallée d'Aost en Piémont, plusieurs localités dans les Pyrénées), conduit naturellement à faire à leur égard la même hypothèse que pour les dolomies. On peut penser que ces sulfates, soit hydratés, soit anhydres, sont souvent le résultat d'une transformation des couches calcaires, par l'action des vapeurs qui se sont dégagées au moment où les amygdaloïdes, ou plus généralement les matières cristallines, granitiques et autres, considérées comme d'origine ignée, ont été soulevées du sein de la terre. D'après cela, on pourrait aussi distinguer des *sulfates de chaux naturels*, produits par sédiments cristallins, et des *sulfates de chaux par transformation*. Les premiers paraissent s'être déposés comme nous l'avons dit à toutes les époques, et les seconds ont pu être produits partout où des masses d'origine ignée se sont fait jour à travers des dépôts calcaires quelconques, qui peuvent appartenir à toute sorte d'époques. De là, il résulte que ces sulfates de chaux par transformation pourraient se trouver aussi bien dans les terrains primitifs que dans les terrains intermédiaires ou secondaires, puisque partout il existe des calcaires qui peuvent être modifiés les uns aussi bien que les autres; peut-être même tous les amas de sulfates calcaires que l'on connaît, dans lesquels on voit souvent des irrégularités dont on a peine à se rendre compte dans l'idée d'un pur sédiment, sont-ils postérieurs aux dépôts dans lesquels ils se trouvent, et sont-ils aussi dus à des transformations partielles par une cause ou par une autre.

## CHAPITRE III.

## SUBSTANCES MINÉRALES FORMANT DES DÉPÔTS LIMITÉS.

(288) NOUS venons de faire connaître les matières qui constituent essentiellement les différentes périodes de formation ; celles que nous avons déjà indiquées comme subordonnées aux dépôts principaux , s'y trouvent encore en couches , régulièrement stratifiées avec celles qui forment la masse principale de la période , et sont limitées comme elles à l'extérieur par les catastrophes qui ont creusé les vallées , déterminé les escarpements et les pentes des montagnes , etc. Or , il existe d'autres matières , qui forment aussi d'assez grands dépôts , mais qui ne sont plus limités de la même manière. Il en est qui semblent s'être déposés dans des bas-fonds , dans des bassins préexistants ; tels sont le sel commun , les combustibles charbonneux : d'autres forment des filons ou des amas plus ou moins puissants ; telles sont les diverses substances dont on tire les métaux usuels et dont nous ferons aussi un article à part , quoique quelques-unes forment réellement des couches qui font partie de diverses formations successives.

DU SEL COMMUN, *sel marin* , *sel gemme*.

(289) Il n'existe point de sel dans les terrains primitifs ; et aujourd'hui il est fort douteux que celui

que l'on a indiqué dans les terrains intermédiaires s'y trouve réellement ; il est même infiniment probable que cette matière n'existe même pas dans le terrain houiller. On peut dire en général que les dépôts de sel que nous connaissons le mieux, se trouvent dans l'une ou l'autre des assises que l'on observe entre le grès houiller et le lias, c'est-à-dire dans le calcaire penéen, le grès bigarré, le calcaire conchylien, les marnes irisées, ou keuper, qui préludent au lias, et le lias lui-même : peut-être en existe-t-il beaucoup au-dessus ; mais à cet égard nous n'avons que des présomptions, qui aujourd'hui ont même perdu un peu de la force qu'elles pouvaient avoir autrefois. C'est dans le grès bigarré, ou dans les marnes irrisées, que se trouvent le plus grand nombre des dépôts que nous connaissons ( Vic en Lorraine ; Sulz, Heilbronn, Wimpfen, etc., dans le Wurtemberg ; Hallein, Berthechsgaden, en Salzburg ; Northwich, en Angleterre ; Cardona en Espagne, etc., etc. ) Dans le terrain de lias on ne peut guère citer que les dépôts de Bex en Suisse, qu'on avait crus jusqu'ici appartenir au terrain de grès houiller, et les sources salées d'Arbonne et de Salins, près Moutier en Tarantaise, qu'on avait rapportées au terrain intermédiaire. Les dépôts qu'on a soupçonnés d'appartenir à des époques plus modernes, sont ceux de Lunebourg ( Hanovre ), et de Segeberg ( Hollstein ), parce que le dépôt gypseux d'où sortent les sources salées, se trouve dans le voisinage du terrain de craie, et qu'on a soupçonné qu'il reposait sur ce terrain, ce qui le rapporterait aux formations tertiaires ; mais le fait est qu'on ne sait pas positivement sur quoi ces collines gypseuses reposent. J'ai aussi soupçonné, en visitant les salines de Willicska en Pologne, que ces immenses dépôts appartenaient au terrain tertiaire, et cela par suite de leur position, au pied des monts Karpath, dans les collines sableuses qui



se lient incontestablement avec des dépôts tertiaires, d'après la présence des lignites dans la masse salifère, et celle d'un assez grand nombre de petites coquilles, bivalves et autres, qui m'ont paru appartenir aux genres renulites, rotalites et même milliolites ; mais on connaît aujourd'hui des lignites à tant d'étages différents, dans le grès bigarré, dans les marnes irisées, dans le lias même, que cette circonstance a perdu de son poids : cependant j'ai observé parmi ces lignites des morceaux qui m'ont paru offrir le tissu de vrais dicotyledons qu'on ne trouve que peu avant la craie.

Le sel ne forme pas lui-même des couches distinctes au milieu des terrains que nous venons d'indiquer ; il est subordonné à des dépôts d'argile, nommée pour cela *argile salifère*, généralement grise, quelquefois brun rougeâtre, ou même rouge de brique, presque toujours mélangée d'une petite quantité de carbonate de chaux. Quelquefois il s'y trouve en couches puissantes, mais le plus souvent il y est disséminé plus ou moins uniformément, ou en petits nids, en veines dans les fentes qui divisent fréquemment les masses argileuses en fragments polyédriques. Il s'y trouve presque toujours en même temps l'un ou l'autre des sulfates de chaux, tantôt en amas assez puissants ou en couches, tantôt disséminés çà et là en rognons ; ces matières ne manquent jamais entièrement, et seulement elles sont quelquefois remplacées par des cristaux épars dans la masse argileuse. On rencontre très peu d'autres matières dans ces dépôts ; il s'y trouve quelquefois des nids très siliceux, du carbonate de fer et du sulfure de fer en rognons aplatis (Zipaquira dans l'Amérique méridionale), quelquefois des sulfures de plomb (Hall en Tyrol ; montagne de sel da Rio Guallaga et Rio Pilluana, provinces péruviennes de Chachapoyas) et de zinc. Les débris organiques y sont rares ; cependant on observe

à Villiczka des lignites en fragments épars, des fruits et des feuilles cordiformes, qui appartiennent peut-être à des plantes dicotylédones; il s'y trouve aussi de très petites coquilles multiloculaires, et on a observé des fragments de madrépore dans des masses mêmes de sel dont les échantillons ont été récoltés dans les salines de Gmunden, en Autriche.

Les sources salées, qui sont dans beaucoup d'endroits l'objet des exploitations, proviennent sans doute des eaux qui ont traversé les dépôts salifères; ce qui est positif, ce que ces sources sortent des terrains que nous avons indiqués, et qu'il en existe dans les lieux mêmes où le sel en masse est exploité, ou du moins connu.

Outre ce gisement, le sel commun se trouve en solution dans les eaux des mers, dans celles d'un grand nombre de lacs; il s'en trouve quelquefois dans les volcans. Il est aussi en efflorescence à la surface de différentes roches et de dépôts même très modernes; il accompagne presque partout le salpêtre, en assez grande quantité pour pouvoir être un objet de spéculation dans les grandes raffineries, si des ordonnances faites dans l'intérêt des salines, ne s'opposaient à ce qu'on le mit dans le commerce.

#### DES COMBUSTIBLES CHARBONNEUX.

(290) Les combustibles charbonneux, qui sont très abondants à la surface de la terre, surtout dans certaines contrées, appartiennent à presque tous les âges; ils commencent immédiatement au-dessus des terrains primitifs, et ne finissent que dans les dépôts les plus récents de nos continents; ils s'accumulent même tous les jours dans nos mers. Mais ils varient considé-

ablement suivant les différentes époques de formation; on les désigne sous les noms d'*Anthracite*, *Houille*, *Lignite*, *Stipites*, *Bois altérés*, *Tourbe*.

(291) *Anthracite et Houille*. — On nomme anthracite une matière charbonneuse noire, d'un éclat assez vif, qui ne renferme pas de bitume, et qui est très difficilement combustible. On donne le nom de houille à une matière d'ailleurs assez analogue, qui renferme du bitume en plus ou moins grande quantité, qui brûle avec facilité, en se liquéfiant au premier moment, puis se boursoufflant, et qui laisse un charbon poreux, d'un éclat métalloïde, difficile à embraser.

L'anthracite commence à se montrer dans les terrains intermédiaires, où elle se trouve le plus souvent au milieu des roches arénacées désignées sous le nom de *Grauwacke* (Vosges, Harz, Saxe, Bohême, etc.), quelquefois entre des couches de roches amygdaloïdes ou porphyriques. Mais il s'en trouve aussi plus haut dans la série des formations; d'abord avec la houille au milieu de laquelle elle forme des veines, des rognons, ou même des couches (exploitation de la Bleuse Borne à Anzin), puis, et plus particulièrement encore, dans le lias alpin (Dauphiné, Tarentaise, Faucigny, Valais, etc.). Il pourrait bien se faire que cette substance n'eût pas de gisement particulier, et qu'elle ne fût qu'une modification soit de la houille, soit des stipites et lignites, par des circonstances diverses qui ont fait dégager le bitume, ou les matières volatiles quelconques que ces combustibles renferment. En effet, on peut remarquer que l'anthracite se trouve en général dans des terrains où l'on rencontre fréquemment des amygdaloïdes, des dolérites, des porphyres diverses, des gneiss, des schistes argileux ou talqueux, etc., en relation intime avec les matières arénacées qui renfer-

ment le combustible. Or, si comme nous l'avons dit, ces roches peuvent être regardées comme ayant une origine ignée, il est clair qu'elles ont dû, au moment de leur épanchement, exercer une influence considérable sur toutes les matières des terrains qu'elles ont traversés. Elles auront par conséquent modifié les couches combustibles comme toutes les autres, et cela dans les terrains intermédiaires comme dans les terrains secondaires.

Les matières arénacées qui accompagnent l'antracite renferment assez fréquemment des débris organiques; mais ils sont en général très altérés et l'on ne peut guère en déterminer les espèces: on voit seulement que ce sont des débris de plantes qui doivent se rapporter à la famille des fougères et à celle des équisétacés. Ce n'est que dans les dépôts d'antracites du lias alpin qu'on a trouvé des débris susceptibles de détermination, et ce qu'il y a de remarquable, comme nous l'avons déjà dit (p. 555), c'est qu'ils appartiennent aux mêmes espèces de plantes que celles qu'on trouve dans le terrain houiller qui est beaucoup plus ancien.

La houille proprement dite, ne se trouve pas à ce qu'il paraît dans les terrains que l'on regarde encore comme intermédiaires. On ne la trouve que dans les dépôts arénacés qui les suivent, et qu'on a désignés par suite de sa présence, sous le nom de grès houiller. Elle y forme des couches plus ou moins puissantes, dont il existe ordinairement plusieurs les unes au-dessus des autres; il y a des localités où l'on en compte plus de soixante ainsi superposées. Ces diverses couches sont séparées par des grès analogues à ceux qui les enveloppent, mais plus charbonneux, ou par des matières fines assez solides, schisteuses, qui n'en sont que des variétés. Ce sont ces matières qu'on désigne sous les noms d'argile schisteuse (*Schieferthon*), de schiste char-

bonneux, de grès schisteux charbonneux (Kohlenschiefer, Kohlensandschiefer), de schiste bitumineux ou inflammable (Brandschiefer). L'épaisseur des couches varie considérablement : quelquefois elle n'est que de 8 à 10 pouces, mais le plus souvent elle est de 2 à 5 pieds, et va, dans certaines localités, jusqu'à 18 ou 20, et même beaucoup plus. Ces couches puissantes ne sont que des assemblages de couches minces, séparées par des lits à peine sensibles de matières terreuses plus ou moins charbonneuses.

Les matières arénacées, terreuses ou schisteuses qui accompagnent la houille, ou qui se trouvent entre ses couches, renferment un grand nombre de débris organiques qui sont souvent assez bien conservés pour en distinguer nettement les espèces. Ce sont des débris de végétaux qui appartiennent aux familles des équisétacés, des fougères, etc., et présentent des espèces particulières; il n'y a du moins dans ce qu'on a pu étudier jusqu'ici, aucune plante de la famille des cycadés. Ces débris végétaux sont tantôt des empreintes de feuilles, dont les plus abondantes, qui sont analogues à celles de fougère, offrent beaucoup de variétés, tantôt des tiges de plantes, qu'on a souvent comparées à des tiges de bambous. Parmi ces tiges, les unes sont cannelées dans leur longueur, simples transversalement, ou divisées, par de légers étranglements; les autres sont unies : toutes portent des empreintes creuses, dont la forme varie beaucoup, et qui paraissent avoir été le point d'attache d'autant de pétioles. Ces débris peuvent être comparés, les uns à de véritables fougères de haute taille, les autres aux plantes des familles des lycopodes, des aroïdes, des équisétacés. Ces tiges sont quelquefois placées verticalement dans la masse des grès (mine du Treuil, près Saint-Étienne); elles y traversent toutes les

assises, et sont souvent en assez grand nombre. On a observé des faits semblables dans plusieurs localités, où ce sont évidemment des tiges analogues aux précédentes, et dans quelques autres, où l'on a simplement indiqué des troncs d'arbres. Dans tous les cas, le centre des tiges est occupé, soit par des grès, soit par l'argile semblable à celle des couches où elle se trouve; la partie extérieure est convertie en houille ou en anthracite; quelquefois toute la masse est convertie en carbonate de fer compacte ou terreux. Il est à remarquer que toutes ces plantes diffèrent entièrement des espèces de mêmes familles qui végètent à la surface du sol, et que leurs analogues ne se trouvent que parmi les plantes des régions équinoxiales.

Il est très rare de rencontrer des débris d'animaux dans le terrain houiller; on y reconnaît cependant des poissons, qui se trouvent particulièrement dans les rognons de carbonate de fer, dont ils semblent avoir été le centre d'attraction. On a trouvé aussi des coquilles dans quelques dépôts charbonneux, aux environs de Newcastle et autres lieux, en Angleterre, et dans les pays houillers de Rothembourg et Sulb, en Allemagne; ce sont des coquilles bivalves qui ont quelque analogie avec les mulettes et anodontes, ou moules d'eau douce.

(292) *Forme des couches.* — Les couches de houille affectent souvent des formes très remarquables. Elles paraissent être ordinairement à peu près planes, lorsqu'on ne les considère que sur une partie de leur étendue, et elles plongent alors sous un angle ou sous un autre vers un point de l'horizon; mais lorsqu'on les examine en grand, en comparant entre elles les profondeurs des divers puits d'extraction d'une même contrée, ou les différentes inclinaisons de la même couche dans les différentes parties de son étendue, on

reconnait que dans le plus grand nombre des lieux elles sont concaves, et forment ce que les mineurs nomment le *bateau*, ou le *cul de chaudron*. A partir du point le plus bas, les couches se relèvent plus ou moins rapidement de tous côtés, sur les pentes des montagnes environnantes, et leur direction en suit toutes les sinuosités.

Outre la courbure générale que nous venons d'indiquer, les couches de houille affectent encore, dans différents points de leur étendue, des ondulations plus ou moins apparentes, irrégulières, qui, partout où l'on a pu voir la superposition au sol préexistant, sont évidemment le résultat de la forme que présentait la surface de ce dernier, pl. XI, fig. 3.

Les couches de houille présentent encore d'autres circonstances qui ne sont pas moins remarquables. Il arrive fréquemment que la même couche se trouve repliée sur elle-même, contournée de la manière la plus bizarre, en formant un nombre plus ou moins considérable de zigzags plus ou moins ouverts, à branches plus ou moins longues, et qui se répètent de la même manière un nombre infini de fois, dans toute l'étendue du dépôt, fig. 4. Le plus souvent, toutes les couches de la même mine sont contournées de la même manière, et les matières terreuses qui les séparent le sont également. Quelquefois elles sont fracturées à l'endroit des plis, mais il arrive souvent aussi que le coude est parfaitement arrondi et sans aucune rupture.

(293) *Conséquences ou explication des irrégularités.*  
— La disposition générale des couches de houille en forme de bateau, leur direction, qui suit toujours les sinuosités du pied des montagnes environnantes, les diverses ondulations qu'elles présentent dans les différents points de leur étendue, et qui se trouvent en rapport avec les irrégularités du sol sur lequel elles

reposent, mettent hors de doute que ces dépôts se sont formés dans les enfoncements du terrain préexistant, dans les bassins et vallées que les montagnes laissaient entre elles, et qu'ils en ont recouvert le fond et les pentes jusqu'à une certaine hauteur, en se modelant exactement sur leurs parois. La plupart des dépôts houillers que nous connaissons, paraissent réellement autant de petits bassins particuliers, dans lesquels on reconnaît plus ou moins les caractères que nous venons d'indiquer: mais il est rare que les divers bassins soient isolés; on en voit fréquemment un certain nombre qui se rattachent les uns aux autres, et dont l'ensemble constitue une zone d'une direction constante, quelquefois sur un très grand espace. Ce sont, à ce qu'il paraît, des dépôts partiels qui se sont formés çà et là, à la même époque, dans de longues et larges vallées, ainsi que dans les vallons qui y aboutissaient transversalement, ou bien dans de vastes golfes que les montagnes laissaient entre elles. Dans chacun de ces dépôts partiels, on remarque souvent quelques dispositions particulières, qui tiennent sans doute à des circonstances locales; mais dans tous ceux d'une même zone, il existe une disposition et une direction qui s'accordent partout avec la forme et la direction de la grande vallée. Ce n'est que quand le terrain a été soulevé par les roches cristallines qui l'ont traversé, que ces dispositions générales ne peuvent plus être aperçues; en effet, on n'en voit plus que des traces à peine visibles dans les anthracites qui sont intercalés avec des roches cristallines, ou qui sont voisines de ces matières, quelle que soit l'époque de formation à laquelle on puisse les rapporter.

Quant aux replis en zigzags que nous avons fait remarquer, ils ne peuvent être attribués à la forme du sol sur lequel le dépôt s'est formé. Les fractures que



l'on remarque quelquefois dans les différents coudes, et la disposition même des couches, semblent indiquer que la masse du terrain a souffert quelques dérangements. Mais comment se sont faits ces dérangements ? c'est sur quoi nous ne pouvons avoir que des conjectures. La plus simple paraît être la supposition d'un affaissement des parties latérales, et par conséquent très inclinées, sur elles-mêmes, à une certaine époque où la masse n'était pas entièrement consolidée.

(294) *Brouillages, failles, etc.* — Les dépôts de houille présentent aussi divers accidents qu'il n'est pas inutile d'indiquer, et que les ouvriers désignent sous les noms de *brouillage, barement, faille, etc.* Il arrive fréquemment que les couches les mieux réglées se trouvent tout à coup bouleversées en différents points; le combustible et les matières terreuses environnantes se trouvent brisées, et les fragments sont entremêlés de manière que l'exploitation devient impossible, ou ne fournit que des produits de mauvaise qualité. Ailleurs, les couches se trouvent nettement interrompues par des espèces de fentes qui sont remplies de débris du terrain, et souvent de diverses substances tout-à-fait différentes, ce qui force à un travail long et dispendieux pour les traverser et regagner la masse exploitable. Il arrive très souvent qu'après avoir traversé ces dépôts, on ne retrouve pas la couche au niveau de celle qu'on avait jusqu'alors exploitée; on a remarqué, en général, qu'elle est plus basse du côté où plonge le filon, en sorte qu'on est conduit à penser que le terrain s'est affaissé de ce côté.

(295) *Variations de qualités.* — Les qualités de la houille varient fréquemment d'une localité à l'autre; souvent aussi, dans le même lieu, il existe de grandes différences entre les différentes couches, et quelquefois même dans les différentes parties d'une même couche.

Ce qui occasionne les variations les plus sensibles est le plus ou moins de bitume ; il y a des couches qui n'en renferment pas du tout, et par conséquent sont d'une combustion très difficile : c'est alors un véritable anthracite qui se trouve associé avec la houille, soit en veines, soit en rognons, soit même en couches distinctes . comme à l'exploitation de la *bleuse borne*, à Anzin. On remarque, en général, que le bitume est moins abondant dans les couches qui se trouvent très rapprochées de la surface du sol, et la même couche varie de cette manière, suivant qu'elle est plus ou moins profonde ; il en existe une au Creusot, qui, sur une certaine étendue, se trouve presque à fleur de terre, et qui, dans tout cet espace, est incombustible ; plus loin, au contraire, elle s'enfonce dans la montagne et devient alors d'aussi bonne qualité que toutes les autres. Les têtes des couches qui viennent aboutir à la surface du sol sont aussi, en général, de très mauvaise qualité, tant par l'absence du bitume que par suite de la décomposition qu'elles ont subie ; aussi les premiers produits qu'on tire d'une couche attaquée par en haut sont-ils toujours très mauvais, et l'on ne peut juger de la qualité du combustible, que quand on est parvenu à une certaine profondeur. Le mélange des parties terreuses fait aussi varier la qualité de la houille, et souvent au point de la faire entièrement rejeter.

Enfin plusieurs substances disséminées atténuent aussi les qualités de la houille. La plus nuisible est le sulfure de fer, qui s'y trouve quelquefois en petits cristaux ou en rognons. Lorsqu'il est très abondant, le combustible ne peut servir qu'à très peu d'usages, à cause des vapeurs sulfureuses qu'il dégage pendant la combustion, et il est sujet à s'enflammer spontanément lorsqu'il est en tas, par suite de la chaleur que

développe la décomposition de ce sulfure. Le quartz, quelquefois fibreux, le carbonate de chaux, qui ont souvent rempli les fissures du combustible, peuvent aussi être en assez grande quantité pour rendre la houille impropre à divers travaux de fusion.

(296) *Niveau des houilles.* Le niveau auquel se trouvent les dépôts de houille est extrêmement varié; quelquefois ce combustible existe dans les parties les plus basses de nos continents, et au-dessous même du fond des mers, comme à Whithaven en Angleterre, où l'exploitation, qui s'étend à plus d'un quart de lieue sous l'eau, va jusqu'à 50 toises de profondeur au-dessous du fond de la mer; les dépôts de la Flandre sont également très bas, puisqu'on est descendu jusqu'à la profondeur de 200 à 300 toises au-dessous des plaines de cette contrée, qui sont très peu élevées au-dessus des mers. Dans d'autres cas, au contraire, les dépôts se trouvent à de très grandes hauteurs. M. de Humboldt indique celui du plateau de Santa-Fé de Bogota, qui se trouve à 1360 toises au-dessus de l'Océan, et en cite d'autres dans les Cordilières de Huarocheri, qu'on a trouvé très près de la limite des neiges perpétuelles, qui, dans ce climat, s'élèvent à 2300 toises. Dans les Alpes, les dépôts d'antracites sont aussi fréquemment à une très grande hauteur.

(297) *Stipite et lignite.* — Dès qu'on a dépassé le terrain houiller et le calcaire péneen (*zechstein*) qui le recouvre, on commence à trouver des matières charbonneuses qui n'ont plus les caractères de la houille, et qui paraissent s'en éloigner d'autant plus qu'elles sont plus élevées dans l'ordre des formations. On rencontre de ces dépôts d'abord dans le grès bigarré (Wassclone, Sultz les Bains, en Alsace; Bâle, Tubingen, etc.). Les couches des grès qui les avoisinent renferment encore des fougères, mais d'espèces différentes de celles

qu'on observe dans le grès houiller, et pour la première fois on trouve des débris de plantes de la famille des conifères. Ce sont des combustibles de même genre qu'on trouve dans les marnes irisées, et dans les grès (*quadersandstein*) qui se rattachent au lias (Deister, Weffersleben près de Quedlinburg en Allemagne), où ils sont aussi accompagnés de plantes de la famille des fougères. Ce ne sont que de très petits dépôts, de petits lits peu puissants, des nids, qui fournissent un combustible de mauvaise qualité. Ce n'est que dans le lias alpin que les couches combustibles sont plus considérables, et l'on pourrait soupçonner que l'antrace qu'ils présentent alors, appartient à des dépôts analogues à ceux dont nous parlons, modifiés par l'apparition des roches primitives au milieu d'eux; mais il resterait encore la circonstance remarquable de la présence des débris végétaux tout-à-fait semblables à ceux du terrain houiller, qu'on n'a vu nulle part ailleurs dans le voisinage des combustibles que renferme le lias loin des hautes montagnes.

On trouve encore des dépôts de combustibles du même genre dans la partie inférieure de la formation jurassique (plateau de l'Arzac dans l'Aveyron; Neuwelt près Bâle; Whitby dans le Yorkshire, etc.); mais ici se présente une grande quantité de débris de plantes de la famille des cycadées, qui se montrent pour la première fois dans la série des formations. M. Brongniart concevant que ces sortes de matières charbonneuses, qui diffèrent de la houille en ce qu'elles ne se fondent pas au moment de leur combustion, ne donnent pas une braise solide d'un éclat métalloïde, etc., et du véritable lignite en ce qu'elles ne donnent pas d'acide acétique à la distillation, étaient dues aux fougères et souvent aux cycadées, dont on reconnaît les débris dans le voisinage, a proposé de les nommer *stipites*, d'après l'expression *stipe*

par laquelle on désigne en général les tiges des cycas.

Les vrais lignites, composés de débris ligneux de plantes dycotilédones, commencent à se montrer un peu avant la craie, dans les couches terreuses et sableuses (*Wald Clay, etc.*), qui préludent à cette formation (île d'Aix département de la Charente, Hâvre, Anzin, immédiatement avant le grès houiller dans les matières nommées *tourtia* qui appartiennent à la craie; Entreverne près d'Annecy en Savoie, etc.). Mais c'est surtout dans la période qu'on nomme plus particulièrement terrain tertiaire, que ces véritables lignites accompagnées de débris de plantes dycotilédones, deviennent abondantes et paraissent se présenter à divers étages; d'abord au-dessous ou dans les parties inférieures des calcaires grossiers parisiens (Bagneux, Auteuil, Marly; environs de Soissons, Laon, Reims, etc., dans le département de l'Aisne; Voreppe, Isère; Saint-Paulet, près le pont St.-Esprit; Fiolen, près d'Orange; Gardane, Roquevaire, etc., Bouches-du-Rhône; Sisteron, Forcalquier, etc.; Meisner, Habichtswald en Hesse; Saxe, Bohême, Hongrie, etc., etc.), et ensuite dans les parties supérieures des dépôts tertiaires, même plus haut que le gypse parisien (lignites de Vevay, Lausanne et tous les dépôts de la Suisse, de Lobsann près Wissembourg, de Bruhl et Liblar près de Cologne; de Hæring en Tyrol; Vandorf, près Edenburg, Sarisap entre Grann et Bude en Hongrie, etc., etc.)

Les lignites dans les différents terrains, se trouvent de diverses manières: tantôt ce sont des branches isolées, qui semblent avoir été entraînées avec les matières sableuses qui les accompagnent; tantôt les débris végétaux sont tout-à-fait altérés, et semblent avoir été broyés, puis réagglutinés en masses plus ou moins solides. Dans les lignites proprement dits, il n'est pas rare de trouver au milieu des dépôts les plus homogènes des parties qui conservent plus ou moins l'organisation végétale, souvent même les formes extérieures des branches; on reconnaît souvent aussi tous

les passages depuis le bois à peine altéré, jusqu'à la matière charbonneuse la plus bitumineuse, la plus analogue à la houille. Il n'en est pas ainsi dans les dépôts de stipites; la matière est homogène, et l'on n'y aperçoit aucun passage aux végétaux qui ont pu les former.

(298) Les dépôts de lignites et stipites, se composent souvent de plusieurs couches, séparées les unes des autres par des lits plus ou moins épais de matières sableuses argileuses, qui sont quelquefois très mélangées de charbon et de bitume, et susceptibles alors de brûler avec plus ou moins de facilité. Tantôt ces matières ont assez de solidité, et prennent la structure schisteuse; tantôt, au contraire, elles sont terreuses, et presque toujours mélangées de carbonate de chaux; elles sont en général de couleur grise, bleuâtre ou jaunâtre. Elles renferment très fréquemment une grande quantité de coquilles dont le test, devenu blanc, se dessine agréablement sur le fond coloré de la pâte qui les enveloppe. On y distingue clairement des lymnées, des planorbes, etc., et aussi des coquilles turriculées analogues à celles qui vivent dans nos mers. On y reconnaît aussi beaucoup de coquilles bivalves, parmi lesquelles quelques-unes seulement ont quelque analogie avec les bivalves fluviatiles.

(299) Les argiles schisteuses renferment fréquemment aussi des impressions végétales parfaitement caractérisées; ce sont pour les vrais lignites des feuilles de plantes dicotylédones, que l'on peut comparer quelquefois à des feuilles de peupliers, de bouleaux, d'ormes, de châtaigniers, de saules, etc., quoiqu'elles n'appartiennent bien certainement à aucune de ces plantes, ni même à aucune de celles qui croissent aujourd'hui en Europe. Les branches, les tronçons de bois qu'on rencontre dans ces dépôts, appartiennent aussi en très grande partie à la division des dicotylédones, mais il est

presque impossible, malgré leur état de conservation, de reconnaître à quelle espèce ils appartiennent; on y a observé aussi des feuilles et des bois qu'on peut comparer au palmier. C'est dans les dépôts de lignites que se trouvent aussi les matières résineuses que l'on rapporte au succin ou au retinasphalte, le mélite et l'oxalate de fer, etc., qui toutes proviennent probablement du règne végétal.

Il existe aussi dans les dépôts de vrais lignites des terrains tertiaires, ou dans les sables qui les accompagnent, des débris d'animaux mammifères, qui appartiennent, les uns à un genre voisin du mastodonte (*Anthracotherium*); les autres à des rongeurs voisins du genre castor, etc.

Les stipites forment en général des couches ou des amas couchés entre des bancs des matières solides qui les enferment de toutes parts, et ils présentent peu l'idée qu'ils se soient formés dans des bas-fonds. Il n'en est pas de même des lignites, les amas de ces combustibles se trouvent, comme ceux de houille, dans des bassins particuliers, dans les gorges et les vallées que les montagnes les plus anciennes laissaient entre elles. Les couches dont ils sont composés sont quelquefois horizontales sur d'assez grands espaces, quelquefois ondulées, mais non contournées et repliées comme celles de houille; leurs ondulations semblent être plutôt le résultat de quelques affaissements partiels du terrain, que celui des irrégularités qu'aurait présentées le fond du bassin, où toutes ces matières se sont déposées. Les couches sont aussi quelquefois interrompues par des *failles*, mais moins fréquentes et moins épaisses que celles que nous avons indiquées dans les dépôts de houille.

(300) *Bois altérés et tourbes.* — Dans les parties les plus superficielles des dépôts tertiaires, ou plutôt dans

le sol d'alluvion qui a recouvert en dernier lieu nos continents, le lignite fait place aux amas de bois altérés, et aux dépôts de tourbe.

*Les amas de bois altérés* se composent de diverses espèces d'arbres couchés pêle mêle, et ensevelis dans des matières terreuses, toujours de peu d'épaisseur. On y reconnaît distinctement des bouleaux, des chênes, des ifs, et autres arbres résineux, qui sont encore entiers, et dont l'écorce est quelquefois parfaitement conservée; on y rencontre aussi des feuilles et des fruits de ces divers arbres, des noix de coco, etc., des coquilles d'eau douce ou terrestres bien caractérisées, des insectes, des bois de cerf et d'élan, et jusqu'à des instruments domestiques. C'est à ces dépôts qu'on a donné particulièrement les noms de *forêts souterraines* et *forêts sous-marines*, tantôt parce qu'on a cru que c'était de véritables forêts renversées sur place, tantôt seulement par allusion à la quantité d'arbres entiers qu'on y rencontre.

Ces dépôts se trouvent en général sur les bords ou dans le lit des rivières, et sur les rivages des mers. On en connaît un considérable à l'île de Chatou, près de Saint-Germain-en-Laye, un autre au Port-à-L'Anglais, au-dessus de Paris, sur les bords de la Seine. On doit citer le dépôt sous-marin décrit par M. de la Fruglaye, près de Morlaix en Bretagne; ceux qui ont été observés sur les côtes du comté de Lincoln en Angleterre, aux îles de Man et de Sutton, etc. Il s'en trouve aussi à de très grandes hauteurs dans l'intérieur de nos continents, et tel est le dépôt observé par M. Héricart de Thury, au grand plan de la Belle-Etoile en Dauphiné, à 1100 toises au-dessus des mers. Il est à remarquer que la végétation finit aujourd'hui à 900 toises dans cette localité, et qu'on ne reconnaît dans le dépôt aucun des arbres qui croissent actuellement



dans ces montagnes. L'auteur y cite des tronçons de bouleaux, d'aulnes et de mélèzes.

On doit rapporter à cet ordre de formation les grands amas de bois charriés par les courants des mers, et déposés çà et là sur les côtes, souvent à de grandes distances des lieux dont ils sont arrachés. Il en existe des dépôts immenses sur les côtes du Groënland et de l'Islande, et les voyageurs en ont observé, jusqu'au dix-huitième degré de latitude nord, des amas considérables mêlés avec des ossements de baleines.

(301) *La tourbe*, formée par l'accumulation des plantes herbacées, et surtout des plantes qui croissent dans nos marais, appartient encore aux dépôts les plus modernes, et se forme même journellement sous nos yeux. Elle couvre quelquefois des espaces immenses dans les parties les plus basses de nos continents, et remplit les bas-fonds des larges vallées, dont la pente peu considérable empêche l'écoulement des eaux; quelquefois aussi elle forme de très petits dépôts, qui n'ont que quelques toises carrées de surface, dans les petites vallées, les gorges et les bassins des hautes montagnes, et jusque dans les petits lacs qui se trouvent sur des sommets très élevés (Alpes et Pyrénées), dans des points même que la végétation n'atteint plus aujourd'hui. La plupart de ces dépôts sont encore couverts d'eau, ou au moins très marécageux; mais dans quelques lieux ils sont à sec, et il s'est formé au-dessus d'eux des couches de sables et de limon, qui ont suffi pour donner naissance à de belles prairies. Quelquefois ces grands amas de végétaux restent flottants à la surface des eaux, et forment des îlots plus ou moins considérables que les vents poussent à leur à gré.

Les amas de tourbes sont souvent d'une grande épaisseur, et quelquefois ils sont divisés en plusieurs couches, qui se distinguent les unes des autres par le degré

de compacité; les plus profondes, où les végétaux, plus altérés, sont réduits en bouillie plus parfaite, sont plus denses que celles qui se trouvent à la surface. Quelquefois aussi ces couches sont séparées par des lits minces de limon et de matières sableuses, qui semblent indiquer qu'elles se sont déposées à diverses époques, séparées entre elles par des intervalles plus ou moins longs de repos.

(302) On reconnaît parmi les végétaux qui constituent ces dépôts toutes les plantes qui croissent dans les marais, et dont une grande partie appartient à la famille des cypéracés. Il paraît cependant que ces plantes, qui contribuent à la formation de la tourbe, ne sont pas celles qui la constituent essentiellement, et qu'il faut en chercher l'origine dans celles qui sont toujours submergées, comme les sphaignes, les conferves, etc., etc., qui sont entièrement décomposées. Il y a aussi des dépôts, mais beaucoup moins étendus que les précédents, et qu'on trouve principalement dans les pays élevés, qui sont presque entièrement composés de feuilles de différents arbres, sans doute charriées autrefois par les eaux, et accumulées dans les différents points où elles se trouvent aujourd'hui. On en cite qui sont entièrement formés de mousses et de graminées; M. De-candolle en a observé en Hollande, qui étaient tout composés de warec, et qu'on doit probablement regarder, comme des dépôts analogues à ceux que les vagues forment journellement sur nos côtes.

(303) On rencontre fréquemment au fond des tourbières des arbres entiers, qui ont même conservé toute leur solidité. On assure qu'on en a observé qui portaient l'empreinte de la hache, et qui étaient placés à côté de leurs souches, de sorte qu'il faut croire qu'ils avaient été abattus par la main des hommes, et laissés sur place par une cause ou par l'autre.

Les coquilles fluviatiles et terrestres, identiques avec  
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

celles qui peuplent encore nos ruisseaux, nos marais, nos fontaines, nos prairies, sont aussi très abondantes dans la plupart de nos tourbières, ou du moins dans les parties supérieures, qui ne sont pas encore très altérées. On en trouve beaucoup moins à la profondeur, soit qu'elles aient été repoussées à la surface par l'élasticité de la tourbe, soient qu'elles aient été détruites, ou enfin qu'il y en ait eu beaucoup moins à l'époque où ces dépôts ont commencé à se former. On y rencontre aussi beaucoup de débris de mammifères qui appartiennent à des espèces qui vivent encore sur les lieux, comme le cerf, le chevreuil, le bœuf, etc. etc.

(304) Enfin, on trouve dans ces dépôts beaucoup de traces de l'industrie humaine, des armes, des outils de fer, des bois de construction. On y a découvert des chaussées parfaitement conservées, et submergées aujourd'hui par ces attérissements. Mais ces divers objets n'annoncent pas toujours que le dépôt se soit accru pour les recouvrir successivement; tout prouve, au contraire, qu'ils n'ont fait que s'enfoncer dans la tourbe, par suite de la mollesse qu'elle conserve, surtout lorsqu'elle est constamment couverte d'eau. On remarque en effet que les corps lourds qu'on laisse à la surface de ces dépôts s'y enfoncent petit à petit, et qu'à peine leur partie supérieure a dépassé le niveau du terrain, ils sont promptement recouverts par le déversement de la matière au-dessus d'eux. C'est ainsi que les chaussées primitivement construites à la surface des marais tourbeux se sont trouvées englouties et recouvertes de plusieurs pieds de tourbe: il en arrive de même à toutes les constructions qu'on n'a pas soin de faire sur des cadres composés de poutres et de mardriers, à moins qu'on ne se soit donné la peine de dessécher le terrain.

Cette mollesse de la tourbe se conserve même dans

les dépôts dont la surface est desséchée, couverte de limon et de végétation, parce que cette substance retient l'eau avec une très grande force. Il résulte de là plusieurs circonstances propres à ces terrains : d'un côté, le moindre effort semble les comprimer, de sorte qu'ils manifestent une élasticité très prononcée; qu'ils tremblent sous les pieds, ce qui les fait connaître lors même qu'ils sont le plus masqués par la végétation. D'un autre côté, cette mollesse donne à la matière la faculté de presser dans tous les sens, comme le liquide même dont elle est imbibée, de sorte que quand on y creuse des fosses, elles se trouvent comblées en plus ou moins de temps, ce qui a fait penser que, même dans les endroits secs, la tourbe se régénérerait assez promptement. Enfin, il résulte de cette propriété, que les corps légers ne peuvent rester dans l'intérieur du dépôt, et qu'ils sont repoussés constamment à la surface : c'est ce qui arrive aux pilotis enfoncés dans un terrain tourbeux, lorsqu'ils ne sont pas recouverts de constructions pesantes.

(305) Il est impossible de mettre en doute que la tourbe se forme journellement; mais il ne s'en fait pas indifféremment partout. Il y a des marais qui en sont remplis, d'autres qui n'en présentent aucune trace, de sorte qu'il est évident que ce n'est que sous des conditions particulières qu'elle peut être produite. En général il ne s'en forme pas dans les eaux courantes, ni dans les masses d'eau stagnante profondes; il ne s'en fait pas davantage dans les flaques d'eau qui peuvent se dessécher pendant les chaleurs de l'été, ni dans les eaux qui renferment quelques sels en solution. Après ces conditions, il paraît que l'espèce de végétation qui peut s'établir dans ces eaux n'est pas indifférente, et que ce sont les sphaignes, surtout le sphaigne à larges feuilles, avec diverses sortes de conferves,

qui concourent le plus puissamment à la production de la tourbe, qui forment les premiers dépôts, sur lesquels peuvent ensuite croître toutes les plantes aquatiques dont les débris augmentent la masse beaucoup plus rapidement; peut-être est-ce réellement parce que les couches les plus basses des amas tourbeux sont uniquement formées par des plantes toujours submergées, et plus facilement décomposées, qu'elles nous offrent plus d'homogénéité que celles de la surface. D'après ces observations, on a proposé, pour hâter la production de la tourbe, de former à la surface des eaux, avec des bottes de sphaignes, de petites îles flottantes, sur lesquelles on ficherait des pieds de laiches, de scirpes, de roseaux, etc., etc. Ces petites îles croîtraient tous les ans en hauteur, en largeur, s'enfonceraient graduellement, et se joindraient enfin aux dépôts qui se formeraient au fond.

On ne sait pas encore positivement combien de temps il faut pour qu'il se forme de bonnes tourbes dans un marais. Deluc a avancé qu'en Hollande il ne fallait pas plus de trente ans pour que les fosses tourbeuses se remplissent de tourbes fibreuses aux dépens des plantes aquatiques qui peuvent y croître. Roland de la Platière, qui a écrit un excellent ouvrage sur l'art du tourbier, et qui connaissait particulièrement les tourbières de France, indique cent ans comme terme moyen de la régénération de la tourbe, et encore d'une tourbe fibreuse de très mauvaise qualité. Il paraît cependant que dans les endroits peu profonds, la tourbe peut se former en beaucoup moins de temps, s'il y croît une grande abondance de conferves; van Marum a vu se former cinq pieds de tourbe dans un bassin de son jardin, en moins de cinq ans.

(306) *Guano*. — Nous venons de voir les débris de végétaux plus ou moins altérés, former çà et là des

dépôts plus ou moins considérables à la surface du globe. Les débris animaux sont beaucoup plus rares, et jusqu'ici nous n'avons qu'un seul exemple de matière d'origine purement animale accumulée en masse d'une certaine étendue ; c'est le *guano*, que nous avons cru devoir ranger, aussi-bien que la tourbe, dans le tableau des espèces minérales. Cette substance, d'origine tout-à-fait récente, forme des dépôts de 50 à 60 pieds d'épaisseur, et d'une étendue considérable, aux îles de Chinche, près de Pisco, sur les côtes du Pérou, et dans plusieurs autres plus méridionales, telles que Ilo, Iza, Arica, etc. ; elle a été observée par M. de Humboldt dans son important voyage aux régions équinoxiales. Ces îlots sont habités par une multitude innombrable d'oiseaux, surtout de hérons et de flamands, et il paraît que ce sont leurs excréments qui ont formé ces immenses dépôts.

#### GITES MÉTALLIFÈRES.

(307) *Idées préliminaires.* — Quelques substances métalliques, qui sont particulièrement celles dont on fait le plus grand usage, se trouvent dans la nature, en dépôts considérables. Tantôt elles forment à elles seules des amas puissants dans des roches de diverse nature, ou bien se trouvent disséminées en veines, en nids, en rognons, dans des amas ou des couches de matières terreuses ou pierreuses, et leur ensemble forme un gîte susceptible d'exploitation ; tantôt elles se trouvent dans des filons dont elles forment, sinon toujours la partie dominante, au moins celle qui offre le plus d'intérêt.

Ces dépôts précieux se trouvent à divers étages dans la série des terrains ; mais la plus grande partie, après s'être montrée en abondance dans tous les genres de roches de la série primitive, se termine tout à coup

vers le milieu des terrains secondaires ; les minerais de fer sont les seuls qui se continuent plus avant, et jusque dans les dépôts qui préludent à la craie ; ils disparaissent ensuite à leur tour, ou ne se trouvent plus que comme matière colorante dans quelques dépôts terreux des terrains tertiaires.

Les dépôts de gneiss et de micaschiste sont en Europe les terrains métallifères par excellence ; il n'est presque aucune espèce de minerais qui ne s'y trouve, et en assez grande abondance pour être l'objet d'une exploitation importante ; plusieurs même ne se trouvent que dans ces terrains. Les terrains intermédiaires et la partie inférieure des terrains secondaires sont beaucoup moins riches, et les minerais y sont beaucoup moins variés. Mais cet ordre de choses que la France, l'Allemagne, la Suède, la Norvège, nous présentent assez clairement, n'est cependant pas une loi générale ; car dans l'Amérique équinoxiale le gneiss est peu métallifère, et ce sont les dépôts intermédiaires, les schistes, les porphyres siénitiques, les calcaires, qui terminent la série, ainsi que plusieurs dépôts secondaires, qui renferment la plus grande partie des richesses immenses de cette contrée.

Toutes les substances dont les métaux usuels forment la base ne sont pas également abondantes dans la nature ; la plupart des nombreuses espèces que l'on voit figurer dans nos classifications, ne sont que des raretés qui se trouvent çà et là dans les cavités que présentent certains amas, ou filons, formés par les minerais abondants. Ceux-ci se réduisent à un très petit nombre d'espèces, qui la plupart sont des sulfures, quelques oxides, et quelques carbonates. Ces matières constituent quelquefois à elles seules des amas très puissants, ou en forment la masse principale ; mais le plus souvent elles ne se trouvent que dans

des matières pierreuses, quarzeuses, feldspathiques, etc., qui forment la masse principale du dépôt : c'est ce qui a toujours lieu dans les filons. Les minerais sont alors en petits lits parallèles aux strates du terrain, en veinules qui traversent la masse pierreuse dans toutes les directions, en nids ou en rognons cantonnés çà et là sans aucun ordre, ou enfin disséminés irrégulièrement en particules à peine visibles. Tantôt ces dépôts ne renferment sensiblement qu'une seule espèce de minerais ; tantôt, au contraire, ils en offrent plusieurs, que l'on est en quelque sorte forcé d'exploiter en même temps, et qui, dans quelques cas, paraissent être de formation contemporaine, tandis que, dans d'autres, ils ont été manifestement formés à des époques différentes.

(308) *Minerais de fer.*—Il y a dans la nature cinq espèces minérales, dont le fer est la base, qui se trouvent en dépôts assez considérables pour mériter une attention particulière, et qu'on exploite en une multitude de localités pour en tirer le métal : ce sont l'oxide magnétique de fer, le fer oligiste, le peroxide, l'hydroxide et le carbonate. Il existe de ces minerais de l'une ou de l'autre espèce, dans tous les terrains, depuis les plus anciens jusqu'aux plus modernes, mais il est à remarquer en général que, dans les terrains anciens, ce sont presque toujours les oxides doués de l'éclat métallique, et que depuis les secondaires, ce sont au contraire les hydroxides, qui sont en général d'un éclat terreux.

(309) *L'oxide magnétique* constitue des dépôts très considérables dans les terrains primitifs ; il appartient quelquefois au terrain de gneiss indépendant, et plus souvent encore au terrain de micaschiste, et spécialement aux roches amphiboliques et de schiste onctueux qui en font partie. Il est le plus ordinairement en



amas , qui sont quelquefois assez considérables pour former à eux seuls des montagnes entières (Taberg en Smolande , etc. ) , ou bien en bancs puissants qui souvent se répètent plusieurs fois dans l'étendue , en hauteur , d'une même montagne (Dannemora , île d'Ut , Persberg , Nord-Marken , etc. , en Suède ; Arandal , Krageroe , en Norwège ; Blagodat , Keskanar , dans les monts Ourals ; monts Altaï ; Cogne , Traverselle , etc. , en Piémont ; Prakendorf , etc. , en Hongrie ; États-Unis d'Amérique , etc. , etc. ) .

Cette espèce de minerais est aussi très commune en nids , en cristaux disséminés , dans toutes les roches amphiboliques et serpentineuses des terrains de gneiss et de micaschistes , ainsi que dans les siénites et les diorites porphyriques ; on en trouve même dans les produits dont l'origine ignée n'est plus contestée , dans les trachytes , les basaltes , les tufs basaltiques . C'est de la destruction de ces diverses roches que proviennent tous les sables ferrugineux titanifères qu'on rencontre çà et là dans les ruisseaux , les rivières , sur les bords des mers , (Auvergne , Saint-Quay en Bretagne , Albano , Frascati , Ischia , Sicile , Angleterre , Saxe , Bohème , Hongrie , Martinique , Guadeloupe , etc. , etc. ) qui sont quelquefois assez abondants pour être employés dans les usines (Albano) .

(310) *Le fer oligiste* se rencontre aussi dans les mêmes terrains et les mêmes circonstances , constituant quelquefois des montagnes entières (Gellivara en Laponie) , des amas ou filons puissants (île d'Elbe , Framont , dans les Vosges ; Grengesberg , Norbœrche , Norberg , Langbanshytta en Suède) . Quelquefois il remplace le mica dans le micaschiste , et il en résulte des minerais en roches , (*Eisen glimmerschiffer* , des Allemands ; *Sidérocriste* Brongniart) d'une étendue et d'une épaisseur considérables (montagne d'Itacolumi , etc. au Brésil ; côte de Coromandel , etc. ) . Il est assez rare que ces grandes masses de fer oligiste soient absolument pures ; elles sont presque toujours mélangées

soit d'oxide magnétique, ( Dannemora, et presque toutes les mines de la Suède, ) soit de peroxide, tantôt d'un éclat métallique (Gellivara, Kensivara, etc., en Laponie; mine du Brésil), tantôt terreux (Framont; île d'Elle), quelquefois disséminées assez uniformément, surtout l'oxide magnétique, et souvent en veines, en nids, en filons.

(311) *Le peroxide de fer*, ou mine de fer rouge, constitue quelquefois à lui seul des gîtes plus ou moins considérables, tantôt en filons, tantôt en couches (dans les terrains primitifs (Somorostro en Biscaye? Minas-Geraes, au Brésil.) ou dans les terrains regardés comme intermédiaires (Elbingerode, Lauterberg, Altenau, Zorge, Leerbach au Harz.). Il forme aussi de petits filons ou nids dans ces derniers (Gömör, en Hongrie), et se trouve dans un grand nombre de lieux avec les divers minerais de fer, tantôt en grande quantité (île d'Elbe; Framont), tantôt seulement en petits amas, en stalactites, (dans les dépôts d'hydroxide). Il existe également dans les terrains secondaires, et même dans le lias (la Voulte, Ardèche). Enfin, il colore les argiles qui proviennent de la décomposition des laves (Auvergne, Vivarais, etc., ou celles qu'on trouve dans quelques parties des terrains secondaires.

(312) *L'hydroxide de Fer* est encore un minéral extrêmement abondant, et peut-être plus répandu dans la nature que tous les autres. Il commence à se montrer dans les derniers dépôts primitifs, où il forme des amas ou des couches puissantes, soit au milieu des schistes argileux qui en sont eux-mêmes imprégnés (Zelesnik, Bethler, etc., dans le comitat de Gömör en Hongrie); soit entre des couches de diverses roches qui avoisinent cette même époque (Tiszolcz, Rhonitz en Hongrie; Scheibenberg en Saxe). On le cite en filons, qu'on peut soupçonner d'être souvent des couches, dans un grand nombre de localités (Taurinya et Fillois dans les Pyrénées; Ranzic, dans l'Arrière; Articolé, en Dauphiné; en Savoie, en Suisse, en Bo-

ême, etc.). Il se trouve en abondance dans les dépôts secondaires; d'abord dans le grès houiller ou le grès rouge (Mainland, îles Shetland; Honda, Nouvelle Grenade; toute la pente nord des Vosges; Wolffstiege, Saxe-Gotha, etc.); dans les calcaires péniens qui les recouvrent (Radzionkau, Haute-Silésie), où il accompagne le plomb, la calamine, etc.; dans le grès bigarré, le calcaire conchylien (Sulzburg près Naumburg) les grès du lias (Metz). Mais c'est surtout dans la masse des calcaires compactes et oolitiques semblables à ceux du Jura, qu'il est d'une abondance extrême; il y forme des couches puissantes, oolitiques (*minerais de fer en grains*), dont la France nous offre un très grand nombre d'exemples (Normandie, Berry, Bourgogne, Bourbonnais, Lorraine, Franche-Comté, etc.), et dont il existe aussi des dépôts dans un grand nombre d'autres contrées (Suisse, Wurtemberg, Bavière, etc., etc.); il renferme alors des coquilles et des madrépores de diverses espèces. L'hydroxide de fer remplit fréquemment aussi les fentes de ces terrains calcaires, et forme ainsi des filons ordinairement peu profonds; enfin il s'y trouve en amas enveloppés de toutes parts, et semble quelquefois avoir rempli des cavernes, aux parois desquelles on reconnaît d'anciennes stalactites (Carinthie).

C'est encore l'hydroxide de fer qu'on rencontre dans le grès ferrugineux (*ironsand des Anglais*) qui prélude à la craie (Savignie, près Beauvais; Angleterre, etc.), et dans les grès supérieurs des terrains tertiaires, où il n'est plus que matière agglutinante ou colorante (environs de Paris, etc.). Enfin cette même substance à l'état terreux, et connue sous le nom de fer limoneux (*Minè de marais, Morasterz, Sumpferz*), appartient aux derniers dépôts de nos continents, et paraît même se former tous les jours; elle y constitue encore des dépôts assez considérables (plaines basses de la Silésie, du Brandebourg, de la Livonie; base orientale des monts Ourals), dans lesquels on indique

des débris végétaux passés à l'état d'hydroxide de fer.

(313) *Le carbonate de fer* est encore une substance d'une très haute importance, qui forme des filons, et des amas quelquefois immenses, dans différents terrains. Il faut en distinguer géologiquement deux espèces; le carbonate spathique, qui se trouve en amas et en filons dans les terrains primitifs (Baigorry, Vic Dessos, etc., aux Pyrénées; Allevert, en Dauphiné; Saint-George de Heurtière, Laprat et les Fourneaux, en Savoie; Eisenerz, Schaldming, en Styrie; Erzberg, Huttenberg, etc., en Carinthie; Stahlberg au pays de Siegen; Stahlberg de Schmalkalden; Oyarsun et Berha dans le Guipuscoa, en Espagne), et le carbonate lithoïde qui appartient au grès houiller (environs de Saint-Etienne; Aubin, Aveyron; Anzin, etc., Nord; la plupart des mines de l'Angleterre; Silésie; partie orientale des Karpathes, en Hongrie et Galicie): ce dernier se trouve tantôt en couche dans le grès même (Hongrie et Galicie), tantôt avec la houille (France, Angleterre, Silésie).

(314) *Minerais de manganèse.* — Deux espèces se présentent dans la nature en grandes masses qui forment des couches ou des amas puissants; le peroxyde et l'hydroxide. Le premier se trouve fréquemment dans les terrains primitifs (Saint-Marcel, en Piémont; Saint-Jean de Gardonnenque, dans les Cévennes), dans les dépôts qui se rattachent à l'euphotide (La Rochetta, pays de Gènes), dans le grès rouge (La Romanèche, près de Mâcon; ouest de Cuanca, au Mexique) ou dans les porphyres qui en dépendent (Ilfeld, au Harz), dans les calcaires supérieurs (Elbingen, près Stuttgart; environs d'Alais, etc.) et dans les calcaires jurassiques (Thivier près Périgueux; Oiselière près Cullan, Cher.) Il se trouve en outre dans les dépôts d'hydroxide de fer des terrains primitifs et secondaires, dans ceux de carbonate de fer, et il y est plus ou moins abondant, tantôt sous la forme de stalactite, tantôt terreux.

(315) *Minerais de cuivre.* — Deux sortes de mi-

nerais sont importantes sous les rapports géologiques, en ce qu'elles constituent des gîtes plus ou moins considérables ; ce sont le double sulfure de cuivre et fer, ou cuivre pyriteux, et les carbonates.

*Le cuivre pyriteux*, qui est peut-être l'espèce la plus importante, se trouve plus particulièrement dans les terrains primitifs, dans le gneiss ou le micaschiste, où il est quelquefois en filons, et le plus souvent en amas ( Chessy, Saint-Bel, près Lyon ; Baigorry, Pyrénées ; Herren-Grund, Libéthen, près Neusohl, en Hongrie ; Smölnitz, Gölmitz, etc. ; comitat de Gömör ; Moldava, Oravitz, Dognazka, au Banat ; Kupferberg et Rudolstadt, en Silésie ; Kupferberg et Kuttentplan, en Bohême ; Kalwang, en Styrie ; Rohrbüchel, en Tyrol ; Rœras, bailliage de Drontheim et Christiania, en Norwége ; Fahlun, Garpenberg, Niakopparberg, etc., en Suède ; Allagne et Ollomont, en Piémont, etc. ) dans les euphotides ( vallée de Sajo, vers Dobschau ), ou les roches schisteuses subordonnées ( dernières pentes des Alpes, vers le Piémont ). Il s'en trouve aussi dans les schistes argileux, qui se rapprochent le plus des terrains primitifs ( une partie des mines du Cornwall, d'Anglesea, en Angleterre ; du comté de Wisclow, en Irlande ), ou qui sont intercalées avec des dépôts arénacés plus ou moins grossiers ( Ramelsberg et autres mines du Harz ; Herren-Grund, près de Neusohl, en Hongrie ; Zamabor en Croatie ) ; dans la serpentine, qui alterne avec le schiste argileux ( Venezuela, Amérique méridionale ; Cuba ). Enfin ce minerais existe dans les premiers dépôts de la période secondaire, soit dans le grès rouge, soit dans les schistes bitumineux, désignés alors sous le nom de schiste cuivreux, ou *kupferschiefer*, qui sont subordonnés au calcaire pénién ( île Mainland, la plus considérable des îles Shetlandes ; Yorkskire ; mines du Mansfeld, de la Hesse et Magdebourg ; Conradwald, Prausnitz, Hassel, en Silésie ; Suhl et Goldlauter, en Saxe ; Ceara, plaines du Brésil ; Pasco, Andes du Pérou ; Pongo de Lomasiana, rives de l'Amazone ; Mon-

dragon, plateau de Potosi). Dans ce dernier gisement, on trouve entre les feuillets du schiste, des empreintes de poisson, tantôt carbonées, tantôt à l'état de cuivre pyriteux, et des empreintes de plantes qui appartiennent à la famille des lycopodiées.

*Le carbonate de cuivre*, se trouve aussi dans toutes les mines précédentes, mais il n'y est en général que comme partie accidentelle : c'est tantôt le carbonate bleu cristallisé, tantôt le carbonate vert, mamelonné, fibreux, terreux, etc., qui se trouvent l'un et l'autre dans les cavités de la mine, rarement en quantité notable. Les plus beaux échantillons qu'on trouve dans nos collections, proviennent des mines du Banat, des mines d'Angleterre, du Chili, de la mine de Kleopinski, dans les monts Altaï. Il paraît que le carbonate de cuivre est très abondamment répandu dans les dépôts argileux qui renferment le sulfure de cuivre dans les monts Ourals : il y est exploité en même temps que ce minéral. Les variétés fibreuses denses, qui forment çà et là de petits amas, sont exploitées pour être employées dans les ornements (Goumechefski).

Le gisement principal du carbonate bleu, en grande masse, paraît être le grès rouge ; c'est ainsi qu'il se trouve avec une quantité plus ou moins grande de protoxide dans les nouvelles mines de Chesy, près Lyon, d'où viennent aussi les plus beaux groupes de cristaux ; plusieurs petites exploitations de la Thuringe ont lieu sur des gîtes analogues où le carbonate se trouve mélangé avec le grès. C'est probablement au même gisement qu'il faut rapporter les amas indiqués par Patrin sur le revers occidental de la chaîne des monts Ourals, dans des dépôts de matières sableuses et argileuses qui renferment des débris végétaux que le même auteur nomme palmiers et bambous.

(316) *Minerais de plomb.* Le sulfure de plomb

seul minerai de ce métal qui se trouve en dépôt considérable, appartient à toute la série de terrains, depuis les primitifs jusqu'aux secondaires. Il n'existe peut-être pas dans le granite le plus ancien; mais il se montre en abondance dans les granites plus modernes, dans le gneiss, dans le micaschiste et les schistes argileux primitifs, et se trouve le plus souvent en filons, quelquefois en amas (Villefort et Viallas, dans la Lozère; Vienne, Isère; Viconago, pied du Saint-Gothard; Wolfach, pays de Baden; Bleystadt, Przibram, Mies, Joachimsthal en Bohême; Linarès, en Andalousie; Clifton, Tyndrun, Stronthian, Monaltric, en Ecosse; Northampton, dans le Massachuset). Il s'en trouve dans le calcaire grenu subordonné, (Sala, en Suède; Schwarzenberg, en Saxe; Zmeof, Tschakyrski, en Sibérie). Il existe aussi en très grande quantité dans les dépôts cristallins intermédiaires, où il est le plus souvent en couches: rarement dans la sienite ou les roches qui en dépendent (Scharfenberg, près Meissen, en Saxe; Giromagny, Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges; Schemnitz, en Hongrie; Banat, etc.) et dans les amygdalites (Dillenbourg, en Vétéranie); mais plus souvent dans la grauwacke grossière ou schisteuse (Poullaoen, Heulgoat, en Bretagne; Brassac, département du Tarn; Klausthal, Zellerfeld, Lauthental au Harz), ainsi que dans le calcaire métallifère qui termine cette période de formation (Vedrin, etc., Pays-Bas; Bleyberg et Willach en Carinthie; Derbyshire, Northumberland, etc., en Angleterre; Danto, au Mexique). Il est encore très abondant dans les terrains secondaires, où presque partout il se trouve en couches. Il existe d'abord dans les grès qui forment la base de cette période (Leadhills, Cumberhead, Wanlockhead, Lothian et Fifeshire, en Ecosse, etc.), et où quelquefois il est disséminé en très petits rognons sur une grande étendue de couches (Bleyberg près de Gemund, provinces prussiennes Rhénanes; Erlenbach, Bas-Rhin; Saint-Avold, près de Metz). Il se trouve encore dans les dépôts calcaires, ou Zechs-

tein, qui recouvrent le grès bouillier (Tarnowitz, en Silésie; Bobrownik, Sacrau, Olkusz, Slawkow, en Pologne; Lomo del Cardonal, Lomo del Toro, district de Zimapan; Linarès et nouveau Saint-Ander, au Mexique), ou bien dans le calcaire magnésien qui remplace le zechstein (comté de Durham, en Angleterre). Enfin il existe dans le lias (Combecave, département du Lot, etc.) et il paraît que ce sont là les dépôts les plus modernes.

(317) *Minerai d'argent.* En Europe, on peut dire qu'il n'y a qu'une seule espèce de minerai d'argent qui offre quelque importance; c'est le sulfure de ce métal: mais il en est plusieurs autres qui forment la plus grande richesse des mines de l'Amérique équatoriale.

*Le sulfure d'argent* est le minerai de ce métal le plus abondant, celui qui a fourni la plus grande partie de l'argent du commerce; il paraît se trouver presque partout en filons. Il existe d'abord dans le gneiss où le micaschiste (Mines de Kongsberg en Norvège; environs de Freyberg en Saxe, Johangeorgenstadt, Schneeberg, Marienberg; Altwolfach en Souabe; Smeof et Kolivan en Sibérie; Condorasto et Pomallata, Amérique équinoxiale); dans les calcaires subordonnés (Sala en Suède), dans le granite alpin (Allemont en Dauphiné), dans une roche désignée sous le nom de *Diorite schisteuse* ou *grünsteinschiefer* (Siebenlehn, Rosenthal, Gersdorf, et Roswein en Saxe). Ils'en trouve en Amérique des filons très puissants et d'une richesse prodigieuse dans le schiste argileux intermédiaire (districts de Guanaxuato, Zacatacas et Catorce; Cerro del Potosi). La siénite et le diorite porphyrique des terrains intermédiaires renferment également des mines d'argent très célèbres (Schemnitz, Kremnitz, Nagy Banya, Kapnik, en Hongrie; Nagygag, Felső Banya, etc., en Transylvanie; Pachuca, Moran, Real del monte, etc., au Mexique; Sainte-Marie-aux-Mines, Lacroix, etc., dans les Vosges). Les derniers calcaires inter-



médiaires n'en sont point dépourvus ( Veta negra de Sombrerete, au Mexique). Enfin, le zechstein, qui se trouve à la partie inférieure du terrain secondaire, en présente des mines extrêmement riches ( Tehuilo-tepec et Tasco au Mexique, où les filons passent du calcaire dans le micaschiste; Hualgayoc, Micuipampa, Yauricocha, etc., au Pérou): C'est dans ce dernier gisement que se trouvent les fameux *Pacos*, ou minerais de fer hydraté remplis de filets d'argent natif et de chlorure d'argent, qui forme entre les bancs calcaires des couches ou des amas considérables. Il y a peu d'exemples de dépôts argentifères dans les terrains qui se rattachent aux produits ignés; les seuls que je puisse citer avec quelque certitude sont ceux de Königsberg et de Telkebanya en Hongrie, où le minerai est disséminé dans des amas terreux qui se trouvent au milieu des conglomérats trachytiques: peut-être une partie des minerais de Vallalpando, disséminés aussi dans des matières terreuses et au milieu des porphyres à feldspath vitreux, se rattachent-ils encore à cet ordre de choses.

Le *double sulfure d'argent et d'antimoine* (argent rouge, Rothgulthigerz), qu'on ne trouve souvent qu'en très petite quantité dans les différentes mines d'argent ou de plomb argentifère de l'Europe (Kongsberg en Norwège; Joachimsthal en Bohême; Schemnitz, Kapnik, en Hongrie; Andreasberg, au Harz; Sainte-Marie-aux-Mines dans les Vosges, etc.), est quelquefois, en Amérique, la partie la plus importante du dépôt (Sombrerete, Cosala, Zoalga). Il en est de même du *sulfure d'argent et d'arsenic* (Sprödglanzerz, Röschgewachs), qui accompagne presque toujours le premier; il est quelquefois très abondant dans certaines parties des filons (Schemnitz en Hongrie), et peut même en être regardé comme partie constituante (Mexique et Pérou).

Le *chlorure d'argent*, qu'on ne trouve en Europe

et en Asie que dans quelques filons argentifères, en très petits cristaux ou sous forme de léger enduit (Freyberg, Johangeorgenstadt, Schneeberg, en Saxe; Joachimsthal en Bohême, Schemnitz en Hongrie, Kongsberg en Norvège, Zmeof en Sibérie), est un minéral très important dans l'Amérique équinoxiale, où il fait souvent partie des minerais terreux désignés au Pérou sous le nom de *Pacos*, et au Mexique sous le nom de *Colorados* (districts de Zacatecas, de Fresnillo, de Catorce, au Mexique; Huantajaya, Yauricocha, etc, au Pérou).

(318) *Minerais d'étain.* Le deutocide d'étain est la substance qui constitue les minerais d'étain, celle dont on tire le métal dans toutes les parties du monde. Les gîtes se trouvent en général dans les terrains anciens, où le minerai forme des filons, plus souvent des amas, et même fréquemment est disséminé dans la roche. Dans quelques cas, ces minerais appartiennent au terrain de gneiss; ils se trouvent disséminés dans cette roche (bords de Rio-Paraopeba, près de Villarica), ou bien dans des granites grossiers, des roches de quartz et de mica subordonnées à ce terrain, et qui semblent être les préludes des dépôts granitiques supérieurs (Geyer, Schlackenwald, en Bohême); mais il paraît que les dépôts les plus nombreux et les plus considérables se trouvent dans les roches granitiques ou porphyriques placées entre le gneiss et le micaschiste, et dépendants, par conséquent des pegmatites, ou en tenant la place (les mines de Cornwall, placées dans le granite; Altenberg, Zinwald, sur les limites de Saxe et de Bohême; les mines reconnues à Saint-Léonhard, près de Limoges; les faibles indices de Fimbo, Brodbo, en Suède). Il s'en trouve aussi abondamment dans les terrains intermédiaires, dans les porphyres et les schistes qui en forment la base (peut-être Altenberg en Saxe, Steben, Hartenstein, les mines de Cornwall situées dans le Killas). Le terrain secondaire n'en est pas dépourvu, car on en

connaît des veines dans les porphyres du grès rouge (San-Felipe, au Mexique). Enfin, il s'en trouve en très grande quantité dans des dépôts d'alluvion dont on ne peut trop bien dire l'âge (Saint-Denis, Saint-Austle en Cornwall; tous les dépôts exploités au Mexique, dans les intendances de Guanaxuato, de Zacatacas, Guadalupe, dont le minerai est l'oxide d'étain concrétionné; aux Indes; sur la côte de Piriac en Bretagne, etc.)

(319) *Minerais de mercure.* Le mercure est un métal assez rare dans la nature, et dont le minerai se trouve presque uniquement dans les terrains secondaires: on ne connaît qu'un très petit nombre d'exemples de gisements dans le terrain primitif, où d'ailleurs il est en très petite quantité. Le plus considérable de ses gisements dans ce terrain est celui de Szlana, sur les bords du Sajo, dans le comitat de Gömör, en Hongrie; le minerai y est en couches peu épaisses, ou en amas, au milieu d'un micaschiste onctueux: on en cite aussi des traces dans plusieurs autres contrées (Saxe, Bohême, Silésie.)

Le gîte principal des minerais de mercure, dans toutes les parties du monde, est dans les dépôts qui commencent la série des terrains secondaires. Tantôt il est dans le grès rouge (Menildot, département de la Manche, ancien duché de Deux-Ponts; Almaden en Espagne; Durasno entre Terre-Nueva et San-Luis-de-la-Paz, au Mexique; Cuença, plateau de Quito, Nouvelle-Grenade; Cerros de Guazun et Upar, au nord du village d'Azoque, au Pérou), ou dans les porphyres subordonnés (Deux-Ponts, San-Juan-de-la-Chica, au Mexique, et au Cerro-del-Fraile, près la ville de San-Felipe, où la roche renferme en même temps des veines d'étain); tantôt il appartient à des couches subordonnées au calcaire pénéen, ou plutôt qui préludent à ce calcaire, d'une part, dans les schistes bitumineux (Idria en Carniole), d'une autre dans des grès quarzeux (Huancavelica au Pérou); enfin, il forme des

filons ou amas dans le calcaire pénién même (montagne de Silla-Casa au Pérou) : on voit par conséquent que ces sortes de gîtes métallifères se trouvent dans les limites extrêmement rapprochées, entre le calcaire pénién et le grès rouge. On rencontre fréquemment dans ces dépôts des rognons ou de petits amas charbonneux (Deux-Ponts), qui proviennent, sans doute, des fougères, lycopes, etc., que l'on trouve souvent aussi converties en charbon; quelquefois même tout le dépôt mercuriel est recouvert par des couches charbonneuses (Durasno au Mexique). Les schistes bitumineux qui se trouvent toujours dans le voisinage, renferment des empreintes de poissons, qui ont quelquefois conservé toutes leurs écailles, et qui dans toutes les localités, même les plus éloignées, appartiennent aux mêmes espèces. Dans tous les cas, le minerai, à l'état de sulfure, se trouve ou disséminé dans toute la masse terreuse du dépôt, ou en petits amas isolés les uns des autres, ou en veines placées dans toutes les directions.

Si le sulfure de mercure est la masse principale des dépôts que nous connaissons, le mercure à l'état métallique l'accompagne très fréquemment, et augmente d'autant plus la richesse de la mine, qu'il n'exige d'autres travaux que l'extraction; mais il est ordinairement en petite quantité, et se trouve dans les fissures ou les diverses cavités de la masse, et quelquefois disséminé dans tout le minerai.

(320) *Minerais de Zinc.* — Le sulfure de zinc est un minerai extrêmement abondant, mais il ne forme pas de gîtes à lui seul; il se trouve dans les autres dépôts métallifères, et principalement dans ceux de sulfure de plomb. Il n'y a que le carbonate et le silicate, qui sont le plus souvent réunis dans le même lieu, qui forment des amas particuliers. Les uns paraissent appartenir aux parties les plus basses du terrain houiller,

ou plutôt à des dépôts calcaires, qui alternent quelquefois avec des matières charbonneuses, et que l'on a souvent rangées dans les terrains intermédiaires, en les plaçant toutefois au-dessus des dépôts à trilobites (Bleyberg en Carinthie; Limbourg, à une lieue d'Aix-la-Chapelle; Flône et la Mallieue, pays de Liège; Mausbac, Busbach et Stollberg, pays de Juliers). D'autres appartiennent au calcaire pénéen, qui tantôt en est entièrement imprégné (Illefeld au Harz), tantôt en renferme des couches subordonnées (Piekari, Haute Silésie; Mendiphills près Bristol, dans le calcaire magnésien; enfin il s'en trouve des dépôts dans le lias, comme M. Dufrénoy l'a observé, (Combecave, Lot; Montalet, près d'Uzès; Saint-Sauveur en Languedoc; Poitiers). Il ne paraît pas exister au-dessus de cette formation, ou du moins il n'y en a plus que des traces, que l'on cite même dans les terrains tertiaires.

( 321 ) *Minerais d'antimoine.* — Le sulfure d'antimoine, quoique peu abondant, se trouve assez communément, et compose quelquefois à lui seul des filons plus ou moins puissants, qui traversent le granite, le gneiss, le micaschiste (Malbosc, Ardèche; Deze, Lozère; Alby et Mercœur, Haute-Loire; Auzat, Puy-de-Dôme; Massiac, Cantal; Portès, Saint-Florent, Aujac, Gard, etc., etc.; et dans toutes les parties de l'Europe.)

( 322 ) *Molybdène.* — Quoique le sulfure de molybdène ne soit pas abondant, il est cependant assez commun, et doit être cité comme formant à lui seul des gîtes particuliers, qui sont même isolés de tous les autres. Il appartient en général aux roches anciennes, forme de petits amas dans le granite et le micaschiste, ou s'y trouve disséminé (Alpes du Dauphiné, de la Savoie, du Piémont, du Tyrol; Pyrénées, Bohême, etc. etc.) Il se trouve aussi, mais en petite quantité, dans les amas métallifères, particulièrement dans ceux d'étain (Zinwald, Schneeberg, Gayer en Saxe; Cornwall), rarement dans les mines de cuivre pyriteux. (Norwège.)

---

## CHAPITRE IV.

### SUBSTANCES DISSÉMINÉES, SUBORDONNÉES AUX GÎTES MÉTALLIFÈRES, etc.

(323) Les matières que nous venons de faire connaître, sans entrer pour beaucoup dans la composition des terrains qui constituent essentiellement la surface du globe, y forment cependant encore des dépôts assez étendus; mais toutes celles que l'on peut en outre ranger dans le tableau des espèces minérales sont fort différentes sous ce rapport, car il n'en est aucune qui forme des dépôts à elle seule. Toutes ces substances se trouvent seulement disséminées çà et là, en cristaux, en noyaux, en petits amas, soit dans les roches qui composent les diverses périodes de formations, soit dans les filons ou autres gîtes métallifères, dont nous avons cité les matériaux essentiels; quelques-unes se trouvent constamment en solution dans les eaux, qui les charient à la surface de la terre, et quelques autres se forment journellement par petites portions dans diverses circonstances.

Presque tous les silicates se trouvent disséminés dans l'une ou l'autre des roches de la série primitive ou dans les roches cristallines siliceuses que l'on rencontre çà et là, intercalées avec des dépôts arénacés,

ou enfin en petits noyaux, dans les amygdaloïdes des diverses époques. C'est également dans les roches cristallines primitives que se trouvent les aluminates, les oxides de titane, les titanates et tantalates. Les autres substances, comme les sulfures, arséniures, les sels insolubles des diverses métaux, se trouvent presque toutes au contraire dans les divers dépôts métallifères et presque jamais disséminées dans les roches. Il y a des matières de l'une et de l'autre sorte, qui paraissent se trouver indifféremment dans toutes les roches primitives, dans tous les gîtes métallifères; d'autres, au contraire, se trouvent spécialement à des étages déterminés, ou dans des gîtes métallifères particuliers. Quelques-unes se prolongent jusqu'au milieu des terrains secondaires; mais toutes disparaissent dans les dépôts suivants, d'où il suit que dans les contrées qui ne sont formées que de terrains secondaires ou tertiaires, comme une grande partie de la France, il y a très peu de substances minérales à recueillir, tandis qu'il en existe en grand nombre et de très variées dans les contrées formées de terrains primitifs, comme en Suède, dans plusieurs contrées de l'Allemagne, etc. : aussi la minéralogie est-elle assez généralement négligée dans les premières, tandis qu'elle fait essentiellement partie de l'instruction dans les autres, où elle devient importante par l'exploitation des mines.

(324) *Substances disséminées dans les roches.* Toutes les roches que nous avons fait connaître dans les terrains primitifs renferment des matières disséminées; mais sous ce rapport elles sont plus ou moins riches. Le *granite le plus ancien* en renferme peu d'espèces; les terrains *de gneiss indépendant et de micaschistes* en renferment au contraire un assez grand nombre, soit dans les roches mêmes qui portent ces noms, soit dans celles qui s'y trouvent en couches subordonnées. C'est là que se

trouvent plus particulièrement les différentes espèces de *grenat* et d'*amphibole*, le *corindon*, les différentes sortes de *spinel*, etc. Le micachistes semble être le gîte spécial de la *staurotide*, du *disthène*, de l'*ilvaite*; la première n'est pas connue plus bas, la seconde ne va pas plus haut, et la troisième appartient à des roches pyroxéniques subordonnées à ce terrain. La *protogyne* (granite des Alpes), ou les roches qui en dépendent, semble être le gîte particulier de différentes substances qui, si elles se trouvent ailleurs, ne sont nulle part aussi abondantes; tels sont l'*épidote thallite*, l'*axinite*, l'*anatase*, la *chrichtonite*, le *sphène cristallisé*, etc. Mais aucune roche n'est plus abondante en substances minérales, ne les présente en aussi beaux échantillons que la *pegmatite*, ou granite graphique; tout, pour ainsi dire, se trouve dans cette formation, tout y a cristallisé en grand, comme le quartz et l'orthose qui la constituent essentiellement, et en outre il y existe des substances qu'on ne rencontre nulle part ailleurs. Les *grenats*, les *micas*, l'*oxide de titane*, l'*émeraude* (à l'exception cependant de la belle émeraude verte des joailliers), la *topaze pyrophyssalite*, la *cymophane*, etc., etc., se rencontrent dans cette roche, et souvent en nids considérables: c'est là que se trouvent également, mais alors en petits nids, la *gadalonite*, les différentes sortes de *tantalite* et *ytrotantalites*; les *photorures de cerium* et d'*yttrium*, les *phosphate d'yttria* et de *manganèse*, le *wolfram*, etc., etc. Chaque fois, pour ainsi dire, qu'on visite les terrains de pegmatite, on y trouve quelques substances nouvelles.

Lorsqu'on quitte ces diverses sortes de roches, on ne trouve plus guère d'espèces minérales; quelques-unes seulement de celles que nous avons citées se prolongent dans les schistes argileux, mais il ne s'en présente guère de nouvelles. Cependant on doit citer le



*zircon*, qui paraît appartenir spécialement aux terrains de siénites, les *stéatites*, la *magnésite*, qui se trouvent dans les dépôts d'euphotides, et quel'on ne connaît pas ailleurs dans les terrains de cristallisation. Il faut arriver dans les terrains d'origine ignée, pour trouver encore d'autres espèces minérales, et particulièrement dans les *roches amygdaloïdes* des diverses époques. Les noyaux ou rognons, qui remplissent les cavités de ces roches, présentent un assez grand nombre de substances, et particulièrement les diverses silicates, la plupart hydratés, qu'on a autrefois confondus sous le nom de *zéolites*, à cause de la facilité avec laquelle ils font geler dans les acides. Telles sont l'*analcime*, l'*apophyllite*, la *chabasie*, l'*harmotome*, la *laumonite*, la *mésotype*, la *phrénite*, la *scolésite*, la *stilbite*, la *thomsonite*, etc., dont le plus grand nombre ne se trouve que dans cette sorte de gisement. Du reste la pâte de ces roches amygdaloïdes, le basalte, les trachytes, renferment peu de substances disséminées autres que les *pyroxènes augite*, l'*amphibole hornblende*, les *micas noirs*, l'*olivine*, spécialement dans le basalte, quelquefois le *zircon*, le *spinel*, le *corindon*.

Les différentes sortes de laves renferment plusieurs des substances qu'on trouve dans les amygdaloïdes, et en outre l'*amphigène*, qu'on trouve aussi dans le basalte, la *néphéline*, la *meionite*, la *sodalite*, et un assez grand nombre de substances qu'on remarque dans les laves anciennes du Vésuve, qui ont été jusqu'ici assez mal étudiées.

Après les roches que nous venons de citer, on ne trouve plus guère d'espèces minérales disséminées. Les terrains secondaires sont extrêmement pauvres; on y trouve seulement, en nids ou en petits filons, le *sulfate de baryte*, qui se prolonge jusque sous la craie; le *sulfate de strontiane*, qu'on retrouve jusque dans le

gypse des terrains tertiaires ; le *fluor*, ou fluorure de calcium, dans les calcaires secondaires moyens, et dont on a trouvé quelques cristaux dans le gypse tertiaire ; le *quartz*, qu'on remarque çà et là, en petites nids cristallins, à peu près à toutes les époques, et le *sillex*, qui se trouve en rognons dans la plupart des dépôts calcaires, et surtout en abondance dans la craie ; un *silicate de fer*, de couleur verte, qui se trouve sous la forme sableuse, dans la craie verte, dans les premiers assises du calcaire grossier ; le *silicate magnésite*, qu'on ne connaît que dans les dépôts tertiaires postérieurs au calcaire grossier ; un *phosphate de chaux* (phosphorite), qui, du milieu du terrain secondaire se retrouve çà et là jusque dans les lignites ; le *sulfate websterite* et le *succin* (espèce de résine) ; enfin le *sulfure de fer*, qu'on trouve d'ailleurs partout, se prolonge jusque dans les dépôts assez modernes des terrains tertiaires, où il est en rognons plus ou moins cristallins, ou sous des formes empruntées. Toutes ces substances sont en petites masses compactes, ou à l'état terreux, très rarement sous formes cristallines, si ce n'est le quartz et quelquefois les sulfates de baryte et de strontiane.

A la fin des terrains tertiaires, dans des espèces d'alluvions, dont on ne peut guère fixer l'âge, parce qu'elles ne sont recouvertes par aucune espèce de roches, on retrouve de nouveau un assez grand nombre de substances minérales, dont quelques-unes sont très importantes ; mais ces substances ne sont plus alors dans le gîte où elles se sont formées ; elles sont en grains, en cristaux roulés, au milieu des matières arénacées, qui proviennent sans aucune doute de la destruction des terrains anciens, et qui forment les attérissements de certaines rivières, ou des buttes plus ou moins considérables, au pied des hautes montagnes, ou

même couvrent des espaces immenses, comme au Brésil. On trouve dans ces dépôts toutes les matières qui sont assez dures pour avoir résisté à la catastrophe qui les a détachées de leur gîte naturel; tels que *Corindon*, *Spinel*, *Cymophane*, *Zircon*, *Topaze*, *Émeraude*, etc., etc. C'est dans cette sorte de gisement seulement qu'on a jusqu'ici trouvé le *Diamant*, en grains, ou cristaux de toute dimension, le plus souvent très petit, ainsi que le *platine*. L'*or*, se joint aux mêmes dépôts, et c'est dans cette position qu'il fait l'objet des grandes exploitations du Brésil, de la Nouvelle-Grenade et du Chili. Les matières arénacées où se trouvent ces trois substances, souvent réunies dans le même lieu, portent au Brésil le nom de *Cascalho*; elles sont formées de cailloux roulés, quartzeux, liés entre eux par une matière argilo-ferrugineuse, sableuse, plus ou moins abondante, et renfermant du fer oligiste, de l'oxide de fer magnétique, des diorites granitoïdes, compactes et schisteuses, etc. Elles s'étendent sur de très grands espaces et partout sont absolument à découvert, ce qui est cause de l'incertitude où l'on est sur leur âge relatif.

(325) *Substances des gîtes métallifères.*—Il en est de ces substances comme de celles qui sont disséminées; quelques-unes se trouvent à peu près dans tous les gîtes métallifères, les autres en affectent de particuliers, d'où il suit qu'il en est quelques-unes qui se trouvent constamment ensemble, et jamais ou très rarement réunies avec les autres. *Les gîtes des minerais d'argent*, sont en général ceux où l'on trouve les *arseniures* et *arseniates de cobalt*, auxquels sont toujours associés l'*arseniate de chaux*, l'*arseniure* et l'*arseniate de nickel*, fréquemment aussi l'*arsenic*, le *bismuth*, l'*antimoniure* et l'*arseniure d'argent*; quelquefois on trouve aussi les substances cobaltiques dans les mines

de cuivre pyriteux, soit des terrains anciens ( Tunaberg , Los , Hacambo en Suède), soit des schistes bitumineux du calcaire pébéen ( Riegelsdorff en Hesse , Bieber dans le Hanau , Saalfeld en Thuringe ).

Les dépôts de galène (sulfure de plomb) sont les gîtes spéciaux des carbonates, sulfates et phosphate de plomb; c'est aussi avec ces minéraux que se trouve particulièrement la blende (sulfure de zinc) souvent en quantité considérable, qu'on exploite aujourd'hui avec avantage pour la préparation du zinc, employé maintenant à beaucoup d'usages auxquels on appliquait le plomb. La plupart des minerais de plomb sont argentifères, et dès-lors on y trouve aussi divers substances argentifères, comme le sulfure, l'antimoniure, l'arséniure, le sulfo-antimoniure d'argent. Le sulfure d'antimoine, la bournonite, plusieurs doubles sulfures qui doivent constituer diverses espèces, s'y trouvent également. Enfin, c'est dans ces dépôts qu'on trouve les carbonates de baryte et de strontiane, et le plus souvent aussi le fluor quoiqu'on le rencontre dans divers autres dépôts etnotamment dans ceux d'étain-

Les dépôts de cuivre pyriteux, outre les minerais de cobalt qui s'y rencontrent en diverses localités, présentent aussi toutes les matières dont le cuivre est un des principes, comme les carbonate, phosphate, arséniate de ce métal, le cuivre métallique, le protoxide de cuivre, le sulfure et les diverses matières cuivreuses que l'on a confondues sous le nom de cuivre gris.

Les dépôts d'oxide d'étain, renferment particulièrement les tungstates de fer, de chaux, de plomb, l'arséniure et surtout l'arséniate de fer qui est même caractéristique de ces dépôts, le sulfure d'étain et de cuivre, les phosphates d'urane et de chaux, assez souvent la topaze.

Les dépôts de minerais de fer, sont les plus pauvres

de tous; on y rencontre peu de substances, et peut-être n'en est-il pas qu'on puisse citer comme leur étant particulières. On y trouve accidentellement le *carbonate de fer cristallisé* (dans les gîtes de fer oligiste et d'oxide magnétique), l'*aragonite* (dans les gîtes de peroxyde non métallique et d'hydroxyde) quelque stalactites d'*oxide de manganèse*, le *datholite* (minerais de fer magnétique d'Arandal) le *corindon* (minerais de fer oligiste de Gellivara en Laponie). L'oxide de manganèse est la substance qui s'y trouve le plus constamment associée.

(326) *Substances en solution dans les eaux.* — Les eaux qui se trouvent à la surface du globe, qui sourdent de différents terrains, offrent encore en quelque sorte un autre gisement à certaines substances minérales, quelles tiennent alors en solution. C'est ainsi, comme nous l'avons déjà dit, que le sel commun se trouve en solution dans les mers, et dans les eaux de beaucoup de lacs qu'on trouve en un grand nombre de lieux sur nos continents (Russie d'Asie, Sibérie, Perse, Arabie, etc., etc.). Ce qu'il y a de remarquable, c'est que partout ces lacs, ou les flaques d'eau salifère, se trouvent dans le voisinage des terrains salifères, et qu'on est souvent dans le cas de penser que c'est à ce terrain que l'eau enlève les matières salines. Beaucoup d'autres substances comme le sulfate et le carbonate calcaire, la silice même quoique très difficilement soluble, sont mises en solution par les eaux qui les traversent. Dans les pays calcaires, la plupart des eaux renferment du carbonate de chaux, qu'elles déposent à la surface de la terre, ou dans les cavités souterraines, sous la forme de stalactites; il paraît qu'autrefois ces eaux calcaires étaient très abondantes, car elles ont formé çà et là des dépôts très considérables, et souvent plus solides qu'elles ne peuvent le faire aujourd'hui.

Mais outre ces matières, qui se trouvent en dépôts plus ou moins considérables dans le sein de la terre, d'où l'on peut supposer jusqu'à un certain point qu'elles ont été extraites par les eaux, il y en a beaucoup d'autres qu'on ne trouve jamais qu'en solution; tels sont les *chlorures de calcium* et de *magnésium*, les *nitrate de chaux*, de *magnésie*, de *potasse* et de *soude*, les *carbonates* et le *sulfate de soude*, le *sulfate de magnésie*, l'*acide borique* et le *borate de soude*, etc., qui se trouvent dans les eaux des mers ou les lacs, dans celles qui sourdent du sein de la terre, et constituent les diverses eaux minérales. Les quatre premiers sels étant très déliquescents, ne se consolident jamais; les autres forment souvent au fond des eaux des cristallisations plus ou moins épaisses; le carbonate et le sulfate de soude s'effleurissent sur les bords des lacs, ou sur leurs fonds, lorsqu'ils se dessèchent pendant les chaleurs de l'été.

Les chlorures de sodium (sel commun) de calcium et de magnésium, les carbonates et sulfate de soude, se trouvent presque toujours ensemble dans les eaux des lacs et les eaux minérales; seulement il arrive, tantôt que le chlorure de sodium domine, tantôt au contraire, que ce sont les carbonates de soude, qu'on peut alors exploiter pour le commerce, et qui pendant les grandes chaleurs qui vaporisent les eaux, s'effleurissent à la surface des plaines.

Le sulfate de soude existe souvent seul dans plusieurs eaux minérales, et aussi dans les galeries des mines, dans les excavations des dépôts salifères. Il en est de même du sulfate de magnésie, qui est assez abondant dans les sources de quelques localités (Epsom en Angleterre, Sedlitz en Bohême, d'où sont venus les noms de sel d'Epsom, sel de Sedlitz) pour être extrait avec avantage.

Les nitrates de soude, de potasse, de chaux, de

magnésie, qui sont toujours ensemble, se trouvent dans des lacs distincts des premiers, mais encore dans les plaines sableuses de toutes les parties de nos continents ( plaines de Bihar de Sabolcz et Szathmar, en Hongrie, de l'Ukraine et de la Podolie, de la mer Caspienne et de la mer Noire, de la Perse, de l'Arabie, de l'Égypte, du Bengale, etc. ), dans les eaux des puits qui sont creusés dans ces terrains ou dans les grandes villes. Le nitrate de potasse effleurit à la surface de ces plaines, sur les vieux murs, sur les murailles des écuries et des cours, à la surface des collines calcaréo-sableuses ( rive gauche du Rhône, notamment près de Saint-Paul-Trois-Châteaux, Villeneuve-les-Avignons; dans les Landes, etc., etc. )

Le nitrate de soude a été particulièrement trouvé en petites couches minces, très étendues, très près de la surface du sol, et recouvert seulement par des dépôts limoneux très modernes, avec lesquels il est mélangé ( district d'Atacama, près du port de Yquique, au Pérou )

L'acide borique et le borate de soude sont aussi des substances que l'on trouve dans des lacs particuliers. L'acide borique a été observé dans les *lagonis* des environs de Sienne en Toscane, dans lesquels il cristallise en petites masses composées de paillettes brillantes. Le borate de soude se trouve en solution dans les eaux de certains lacs de l'Inde, à quinze jours de marche de Teschou-Loumbou. ou des montagnes du Thibet, canton de Sumbul. On assure qu'il cristallise quelquefois au fond de ces lacs, ce qui peut expliquer sa présence dans d'autres points du Thibet, sous la forme de petites couches cristallines à la profondeur de quelques pieds. On le cite aussi à Ceylan, province de Purbath, en Perse, dans la Tartarie méridionale, en Chine; on assure qu'il existe en abondance dans les mines de Viquintipa et d'Escapa dans le Potosi.

Il est fort difficile de savoir quelle est l'origine de ces différents sels que l'on trouve ainsi dans les eaux, sans en connaître de dépôts dans la série des formations minérales. On ne peut avoir à cet égard que de certaines probabilités, relatives surtout à quelques-uns d'entre eux. Berthollet, après avoir visité la vallée des lacs de Natron en Egypte, après avoir observé que dans tous les lieux suffisamment connus le carbonate de soude est accompagné de sel commun, et se trouve dans le voisinage des dépôts calcaires, a pensé que ce sel provenait de la décomposition du sel commun par le carbonate calcaire, et que cette décomposition était facilitée par la faculté de s'effleurir que possède le carbonate de soude. Mais cette hypothèse ne peut expliquer qu'une partie du fait, car le carbonate calcaire est composé suivant la formule  $\text{Ca C}^2$ , le chlorure de sodium suivant la formule  $\text{NaCh}^4$ , et de l'action réciproque de ces deux corps, il ne peut résulter que du carbonate de soude de la formule  $\text{Na C}^2$  et du chlorure de chaux de la formule  $\text{CaCh}^4$ . Or, dans plusieurs localités on connaît en effet du carbonate de soude, on natron, de la formule  $\text{Na C}^2$ ; mais il en existe en même temps un autre de la formule  $\text{Na C}^3$ , qui présente d'ailleurs des caractères différents. Celui-ci ne peut pas résulter de l'action du carbonate de chaux sur le sel marin, et il faut nécessairement lui chercher une autre origine. On ne peut guère concevoir non plus qu'il soit un résultat de l'altération du premier, car on ne voit pas ce que pourrait alors devenir la soude, et on peut très bien concevoir au contraire que le premier soit une décomposition du second; en effet le carbonate de la formule  $\text{Na C}^3$  perd facilement de son acide par une élévation de température et par la simple exposition au soleil.

D'après ces observations, il devient probable que



le carbonate de la formule  $\text{Na}\ddot{\text{C}}_3$ , est celui qui se trouve primitivement dans les eaux des lacs natrifères, et que celui de la formule  $\text{Na}\ddot{\text{C}}_2$ , est un résultat de sa décomposition ; dès lors ce n'est plus dans l'action du carbonate de chaux sur le sel marin qu'on peut chercher l'origine de ce sel. On est alors conduit à imaginer que ce sel est en général amené à la surface du terrain par des eaux qui viennent d'une grande profondeur, et qui, dans les localités où il est très abondant, ne diffèrent des eaux minérales à base de soude, comme celles de Vichy en Auvergne, qu'en ce qu'elles sont plus chargées de matières salines ; le problème rentre alors dans celui qui a pour objet l'explication des sources minérales et particulièrement des sources chaudes. Le même mode d'explication sera applicable aux eaux qui renferment de l'acide borique et du borate de soude, et d'autant mieux que les *lagonis* de Toscane, sont en relation intime avec les phénomènes connus sous le nom de *fumarolles* dont nous allons bientôt parler.

La présence du sulfate de soude, est aussi attribuée à une décomposition du sel commun, et alors par l'intermédiaire du sulfate de magnésie, surtout à de basses températures, car c'est dans l'hiver que le sulfate de soude se trouve en plus grande quantité dans les lacs ; mais il faut avouer que cette explication ne fait que reculer les difficultés, car il faut avant tout avoir du sulfate de magnésie, et l'on est tout aussi embarrassé de déterminer son origine.

L'origine des nitrates n'est pas moins embarrassante que celle des autres matières salines ; mais nous en parlerons dans le paragraphe suivant.

(327) *Substances qui se forment journellement.* — La plupart des substances minérales que nous observons, se sont formées, dans les divers gisements, à

des époques fort éloignées de nous , et nous ne pouvons avoir que des présomptions sur leur origine ; mais les grandes opérations qui ont pu leur donner lieu. ne sont pas encore entièrement interrompues à la surface du globe , et nous voyons encore quelques matières se former pour ainsi dire sous nos yeux , ce qui peut nous donner au moins quelques idées sur ce qui s'est passé dans la série des siècles.

Les formations journalières les plus importantes , sont celles qui ont lieu dans les volcans ; les laves ne sont que des agglomérations de silicates de diverses sortes , qui résultent nécessairement des réactions chimiques des diverses matières que renferment les masses fondues expulsées du sein de la terre dans ces grandes opérations de la nature. En effet , les laves sont à l'état liquide au moment où elles sortent du volcan , et ce n'est que par refroidissement qu'on y voit paraître des cristaux de diverses natures ; tout prouve même que la durée du refroidissement influe beaucoup sur la nature et le nombre des matières qui se forment , en permettant sans doute aux éléments de s'unir dans telles ou telles proportions. Lorsque les matières liquéfiées sont refroidies subitement , il en résulte une masse homogène , qui ne présente le plus souvent à l'analyse , que des proportions indéterminées , et dans laquelle on découvre à peine quelques traces de cristaux disséminés. C'est ce qui a lieu , par exemple , dans les portions des matières fondues que l'on saisit , à la sortie du volcan , dans des moules où on lui fait prendre diverses configurations ; on ne voit alors qu'une matière d'autant plus homogène , qu'on l'a saisie plus liquide , et quelques rudiments de cris aux d'amphigène , d'augite , etc. , lorsqu'on la prend à l'état plus ou moins pâteux. La surface des courants , les matières scoriacées lancés dans l'air , sont fréquem-

ment dans le même cas ; ce sont des matières homogènes vitreuses ou pierreuses, qui n'offrent aucune relation entre les proportions de leurs principes constituants. Au contraire, dans le centre des courants où les matières se consolident lentement, il se fait une multitude de combinaisons qui cristallisent chacune à leur manière et dont l'ensemble forme une roche composée d'une espèce ou d'une autre. Les substances qui se forment ainsi, sont le *silicate albite*, des *silicates argilo-ferrugineux* mal connus, qui constituent souvent la pâte de la roche, de l'*amphigène*, des *pyroxènes*, des *amphiboles* de diverses sortes, des *micas* qui se rapportent aussi à diverses espèces, des *péridots*, quelquefois le *silicate orthose*, la *nephéline* et un grand nombre d'autres silicates qui sont mal connus, qu'on trouve en cristaux, en filaments capillaires dans les fissures des laves. On doit citer aussi le *silicate zircon*, le *corindon*, l'*aluminat spinel*, un *aluminat* isomorphe, à base de bioxide de fer, et beaucoup d'autres substances, qu'on y trouve rarement et en petite quantité. On a quelquefois avancé que ces diverses substances étaient étrangères à la lave, qu'elles existaient primitivement dans les roches sur lesquelles les volcans avaient exercé leur action, et qu'elles étaient restées disséminées, sans altérations, dans les matières qui avaient été fondues ; mais, quoique des savants, d'ailleurs d'un très grand mérite, aient adopté cette opinion, et l'aient même défendue avec acharnement, il n'est pas possible de la noter autrement que comme une des aberrations de l'esprit humain. En effet, d'un côté la matière des laves est à l'état de fusion bien distinct dans les volcans, et la plupart des cristaux qu'on y observe lorsqu'elle est consolidée, se seraient évidemment fondus à cette température, comme nous les voyons fondre au

feu de nos fourneaux ; d'un autre côté, en examinant attentivement les laves, on voit que les cristaux des différentes substances qu'on peut y distinguer, sont entremêlés, se pénètrent mutuellement de toutes les manières, et qu'il arrive assez souvent même qu'ils enveloppent des parties de la matière qui forme la base générale de la lave, ce qui ne peut évidemment avoir lieu qu'autant que ces cristaux sont d'une formation contemporaine de celle de la pâte qui les renferme. Enfin, on ne voit pas pourquoi les choses se passeraient autrement dans les masses liquéfiées par le feu des volcans, que dans les mélanges terreux que nous faisons fondre dans nos laboratoires : or, dans ces fusions artificielles nous voyons très bien les matières se cristalliser, et qui plus est, nous savons former à volonté des pyroxènes, de l'amphibole, du péricot, etc., etc. Ajoutons que les scories de nos fourneaux nous présentent aussi diverses substances semblables à celles que nous observons dans les diverses formations minérales ; on y connaît du péricot, du mica, du pyroxène, de l'idocrase, etc. ; or il est évident que ce qui se fait ici de toutes pièces dans nos usines, doit aussi se faire de toutes pièces dans les volcans.

Les *solfatares* ou soufrières, qui sont des annexes des volcans, qui existent assez souvent dans leurs cratères pendant les temps de calme, mais qu'on observe aussi dans des dépôts trachytiques, donnent encore lieu à la formation de diverses substances. Le soufre s'y dégage souvent des diverses fissures des laves, se dépose çà et là sur leur parois, ou entre en combustion et donne lieu aux acides sulfureux et sulfurique, dont le premier surtout se dégage toujours en abondance. Ces acides en vapeurs réagissent avec force sur les roches environnantes, les décompo-

sent, mettent à nu des corpsjadis combinés, et donnent lieu à une multitude de produits nouveaux. La *silice* des silicates qui constituent les produits volcaniques, étant mise en liberté, reste à l'état d'hydrate (opale), qui entraîné par l'eau, se dépose en petits lits çà et là, sur toutes les matières (Soufrière de la Guadeloupe), comme le carbonate de chaux des eaux qui sourdent des terrains calcaires. L'*alumine*, la *chaux*, la *potasse*, les *oxides de fer*, de *manganèse*, etc., qui forment les bases de ces silicates se combinent alors avec l'acide sulfurique, et il en résulte des *sulfates de ces diverses bases*. Le *sulfate de chaux*, le *sous-sulfate de peroxide de fer*, restent isolés et se déposent çà et là; mais le *sulfate d'alumine*, qui quelquefois se dépose seul, se combine aussi avec le sulfate de potasse, et il en résulte soit de l'*alun*, qui, comme on sait, est un sel soluble, soit de l'*alunite* qui est un sulfate insoluble à base d'alumine et de potasse (solfatares de Puzzole, de la Guadeloupe, etc.). Il est infiniment probable que c'est de la même manière que se sont formés les dépôts d'alunite que l'on trouve en tant des lieux différents au milieu des détritits des terrains trachytiques (Tolfa, dans les états Romains; Piombino; Musaj en Hongrie; Budos Hegy en Transylvanie; îles de l'Archipel grec, etc., etc.). Les vapeurs acides sont quelquefois aussi condensées par les eaux, et telle est l'origine de certaines eaux acidules sulfureuses que l'on observe dans quelques localités. (Grottes du Vésuve et de l'Etna; Rio Vinagre au volcan de Puracé dans le Popayan; lac du mont Idienne à Java, etc.)

Après ces foyers de production journalière de diverses substances minérales, c'est dans les gîtes métallifères qu'il faut se porter pour en trouver d'autres. Là, les différentes matières qui se trouvent en présence, exposées à l'humidité qui règne presque toujours dans

ces cavités souterraines, réagissent les unes sur les autres, se décomposent, et donnent lieu à de nouveaux corps qui se combinent de toutes les manières. Les sulfures de fer se décomposent journellement, et il en résulte de l'acide sulfurique et des oxides de fer, qui se combinent immédiatement; il se fait d'un côté du protosulfate de fer qui est le plus souvent entraîné en solution par les eaux, et de l'autre, des sous-sulfates de peroxyde qui se déposent fréquemment dans l'intérieur des mines, sous la forme de matières pulvérulentes d'un jaune brun, ou sous la forme de stalactites. Le sulfate de cuivre se produit aussi fréquemment, sans doute par la décomposition des doubles sulfures de cuivre et de fer. Il en est de même des sulfates de nikel et de cobalt; mais ces deux substances provenant sans doute de la décomposition des arséniures et sulfo-arséniures, il arrive aussi qu'il se fait des arséniates de nikel et de cobalt, même des arséniates de fer, qui se mélangent souvent avec les sous-sulfates. Nous voyons aussi se former sous nos yeux, du carbonate bleu de cuivre, qui se dépose sous la forme pulvérulente sur les flancs des montagnes, dans le voisinage des mines de cuivre. Enfin, dans les anciens travaux de mines, on trouve sur les parois des galeries un grand nombre de sels, simples ou doubles, qui sont la plupart des sulfates à base de fer, de manganèse, de cuivre, de magnésie, d'alumine, etc.

Il est très probable aussi que beaucoup de substances insolubles qu'on trouve en très petites quantités dans les filons, qui en tapissent de leurs petits cristaux les différentes cavités, qui recouvrent diverses matières de petites houppes fibreuses, sont encore dues à des formations journalières; telles sont les arséniates, phosphates, carbonates de cuivre, souvent les sulfates et carbonates de plomb, l'oxi-

sulfure d'antimoine, ou kermès, qui provient évidemment de la décomposition du sulfure, et même plusieurs sulfures doubles, qu'on ne connaît qu'en petits cristaux, et qui ne forment jamais la partie essentielle des gîtes métallifères. En effet, on peut citer plusieurs de ces substances sur les parois des anciennes galeries, et même jusque sur les boisages.

Nous ne pouvons pas savoir positivement comment se font ces diverses matières dans la nature, et il y aurait à ce sujet des recherches intéressantes à faire dans les mines; mais il est probable qu'il se passe quelque chose d'analogue à ce que M. Becquerel a observé dans ses belles expériences sur la formation artificielle de plusieurs substances, même insolubles, qu'il a obtenues en petits cristaux bien distincts : c'est-à-dire, que ce sont des phénomènes électro-chimiques.

Le principe général découvert par M. Becquerel, et qui lui a servi à former tous ces produits, est celui-ci : quand une substance acide se combine avec une substance alcaline, ou bien, lorsqu'on fait agir une solution saturée sur une qui ne l'est pas, la première prend toujours l'électricité positive, et la seconde l'électricité négative. Ce sont ces deux électricités dont il s'est emparé au moyen d'un troisième corps, convenablement choisi, capable d'exercer lui-même des actions chimiques, interposé entre les deux premiers, qui jouent l'un le rôle d'acide, l'autre celui d'alcali, pour former une pile dont l'action lente subsiste pendant tout le temps que l'action chimique a lieu, et donne successivement naissance à des produits cristallisés, solubles ou insolubles, dont la nature varie avec l'intensité de la pile. C'est ainsi qu'en mettant en contact dans un tube fermé par un bout, du deutocide de cuivre, une solution de nitrate de cuivre, par exemple, puis une lame de cuivre qui

devient le troisième corps dont nous avons parlé, il se forme une pile en raison de l'action chimique de la solution saline sur le deutocide de cuivre, qui met en présence deux solutions à différents degrés de saturation, parce qu'une partie de nitrate perd son acide pour former du sous-nitrate. La partie de la lame située en dehors du deutocide, et qui plonge dans la solution saturée, devient le pôle négatif de la pile, tandis que celle qui touche au deutocide, en devient le pôle positif. Or, l'action chimique est d'abord extrêmement faible, dès-lors le sel de cuivre en solution éprouve d'abord une décomposition telle que son oxide, sans changer d'état, se porte au pôle négatif de la pile. Bientôt après l'énergie de la pile augmentant, cet oxide est en partie décomposé, et il se forme du protoxide de cuivre qui cristallise sur la partie négative de la lame métallique, précisément comme il cristallise dans la nature. L'action devenant encore plus grande, l'oxide du sel éprouve une décomposition totale, et le cuivre revivifié cristallise lui-même. Ces phénomènes durent jusqu'à ce que le deutocide placé au fond du tube soit entièrement changé en sous-sel; mais lorsque la quantité de ce deutocide est plus grande qu'il ne faut pour donner lieu à la décomposition complète du sel cuivreux, il se forme du nitrate d'ammoniaque, qui se dépose en long cristaux prismatiques, par suite de la décomposition simultanée de l'eau et de l'acide nitrique.

Ce seul exemple montre comment on peut retirer les oxides de leurs combinaisons avec les acides, les désoxygéner au tout ou une partie, et les obtenir cristallisés aussi bien que le métal qui leur sert de base. En modifiant ce procédé, M. Becquerel a fait cristalliser les protoxides de plomb, de zinc et de manganèse. Une précaution à prendre, est d'employer autant que



possible des lames du métal qui entre dans le sel , parce que l'attraction d'un métal déterminé sur le même métal , ou sur ses oxides , paraît plus grande que sur un métal différent.

M. Becquerel a obtenu le chlorure d'argent par le même procédé. Il met dans un tube de l'acide hydrochlorique , et y fait plonger une lame d'argent , puis il place au fond du tube du charbon exposé préalablement à une haute température pour le rendre conducteur de l'électricité. Le charbon devient ici le troisième corps qui s'empare de l'électricité développée par le contact des deux autres , et il se forme une pile qui est telle que la partie de la lame d'argent qui ne touche pas le carbone , devient positive , attire le chlore et se combine avec lui. Il en résulte du chlorure d'argent , qui cristallise et qui a tous les caractères de celui de la nature. On obtient de même le chlorure de cuivre en beaux octaédres , etc.

On peut aussi obtenir d'autres corps par un procédé différent. Quand une combinaison de deux corps se trouve dans des circonstances telles qu'un liquide en contact avec elle , puisse agir plus fortement sur l'un des composants que sur l'autre , de manière à amener une décomposition très lente , la substance qui n'a pas été attaquée par le liquide , se sépare immédiatement de la combinaison en cristallisant. De là il résulte qu'un corps pour cristalliser n'a pas toujours besoin d'être mis en solution dans un liquide. C'est ainsi , par exemple , qu'en exposant les doubles sulfures d'argent et de potassium , de cuivre et de potassium , d'antimoine et de potassium , de fer et de potassium , d'étain et de potassium , etc. , à des actions électriques extrêmement faibles , qui amènent leur décomposition , il se fait des sulfures d'argent , de cuivre , d'antimoine , de fer , d'étain , etc. , qui cris-

tallisent, et dont l'aspect est le même que ceux que l'on trouve dans la nature. On obtient de même des seleniures, dont on trouve quelques-uns dans la nature, des iodures, des bromures, etc., qu'on trouvera peut-être un jour parmi les substances minérales, et qui tous sont des composés insolubles.

Pour obtenir les doubles combinaisons dont nous venons de parler, et au moyen desquelles on forme les sulfures, seleniures, etc., on se sert de l'appareil suivant que nous appliquerons, pour prendre un exemple, à la formation du sulfure d'argent. On prend deux tubes de verre, ouverts par les deux bouts; on remplit la partie inférieure, jusqu'à une certaine hauteur, d'argile très fine, légèrement humectée d'un liquide conducteur de l'électricité; on verse dans la partie supérieure de l'un une solution de nitrate d'argent, et dans la partie supérieure de l'autre une solution d'hydrosulfate de potasse, déjà en partie décomposée par l'action de l'air, car autrement l'action serait trop vive. On établit ensuite la communication d'un tube à l'autre, par la partie supérieure, au moyen d'une lame d'argent, et on place les deux tubes par la partie inférieure dans un autre tube qui contient un liquide destiné à établir une communication, qui sera nécessairement très lente, entre les deux solutions de nitrate d'argent et d'hydrosulfate de potasse.

Voici ce qui se passe dans cet appareil. Le bout de la lame d'argent qui est en contact avec la solution de nitrate, devient le pôle négatif d'une pile, et l'autre en devient le pôle positif; dès-lors, le nitrate est décomposé, l'oxygène seul se porte au pôle positif, et se combine avec l'hydrogène de l'acide hydrosulfurique, tandis que le soufre mis à nu, se combine alors avec une portion de la lame d'argent qui est de ce côté. Ce sulfure d'argent à l'état naissant se combine

avec une portion du sulfure de potassium formée par la décomposition de l'hydrosulfate, et il se forme un double sulfure d'argent et de potassium, qui cristallise en beaux prismes.

Tels sont les phénomènes qui se passent au premier moment ; mais l'acide nitrique du nitrate d'argent décomposé, commence bientôt à arriver aussi au pôle positif ; son action se porte naturellement sur le sulfure de potassium et opère ainsi la décomposition du double sulfure qui s'était d'abord formé ; dès-lors, il se fait d'une part du sulfate de potasse et de l'autre du sulfure d'argent, qui, abandonné très lentement, cristallise sur la lame d'argent parce que rien ne trouble les mouvements que les particules sont obligées de prendre pour se grouper régulièrement.

Ce procédé peut être employé toutes les fois qu'on veut former des doubles combinaisons dans lesquelles un des composants est insoluble, et les obtenir cristallisées ; il n'y a qu'à substituer des dissolutions convenables à celles que nous avons employées.

Il doit paraître maintenant extrêmement probable qu'il se passe des phénomènes analogues à ceux que nous venons de décrire, dans l'intérieur des cavités souterraines, et que c'est ainsi que se forment journellement, dans les gîtes métallifères, les diverses combinaisons que nous voyons çà et là à la superficie des minéraux qui constituent la masse principale de ces dépôts ; il n'est pas douteux que si quelqu'un, possédant bien toute cette théorie électro-chimique, parcourait aujourd'hui les mines les plus riches en productions qui paraissent assez modernes, il découvrirait la marche même que suit la nature pour former journellement ces différentes substances. Déjà nous voyons clairement comment ont pu s'opérer diverses cristallisations que l'on a observées dans quelques

circonstances particulières. M. John Davys s'est procuré à Corfou, un casque antique en bronze, trouvé dans la mer, et qui était recouvert d'une croûte calcaire. Cette croûte ayant été enlevée, a laissé voir à la surface du bronze, des cristaux de cuivre pur, de protoxyde de cuivre, et de sous-chlorure du même métal; circonstance tout-à-fait semblable à ce qui pourrait se passer dans des appareils tels que ceux que nous avons décrits. Des médailles en bronze trouvées dans un tombeau antique, ont présenté à leur surface des cristaux de cuivre pur, de protoxyde de cuivre et de carbonate de ce métal. Une fronde en plomb, trouvée à peu de distance dans la terre, était couverte de carbonate de plomb; etc. Ainsi la nature a fait dans ces circonstances tout ce que nous pouvons nous-mêmes opérer artificiellement.

## CHAPITRE V.

## DES MATIÈRES AÉRIFORMES ET LIQUIDES.

TOUTES les observations que nous avons rapportées jusqu'ici n'ont trait qu'aux corps solides ; mais plusieurs substances aériformes ou liquides réclament aussi sous ce rapport notre attention. Sans parler de l'air atmosphérique, qui enveloppe partout la terre, nous avons le gaz acide carbonique, le gaz hydrogène carboné, qui semblent avoir des gisements déterminés, souvent du plus haut intérêt. Parmi les liquides, l'eau joue un trop grand rôle partout pour être passée sous silence.

(328) *Le gaz acide carbonique*, à l'état libre, se trouve particulièrement dans les cavernes des pays volcaniques, et dans quelques-unes de celles des terrains secondaires ; il existe aussi au fond des puits, et dans l'intérieur des mines. Quelquefois il remplit entièrement ces cavités, mais le plus souvent, par suite de sa pesanteur plus grande que celle de l'air, il n'en occupe que la partie inférieure, jusqu'à la hauteur de un pied ou deux ; aussi, les petits animaux ne peuvent-ils entrer dans ces cavernes sans être asphyxiés, tandis que l'homme les parcourt alors sans aucun risque. Cependant, il est très prudent de ne jamais se hasarder dans les cavités souterraines, où l'on n'est pas entré depuis long-temps, et surtout dans les puits de mines,

sans y avoir préalablement jeté un corps enflammé, pour savoir s'il y brûle, et par conséquent, si l'on est sûr d'y respirer.

Parmi les grottes les plus connues comme renfermant toujours du gaz acide carbonique, on doit citer le grotte du Chien, sur les bords du lac d'Agnano près de Naples; plusieurs cavernes des environs de Bolzena; la grotte de Thyphon en Cilicie dans l'Asie-Mineure, la grotte d'Aubenas, départ. de l'Ardèche; l'Estouffi, cave du mont Joli près de Clermont-Ferrant; la grotte de l'ancienne abbaye de Laach, sur les bords du Rhin, etc., etc. Le sol de ces cavernes semble quelquefois retenir le gaz dans ses pores et au-dessous de lui, et l'empêcher de s'échapper à la surface; en effet il suffit, dans quelques endroits, de remuer la terre, de creuser à quelques pieds, pour qu'il s'en dégage par torrent.

Le gaz acide carbonique se trouve aussi à l'état de solution dans l'eau, et constitue les eaux acidules gazeuses, dont il existe un très grand nombre de sources dans tous les terrains, primitifs, intermédiaires, secondaires, ou d'origine ignée.

(329) *Le gaz hydrogène carboné* est plus abondant que le précédent dans la nature, et surtout présente des phénomènes beaucoup plus remarquables. Il se dégage d'abord, pendant les temps chauds, des eaux stagnantes au fond desquelles se trouvent des matières organiques en décomposition, ou des matières terreuses que le dessèchement des marais laisse à nu pendant l'été. Mais il se dégage aussi en abondance de l'intérieur même de la terre, et sans qu'on puisse avoir alors aucune donnée positive sur son origine. On le trouve en grande quantité dans l'intérieur des mines de houille, où il se renouvelle continuellement, et produit souvent, par son inflammation, des accidents funestes;

il se dégage habituellement de la masse du combustible, et il en est des couches, ou des amas, où il est tellement abondant, qu'il suffit de percer un trou de sonde pour en provoquer un jet violent, que dans quelques endroits les mineurs tiennent toujours allumé. On a cru remarquer que, dans le même dépôt, toutes les couches de houille n'étaient pas susceptibles d'en produire également; qu'il se dégageait en plus grande quantité des unes que des autres; il y a même des dépôts entiers qui n'en produisent aucunement. On ignore absolument quelle est la cause du dégagement habituel de ce gaz; est-il un résultat de la décomposition qu'éprouvent journellement dans le sein de la terre, les matières organiques dont l'accumulation a donné naissance aux couches de houille? ou bien, comme on l'a admis quelquefois, est-il formé depuis long-temps, et retenu, comprimé, dans les pores du combustible, où il n'attend qu'une issue pour se dégager avec une force proportionnelle à son élasticité? C'est sur quoi on ne peut encore avoir un opinion définitivement arrêté; il y a pour et contre ces deux manières de voir, qui peut-être ne sont ni l'une ni l'autre véritables.

Mais outre cette espèce de gisement, le gaz hydrogène carboné se dégage encore en un grand nombre de lieux de la terre, et presque toujours alors de terrains argilo-sableux, fangeux à la profondeur. Il sort immédiatement à travers les sables, lorsque le terrain est à sec, ou bien il traverse l'eau des marais qui les recouvrent, et vient à la surface en produisant des bulles plus ou moins volumineuses, ou enfin il s'échappe par les fissures de certaines roches solides. Tantôt ce gaz est seul, et ne manifeste sa présence que par une odeur particulière qui tient à ce qu'il n'est pas pur: tantôt il est mélangé de pétrole plus ou moins épais. Dans beaucoup de circonstances, il s'échappe aussi du sein de la

terre, avec une grande quantité de matières terreuses délayées par l'eau, et souvent imprégnées de sel commun, ce qui a fait donner à ces sources le nom de *salzes*: il en est qui vomissent, ou qui ont vomi à diverses époques, une quantité prodigieuse de ces matières. On ne sait pas encore positivement dans quelle espèce de terrains ce gaz prend naissance; mais tout concourt à prouver qu'il vient au plus des derniers dépôts intermédiaires, d'où même on ne l'a jamais vu sortir immédiatement. La présence du sel dans les matières terreuses qu'il entraîne avec lui, ou qu'il pousse à la surface de la terre, conduit naturellement à en chercher l'origine dans les terrains où le sel se trouve ordinairement, et par conséquent dans la partie moyenne des terrains secondaires, ou dans leur partie inférieure, dans le voisinage du terrain houiller. La présence du bitume peut encore conduire en partie au même résultat, mais elle pourrait aussi mener à l'idée de formation dans les dépôts tertiaires (la molasse), parce que le bitume s'y trouve aussi en très grande quantité. Au reste, il est possible qu'il s'en forme dans plusieurs espèces de terrains.

Lorsque ces jets de gaz se trouvent enflammés, ce qui a presque toujours lieu accidentellement par l'approche d'un corps en ignition, ils donnent lieu à ce qu'on nomme *terrains ardents*, *fontaines ardentes*, *sources inflammables*, *feux naturels*, etc., etc., qu'on a quelquefois mal à propos confondus avec les effets volcaniques, auxquels ils n'ont aucun rapport. L'inflammation se fait sans détonation, mais les flammes sont assez bruyantes au premier moment; elles produisent une chaleur assez forte pour calciner le terrain sur lequel elles brûlent, et laissent ainsi de grands espaces arides, incapables de végétation. Ce sont ces portions de terrains calcinés, qui font découvrir l'emplacement



des feux pendant le jour, car les flammes ne sont ordinairement visibles que pendant la nuit; dans le jour, elles sont éclipsées par la présence du soleil. La chaleur qui se dégage se fait sentir fréquemment à quelque distance, en même temps qu'une odeur particulière, surtout lorsqu'on est sous le vent. Ces feux, une fois allumés, continuent à brûler pendant plus ou moins de temps, jusqu'à ce que de grandes averses, de grands coups de vent, viennent les éteindre; les petites pluies semblent plutôt les animer que les affaiblir, probablement parce qu'elles diminuent la compacité du terrain qui s'oppose au libre essor du gaz; on augmente, par la même raison, l'intensité des feux, en grattant la surface du sol, en y creusant des tranchées.

Ces sources gazeuses sont assez nombreuses à la surface de la terre, et on en cite dans toutes les parties du monde. L'Italie est, près de nous, la localité la plus remarquable; il y existe un grand nombre de sources de cette espèce sur la pente septentrionale des Appennins, formés en grande partie de dépôts arénacés, dans le Parmesan, le Modennais, le Boulonnais, etc.; c'est là que se trouvent les feux de Vellejà, de Pietra-Mala, de Barigazzo, etc., et un grand nombre de salzes plus ou moins puissantes. On connaît aussi des salzes considérables en Sicile<sup>1</sup>, entre Arragona et Girgenti, au lieu nommé *Maccaluba*. Sortant de ces contrées, c'est sur les bords de la mer Caspienne, près de Baku, qu'il faut se transporter pour voir encore en grand les mêmes phénomènes; le gaz s'y dégage en abondance, avec des vapeurs de naphte et de bitume, des crevasses d'une terre rougeâtre, marneuse, qui repose sur un terrain calcaire. Les voyages de Pallas nous font connaître les salzes de Crimée, dans la presqu'île de Kertche, et l'île de Taman. D'autres relations indiquent des salzes considérables dans l'Indostan, à Java, etc. On en connaît à

<sup>1</sup> RIS. MUL. UN. Université de Lille, etc.

la Trinité, sur la côte d'Amérique, et aussi sur la Terre-Ferme, aux environs de Carthagène. En France, on cite un petit espace de terrain, à Saint-Barthelemi, quatre lieues de Grenoble, d'où il est sorti des gaz susceptibles d'inflammation; mais j'ignore s'il s'en dégage encore, si les sources sont naturelles et permanentes comme les précédentes; ou si le terrain ne serait pas le fond d'un marais desséché, comme nous en avons en tant de lieux différents, d'où il se dégage des gaz pendant l'été. On cite aussi, dans diverses parties de l'Europe, un grand nombre de sources qui, en même temps que l'eau, donnent aussi du gaz inflammable; mais il paraît que, dans beaucoup de cas, ce sont des sources d'eau sulfureuse, d'où il se dégage du gaz hydrogène sulfuré.

(330) L'eau, qui joue un rôle si important à la surface du globe, se trouve à l'état solide, à l'état liquide, et même de fluide aériforme.

*L'eau à l'état solide* se forme partout où la température est au-dessous de 0<sup>d</sup>; elle reste constamment à cet état dans tous les lieux où la température moyenne se trouve aussi vers cette limite ou au-dessous. Aux pôles il existe des amas de glaces perpétuelles, au niveau même des mers; mais sous les diverses parallèles, ce n'est qu'à une certaine élévation qu'on les trouve, sur des montagnes où les neiges s'accroissent successivement. Les hauteurs où commencent ces dépôts augmentent rapidement en allant des pôles à l'équateur, et l'observation directe a donné à cet égard les résultats suivants :

Vers 70 <sup>d</sup> de latitude. . . . .	540 toises.
Vers 65 <sup>d</sup> . . . . .	770
Vers 45 <sup>d</sup> . . . . .	1500
Vers 20 <sup>d</sup> . . . . .	2400
Vers l'équateur . . . . .	2500

Dans les régions équatoriales, la température moyenne, à la limite des neiges, est  $1^{\text{d}},5$ , dans les régions tempérées, cette température est  $-3^{\text{d}},7$ ; dans les régions glaciales, elle est  $-6^{\text{d}}$ . D'après cette observation, on peut calculer approximativement la limite inférieure des neiges pour toutes les latitudes : il suffit de chercher dans la zone torride à quelle hauteur la température de l'atmosphère est  $1^{\text{d}},5$ ; dans la zone tempérée, à quelle hauteur elle est  $-3^{\text{d}},7$ ; et dans la zone glaciale, à quelle hauteur elle est  $-6^{\text{d}}$ , à telle ou telle latitude. Or, partant encore de l'observation, on voit que, pour la première zone, la hauteur moyenne à laquelle il faut s'élever pour avoir une diminution de  $1^{\text{d}}$  de chaleur, est de 95 toises; que dans la zone tempérée, elle est de 89 toises, et enfin dans la zone glaciale, de 85 toises. Donc connaissant la température moyenne du niveau des mers à la latitude donnée, il suffit de la diminuer de  $1^{\text{d}},5$ , ou de l'augmenter de  $3^{\text{d}},7$ , ou  $6^{\text{d}}$ , suivant la zone, et de multiplier dans le premier cas par 95 toises, dans le second par 89 toises, et dans le troisième, enfin, par 85 toises, pour avoir la limite cherchée.

Par exemple, vers l'équateur, la température moyenne est à peu près  $27^{\text{d}}$ ; donc la hauteur des neiges est  $25,5 \times 95 = 2422$  toises. Vers  $20^{\text{d}}$  de latitude, la température moyenne au niveau des mers est à peu près  $26^{\text{d}}$ ; la limite des neiges perpétuelles est donc  $24^{\text{d}},5 \times 95 = 2327$  toises. Vers  $45^{\text{d}}$ , la température est  $13$  à  $14^{\text{d}}$ ; donc la limite des neiges est  $17 \times 89$  à  $18 \times 89 = 1513$  à  $1602$  toises. Dans les régions glaciales, vers  $70^{\text{d}}$ , la température moyenne est  $0^{\text{d}}$ ; donc la hauteur des neiges est  $6 \times 85 = 510$  toises, etc. Ces résultats approchent suffisamment, pour une simple évaluation, de ceux de l'observation directe; mais il ne faut pas leur supposer l'exactitude: c'est à l'observa-

tion seule qu'on peut aujourd'hui en appeler pour connaître les variations qu'une multitude de circonstances peuvent apporter dans les diverses localités.

(331) Ces amas de neiges éternelles, accumulés au sommet des montagnes, ou tombés après coup dans les bassins et les vallées élevées qui les avoisinent, constituent ce qu'on nomme les *glaciers*. Ceux qui proviennent des neiges tombées immédiatement de l'atmosphère commencent, dans tous les climats, à la limite des neiges éternelles, et par conséquent à 1500 ou 1600 toises dans la zone tempérée; mais ceux qui proviennent des avalanches dont les matières se sont successivement accumulées dans les vallées, se trouvent beaucoup plus bas, et descendent même, dans nos climats, jusqu'à 700 toises au-dessus du niveau des mers, au milieu des prairies et des terres labourées de ces montagnes. La masse des premiers est à peu près invariable, mais les seconds varient continuellement : tantôt leur masse diminue, tantôt elle augmente, suivant le degré de chaleur des étés, qui en fond une quantité plus ou moins grande; quelquefois ils diminuent pendant plusieurs années de suite, et augmentent de même. Ce sont ces glaciers accidentels qu'on a été le plus souvent à même de visiter, et qui présentent en effet les circonstances le plus remarquables : les glaces y sont souvent en monceaux accumulés les uns sur les autres, et présentent l'image du plus grand désordre; la masse est divisée irrégulièrement par des crevasses profondes, percée de puits dans lesquels s'engouffrent avec fracas les petits ruisseaux qui proviennent de la fonte journalière; des glaçons taillés en pyramides aiguës, en espèces de tours gigantesques, en grandes crêtes percées à jours, toutes prêtes à s'érouler, hérissent de toutes parts la surface du dépôt, et arrêtent à chaque pas le voyageur téméraire

amené par la curiosité. Ce sont les plus grands et les plus effroyables spectacles de la nature : on les a quelquefois comparés à une mer agitée par la plus horrible tempête, et qui se serait tout à coup congelée, pendant que ses eaux écumeuses semblaient menacer la terre d'un bouleversement universel ; mais quelque peinture qu'on en puisse faire, elle est toujours infiniment au-dessous de l'affreuse réalité. Quelquefois cependant la surface est beaucoup plus unie ; on peut y voyager avec sécurité, en prenant les précautions nécessaires pour franchir les crevasses, y faire passer des troupeaux, des bêtes de somme pendant l'été, et abrégé ainsi le chemin qu'on serait obligé de faire pour aller d'un endroit à l'autre.

Dans nos climats, les glaciers de quelque importance se trouvent dans des montagnes très élevées, et c'est dans les Alpes qu'il faut chercher ceux qui sont les plus rapprochés de nous ; il en existe plusieurs autour du mont Blanc, la plus haute montagne de l'Europe. Sa partie supérieure, sur une hauteur de 1000 à 1200 toises, est perpétuellement couverte de neige, et les hautes vallées attenantes sont remplies par les éboulements qui ont eu successivement lieu ; sur la pente nord, au-dessus de Chamouny on trouve le glacier des Bois, ou *mer de glace*, qui a cinq lieues de long sur une de large dans sa partie supérieure, le glacier de l'Argentière, le glacier des Bossons, qui sont beaucoup plus petits ; sur la pente sud on trouve le glacier de Miage, dans le haut de la vallée de Cormayeur, etc. Au nord-ouest du Saint-Gothard se présentent encore plusieurs glaciers, parmi lesquels il faut remarquer l'immense glacier du Rhône, où ce grand fleuve prend réellement sa source ; les glaciers de Grindenwald et un grand nombre d'autres autour

des montagnes désignées sous les noms de Rothhorn, Jungfrau, Blumlisalp, etc.

Les Pyrénées nous offrent aussi des glaciers, mais moins considérables que ceux des Alpes; ils appartiennent tous à la première espèce de ceux que nous avons cités; il en existe aussi dans toutes les chaînes de montagnes qui sont suffisamment élevées relativement à la latitude où elles se trouvent.

On trouve aussi l'eau à l'état de glace dans certaines cavernes, qu'on nomme à cause de cela *glacières naturelles*, où elle se conserve dans toutes les saisons, et où elle paraît même être plus abondante en été qu'en hiver. Dans les unes les amas de glace sont le résultat de l'accumulation de la neige pendant l'hiver, et qui ne se fond que fort tard pendant l'été, par la difficulté que l'air éprouve à être renouvelé dans ces cavités, et à se mettre à la température du dehors. Dans d'autres il pourrait se faire que la glace fût le résultat de l'évaporation rapide de l'eau, causée par les courants d'air. C'est dans ces cavernes qu'on trouve particulièrement la glace en stalactites, quelquefois aussi nombreuses, disposées d'une manière aussi pittoresque, que le carbonate de chaux dans les grottes calcaires.

Les glacières naturelles connues sont peu nombreuses; la plus considérable est celle de la paroisse de Chaux, à six lieues à l'est de Besançon, près de l'abbaye de la Grâce-de-Dieu; elle est à 300 toises de hauteur dans le calcaire du Jura: il en existe trois autres dans la même contrée, mais beaucoup plus petites. Il s'en trouve une en Hongrie, près du village de Szilitze, sur les bords de la Torna, dans le comitat de ce nom, qui paraît être creusée dans les derniers calcaires intermédiaires.

(332) *Eau liquide.* Je ne m'arrêterai pas à décrire.

minutieusement le gisement de l'eau à l'état liquide, je ferai seulement remarquer que les rivières qui arrosent nos continents naissent tantôt des glaciers (le Rhône par exemple), tantôt de certains lacs alimentés de diverses manières (Volga, Honan et Kiang au Thibet), et qu'enfin le plus souvent elles sont le résultat de tous les filets d'eau qui suintent des montagnes, et se réunissent successivement. Mais il existe aussi des ruisseaux et des rivières souterraines, qui sont cachés sur une grande partie de leur cours, et que nous voyons ensuite sortir immédiatement du rocher, tantôt latéralement (rivière de Vaucluse, d'Orbe, etc.), tantôt verticalement (Loiret) sous un volume assez considérable pour porter immédiatement bateau, si leur lit n'était fréquemment encombré de rochers; elles se trouvent principalement dans les pays de calcaires secondaires.

Relativement aux lacs, nous ferons remarquer qu'il s'en trouve à toutes les hauteurs, au sommet des montagnes comme au milieu des plaines. Dans le premier cas ils sont ordinairement de peu d'étendue, et leurs eaux sont assez pures; dans le second, l'étendue est souvent considérable, et les eaux sont fréquemment chargées de sels de diverses espèces: c'est surtout dans les plaines les plus basses que se trouvent les lacs salés et les lacs de natron (pag. 600 et 643). Les lacs des montagnes se trouvent dans tous les terrains; mais ils sont beaucoup plus communs dans les montagnes de calcaire intermédiaire (Croatie, Bosnie, etc.), que dans les terrains granitiques (partie centrale des Karpathes; Alpes); il s'en trouve aussi dans les pays volcaniques, et dans quelques cas on suppose qu'ils sont dans de vieux cratères (pic d'Adam, à Ceylan; Sierra de l'Estrella près de Coïmbre en Portugal; lacs d'Agnano, d'Averne, etc.; Mont Idicne à Java; lac Pavin en Auvergne).

(333) *Les sources se trouvent partout au pied des*

collines ou des montagnes, à travers lesquelles peuvent filtrer des eaux supérieures; elles sont d'autant plus abondantes que les montagnes sont plus élevées ou plus boisées, ce qui occasionne la condensation des vapeurs que les vents transportent dans notre atmosphère. On remarque fréquemment dans les pays à couches horizontales, que les sources d'un même canton sortent toutes au même niveau, ce qui provient de ce que les eaux filtrent toujours jusqu'à ce qu'elles soient arrivées à une couche imperméable, à la hauteur de laquelle elles se portent au dehors; on observe la même règle dans les puits, et l'on donne souvent le nom de *nappe d'eau* à ce niveau général. Dans les contrées à couches inclinées, les sources sortent du côté où les couches plongent, et il y en a peu, ou même point, du côté où elles présentent leurs tranches. Dans les pays où la masse du terrain n'est pas sensiblement divisée en couches, comme dans les pays de porphyre et de granite, les sources sortent indifféremment de tous les côtés et à toutes les hauteurs, probablement en suivant les fissures.

Les diverses sources minérales salines, acidules, hépatiques, ne sont pas aussi communes que les sources ordinaires, mais elles n'ont pas en général d'autres gisements; elles sortent de toute espèce de roches, depuis le granite jusqu'aux derniers dépôts tertiaires. Il en est de même des eaux thermales, ou eaux minérales chaudes; il paraît seulement qu'il ne s'en trouve pas au-delà des terrains secondaires, et qu'en général dans ces terrains, elles sont à une température moins élevée que dans les terrains plus anciens.

La chaleur des eaux thermales a donné lieu à beaucoup d'hypothèses. On a quelquefois pensé qu'elle était due à l'action des volcans; mais comme ces eaux se trouvent dans tous les terrains, souvent fort loin des



contrées volcaniques, il a fallu recourir à une autre explication, qui n'est pas meilleure, et qu'on a cru trouver dans la décomposition du sulfure de fer. Aujourd'hui on est naturellement conduit à d'autres idées; on a observé que la température augmente à mesure que l'on s'enfonce dans l'intérieur de la terre, et à peu près de 1<sup>d</sup> pour 20 à 30 mètres de profondeur de plus. D'après cela il suffit de supposer que les eaux viennent de telle ou telle profondeur pour expliquer la température à laquelle elles se trouvent : ainsi pour les eaux bouillantes ou à la température de 80<sup>d</sup>, il suffirait de supposer qu'elles viennent d'une profondeur de 2 à 3 mille mètres.

*Eaux jaillissantes.* Il y a des sources qui sortent lentement et tranquillement de la terre, et d'autres qui jaillissent à une certaine hauteur. Les plus remarquables, parmi ces dernières, sont celles de la vallée de Rikum, au nord-est de Skalhot en Islande; elles sont en assez grand nombre, et portent le nom de *geyser*, qui, suivant les uns, dérive du mot *geysa*, *jaillir*, dans l'ancien dialecte scandinave, et, suivant les autres, signifie *furieux*; elles projettent par intervalle des colonnes d'eau bouillante, souvent considérables; on en cite une dont la colonne a 17 pieds de diamètre, et s'élève quelquefois jusqu'à 150 pieds de hauteur.

*Sources intermittentes.* Ces sources bouillantes sont intermittentes, c'est-à-dire que ce n'est que par intervalles qu'elles lancent les jets dont nous venons de parler. Mais il y a aussi beaucoup de sources ordinaires intermittentes; il en est qui coulent consécutivement pendant plus ou moins de temps, et dont le fond reste ensuite à sec pendant plusieurs heures, plusieurs jours, quelquefois plusieurs mois. D'autres n'ont que des mouvements de hausse et de baisse qui se répè-

tent à des intervalles plus ou moins longs ( Bouldon près Sanilhac; Côme dans le Milanais ); enfin il en est qui restent sans couler pendant plusieurs années, et qui ensuite coulent pendant un ou plusieurs mois (Boulaigne près de Fressinet dans le Vivarais).

Dans beaucoup de localités on peut provoquer des eaux jaillissantes, qui sont alors continues, en perçant seulement un trou de sonde dans le terrain jusqu'à une profondeur plus ou moins grande; c'est ce que l'on nomme *puits artésiens* ou *puits forés*. La théorie de ces eaux n'est pas encore parfaitement établie dans tous ses détails; mais il paraît que la condition essentielle pour les obtenir est l'existence d'une couche poreuse, susceptible d'être pénétrée par l'eau, entre deux couches imperméables, dont la supérieure soit solide. Du moment que l'on a percé cette dernière, l'eau s'élève dans le trou de sonde, et vient ordinairement jaillir à la surface du terrain.

(334) *L'eau en vapeur*, à la température ordinaire, est toujours mêlée à l'air atmosphérique; mais il se fait par les fissures de diverses roches un dégagement perpétuel de vapeur à 100°, avec une force considérable et un bruit que l'on entend souvent d'une demi-lieue. Ces jets de vapeurs, connus sous le nom de *fumarolles*, ont lieu tantôt dans des terrains calcaires (Monte Cerboli, Castel Nuovo, etc., etc., en Toscane), tantôt dans des terrains d'origine ignée (Stromboli), anciens ou modernes; ils sont accompagnés de vapeurs d'acide hydrochlorique (volcans actifs), d'acide sulfureux et hydro-sulfurique. Les eaux qui se condensent renferment de l'acide borique (lagonis liés aux fumarolles), et plusieurs espèces de sels.

Cette vaporisation de l'eau et des diverses matières qui l'accompagnent doit être attribuée à la même cause qui donne la chaleur aux eaux thermales.

# TABLEAU

## DES PRINCIPALES EAUX MINÉRALES DE FRANCE.

LOCALITÉS.	COMPOSITION PRINCIPALE.	TEMPÉRATURE Réaumur.	TERRAINS d'où elles SORTENT.
------------	-------------------------	-------------------------	------------------------------------

### EAUX PRESQUE PURES CHAUDES.

VIC (Cantal).		80 <sup>d</sup> ?	Granite.
BAGNÈRES-DE-BIGORRE (Hautes-Pyrénées).	Un peu de sulfate de chaux.	15 <sup>d</sup> à 45 <sup>d</sup> .	Calcaire intermédiaire.
DAX (Landes).	Un peu d'hydrochlorate de magnésie, et sulfate de soude.	48 <sup>d</sup>	
LUXEUIL (Haute-Saône).		24 <sup>d</sup> à 26 <sup>d</sup>	Sous le grès rouge.

### EAUX SALINES FROIDES.

PASSY (Seine).	Sulfates de chaux, de magnésie, de fer, d'alumine; hydrochlorate de soude; carbonate de fer; acide carbonique.		Argile plastique.
FORGES (Seine-Inférieure).	Carbonates de fer, de chaux; sulfate de chaux; acide carbonique; hydrochlorates de soude, de magnésie; silice.		Argile plastique.

### EAUX SALINES CHAUDES.

CHAUDES-AIGUES (Cantal).	Sous-carbonate de soude; hydrochlorate de soude; (carbonate de chaux.)	70 <sup>d</sup>	Gneiss, etc.
NÉRIS (Ailier).	Sous-carbonate, sulfate et hydrochlorate de soude, silice.	33 <sup>d</sup>	Terrain houiller.
FLOMBIÈRES (Vosges).	Sous-carbonate et sulfate de soude (hydrochlorate de soude, carbonate de chaux; silice, matière animale).	30 <sup>d</sup> à 53 <sup>d</sup>	Sous le grès rouge.
BOURBONNE-LES-BAINS (Haute-Marne).	Hydrochlorate de soude; hydrochlorate et sulfate de chaux.	44 <sup>d</sup>	Calcaire du Jura.

### EAUX ACIDULES FROIDES. *Acide carbonique.*

POUGUES (Nièvre).	Carbonates de chaux, de soude, de magnésie; hydrochlorate de soude.		Craie tufau.
PROVINS. (Seine-et-Marne)	Carbonates de chaux, de fer, de magnésie; hydrochlorate de soude.		Argile plastique.

LOCALITÉS.	COMPOSITION PRINCIPALE.	Réaumur. TEMPÉRATURE	TERRAINS d'où ellés SORTENT.
------------	-------------------------	-------------------------	------------------------------------

### EAUX ACIDULES CHAUDES.

VALS (Ardèche).	Carbonates de fer et de soude ; hydrochlorate de soude.	44 <sup>d</sup>	Granite.
VICHY (Allier).	Carbonates de soude, de chaux, de fer ; etc.	17 <sup>d</sup> à 37 <sup>d</sup>	Terrain secondaire ancien.
CRANZAC (Aveyron).	Sulfates de magnésie, de chaux, d'alumine, de fer.	33 <sup>d</sup>	Terrain bouillier.
BALARUC (Hérault).	Hydrochlorate de soude. Un peu d'hydrochlorates de magnésie et de chaux; carbonate et sulfate de chaux; carbonate de magnésie.	36 <sup>d</sup>	Calcaire secondaire.
MONT-DOR (Puy-de-Dôme).	Carbonate de fer, etc.; silice.	34 <sup>d</sup>	Trachyte.

### EAUX HÉPATIQUES FROIDES. *Hydrogène sulfuré.*

MONTMORENCY.	Sulfates de chaux et de magnésie ( carbonate de chaux ; hydrochlorates de magu. et de soude.		Gypse tertiaire.
SAINTE-AMAND (Nord).			Entre la craie et le terrain houiller.

### EAUX HÉPATIQUES CHAUDES.

EAU-BONNE (Hautes-Pyrénées).	Hydrosulfate, carbonate et hydrochlorate de soude.	21 <sup>d</sup>	Granite.
CAUTERET (idem).		16 <sup>d</sup> à 40 <sup>d</sup>	Granite.
BARRÈGES (idem).		30 <sup>d</sup> à 38 <sup>d</sup>	Calcaire intermédiaire,
BAGNÈRES-DE-LUCHON (idem).		24 <sup>d</sup> à 48 <sup>d</sup>	Granite.
BOURBON-L'ARCHAM- BAULT (Allier).	Hydrochlorates de soude et de magnésie; sulfate de soude, etc.	19 <sup>d</sup> à 46 <sup>d</sup>	Calcaire intermédiaire.
GREOULX (Basses-Alpes)	Acide carbonique, hydrochlorates de soude et de magnésie.	29 <sup>d</sup>	Calcaire du Jura.

On peut ajouter à cette liste les eaux chaudes acidules et sulfureuses d'*Aix*, en Savoie, de *Saint-Didier*, dans la vallée d'Aost; beaucoup de sources des environs de *Gênes*, de divers lieux de l'*Italie*; en Allemagne tous les endroits désignés sous le nom de *Baden*; en Bohême, *Carlsbad*, et tous lieux nommés *Baden*, *Teplitz*, *Topplitz a*; en Hongrie, Croatie, Transylvanie, les lieux désignés sous les mêmes noms, et *Bude*, *Eisenbach*, *Glashütte*, *Füred*, *Menadia*, etc.; en Angleterre, les eaux de *Bath*, *Bristol*, *Brightown*, etc, etc.

---

## LIVRE CINQUIÈME.

### EMPLOI DES SUBSTANCES MINÉRALES.

---

(335) LA curiosité, l'amour de connaître toutes les beautés de la nature, de découvrir quelques-unes des lois qui président à cet admirable ensemble de choses, sont sans doute suffisants pour déterminer quelques hommes à se livrer à l'étude de l'histoire naturelle; mais qu'importent leurs découvertes à la multitude, si elles ne donnent lieu à des applications d'une utilité générale? Il semble que pour le plus grand nombre, les sciences n'ont réellement pour objet que l'avancement des arts, et que leur fin est l'amélioration de l'existence humaine.

Le règne minéral est peut-être celui qui fournit aux usages de la vie le plus d'applications utiles, qui offre le plus de ressources à l'industrie, emploie le plus d'hommes dans les états civilisés, y répand le plus de richesses. L'art de bâtir y puise la plupart de ses matériaux, pour les constructions essentielles comme pour la décoration des édifices; l'agriculture y trouve des ressources pour l'amendement des terres; les arts

mécaniques en tirent les métaux , et un nombre immense de matières brutes de diverses sortes ; les arts chimiques y trouvent les matières premières pour les divers genres de fabrication ; les objets de luxe même en absorbent journellement un grand nombre. La quantité d'hommes qui trouvent leur existence dans le règne minéral est immense ; dans la France seule , qui sous ce rapport n'est pas , même comparative-ment , au niveau de ses voisins , le nombre d'hommes employés aux carrières , aux mines , au charroi des matières minérales , est de plus de trois millions. Et que serait-ce si l'on devait compter tous les artistes auxquels le règne minéral fournit les matières premières , et dont l'existence serait immédiatement éteinte si une circonstance fortuite venait à les priver de ces ressources ? Sous le rapport des richesses , des produits naturels qui fournissent annuellement une valeur réelle de 933 millions de francs en matières métalliques brutes , que les manufacturiers , les artistes , décuplent et centuplent par leur industrie ; 1 75 millions de matières combustibles qui suppléent à la dévastation des forêts , et dont la valeur serait doublée si on parvenait partout à vaincre les préjugés , à procurer les moyens de transport ; plus de 500 millions en pierres pour la bâtisse , en sables , en matières terreuses pour les verreries , les poteries ; plus de 100 millions peut-être en matières diverses que le luxe et une multitude d'usages habituels réclament journellement , etc. , doivent suffisamment attirer notre attention sur le règne qui les fournit.

EMPLI DANS L'ART DE BATIR.

(336) Toutes les matières assez abondantes à la surface de la terre , dont l'exploitation est facile , peuvent

être employées dans la bâtisse : aussi voit-on partout se servir en général , pour les constructions , de toute espèce de matériaux , en donnant seulement la préférence à ceux qui sont les plus indestructibles , les plus faciles à façonner grossièrement , les plus susceptibles de s'unir entre eux par le ciment , etc. Les pierres schistoïdes , telles que certains calcaires , le quartz schisteux , certains micaschistes et schistes argileux , certaines laves schisteuses (phonolites) , sont particulièrement recherchées , parce que les fragments dans lesquels on les divise , présentant toujours deux faces larges , sont plus faciles à joindre ; on les recherche surtout pour toutes les constructions dites *maçonneries de pierres sèches* , qu'on emploie particulièrement pour clore les propriétés rurales ; dans certaines localités (Savoie , Piémont , Tyrol , Allemagne , Hongrie , etc. ) , ces pierres schisteuses , taillées grossièrement sur une largeur de 12 à 15 pouces , et une épaisseur de 3 à quatre , sont simplement enfoncées en terre , comme des palissades , et forment des clôtures durables et très peu dispendieuses. Quant aux pierres poreuses , qui sont si propres à prendre le ciment , on n'en trouve guère que parmi les productions volcaniques , qui sont d'autant plus avantageuses qu'elles sont plus légères , parmi certains tufs calcaires qui sont carriés , caverneux comme les laves , enfin dans ce qu'on désigne sous le nom de *Pierre meulière* , ou silex molaire. Celle-ci est une des pierres les plus indestructibles , qui résiste à la sécheresse comme à l'humidité , mais qui malheureusement n'est commune qu'aux environs de Paris ; elle y est employée avec avantage , dans toutes les constructions où l'on cherche plus la solidité que la délicatesse des formes ; cependant elle donne au bâtiment un certain aspect sévère , qui n'est pas sans agrément , et que l'on cherche même assez souvent à imiter par des crépis.

Si l'on peut employer ainsi presque toute espèce de pierres dans la bâtisse, il n'en est pas de même dans ce qu'on peut appeler réellement architecture ; il faut alors que les matières soient assez fines pour recevoir la sculpture , qu'elles puissent se tailler facilement, sans éclater, à la pointe ou au ciseau, qu'elles puissent conserver les moulures, qu'elles aient assez de ténacité pour que les parties inférieures de l'édifice ne s'écrasent pas sous le poids des supérieures, et que cependant elles aient une certaine légèreté. Il est indispensable encore que les variations atmosphériques ne puissent avoir sur elles une influence destructive, que l'eau non-seulement ne les dissolve pas à la longue, mais même ne les pénètre pas, ou plutôt ne puisse rester dans leur intérieur jusqu'au moment des gelées, où se convertissant en glace dont le volume est plus grand, elle en occasionne la rupture ; enfin, il faut que ces matières soient en couches épaisses, homogènes, exemptes de fissures, que l'on puisse exploiter régulièrement pour en tirer des pierres de toutes dimensions.

Toutes ces qualités, qu'exige impérieusement l'architecture, excluent de ce genre de travail la plus grande partie des matières qui constituent de grandes masses à la surface du globe, et il n'en est guère que quatre espèces, avec un nombre considérable de variétés, qui soient employées ; savoir : les *pierres calcaires*, les *grès*, les *produits volcaniques*, les *roches granitiques*.

(337) *Pierres calcaires*. — Ce sont celles dont l'emploi est le plus fréquent, non-seulement parce qu'elles sont les plus abondantes, mais encore parce qu'elles ont en général l'avantage de se laisser tailler plus facilement que toutes les autres, et d'avoir cependant assez de ténacité pour résister à la pression, pour con-



server les arêtes, les moulures, etc. Toutes les variétés ne sont cependant pas indifféremment employées : les unes ont trop peu de cohérence, comme, par exemple, la craie, dans le plus grand nombre de ses variétés, plusieurs pierres calcaires grenues, simples ou micacées, des terrains primitifs et intermédiaires, qui ne résistent pas à la pression. Les autres, quoique ayant leurs parties parfaitement agrégées, sont trop fragiles, trop sèches, suivant le terme expressif des ouvriers ; telles sont les pierres calcaires très compactes à grains très fins, à cassure conchoïdale ou écaïlleuse : ces variétés sont d'ailleurs fréquemment remplies de fissures qui diminuent leur solidité, soit qu'elles se trouvent ouvertes, soit qu'elles aient été remplies et resoudées par du calcaire spathique, qui n'a lui-même qu'une très faible résistance.

Les pierres calcaires qui conviennent le mieux à l'architecture, sont en général les variétés compactes, à cassure inégale, plate ou irrégulière, mate ou d'un éclat terreux, et celles qui sont formées de coquilles liées entre elles par un ciment demi-cristallin, demi-terreux. Ces variétés abondent surtout dans les terrains secondaires et tertiaires, dans les dépôts analogues à ceux du Jura, dans les dépôts semblables à ceux des environs de Paris. Ce sont ces formations qui ont fourni la plupart des monuments du monde civilisé, et les pierres qu'on en extrait sont souvent transportées à de grandes distances : les plus belles maisons d'Amsterdam sont bâties en pierres de Schaumburg en Hesse ; on assure que les mosquées de Constantinople sont carrelées avec des dalles de pierres des carrières de Papenheim, en Bavière, etc. Ce sont les pierres des formations secondaires qu'on emploie communément dans la partie méridionale de la Lorraine, dans la Franche-Comté, dans la Bourgogne, en Bouy

bonnais, sur les bords du Rhône, dans une partie de la Normandie, du Poitou, etc. Elles sont aussi très répandues en Allemagne, et il en existe dans quelques parties de l'Angleterre.

Les pierres calcaires des terrains tertiaires sont employées particulièrement à Paris, et dans plusieurs départements voisins : ce sont, en très grande partie, celles qui forment la seconde assise de cette période de formation. Les ouvriers en distinguent plusieurs variétés qui sont propres à tel ou tel usage, et qu'ils désignent sous les noms particuliers de *Pierre de liais*, *oliquart*, *banc franc*, *Pierre de roche*, *lambourde*, etc.

On tire aussi des dépôts tertiaires, des calcaires à lymnées et planorbis, qui sont d'une excellente qualité; on a employé, avec avantage, des pierres de cette espèce, tirées de Château-Landon près de Nemours, pour la construction du pont de l'École-Militaire, et de plusieurs autres édifices; les environs d'Orléans sont bâtis avec des pierres semblables. Elles sont fréquemment susceptibles de poli.

On emploie encore en plusieurs lieux les dépôts calcaires, ou tufs, qui se rattachent aux formations les plus modernes; il en est d'excellente qualité. Parmi celles-ci, on peut citer principalement le *travertin*, employé en Italie, et dont se trouvent formés tous les temples antiques, et la plupart des monuments modernes : c'est une pierre blanchâtre ou jaunâtre, dont il existe de vastes carrières auprès de Tivoli, et dans différentes parties de la Toscane.

Il est à remarquer que la plupart des pierres calcaires doivent être employées dans les édifices, de manière à être dans la même position que dans les carrières dont elles sont tirées; ce qui tient à ce que la plus grande partie de celles qu'on trouve en couches plus ou moins épaisses sont formées de petits lits

à peine sensibles, mais qui font exfolier et fendre verticalement les masses lorsqu'elles sont placées en sens contraire, ce que l'on nomme placées en *délit*. Il n'y a que les pierres à structure très compacte, bien homogènes, qui forment des couches d'une grande épaisseur, qu'on puisse indistinctement placer dans tous les sens.

(338) *Pierres de grès*. — Les matières arénacées, ou grès, sont beaucoup moins employées dans l'architecture que les pierres calcaires; cependant il en est quelques espèces qui présentent assez de solidité, et dont on se sert avec succès dans plusieurs contrées où les pierres calcaires manquent. On emploie, 1<sup>o</sup> le *grès rouge* qui appartient à la partie inférieure des dépôts secondaires (partie orientale de la Lorraine, Alsace, Bourbonnais, bords du Rhin); 2<sup>o</sup> Les parties solides du grès houiller (Carcassone, canal du Languedoc, Vienne en Autriche, dans plusieurs parties de l'Italie, etc.); 3<sup>o</sup> des grès qui avoisinent le lias, tels que le *Quadersandstein* (littéralement, grès à pierre de taille), roche arénacée blanchâtre ou jaunâtre, qui forment des hautes montagnes dans le Riesengebirge, entre la Bohême et le comté de Glatz, et qu'on emploie dans la bâtisse, à Dresde, et sur les bords de l'Elbe; 4<sup>o</sup> différents grès des terrains tertiaires, savoir: la *mollasse*, employée avec succès en Suisse, et dans le département de l'Isère; les grès des parties supérieures des formations des environs de Paris; mais qu'on réserve plus particulièrement pour les pavés, à cause de la difficulté qu'on éprouve à les tailler régulièrement; dans le département de l'Aisne, plusieurs de ces grès, qui sont en apparence très friables et qui ne pourraient être employés à l'air, servent avec avantage pour les constructions sous l'eau.

(339) *Pierres volcaniques*. — Tous les produits volcaniques ne peuvent pas être indifféremment employés

pour l'architecture; les uns sont trop durs, trop compactes pour pouvoir être taillés; les autres, communément celluleux, n'ont pas assez de solidité; mais tous ceux qui ne sont que légèrement poreux ont la ténacité nécessaire pour en faire des pierres de taille, et offrent assez de facilité à être débités sous toutes les formes. Les laves poreuses des volcans éteints de l'Auvergne (lave de Volvic), des bords du Rhin (lave de Niedermemich, etc.), celles des volcans brûlants, du Vésuve, de l'Etna, sont d'un usage très étendu, et plusieurs sont même exportées à de grandes distances; elles offrent une grande solidité, et ont le grand avantage de prendre parfaitement le ciment.

On emploie également le basalte, dont les colonnes prismatiques, se placent souvent comme des bûches les unes sur les autres pour en former des murailles; on en a fait aussi usage comme bornes taillées naturellement, et qu'il suffit de mettre en place, et comme pavés, auxquels sa forme et sa dureté conviennent parfaitement.

Les produits volcaniques remaniés par les eaux, produisent aussi des pierres de construction de très bonne qualité. Tels sont les *tufs volcaniques*, exploités dans un grand nombre de localités (environs du Puy en Velay, bords du Rhin, Hongrie occidentale, campagne de Rome). On emploie aussi des *tufs ponceux*, qui constituent une pierre blanche, légère, très solide, qui se taille facilement et conserve bien ses arêtes, ses moulures (environs de Tokai).

(340) *Pierres granitiques*. — Les roches granitiques ne sont en quelque sorte employées qu'au défaut de toute autre pierre, ou dans le cas où l'on veut élever des monuments aussi durables que le monde; elles sont d'une solidité à toute épreuve, témoins plusieurs monuments égyptiens qui ont traversé les siècles et

n'en sont pas moins aussi frais que si on venait d'y mettre la dernière main ; mais elles sont d'une grande dureté, et par conséquent difficiles à tailler ; elles forment à la surface de la terre de très grandes masses sans stratification, ce qui procure, à la vérité, le moyen d'obtenir des pièces d'aussi grandes dimensions qu'on le désire, mais l'exploitation en est par cela même pénible et dispendieuse. Cependant plusieurs contrées de la France n'emploient pas d'autres pierres à bâtir (Bretagne, Normandie, entre Cherbourg et Alençon, Marche et parties adjacentes du Bourbonnais, Limousin, une partie de l'Auvergne, du Lyonnais, de la Bourgogne, etc.) ; et il en est de même dans un grand nombre de contrées de l'Europe et de diverses parties du monde (quais de la Néva et le canal de Catherine, ville et fort de Rio Janeiro, les tours de la fameuse muraille de la Chine, etc.). On transporte souvent cette roche, à grands frais, dans les parties qui en sont dépourvues, pour en revêtir des massifs dont on veut éterniser la durée, pour les trottoirs des rues, des quais, de tous les endroits d'un passage continu, ou pour en faire des bornes, etc. Les Anciens ont fréquemment employé des masses de granite d'un énorme volume : c'est surtout ce qu'on observe dans les monuments égyptiens ; on sait que plusieurs obélisques d'une seule pièce ont été transportés jusqu'à Rome. La masse la plus imposante qu'on ait transportée en quelque sorte de nos jours (1777) est celle qui sert de piédestal à la statue de Pierre-le-Grand, à Saint-Pétersbourg, du poids de trois millions de livres.

(341) *Couvertures des édifices, etc.* — Les couvertures qui ne sont pas métalliques, c'est-à-dire en plomb, en zinc, en fer-blanc, en fonte, ou qui ne sont pas en tuiles, en bois, etc., se construisent avec des substances minérales brutes. On se sert pour cet objet de toutes les matières solides schistoïdes, et qui

par conséquent peuvent se diviser facilement en plaques plus ou moins épaisses; telles sont : *micaschiste*, *quartz micacé schisteux*, *schiste argileux*, *grès schisteux*, *calcaire schisteux*, *phonolite*. De toutes ces roches c'est le schiste argileux, primitif ou intermédiaire, qui fournit les plaques les plus convenables dans la plupart des localités où les vents n'étant pas trop violents, permettent d'employer des couvertures légères, et par conséquent les charpentes les moins dispendieuses. Cette roche se laisse, en effet, diviser en feuillets suffisamment solides, qui n'ont pas plus de deux lignes d'épaisseur, et souvent moins, dont la toise carrée de couverture ne pèse que 100 à 125 livres. Ces roches portent en France le nom d'*ardoise*. Il y en a plusieurs exploitations considérables (Angers, Charleville), indépendamment d'un assez grand nombre de petites exploitations dans plusieurs lieux (Saint-Lô, Cherbourg, environs de Grenoble, Traversac et Villac près Brives, Blamont, Lunéville, etc.). Ce sont les ardoises d'Angers et de Charleville qui sont faites avec le plus de soin; les premières fournissent presque entièrement à la consommation de Paris.

Les ardoises épaisses sont au contraire recherchées dans les localités où les vents ont fréquemment beaucoup de violence, et où les matières qui couvrent les toits doivent apporter, par leur poids, une résistance suffisante. Dans les montagnes, où il tombe beaucoup de neige, on préfère encore les ardoises épaisses, parce qu'elles résistent mieux au poids énorme dont elles sont quelquefois chargées. Tantôt ces plaques sont fournies par des schistes analogues à ceux dont on fait les ardoises minces (côte de Gènes), tantôt par les roches quarzeuses micacées (Savoie, Piémont), par les grès schisteux, ou les argiles schisteuses plus ou moins chargées de bitumes, qui proviennent de la

formation houillère (Thuringe, Mansfeld), ou des premiers calcaires secondaires qui la recouvrent, par le calcaire schisteux (Bourgogne, Bourbonnais) et les phonolites (Auvergne, Velay).

*Le bitume* peut aussi être cité comme matière propre à former les couvertures des édifices; non-seulement on en imprègne aujourd'hui des toiles, des papiers qui peuvent former des couvertures légères, mais encore on l'emploie mêlé avec une certaine quantité de sable qui en forme une substance peu fusible et difficilement inflammable, pour couvrir les terrasses qui terminent les maisons dans un grand nombre de lieux; on en forme des espèces de dalles, qui se placent les unes à côté des autres, sur une couche de ciment quelconque bien dressée, et que l'on soude ensuite, pour n'en former qu'un seul tout, en passant un fer chaud à leur jonction.

(342) *Dalles, marches d'escaliers, revêtements.* — Les matières schistoïdes sont aussi recherchées dans l'architecture, lorsqu'elles sont susceptibles de se tailler facilement, de recevoir un douci suffisant avec peu de travail. Les pierres qu'on emploie sont principalement des calcaires et des schistes argileux; ces calcaires sont, ou les parties de couches minces feuilletées de la formation du Jura (carrière de Papenheim, sur les bords du Danube, etc.), ou la pierre de lias des terrains tertiaires; elles ont souvent l'épaisseur à peu près convenable pour cet objet, et il suffit de les doucir d'un côté, ou de les scier en deux parties sur leur épaisseur: dans les terrains tertiaires elles ont encore l'avantage d'être d'un grain plus fin que des couches beaucoup plus considérables. Les schistes sont ceux des terrains où l'on exploite l'ardoise même; mais on choisit alors les parties du dépôt qui se divisent en plaques épaisses, et qui, dans cette épaisseur, ont assez d'homogénéité;

on les emploie alors pour carrelages et dalles , après les avoir dégrossis ou doucis , pour les marches d'escalier , les aires de balcons , pour lesquels on les suspend seulement sur des potences de fer , pour revêtir le pied des murailles dans les églises et les maisons , et les garantir ainsi de l'humidité.

(343) *Des mortiers.* — On nomme *mortiers* , ou *ciments* , les matières par le moyen desquelles on réunit les pierres qui entrent dans la construction d'un édifice. Il en est de plusieurs espèces : dans les constructions grossières des campagnes on n'emploie souvent autre chose que des argiles délayées par l'eau ; mais dans les constructions plus soignées les ciments sont mieux choisis. Il paraît qu'en Égypte on a souvent fait usage du bitume pour cet objet , et on assure que les murs de Babylone étaient construits de briques liées entre elles par cette substance ; on en a aussi dernièrement introduit l'usage en France , pour de petites constructions , pour les fosses d'aisances des grandes villes , pour des bassins , etc. , etc. De temps immémorial on a fait usage de la chaux , mélangée avec diverses substances en poussière , pour former le mortier qui doit unir les pierres de taille dans les grands monuments , et dans les constructions auxquelles on veut donner une grande solidité. Enfin , dans beaucoup de lieux on emploie le plâtre pour établir la liaison entre les différentes pierres qui constituent les bâtisses courantes ; c'est la même substance qu'on emploie en revêtements , en crépis , dans une multitude de cas.

*La chaux* est le résultat du grillage du carbonate de chaux. Toutes les variétés de ce minéral peuvent en produire , mais toutes n'en donnent pas d'également propre à tous les genres d'emploi. On peut en général en distinguer dans les arts de trois sortes :



la *chaux grasse*, la *chaux maigre*, la *chaux hydraulique*. La première est la plus mauvaise; elle absorbe une grande quantité d'eau par l'extinction, elle est long-temps avant de durcir, même en plein air, et ne durcit jamais sous l'eau ou dans les lieux humides; c'est cependant celle qui est le plus fréquemment employée, d'une part parce que c'est peut-être la plus commune, de l'autre parce qu'elle supporte une grande quantité de sable, et qu'absorbant aussi une grande quantité d'eau, elle fournit par conséquent beaucoup plus de mortier sous un poids ou une mesure déterminée. C'est donc la plus économique, mais l'économie est produite ici aux dépens de la solidité.

La chaux maigre est bien supérieure pour les constructions, en ce qu'elle durcit promptement à l'air, et même dans les lieux humides; mais aussi elle est moins économique en ce qu'elle absorbe peu d'eau et supporte peu de sable.

La chaux hydraulique, enfin, durcit, non-seulement dans les endroits humides, mais sous l'eau, sans le secours d'aucun mélange; elle est par conséquent la meilleure que l'on puisse employer pour toutes les constructions hydrauliques, pour les fondations dans les endroits humides, etc.

Il est fort difficile d'indiquer quelles sont les variétés de carbonate qui produisent ces différentes sortes de chaux. Il paraît cependant que ce sont les variétés les plus pures qui produisent en général la première, ou la chaux grasse; que les autres sont produites par les carbonates plus ou moins mélangés de silice et d'alumine. Ce sont en général les variétés de carbonate les plus compactes, les plus sèches, qui paraissent produire la chaux maigre, et les variétés compactes à cassure plus ou moins terreuse, d'un blanc sale ou grise, qui abondent particulièrement dans la

formation du Jura, qui produisent la meilleure chaux hydraulique.

La chaux hydraulique est extrêmement importante, non-seulement pour faire les mortiers qui doivent servir à unir les pierres de construction sous l'eau, mais encore pour faire, en quelque sorte sur place, de véritables pierres appropriées immédiatement aux différents usages : c'est ainsi qu'après avoir fait une simple enceinte de planches au milieu d'une rivière, y avoir versé autant de chaux hydraulique qu'elle en peut tenir, on se procure, sans construction, des bases, des piles de pont, d'une parfaite solidité. On se sert d'un procédé analogue pour construire des murs et voûtes de cave, d'une seule pièce, à cela près qu'on commence par gâcher la chaux, qu'on y introduit quelquefois des fragments de silex, de briques, etc., pour s'opposer au retrait, et qu'on jette alors ce mortier, ou *béton*, dans l'espèce de moule qu'on a préparé. En Angleterre, en Hollande, on prépare même avec ce mortier des pierres factices qui sont assez solides, et que l'on moule suivant les formes et dimensions qu'elles doivent avoir pour les constructions.

Il est rare qu'on emploie la chaux seule comme mortier, si ce n'est lorsqu'elle est naturellement très mélangée de matière siliceuse et alumineuse. On y incorpore ordinairement du sable, et diverses sortes de matières pierreuses, argilo-siliceuses, dont le but est évidemment de procurer, autant que possible, la prompte consolidation à l'air, ou la prise sous l'eau. Malheureusement, ces mélanges, qui sont de la plus haute importance pour l'architecture, ne se font pas toujours de manière à atteindre réellement le but qu'on se propose. Le plus souvent, on voit introduire dans la chaux un sable grossier, ou des débris de poteries

grossièrement brisés, dont le seul effet, sans doute très utile, est d'empêcher le retrait que la chaux délayée par l'eau éprouve pendant la dessiccation; mais de tels mélanges ne peuvent en aucune manière hâter la consolidation, et ne sont presque d'aucune utilité sous ce rapport, si la chaux n'a déjà par elle-même les propriétés convenables. On n'approche de ce but que par des mélanges plus intimes, en employant des matières argilo-siliceuses réduites en poussière fine, en les malaxant le plus exactement possible avec la chaux. C'est de cette manière que les Romains, auxquels le temps et les bras ne coûtaient rien, sont parvenus dans tous les pays, à faire des mortiers d'une grande solidité, que nous trouvons encore aujourd'hui dans leurs monuments; ils n'introduisaient de matières grossières que ce qui était nécessaire pour empêcher suffisamment les effets du retrait, et suivant l'emploi qu'ils voulaient donner à leur préparation. On parvient encore mieux à se procurer d'excellent ciment, avec toute espèce de chaux, par le procédé imaginé par M. Vicat. Il consiste à laisser éteindre la chaux sans eau, et à mélanger le plus exactement possible la poussière qu'on obtient, avec des doses convenables de matières argilo-siliceuses; à faire une pâte du tout, en ajoutant un peu d'eau, à en former des boulettes qu'on laisse bien sécher, et qu'on recuit de nouveau comme on ferait de la pierre à chaux. Cette seconde cuisson produit ici le même effet qu'une première sur une pierre à chaux mélangée naturellement: il se fait une combinaison de la chaux avec la silice et l'alumine, ou une prédisposition à la combinaison qui s'effectue pendant le gâchage et la dessiccation. Ce procédé n'a que l'inconvénient d'être assez dispendieux, mais il n'en est pas moins de la plus grande utilité toutes les fois qu'on

ne peut se procurer directement des chaux propres aux constructions que l'on a en vue , et surtout pour pour les constructions hydrauliques.

On a cru, pendant long-temps , que dans la dessiccation d'un ciment , la chaux reprenait l'acide carbonique à l'atmosphère , et que la masse avait acquis sa plus grande solidité lorsque tout était converti en carbonate. C'est par cette raison , disait-on , que les ciments que nous trouvons dans les anciens monuments romains ont aujourd'hui plus de solidité que les nôtres; mais c'est une erreur, les ciments romains ne renferment pas la dose d'acide carbonique nécessaire pour saturer la chaux, et il est évident, dès lors, qu'il y existe des silicates et aluminates de chaux qui se sont formés postérieurement à l'emploi de la matière; il est même à remarquer que la dureté de ces anciens ciments est d'autant plus grande qu'il y a moins d'acide carbonique. Ces observations font voir combien il est important de choisir de préférence des pierres à chaux siliceuses et alumineuses , ou , lorsqu'on ne peut s'en procurer , de préparer convenablement les mélanges qu'on est dans la nécessité d'introduire.

Toutes les matières, même siliceuses, ne sont pas également propres à être mélangées avec la chaux , pour la confection des mortiers; les meilleurs sont celles qui ont éprouvé un degré plus ou moins avancé de cuisson ou de vitrification. On emploie fréquemment des débris de poterie, des scories des fourneaux , ou celles que laisse souvent la houille après la combustion , des matières cuites ou scoriacées qu'on a préparées tout exprès , comme les schistes scorifiés. Mais on trouve aussi dans la nature des matières qu'on peut employer, et qu'on emploie en effet avec un grand succès , dans diverses localités : ce sont les débris scoriacés et ponceux des volcans,

qu'on désigne sous les noms de *pouzolane* et de *trass*. Il s'en trouve partout, autour des volcans actifs comme autour des volcans éteints (Auvergne, Velay, Vivarais, bords du Rhin, etc.). On en a tiré, de temps immémorial, aux environs de Puzzole, d'où est venu le nom de pouzolane, dans le pays de Naples.

(344) *Du plâtre*. Le plâtre est le résultat de la calcination du sulfate de chaux aqueux : c'est une matière qui, étant gâchée avec de l'eau, l'absorbe avec avidité, et se consolide alors, presque subitement, en une masse d'une grande ténacité. Toutes les variétés de sulfate de chaux sont susceptibles d'en donner ; et M. Payen vient de faire voir que la qualité dépend uniquement du degré de cuisson. Ce chimiste a trouvé que pour l'obtenir de la meilleure qualité possible, il fallait que la calcination ne fût pas portée plus haut que la température de l'eau bouillante. Les plâtrières des environs de Paris, et auxquelles cette capitale doit sans doute en grande partie son extension, ont toujours été remarquées par l'excellence du plâtre qu'elles fournissent ; on l'avait attribué d'abord à une petite quantité de carbonate de chaux qui s'y trouve ; mais les expériences que nous venons de citer font voir le peu de fondement de cette opinion. Il paraît seulement que le carbonate de chaux empêche, par sa présence, l'effet de la calcination trop forte que l'on a coutume de faire subir à cette matière. Actuellement que nous connaissons le degré de cuisson qui paraît le plus convenable, il est probable qu'on pourra se servir de tous les dépôts de gypse que l'on connaît en tant de lieux différents, et dont jusqu'à présent on n'avait pu employer le plâtre que dans les constructions intérieures, à cause de son peu de solidité.

EMPLOI DANS LA DÉCORATION DES ÉDIFICES, DANS L'AMEUBLEMENT, ETC.

(345) Si l'architecture exige déjà beaucoup de qualités dans les pierres de construction, la décoration des édifices en exige encore beaucoup d'autres; il faut que la masse soit pleine, assez fine pour recevoir le poli, et souvent qu'elle ait des couleurs vives, capables de produire des effets agréables. Ces conditions excluent de ces travaux la plupart des substances minérales en masses un peu considérables, et il n'en reste qu'un petit nombre qui puissent être employées avec succès : nous y voyons figurer particulièrement le *carbonate de chaux*, les *roches feldspathiques*, le *sulfate de chaux*, le *fluor*, le *lapis*, le *carbonate vert de cuivre*, etc. Celles que l'on trouve en masses considérables, qui peuvent produire de l'effet à distance peuvent être employées en grand, en colonnes, en plaques de revêtement dans les édifices; celles qu'on ne trouve qu'en petits dépôts, dont les taches, les veines, les dessins quelconques sont petits et ont besoin d'être vues de près, servent pour le décors des appartements, pour les dessus de meubles, pour les chambranles, les vases d'agrément.

(346) Le *carbonate de chaux* fournit les différentes sortes de marbres, et l'albâtre calcaire. Toute espèce de pierre calcaire en grandes masses, à grain fin, d'un tissu homogène, susceptible de recevoir le poli, peut être désignée sous le nom de marbre, et employée comme telle avec plus ou moins de succès. Tous les dépôts calcaires peuvent en fournir, et ceux du Jura en offrent à la marbrerie commune dans les villes voisines de leurs lieux d'extraction; ou en a même extrait jusque dans les terrains tertiaires (pierre de Mont-Rouge, pierre de Saillancourt, cliquart dur de Luzarches, calcaire à l'ymnée de Château-Landon, près de Nemours). Mais ce

sont là plutôt des objets d'utilité que des objets de décoration; les marbres de décors doivent être choisis avec plus de soin; il ne suffit pas qu'ils soient susceptibles d'un beau poli, il faut qu'ils présentent, soit des couleurs vives, uniformes, soit un assortiment agréable de couleurs diverses ou de différentes teintes de la même couleur. Cependant, malgré tout ce qu'on exige dans ces marbres, on peut en trouver presque partout; les terrains secondaires en fournissent une multitude des plus agréables, et les terrains intermédiaires et primitifs, beaucoup d'autres encore. La France est extrêmement riche en cette sorte de production, et peut rivaliser avantageusement avec l'Italie, sur laquelle elle l'emporte certainement par la variété; il ne faut que se donner la peine de faire quelques recherches, pour y trouver la plupart des marbres que les Anciens ont employés, et que l'on arrache aujourd'hui de leurs monuments pour les ramener à grands frais sur les lieux mêmes d'où ils sont sortis, et dont on peut encore en extraire avec la plus grande facilité. Partout où les Romains ont pénétré, ils ont élevé des monuments, où ils ont employé de fort beaux marbres, qu'ils ont eu le talent de découvrir dans le pays. La France leur en a fourni un très grand nombre qu'ils ont transportés jusqu'à Rome, d'où plusieurs reviennent maintenant sous le nom de marbres antiques.

Le nombre des variétés de marbres est immense; chaque lieu, chaque carrière, chaque lit même d'une carrière, en offre une infinité par la nuance, la vivacité, le mélange, la disposition des couleurs, par une multitude d'accidents, par la présence ou l'absence des débris organiques, le mélange de substances étrangères, etc., etc. La plus grande partie de ces variétés portent dans le commerce un nom particulier,

quelquefois avec une ou plusieurs épithètes, et il suffit du moindre accident aux marbriers pour donner un nouveau nom à quelques plaques, débitées souvent dans le même bloc que beaucoup d'autres. Mais pour les classer, on ne peut guère établir que quatre grandes divisions, savoir : les *marbres simples*, unicolores et veinés, les *marbres brèches*, les *marbres composés*, les *marbres lumachelles*.

Les *marbres simples* ne renferment que du carbonate de chaux plus ou moins sali par des matières colorantes. Il y en a d'unicolores, parmi lesquels on peut distinguer les *marbres blancs* ( de Paros, pentelique, de Luni, de Carrare, etc. ), les *marbres noirs* ( de Dinan, Namur, des Hautes Alpes, de l'Arriège, etc.) les *marbres rouges* (*rouge antique, griotte d'Italie* qu'on tire de Caune près Narbonne, etc.) et les *marbres jaunes* (*jaune antique, jaune de Sienne*, etc.), qui sont d'autant plus estimés, que la teinte est plus pure. Les *marbres simples veinés*, présentent des variétés sans nombre. Il y en a de blancs veinés de gris, de bleuâtres, rosâtres, violâtres; de noirs veinés de blanc (*grand antique*) ou de jaunes (*portor*); de noirâtres veinés de blanc (*Sainte-Anne*), de bleuâtre (*bleu turquin, bleu antique, petit antique*), dont les veines sont ou plus ou moins foncées que le fond; de rouges, les uns rubanés (*le Sicile*), les autres veinés (*le Languedoc, de Caune, près de Narbonne, le Sainte-Baume, du Var, le grand rouge de Mont-Ferrier, Arriège, la fausse griotte, de Sampan, près de Dole, le marbre antin, Veirette dans les Pyrénées, etc.*). Il y a aussi des *marbres veinés à fond jaune* qu'on tire du même lieu que le jaune de Sienne, et dont nous trouvons de très jolies variétés en France (*le nanquin, Valmiger, Aude, le Saint-Remy, Aveyron, etc.*).

Les *marbres brèches* sont les uns composés de fragments de diverses couleurs, réunis par un ciment cal-



caire, les autres formés par des veines qui divisent la masse en pièces qui semblent être autant de fragments réunis. On distingue les *brèches* et les *brocatelles* : les premières présentent de grandes pièces, les autres des pièces beaucoup plus petites. Leur nombre est encore très considérable; on les distingue par la couleur de la pâte, par celle des fragments, et on nomme *brèches universelles* celles qui offrent des parties isolées de toutes couleurs. Les brèches les plus renommées, sont le *grand deuil* et le *petit deuil* (Aubert, Arriège; Cascastel, Aude; Sauveterre, Basses-Pyrénées) qui offrent des éclats blancs sur un fond noir; la *brèche d'Aix* (Alet et Tolonet, Bouches-du-Rhône), à fragments jaune et violet la *brèche violette* (Antique) à fond violâtre avec grands éclats blancs, un des marbres les plus riches; La *brèche de Vilette* (Tarentaise), à fond violet un peu cendré avec des taches blanches ou jaunâtres; la *brocatelle d'Espagne* à pâte lie-de-vin avec des petits grains arrondis, d'un jaune isabelle, etc., etc.

Les *marbres composés* sont des roches calcaires qui renferment des substances étrangères, disposées tantôt en feuillets plus ou moins ondulés, tantôt en nids plus ou moins volumineux qui souvent donnent à la masse l'apparence fragmentaire, ce qui les fait encore désigner sous le nom de brèches. La matière étrangère est tantôt de la serpentine (*le vert antique*, marbre de la plus grande beauté, formé de calcaire saccharoïde et de serpentine verte, l'un et l'autre en rognons anguleux; *le vert d'Égypte*, *le vert de mer*, *le vert de Suze*, *le vert de Florence* ou la serpentine est plus abondante); tantôt du mica disséminé (*cypolins*), ou en feuillets ondulés (*marbre campan*, dans les Pyrénées, etc.)

Les *marbres lumachelle*, ainsi désignés de l'italien *lumaca*, limaçon, sont ceux qui renferment des débris de coquilles ou de madrépores, tantôt entassés confusément les uns sur les autres, tantôt disséminés dans une pâte plus ou moins homogène; il en existe

un grand nombre de variétés (*drap mortuaire*, à fond noir, avec des coquilles coniques, blanches; *lumachelle de Narbonne*, fond noir et belemnites blanches; *lumachelle de Lucy-le-Bois*, à fond noirâtre avec des lignes courbes, qui sont des coupes de coquilles bivalves; *le petit granite*, dont on se sert aujourd'hui pour tous les meubles, à fond noir, avec une immense quantité d'encrinites, des Ecaussines près Mous; *lumachelle d'Astracan*, à pâte peu abondante, brune, et coquilles nombreuses d'un jaune orangé, qui est une des plus recherchées, mais qui ne se trouve dans le commerce qu'en petites plaques.)

Les marbriers distinguent dans toutes les variétés les *marbres antiques* et les *marbres modernes*: les premiers sont, en principe, ceux dont les carrières sont perdues ou abandonnées, et qu'on ne trouve plus que dans les anciens monuments; les seconds sont ceux que l'on exploite encore en différents lieux. Mais cette définition théorique est loin de conserver son exactitude dans la pratique; on donne journellement le nom de marbres antiques à des marbres tirés des carrières actuelles, pour en augmenter la valeur. On peut dire en général qu'on nomme antiques tous les marbres qui, par leur beauté, peuvent rivaliser avec ce que les Anciens ont employé de plus beau dans chaque espèce.

*L'albâtre calcaire* provient des stalactites et stalagmites de carbonate de chaux que l'on rencontre dans les cavernes des pays calcaires; on recherche les parties de ces dépôts qui sont d'un blanc très légèrement jaunâtre, d'une belle demi-transparence, avec des veines d'un blanc laiteux; c'est alors l'*albâtre oriental* ou *antique*. On recueille aussi les parties composées de couches parallèles bien distinctes, planes, ou courbées, les unes presque transparentes, les autres légèrement translucides, ou bien toutes de même degré de translucidité, et différentes par la couleur ou la teinte de couleur; c'est alors l'*albâtre veiné*, ou

*marbre onix* , *marbre agathe* , dont le plus estimé est généralement jaune de miel , avec des bandes ou zones plus foncées , qui ne tranchent pas d'une manière trop brusque : il doit être à structure compacte et d'un éclat un peu gras , mais il en est des variétés dont le tissu très légèrement fibreux produit un léger reflet soyeux qui est encore plus agréable. On emploie encore les variétés qui présentent des taches irrégulières sur des fonds de diverses couleurs dont les plus recherchées sont encore jaune de cire ou jaune de miel ; c'est l'*albâtre tacheté*. Enfin on emploie des *albatres unis* , mais toujours translucides , particulièrement pour des vases adaptés à divers usages ; les Anciens ont employé un albâtre nébuleux , d'un blanc laiteux presque transparent , pour les lampes qui devaient répandre un jour mystérieux dans leurs temples.

(347) Le sulfate de chaux produit ce que l'on nomme l'*albâtre gypseux* ou *alabastrite* ; c'est la matière blanche dont on fait des vases , des pendules , etc. , rarement travaillés avec soin ; cette matière est fort tendre , peu susceptible de poli et peu estimée ; il y en a des variétés colorées , jaunes , brunâtres , qui ont des veines ou des zones plus pâles ou plus foncées , qui ressemblent un peu à l'albâtre calcaire , mais qui sont loin d'en avoir l'éclat et l'agrément. C'est en Italie que se fabriquent presque tous les ouvrages que nous voyons en albâtre gypseux ; on en tire les matières des environs de Volterra ; mais cette substance est très commune en France , dans les terrains secondaires , où l'on pourrait également l'employer avec succès. Le gypse de Lagny , dans les dépôts tertiaires , qui est lamelleux avec de beaux reflets nacrés , a fourni des plaques assez agréables qu'on a employées de diverses manières , et que l'on a quelquefois colorées.

Le sulfate de chaux anhydre pourrait être employé de préférence au gypse, puisqu'il est plus dur, susceptible d'un poli plus durable, s'il était plus compacte, plus blanc, ou avec des teintes mieux prononcées. On en a travaillé quelques variétés qui sont d'un assez bel effet, et imitent assez bien les marbres pentiliques; mais il n'en est qu'une qu'on emploie habituellement: c'est une variété siliceuse d'un gris bleuâtre, ou d'un bleu très agréable, qu'on tire de Vulpino, à quinze lieues de Milan, dont on fait des tables, des chambranles de cheminées, sous le nom de *bardiglio*.

(348) *Roches feldspatiques, ou marbres durs.* Les marbres sont les roches qu'on emploie le plus fréquemment dans la décoration, parce qu'on trouve dans leurs innombrables variétés tout ce que le goût le plus délicat peut exiger dans les différents genres d'effets, et qu'ayant une dureté suffisante pour recevoir un beau poli, elle n'est cependant pas assez grande pour exiger des frais très considérables dans leur travail. Il n'en est pas de même des roches feldspathiques, qui sont d'une dureté extrême, et par cela même très difficiles à exploiter; elles ne sont employées que pour des objets d'un luxe élevé, des décorations monumentales très recherchées, et presque toujours à l'intérieur. On se borne le plus souvent même à employer les divers ornements préparés par les Anciens, qu'on a d'abord apportés de l'Egypte jusqu'à Rome, transportés quelquefois en d'autres lieux, et que l'on a tirés ensuite des monuments romains. A peine il se prépare aujourd'hui quelques tables, quelques chambranles, de petites colonnes, des vases, que des particuliers même se donnent rarement.

Les roches que les Anciens ont travaillées, et que nous avons successivement tirées de leurs monuments,

sont, des *granites*, des *siénites*, des *porphyres* de diverses sortes, des *euphotides*, etc., dont ils ont fait des colonnes, des cuves sépulcrales, ou baignoires, des tombeaux, des tables, etc. Nous exploitons encore quelques roches semblables, mais la plupart sont débitées en plaques, ou tables, dont le travail est à la fois plus facile et moins dispendieux.

Toutes les variétés des différentes roches que nous avons citées n'ont pas été, et ne peuvent être employées indifféremment, parce qu'elles ne sont pas toutes capables du même effet. Ainsi, parmi toutes les variétés de granites et de siénites, il n'y a que celles qui présentent des teintes vives, où les cristaux de feldspath sont de grandes dimensions, ou se distinguent nettement, qui puissent produire de beaux effets (*granite rouge d'Egypte* (siénite) *et des Vosges*, *granite de l'Ingrie* à fond rouge et nodules chatoyants de feldspath, *granite* (siénite) *noir et blanc*, *granite* (siénite) *orbiculaire de Corse*, à pâte granitoïde, renfermant des globules à couches concentriques vertes et blanches et des stries vertes en rayon); les variétés à petits grains, qui sont le plus souvent grisâtres, et qui appartiennent presque toutes à la plus ancienne des formations primitives, sont le plus souvent insignifiantes, et n'ont été que rarement employées. Les porphyres doivent présenter aussi un fond d'une couleur vive, des cristaux qui tranchent agréablement dessus, qui soient nettement dessinés, plus ou moins grands, et convenablement écartés les uns des autres. (*Porphyre rouge antique*, *brun antique*, *brun de Suède*, *noir antique*, *vert antique*, *porphyre globuleux de Corse*, à pâte jaunâtre, au milieu de laquelle se trouvent de gros globules, radiés du centre à la circonférence). C'est dans les terrains intermédiaires, dans le voisinage des siénites, que ces belles variétés se présentent; la base des terrains secondaires peut en offrir encore quelques-unes, et on pourrait en trouver quelques varié-

tés à petits cristaux dans les terrains trachytiques; rarement les terrains primitifs en offrent qui soient capables d'un bel effet. Les euphotides (*gabro* des Florentins) employées, sont les variétés où le diallage est en grandes lames, présentant des reflets satinés, métalloïdes, bronzés, sur un fond verdâtre ou grisâtre.

A la suite des porphyres, nous devons indiquer les variolites qui n'en sont que des variétés, où au lieu de cristaux de feldspath distincts, ce sont des globules de la même substance, compactes, ou striés du centre à la circonférence, ou simplement des taches plus claires de la même matière. On les emploie encore comme objets d'ornement, mais assez rarement en grand.

Si les roches cristallines que nous venons de citer nous offrent des matières susceptibles d'être employées avec succès dans la décoration de nos édifices, leurs débris accumulés çà et là dans la série des formations, tantôt en fragments irréguliers, tantôt en cailloux arrondis, et cimentés fortement ensemble, peuvent encore présenter des matériaux importants. On distingue la *brèche universelle* (de la vallée de Qosseyr, en Egypte), qui est un assemblage de fragments et de cailloux de sienite de diverses variétés, de porphyres, de feldspath compactes colorés, liés par un ciment de feldspath amphiboleux vert. M. de Rosière a fait connaître une sorte de poudingue d. s. déserts de l'Egypte, à pâte de grès dur, qui réunit un nombre plus ou moins considérable de l'espèce de jaspe connue sous le nom de cailloux d'Égypte, qui a été fréquemment employée par les Égyptiens, et qui est d'un très bel effet.

Nous possédons aussi dans les terrains tertiaires, des poudingues à pâte de grès dur, remplis de cailloux roulés, siliceux, brunâtres, noirâtres, simples ou rubannés, qui produisent un très bel effet, mais qu'on ne trouve guère en grandes pièces.

(349) *Petits ornements , placages , pièces de rapport , etc.* — Toutes les matières dont nous venons de parler sont en grande masse , et par conséquent peuvent être travaillées en objets de grande décoration , comme en petits ornements ; mais il existe beaucoup de substances qu'on ne trouve jamais qu'en masses peu considérables , et qu'en conséquence on ne peut employer qu'en petits ornements , comme vases , pendules , etc. , ou bien en placages , en incrustations , etc. Celles qui méritent le plus d'attention , sous ce rapport , sont le *lapis lazuli* , la *malachite* , le *fluor* , le *feldspath de Labrador* , etc.

Le *lapis lazuli* , ou *lazulite* , est une des plus belles pierres qu'on puisse employer en revêtement ; mais on ne la trouve qu'en petites pièces rarement de 15 à 20 pouces de côté , de sorte que la plupart des incrustations se composent de petites plaques placées l'une à côté de l'autre. C'est aussi rarement la substance pure qu'on emploie , mais plutôt la roche dans laquelle elle est disséminée en plus ou moins grande abondance , et on recherche alors celle dont le fond est d'un beau blanc avec de belles taches bleues , en proportions convenables. Les variétés pures , qui ne sont pas d'un aussi bel effet , quoique plus riches , sont réservées pour la bijouterie. Cette matière très rare ne peut être employée que pour des décorations très somptueuses ; elle a été employée avec profusion dans les appartements du palais de marbre que Catherine II a fait bâtir à Pétersbourg. Dans quelques églises , les tabernacles sont décorés avec cette précieuse matière. On la fait entrer en petites pièces dans les tables incrustées ou espèces de mosaïques que l'on a fait à Florence.

La *malachite* , ou carbonate vert de cuivre , formée par la réunion de petites stalactites dont cha-

cune a ses couches d'accroissement, sa structure fibreuse radiée, est en quelque sorte un albâtre de cuivre. Elle présente des zones de diverses teintes de beau vert, qui se fondent doucement l'une dans l'autre, se dessinent de la manière la plus agréable par le poli, et qui sont rehaussées par l'éclat légèrement soyeux qu'occasionne la structure fibreuse. Malheureusement, on ne peut l'avoir en grandes pièces, tant parce que les dépôts en sont peu considérables, que parce qu'ils sont fréquemment remplis de fissures et de cavités. La plus belle pièce qu'on ait citée est celle qui se trouvait dans le cabinet du docteur Guthrie, à Saint-Petersbourg, de 32 pouces de longueur, 17 de largeur, et 2 pouces d'épaisseur, qu'on a estimée à 20,000 francs. Aussi débite-t-on les morceaux qu'on peut se procurer, en feuilles extrêmement minces, pour en exécuter des placages comme ceux que nous faisons avec les bois précieux. C'est par ce moyen, et par des pièces de rapport, que l'on cherche à disposer de manière qu'on aperçoive le moins possible leur réunion, qu'on est parvenu à faire des tables, des vasques d'une grande étendue, des chambranles de cheminée, etc., etc., qui sont de la plus grande beauté, et toujours d'un très haut prix. On pétrit quelquefois les petits fragments entre eux, et on en fait des objets pleins, qui sont encore assez agréables.

Le *fluor*, beaucoup moins rare, en général, que la malachite, est encore employé avec succès pour des vases, des ornements de fantaisie, qui sont extrêmement agréables. On choisit les variétés qui ont des couleurs vives, et particulièrement diverses teintes de violet, de rosâtre, disposées par zones, en zig-zags, imitant des fortifications. Il en est qui, sur un fond violâtre, présentent de grandes taches rosâtres, d'un éclat nacré, formées par une aggrégation de carrés,



résultant de la section des octaèdres ou des cubes dont la masse est composée, et qui sont du plus bel effet. On se sert aussi de quelques variétés jaunâtres relevées par des zig-zags violets. On a aussi employé les mêmes variétés en incrustations, ainsi que celles d'une teinte verte plus ou moins décidée, qui sont fréquemment mélangées de quarz.

La *Pierre de Labrador*, ou Labradorite, est encore, par la vivacité des reflets bleus, jaunes verdâtres, rouges cuivrés, etc., qu'elle présente sous diverses inclinaisons (pag. 297), une substance qui promet les plus beaux effets; malheureusement elle est plus agréable en petites plaques isolées, qu'on peut faire mouvoir devant l'œil, que travaillée en objets d'ornements qui, dans quelques parties, n'offrent que la teinte grisâtre ou noirâtre naturelle. Elle ne se trouve, dans la nature, qu'en pièces peu considérables, et ne peut dès lors être employée habituellement qu'en placage et en incrustation. Ce qu'on a exécuté de plus beau, sont : une table carrée, composée de deux plaques découpées d'une tablette de 13 pouces sur un pouce et demi d'épaisseur; un guéridon de marbre blanc, incrusté d'une large étoile; une pendule, des vases carrés, des candélabres, qui existaient dans la belle collection de M. le marquis de Drée.

Il existe encore plusieurs substances qu'on peut quelquefois employer en ornements; telles sont la *Pierre des Amazones*, ou feldspath vert, dont il existait un vase charmant dans le cabinet de M. de Drée, l'*améthiste*, qui se trouve quelquefois en assez grande masse pour qu'on puisse en faire des petites colonnes, assez jolies lorsqu'elles sont relevées par des dorures, et qu'on emploie en grandes incrustations, lorsque mélangée avec du quarz blanc elle produit des masses qui présentent des dessins en zig-zags, assez analogues

à ceux qu'on voit sur certains fluor. Le *quarz rose* a été employé en coupes qui sont très agréables ; la *calcédoine* en grande pièce a aussi été employée de la même manière, ainsi que différentes variétés de *jaspes* qui se trouvent en couches, en grandes veines dans la nature, telles que le *jaspe vert rubanné de rouge*, certains *jaspes jaunes*, qui offrent des taches opaques d'un jaune d'or, au milieu d'une calcédoine translucide ; des *jaspes* dits *œillés*, à fond brun, jaune, etc., avec des taches blanches, verdâtres, jaunes, etc., tantôt simples, tantôt composés de couches concentriques de diverses couleurs. Les *bois agathisés* ont été travaillés particulièrement en socles ; les bois de palmier sont les plus agréables et les plus recherchés. Le *caillou de Rennes*, ou espèce de poudingue siliceux, à très petits cailloux rougeâtres, jaunâtres, réunis par une pâte de couleur rouge, est aussi très agréable en petits vases, en socles, etc. Le *poudingue d'Angleterre*, formé de cailloux de silex, réunis par un ciment de grès, dont il existe aussi d'assez belles variétés dans la forêt de Fontainebleau, est encore une matière d'un très bel effet. Enfin, toutes les matières minérales qui ne se trouvent pas en trop petites masses, qui sont susceptibles d'un beau poli, peuvent être employées pour de petits objets d'ornement ; beaucoup de roches mélangées de grenat, d'idocrase, de lamelles brillantes de mica, etc., présentent quelques parties qui peuvent être travaillées avec succès ; il n'y a pas jusqu'aux dépôts arénacés les plus modernes qui ne puissent en offrir, car on a employé des grès rubannés jaspés, du département de l'Orne, qui sont d'un fort joli effet.

EMPLOI DANS LA BIJOUTERIE, LA JOAILLERIE, ETC.

(350) La plupart des substances que nous avons in-

diquées, sont aussi travaillées en gros bijoux, tels que boîtes, petits coffrets, poignées de sabres et de poignards. C'est ainsi qu'on emploie assez fréquemment le lapis lazuli, la malachite, quelquefois le fluor, et surtout le feldspath de Labrador, le feldspath vert, dont le dernier est très recherché. Le quartz blanc, le quartz améthyste, les bois agathisés, le caillou de Rennes, le poulingue d'Angleterre, etc., sont appliqués aux mêmes usages. On se sert même de diverses autres matières qui se trouvent en nids, en veines, en rognons peu considérables dans la nature : tels sont le *quartz aventuriné*, les *calcédoines*, ou *agathes*, le *jaspe vert* ou *héliotrope*, le *jaspe sanguin*, le *jaspe panaché* ou *caillou d'Égypte*, la gangue d'opale ou *prime d'opale*, qui est une matière argileuse remplie de petits nids d'opale irisée, le *feldspath*, compacte, uni, veiné, jaspé, rubanné ; un assez grand nombre de substances mélangées, telles que *quartz grenatifère*, *serpentes vertes*, demi-transparentes, souvent remplies de grenat rouge ; des *quartz*, des *feldspath*, des *calcaires micacés* ; certaines variétés du *marbre bleu antique* à très petites veines ; certaines *lumachelles*, telles que celles d'*Astracan*, de *Carinthie*, etc., etc.

Plusieurs sortes de pierres qui, par elles-mêmes, ne sont pas très recherchées, sont employées par suite de leur finesse et de leur inaltérabilité, à ce que la sculpture a de plus fini et de plus délicat. Les anciens nous ont laissé de superbes ouvrages en ce genre (*apothéoses d'Auguste*, de *Germanicus*, *Jupiter Agiocus*), et les artistes modernes ont aussi produit des chefs-d'œuvre qui ne le cèdent en rien à ce que l'antiquité a produit de plus beau. Ceux de ces ouvrages qui sont les plus connus sont les *camées*, ou pierres à couches de diverses couleurs, sculptées en relief. La plupart sont exécutés sur des calcédoines, pour les-

quels on a toujours recherché celles qui offrent au moins une belle couche blanche sur une autre noire ou brune, et plus encore celles qui présentent une couche blanche entre deux couches de couleur rembrunie. Aujourd'hui on teint assez fréquemment les pierres, soit d'un seul côté, soit de deux, en brun, en lilas, etc. Les artistes conservent la couche plus foncée pour servir de fond, sculptent le relief principal sur la partie blanche, et réservent quelque chose de la couche supérieure, soit pour les cheveux, soit pour les vêtements ou quelques accessoires.

On a également gravé, soit en relief, soit en creux, sur des pierres de couleurs uniformes, et particulièrement sur des cornalines, des sardoines, des calcédoines, des jaspes rouges, des jaspes sanguins, quelquefois sur l'améthiste, et enfin sur des pierres fines, telles que *rubis*, *émeraude*, *topaze*, *zircon*, etc.

C'est ici le lieu de parler des camées exécutés sur des schistes onyx, qui sont apportés de la Chine comme objets de curiosité. Ce sont des plaques de roches analogues à certaines variétés très denses de nos ardoises, qui présentent trois ou quatre couches de couleurs différentes; une brune, qui doit servir de fond; d'autres rougeâtres, blanchâtres, verdâtres, sur lesquelles les Chinois ont sculpté divers sujets et particulièrement des intérieurs de maisons, des paysages quelquefois animés de personnages et d'animaux; il y en a de grandes dimensions, qu'on peut regarder comme de bas-reliefs de décorations.

(351) *Pierres précieuses*. Indépendamment de ces diverses pierres dont le travail fait presque toute la valeur, il en est un assez grand nombre qu'on emploie journellement pour les bijoux de toute espèce, depuis ceux que demande le luxe le plus recherché, jusqu'à ceux des parures les plus modestes. Les unes

sont réellement des *matières précieuses*, par suite de l'éclat dont elles sont douées, joint à une parfaite limpidité, à de vives couleurs, à une dureté considérable, à une grande rareté, qui les rend toujours d'un prix très élevé. D'autres se rapprochent seulement de celles-ci par des qualités susceptibles de plaire à l'œil, par des couleurs agréables, quelque chatouillement, mais n'en ont ni l'éclat ni la dureté, sont beaucoup plus communes, et par conséquent beaucoup moins chères.

Les pierres précieuses les plus répandues dans le commerce se rapportent à un très petit nombre d'espèces minérales qui offrent chacune plusieurs variétés plus ou moins estimées : tels sont le *diamant*, le *corindon*, l'*émeraude*, le *spinelle*, le *cymophane*, l'*opale*, le *péridot*, la *topaze*, le *grenat*, la *tourmaline*, la *cordiérite*, la *turquoise*, quelques variétés rares de feldspath, de quartz, etc.

Le *diamant* est la pierre par excellence : sa dureté, son éclat, sa force de réfraction, qui, en décomposant la lumière, la fait jaillir souvent en faisceaux de mille couleurs, l'on fait rechercher dans tous les temps, et lui mériteront toujours le premier rang. Le plus estimé est celui qui est d'une parfaite limpidité ; il perd beaucoup lorsqu'il a quelque teinte jaunâtre, comme il arrive fréquemment, et ce n'est que quand les couleurs deviennent franches et vives, qu'il reprend sa valeur, et quelquefois même une plus considérable.

Après le diamant, les pierres précieuses les plus recherchées sont diverses variétés de corindon, dont la dureté est encore excessive, l'éclat très vif, les couleurs très pures. Ce sont les corindons rouge (*rubis oriental*), bleu (*saphir*), blanc (*saphir blanc*), jaune (*topaze orientale*), pourpre (*améthiste orien-*

*tale*), vert (*éméraude orientale*). Toutes ces pierres doivent être d'une teinte uniforme, ce qu'il est assez rare de rencontrer, d'une couleur bien décidée et d'un beau *velouté*; celles qui sont d'une teinte faussée, ou qui présentent plusieurs nuances, perdent considérablement de leur valeur. On emploie ordinairement les corindons isolés, et il faut qu'ils soient d'une bonne grosseur; ceux qui sont très petits sont à peine recherchés, si ce n'est le rubis, dont on fait des entourages. Les *corindons opalisant* et *astérie* sont encore recherchés lorsqu'ils sont beaux.

Le *spinelle* nous fournit encore de très belles pierres, qu'on désigne sous les noms de *rubis spinelle* et de *rubis balais*; les premiers peuvent rivaliser avec les corindons rubis, et sont également d'un prix très élevé, qui varie suivant la teinte; on les vend souvent sous le nom de rubis oriental. Les seconds, d'une teinte rosâtre, rouge de vinaigre, lie de vin, sont beaucoup moins estimés, et souvent confondus avec la topaze brûlée; on en fait cependant des parures qui sont quelquefois encore fort chères.

L'*éméraude* nous offre plusieurs variétés qui sont plus ou moins recherchées. La plus belle, la plus estimée, est la variété d'un beau vert, qui nous vient du Pérou, et qui est colorée par l'oxyde de chrome. Son prix est très élevé lorsqu'elle présente une teinte veloutée, et qu'elle est sans défaut. L'*aigue-marine*, d'un vert bleuâtre ou bleu verdâtre, a besoin d'être d'un assez grand volume, et a même alors peu de valeur. Les variétés qui sont d'un beau bleu de ciel foncé (*bénil bleu*) sont beaucoup plus recherchées, et se maintiennent dans le commerce à un très haut prix. Il y a aussi des variétés jaunes qui sont d'un assez bel effet étant polies, et qui imitent la variété de corindon dite topaze orientale; il en est d'un vert

jaunâtre qu'on a quelquefois passées pour cymophane.

Toutes ces variétés d'émeraude sont employées en parures de diverses sortes, et la belle émeraude du Pérou, entourée de diamant dont l'éclat rejaillit sur elle, est d'un effet très agréable.

Le *cymophane*, désigné sous le nom de *chrysobéril*, est encore une pierre très estimée, lorsqu'elle est d'une belle transparence, d'une belle couleur jaune verdâtre, ou lorsqu'étant un peu laiteuse, elle offre un beau chatoyement. Elle est très recherchée au Brésil et en Angleterre, à cause de son éclat, qui rivalise avec celui du diamant.

L'*opale* est encore une espèce minérale qui offre des variétés très recherchées, telles que l'*opale irisée* et l'*opale de feu*. La première présente de grands reflets diversement colorés, ou de petites taches, qui sont comme autant de paillettes, de toutes les couleurs; ces variétés sont toujours d'un prix très élevé, lorsqu'elles sont parfaites. L'*opale de feu*, les opales chatoyante, laiteuse, qui sont quelquefois employées, ont beaucoup moins de valeur; il en est de même des primes d'*opale* dont nous avons déjà parlé, qu'on n'emploie guère qu'en boîtes.

La *topaze*, plus commune que la plupart des pierres dont nous venons de parler, est cependant très fréquemment employée, mais pour des parures moins recherchées. Les plus estimées sont les topazes roses; mais on leur donne quelquefois artificiellement cette couleur, en les faisant chauffer lentement; elles sont alors d'une moindre valeur, quoique toujours assez élevée: ce sont les variétés jaune, rousâtre, qui sont employées pour cette opération. Les topazes d'un jaune pur, orangé, sont encore très recherchées; viennent ensuite les topazes bleues, qui jusqu'ici ont peu de valeur, quoiqu'elles présentent

de charmantes pierres , bien plus éclatantes que le béril bleu. Il en est de même de la topaze blanche , que l'on n'emploie guère qu'en pierre isolée , en épingles ou bagues , et pour imiter le diamant.

*Le grenat* offre peu de variétés qui soient d'une grande valeur. Celles qu'on trouve le plus communément , et qui présentent des teintes rouges diverses , que l'on taille en perles , en cabochons , et dont on a fait anciennement des colliers , sont très peu estimées. Il n'y a que celles d'un beau violet velouté , qui portent le nom de *grenat syrien* , qui soient d'un prix élevé. Les pierres qu'on désigne dans le commerce sous le nom d'*hyacinthe* , sont aussi fort chères , lorsqu'elles sont parfaites ; elles ont une teinte cannelle , d'un beau velouté. On emploie cependant assez fréquemment des grenats d'une moindre valeur , qu'on désigne souvent sous le nom de *grenats de Bohême* , ou *pyrope*.

Le *zircon* , qu'on désigne aussi sous les noms de *jargon* , d'*hyacinthe* , mais avec lequel on a confondu le grenat essonite , est une pierre de peu d'effet , d'un éclat gras , un peu adamanteux , et dont on a substitué autrefois les variétés blanches au diamant.

Le *péridot* mériterait d'être plus estimé ; c'est une pierre vert pré , très agréable lorsqu'elle est bien taillée , qui produit un joli effet avec entourage de diamant.

La *tourmaline* offre peu de variétés qu'on puisse employer avantageusement ; on en taille cependant au Brésil beaucoup de verdâtres et bleuâtres , que l'on monte en bagues , en épingles , mais qui sont réellement de peu d'effet ; il y a certaines variétés d'un vert pré , qui imitent assez le péridot , mais qui ne le valent pas. La variété verte du Saint-Gothard est assez jolie , et imite certaines aigues-marines ou bérils. La *rubellite* est la seule pierre de ce groupe qui puisse être



employée avec succès lorsqu'elle est bien choisie. Il en est d'une teinte rouge, analogue à celle du rubis, qui est extrêmement recherchée, et qui est d'un très grand prix, lorsqu'elle est parfaite, parce qu'il est extrêmement rare de la trouver exempte de glaces. On l'a vendu quelquefois sous le nom de rubis, et à des prix très élevés.

La *cordiérite*, sous le nom de *saphir d'eau*, nous offre une pierre bleu violâtre, peu estimée, parce qu'elle a peu d'éclat et est rarement de couleurs uniformes; une de ces pierres, de 10 lignes sur  $8\frac{1}{2}$ , n'a été vendue que 160 fr. Il y a une variété scintillante.

Les *turquoises*, quoique peu dures, sont encore de pierres très recherchées, par l'agrément de leur teinte, et que l'on monte fréquemment avec des entourages de diamant ou de rubis. Sa couleur bleu verdâtre se marie très bien avec toutes les pierres, et sied parfaitement; elle est fort estimée, et se maintient toujours à des prix très élevés, qui varient suivant la beauté de la teinte.

Le *feldspath* nous offre particulièrement deux variétés fort recherchées dans la joaillerie. L'une est aventurinée, et présente une multitude de points scintillants, jaune d'or ou rougeâtres; elle est connue sous le nom de *Pierre de soleil*: son prix est toujours très élevé. L'autre variété est désignée sous le nom de *Pierre de lune*, parce qu'elle offre un chatoyement d'un blanc bleuâtre, d'une teinte douce; elle est aussi très estimée lorsqu'elle est parfaite.

Le *quarz*, parmi toutes les variétés de couleurs qu'il nous présente, ne fournit cependant qu'une seule pierre de quelque valeur, qu'on emploie habituellement dans la bijouterie; c'est le *quarz améthyste*, qui est très estimé lorsque, sous une bonne grandeur, il offre une belle teinte de violet velouté,

bien uniforme : ces pierres de teinte foncée uniforme sont rares , et sont toujours montées isolément ; on préfère , pour les parures , les améthistes claires , qui sont plus communes , moins chères , mais dont l'effet est ici plus agréable ; elles se marient parfaitement avec l'or. L'*œil de chat* , que l'on regarde encore comme un *quarz chatoyant* , est aussi une pierre fort rare , d'un assez grand prix , lorsqu'elle est de bonne dimension. Les variétés innombrables de quartz coloré , dont les unes , de diverses teintes jaunes , imitent la topaze , d'autres le cymophane , l'aigue-marine , l'hyacinthe , etc. , sont aussi fréquemment employées : on fait , surtout avec les premières , des parures qui sont fort jolies à l'œil , quoique ces pierres aient moins d'éclat que les topazes ; on les emploie beaucoup en cachets , en pierres de ceinture , de diadème.

(352) *Pierres communes.* Il y a aussi un grand nombre de pierres qui sont plus ou moins agréables lorsqu'elles sont taillées et polies ; telles sont l'*idocrase* et l'*épidote* , qui peuvent être comparées au péridot ; l'*axinite* , qui se rapproche de certaines variétés de spinelle ; l'*éléolite* verte ou rougeâtre , qui offre un chatolement assez agréable ; le *diallage* chatoyant ; l'*hypersthène* , d'un bel éclat métallique bronzé ; l'*obsidienne aventurinée* , à fond vert et reflets jaunâtres ; le *disthène* bleu , certaines variétés bleues de *phosphate de chaux* , qui sont assez comparables au cordiérite. On peut citer diverses variétés de calcédoine , dont la plus belle , d'une couleur bleue très agréable , est nommée *saphirine* ; la *cornaline* , qui offre diverses teintes , et a été souvent recherchée pour des cachets ; les *agathes herborisées* ont été de mode , en bagues , en épingle , pendant quelque temps. On emploie assez fréquemment en parure la *calcédoine chrysopase* , qui présente une teinte verte assez agréable , produite par

l'oxyde de nikel : les marchands ont quelquefois la précaution de la tenir dans l'eau , dont elle s'imbibe assez facilement , pour relever la teinte verte ; ils emploient même quelquefois des eaux colorées par les nitrates de cuivre et fer , mais alors les pierres , en se desséchant dans les écrins , en tachent la garniture en verdâtre.

Des pierres de très peu de dureté , peu susceptibles de résister aux frottements habituels , sont cependant employées pour des objets de fantaisie ; telles sont le *carbonate de chaux fibreux* , d'un éclat soyeux , dont on fait des plaques de ceinture , le *gypse fibreux* , dont on fait des colliers , pendants d'oreilles , etc. J'ai vu employer avec plus de succès la *scolézite fibreuse* , blanche , nacrée , à fibres légèrement ondulées entrelacées. La *mésotype natrolite* , dont on s'est servi pour avoir la lettre N , dans les bagues hiéroglyphiques , offrent des cercles concentriques de diverses teintes jaunes ou rougeâtres. Le *fluor* , si varié en couleur , et employé principalement en grand , a quelquefois aussi été taillé en petites pierres , et a formé ce qu'on nomme *fausse émeraude* , *fausse améthiste* , *fausse topaze* , etc.

Plusieurs matières combustibles ont été aussi employées en bijoux. Le *succin* ou *ambre jaune* , en boules taillées à facettes , a été de mode il y a quelques années , et produisait en collier un effet très agréable ; il est mieux encore lorsqu'il est taillé à facettes , et il rappelle alors diverses variétés de topazes. Certaines variétés de *lignites* ou *jayet* ont été long-temps employées pour faire des bijoux de deuil , mais sont aujourd'hui presque entièrement abandonnées. Enfin , on s'est servi jadis du *sulfure de fer* , connu alors sous le nom de *marcassites* , que l'on taillait en rose comme le diamant , et qui avait un éclat très vif.

(353) *Taille des pierres*. On taille les pierres fines de différentes manières, pour relever le plus possible leur éclat. Il ya diverses sortes de tailles, qui sont employées suivant les circonstances et suivant le plus ou moins de valeur de la substance. On distingue les principales tailles suivantes. 1<sup>o</sup> La *taille en rose*, pl. XI, fig. 10 et 11, qui présente d'un côté une espèce de pyramide plus ou moins élevée, garnies de facettes triangulaires, et de l'autre une large base plate, destinée à être cachée dans la monture. 2<sup>o</sup> La *taille en brillant*, la plus riche de toutes, fig. 13, 14 et 15; elle présente d'un côté une face assez large, ou *table*, entourée de facettes triangulaires, qu'on nomme *dentelles*, et de facettes en losange; l'autre côté, présente une pyramide garnie de facettes, ou *pavillon*, destinées à réfléchir la lumière qui a traversé la pierre, et se termine par une autre petite table ou *culasse*. La partie pyramidale doit prendre à elle seule les deux tiers de la pierre; elle doit être cachée dans la monture, qui, dans ce cas, doit toujours être à jour. Ces deux sortes de tailles s'exécutent plus particulièrement sur le diamant. 3<sup>o</sup> La *taille à degrés*, ou *brillant à degrés*, fig. 16, 17 et 18, qui présente d'un côté une table plus ou moins large, entourée de facettes trapézoïdales, et se termine de l'autre par une pyramide qui présente une série de facettes en échelons, jusqu'au sommet qui se termine par des facettes triangulaires; c'est la taille qu'on emploie pour le corindon, le spinelle, le grenat, l'émeraude, etc. 4<sup>o</sup> La *taille en pierre épaisse*, fig. 19 et 20, qui est une des plus simples, mais qui s'emploie rarement, parce qu'elle est de peu d'effet. 5<sup>o</sup> La *taille en cabochon* ou *en lentille*, qui présente deux surfaces arrondies; on l'emploie pour l'opale, dont les iris ressortent alors beaucoup mieux, et ensuite pour des pierres opaques; quelquefois on

creuse le cabochon en dessous, ce qui se nomme *chever*, pour diminuer la trop grande intensité de la couleur, et on double alors la pierre d'une feuille d'argent en la montant : c'est ce que l'on fait pour le grenat commun. Outre ces différentes tailles, il y en a beaucoup d'autres qui sont entièrement de fantaisie, et qui dépendent de l'usage auquel on veut employer la pierre.

#### MATIÈRES EMPLOYÉES DANS L'AGRICULTURE.

(354) La bonté d'un terrain pour la végétation paraît dépendre du plus ou moins de finesse de la matière minérale qui le constitue, du plus ou moins de légèreté, d'aptitude à retenir l'eau dans de justes proportions, de la quantité et de la nature des débris organiques en décomposition qu'il renferme, etc. Un sol très argileux est toujours très dense, très tenace; il s'oppose à ce que le chevelu des racines, et les racines elles-mêmes s'étendent convenablement; il empêche l'eau de pénétrer dans son intérieur, ou la retient avec force lorsqu'à la longue il a fini par s'en imbiber; la terre se modèle alors très étroitement sur les racines, bouche leurs pores, les prive complètement de l'influence atmosphérique, les fait pourrir. Un sol sableux produit des effets contraires : les racines y tracent considérablement, et malgré cela sa mobilité empêche le végétal de se fixer solidement; l'eau pénètre dans ces terrains avec la plus grande facilité; mais elle s'échappe de même, et le végétal ne peut y puiser la quantité de liquide nécessaire au transport des sucs nutritifs dans ses organes.

Lorsque la matière stérile du sol est uniquement composée de substances qui ne peuvent avoir aucune action chimique sur les débris organiques qu'elle renferme, ceux-ci, abandonnés à l'action réciproque de

leurs éléments, aux influences atmosphériques, ne se décomposent que lentement, et ne produisent qu'à la longue, et en petites quantités successives, l'engrais nécessaire à la nutrition des plantes; dès lors la végétation est tardive et languissante; c'est ce qui arrive dans les sols purement siliceux et argileux. Le sol renferme-t-il, au contraire, une grande abondance de matières actives, la décomposition des engrais devient trop rapide, et, tant par cette circonstance que par suite de l'action même de ces substances sur les plantes, la végétation est encore languissante, ou même rendue tout-à-fait nulle: c'est ce qui a lieu dans les terres crayeuses et dans tous les terrains fortement imprégnés de sels divers.

Ce sont ces considérations générales qui règlent le cultivateur attentif pour l'emploi des amendements minéraux, et des diverses sortes d'engrais naturels ou artificiels. Tout se borne à modifier la nature du terrain par des mélanges, qui agissent tantôt d'une manière purement physique, tantôt d'une manière chimique, quelquefois de l'une et de l'autre manière en même temps. Des terres trop argileuses ne peuvent être amendées que par l'introduction des sables siliceux, ou, en général, des matières qui les ameublissent; des terres siliceuses ne sont amendées que par des matières argileuses. Des terres douées d'activité chimique ne peuvent être rendues à la végétation qu'en les paralysant d'une manière ou d'une autre; au contraire, des terres sans action chimique, pour être appropriées à certaines cultures, devront être activées par quelques moyens plus ou moins puissants. Voilà ce que semble fournir la théorie résultante des observations les plus générales, et comment on peut tenter d'expliquer les effets connus de l'emploi de diverses matières minérales dans l'agriculture.

Ces matières minérales employées en agriculture , sont peu nombreuses , ce sont les *marnes*, qu'on distingue en *marnes sableuses* , *marnes argileuses* , *marnes calcaires* et le *plâtre* calciné ou naturel , qui sont employées uniquement pour diviser les terres trop fermes , ou donner du corps à celles qui sont trop sableuses. Comme matière active , on emploie les sables imprégnés de sels marins qu'on tire des côtes de la mer ; les lignites terreux remplis de sulfures de fer , la tourbe crue dans les terres calcaires , les cendres de tourbes , qui remplacent celles du bois , dans les prairies. Comme véritablement engrais , on ne peut citer que le guano , qui a une très grande analogie avec l'*urate* , et qu'on emploie particulièrement sur les côtes du Mexique. Nous reviendrons sur les usages de ces substances , en parlant de chacune d'elles en particulier.

#### COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

(355) Il suffit ici de rappeler les matières charbonneuses que nous avons désignées sous les noms d'*anthracite* , *houille* , *stipites* , *lignites* , *tourbes*. Elles sont employées avec grand avantage partout où on peut les avoir ou les faire transporter avec facilité. On les emploie dans les usages ordinaires , et dans les ateliers , usines de toutes espèces. La houille surtout est un combustible extrêmement précieux , soit en nature , soit carbonisée , c'est-à-dire privée de son bitume , pour tous les usages. L'*anthracite* , par la difficulté qu'elle a à s'enflammer , ne peut être employée que dans des fourneaux d'un bon tirage , et il est souvent nécessaire , pour commencer à l'allumer , de la mêler avec de la houille ou du bois : une fois prise , elle produit un feu extrêmement actif. Les *stipites* ou *lignites* , approchent

plus ou moins de la houille, mais ils répandent quelquefois une odeur infecte qui empêche de les employer dans les appartements; ils servent difficilement à la forge du maréchal, et pour cet objet la houille est préférable à tout, par suite de la fusion qu'elle éprouve, qui colle tous les morceaux ensemble, et détermine une espèce de voûte sous laquelle l'ouvrier fait chauffer son fer de toutes parts. Mais cet avantage de la houille devient un inconvénient dans d'autres cas, comme dans les fourneaux à réverbères et même assez souvent dans les fourneaux de fusion et de raffinage, parce que les morceaux, en se collant, interceptent les courants d'air.

Les combustibles minéraux sont d'une haute importance; on en évalue annuellement les produits à près de 400 millions. La France en produit plus de 15 millions qu'il serait très facile de décupler en faisant des chemins ou des canaux pour transporter nos charbons de terre dans les parties qui en sont dépourvues, et où le bois devient tous les jours de plus en plus rare.

#### MINÉRAUX EMPLOYÉS A LA PRÉPARATION DES MÉTAUX USUELS.

(356) Quoique quelques-uns des métaux usuels se trouvent dans la nature à peu près à l'état de pureté, la quantité est toujours beaucoup trop petite pour subvenir à tous nos besoins; de sorte que la plupart sont extraits par des procédés chimiques exécutés en grand, de divers minerais où ils sont combinés avec diverses substances dont il faut nécessairement les débarrasser. Le premier travail est ordinairement de briser le minerais, de le réduire en petits fragments, à moins qu'il ne soit en grains comme l'hydroxide de fer de la formation du Jura: on sépare



alors par un triage les morceaux de minerais purs de ceux où il se trouve des gangues pierreuses. Ceux-ci sont portés au *bocard* pour y être pilés sous l'eau et soumis au lavage, qui entraîne les parties terreuses et laisse le minerais, ordinairement plus pesant, à l'état de pureté. Tous les minerais qui ne sont qu'oxygénés, et qui ne renferment pas de matières étrangères, n'ont besoin que d'être fondus avec le contact du charbon, qui s'empare de l'oxygène et laisse le métal à nu, en le réduisant en même temps à l'état liquide, qui permet de le couler à son gré. Ceux dans lequel le métal est combiné avec le soufre, ont besoin avant tout d'être *grillés*, c'est-à-dire soumis à l'action d'un feu lent qui en dégage le soufre, et convertit le minerais en oxide : souvent aussi on emploie le grillage dans le but unique de diviser le minerais. Lorsque les minerais sont mêlés de matières terreuses qu'on ne peut pas en extraire par le lavage, il faut ajouter pour la fusion, des substances qui puissent se combiner avec les premiers, et donner des matières vitreuses suffisamment fusibles. Ce sont ces substances que l'on nomme *fondants*; on emploie de la chaux, ou *castine* lorsque les minerais sont siliceux, et de la silice, ou des matières siliceuses, lorsque le minerais renferme de la chaux, ou de l'alumine, etc.; en général il faut approprier le fondant à la matière dont il est nécessaire de débarrasser le minerais.

Quelquefois on obtient par la fusion, le métal à peu près pur; mais dans d'autres cas il se trouve combiné avec une partie du charbon que l'on a employé, comme il arrive lorsqu'on traite les minerais de fer au haut fourneau, dont on n'obtient jamais alors que de la fonte, ou bien avec un reste de soufre, comme il arrive particulièrement au cuivre que l'on tire des minerais pyriteux. Il est nécessaire alors

de traiter de nouveau le résidu de la première fusion, ce qui se fait tantôt par des chauffes et des martelages successifs, comme pour la fonte de fer, tantôt par une nouvelle fusion, ou plusieurs fusions successives.

On conçoit que, pour préparer les métaux en grand, on ne peut employer que les minerais qui sont abondants à la surface de la terre; aussi les matières utiles sous ce rapport, se réduisent-elles à un petit nombre d'espèces. Pour la *préparation du fer*, on n'emploie que le peroxide, le fer oligiste, l'oxide magnétique, l'hydroxide et le carbonate. Les premiers sont presque les seuls qu'on emploie dans les usines de la Suède et de la Norwège; l'hydroxide et le carbonate spathique, les seuls qu'on emploie dans les usines de France, et enfin le carbonate compacte et terreux, du terrain houiller, est celui qui fournit les matières premières aux nombreuses usines de l'Angleterre.

Sans doute il y aurait bien du choix à faire parmi les minerais de fer; que nous venons de citer, et si on en jugeait par l'excellence des produits de la Suède, on admettrait que les plus convenables sont l'oxide magnétique et le fer oligiste. Mais on n'est pas toujours maître de choisir, il faut employer dans chaque pays ce que l'on peut facilement se procurer, et l'on trouve alors beaucoup de diversité dans la richesse des minerais, ou les principes accidentels qu'ils renferment: de là la variété des procédés, l'abandon de certains gîtes qui, au premier moment, semblaient devoir être très précieux. Dans les minerais de fer en grains, employés le plus fréquemment en France, il en est qui renferment de l'acide phosphorique, qui communique de mauvaises qualités au fer. Dans le carbonate spathique, il se trouve souvent de la magnésie, à laquelle on attribue de rendre le minerai

plus réfractaire et de produire un métal de mauvaise qualité ; les variétés qui en renferment le plus sont celles à grandes facettes , qu'on désigne , en Dauphiné , sous le nom de *maillat* ; celles à petites facettes , nommées *rives* , en renferment toujours moins ; celles qui ont éprouvé une décomposition plus ou moins avancée par une longue exposition à l'air , sont les meilleures , et les parties de couches qui , se trouvant au jour , ont été exposées pendant des siècles aux intempéries des saisons , donnent le minerai par excellence. Le manganèse , qui se trouve fréquemment dans le carbonate spathique et dans l'hydroxide en couches , a la propriété de donner à la fonte une grande facilité à se transformer en *acier naturel* ; ce qui a fait donner au minerai le nom de *mine d'acier*. Le fer qu'on en obtient est toujours aciéreur , et par conséquent dur , ce qui empêche de l'employer à beaucoup d'usages , quoiqu'il soit très précieux pour d'autres. Il paraît que la présence du manganèse est très avantageuse , dans les minerais de fer qui renferment du sulfate de baryte ou du sulfure de fer , et que , pour les traiter avec succès , il convient d'ajouter des minerais manganésifères , lorsqu'il ne s'y en trouve pas naturellement. Le carbonate de fer compacte et terreux des terrains houillers paraît être un excellent minerai , et d'autant plus important qu'il se trouve réuni avec le combustible qui convient peut-être le mieux à son traitement.

*Pour la préparation du cuivre* , les seuls minerais qu'on emploie sont le cuivre pyriteux , le sulfure de cuivre , et quelquefois le carbonate. La première espèce , étant la plus commune , est celle qu'on traite le plus habituellement dans toutes les contrées de l'Europe ; les autres , qui s'y trouvent accidentellement mélangées , sont traitées conjointement avec

elle, et ce n'est qu'en Sibérie qu'elles forment l'objet principal de l'exploitation. Le carbonate est assez abondant à Chessy près de Lyon, pour être employé comme minerai, mais il est plus avantageux de le convertir en sulfate.

Le *plomb* qui est versé dans le commerce, est extrait du sulfure de ce métal ou galène, qui provient souvent de gîtes particuliers, mais qui se trouve fréquemment aussi mélangé avec divers autres minerais, et dont on retire le plomb par la série des travaux métallurgiques. Les autres composés de ce métal sont traités conjointement lorsqu'ils ne sont pas entièrement enlevés par le lavage.

L'*étain* est entièrement fourni par le deutocide de ce métal. Celui qui se trouve dans les terrains d'alluvions est préférable à celui qu'on rencontre en filon ou en amas, parce qu'il n'est accompagné d'aucune substance étrangère pesante, et n'a besoin que d'un lavage pour être obtenu à peu près pur, et en état d'être fondu. Les minerais en filon ou amas, ont d'abord besoin d'être bocardés, lavés, puis grillés, à cause des sulfure et arséniure de fer, etc., qu'ils renferment.

Les minerais assez abondants pour en tirer le *zinc* à l'état métallique, ou pour être employés directement à la fabrication du *laiton* (alliage de cuivre et de zinc), sont le carbonate, plus ou moins mélangé de silicate qui constitue des gîtes particuliers, et le sulfure qui se trouve avec les minerais de plomb. Le premier a été presque exclusivement employé jusque dans ces derniers temps; mais enfin, on commence à se servir du second, qui trop long-temps a été rejeté comme inutile.

Le *peu d'antimoine* que les arts réclament est tiré du sulfure, le seul minerai de ce métal qui soit un peu abondant; tantôt il est exploité par lui-même dans des gîtes particuliers; tantôt il est seule-

ment récolté dans les gîtes de divers autres métaux. Le *bismuth*, qu'on emploie en très petite quantité, est seulement extrait dans la série des travaux que l'on exécute sur certains minerais d'argent, ou de *cobalt* qui se trouvent dans les mêmes lieux, et dont on se sert pour la fabrication du *safre* et du *smalt*.

Le *mercure* est quelquefois extrait immédiatement du sein de la terre, où il se trouve à l'état métallique; mais la plus grande partie provient du sulfure de ce métal dont nous avons cité les gîtes particuliers. Il en est de même de l'*argent*; c'est du sulfure de ce métal dont on a tiré et dont on tire la plus grande partie de l'argent du commerce. Les mines de la Hongrie, de la Transylvanie, quelques-unes des mines de la Saxe, presque toutes celles du Nouveau-Monde sont exploitées sur cette substance, et il n'y a que les *pacos* et *colorados* (317) qui fassent exception. Mais on tire aussi l'argent de plusieurs autres minerais dans lesquels il se trouve accidentellement, soit à l'état de sulfure, soit à l'état métallique; tels sont les minerais de plomb, quelques minerais de cuivre. Dans les premiers minerais que nous avons cités, l'argent est le but principal de l'exploitation; dans les autres, il n'est qu'accessoire, et n'est même retiré qu'autant qu'il peut couvrir au moins les frais que l'opération exige.

La plus grande partie de l'*or* provient des sables, dans lesquels nous avons vu que cette substance est le plus souvent disséminée (pag. 641), que l'on traite par un simple lavage dans un grand nombre de pays, et principalement au Brésil, à la Nouvelle Grenade, en Afrique, etc. Les parties terreuses et sableuses sont enlevées par l'eau, et le métal, qui reste sous la forme de paillettes, n'a plus besoin que d'être fondu et mis en lingots. On tire cependant aussi l'*or* des

minerais d'argent, ou argentifères, dans lesquels il est mélangé ; il a été alors allié à l'argent et on le retire par l'opération du départ, qui consiste à traiter l'alliage par l'acide nitrique ou l'acide sulfurique. On en tire aussi de certain sulfure de fer, dans lesquels il est disséminé, et que l'on traite le plus souvent alors par le mercure. Le *platine* s'extrait également par le lavage des sables que nous avons indiqués comme le seul gisement dans lequel il a été jusqu'ici observé.

(357) *Produit des métaux.* Les métaux usuels qu'on tire de différents minerais, fournissent des produits d'une haute importance dans tous les États civilisés. En France, les mines de fer seules emploient immédiatement plus de douze mille ouvriers, et plus de cent mille trouvent leur existence dans le transport des minerais et des combustibles ; on évalue le produit tant en fonte qu'en fer forgé, à plus de 70 millions de francs. Il n'en est pas de même malheureusement du cuivre ; on estime qu'il ne s'en fait en France que pour 5 à 600 mille francs, et que nous sommes obligés d'en tirer en sus pour 7 à 8 millions de l'étranger. Il en est à peu près de même du plomb, et il en entre annuellement en France pour 3 à 4 millions. L'étain est tout-à-fait nul chez nous, et nous en tirons la totalité de l'étranger, ce qui heureusement est d'une faible valeur. Nous n'avons point de mercure ; à peine tirons-nous 4000 marcs d'argent des minerais de plomb argentifères, et quelques onces d'or des sables aurifères, que nous avons dans quelques localités.

Les autres contrées de l'Europe sont en général beaucoup plus riches que nous, sous le rapport des produits métalliques ; l'Angleterre, pour le fer, l'étain, le cuivre, le plomb ; la Suède, la Norwège, pour le fer, le cuivre, etc. ; l'Amérique équatoriale pour l'argent et l'or ; car il n'y a que la Hongrie, la

Transylvanie, la Saxe, le Harz, qui entrent pour quelque chose dans le produit de ces métaux précieux. On évalue dans le monde connu la production annuelle des métaux, à environ 850 millions, répartis comme on le voit dans le tableau suivant :

Fer. . . . .	} En Europe. . . . .	450 000 000 fr.
Cuivre. . . . .		70 000 000
Plomb. . . . .		22 000 000
Étain. . . . .		13 000 000
Zinc, en métal et en laiton. . . . .		1 600 000
Antimoine. . . . .	} . . . . .	Peu de chose.
Bismuth. . . . .		
Cobalt. . . . .		1 000 000
Mercure. . . . .		9 000 000
Argent. . . . .		192 000 000
Or. . . . .		74 000 000
Platine. . . . .		Fort peu de chose.

On voit par ce tableau que les mines de fer fournissent à elles seules plus de la moitié de la valeur totale que présentent les métaux; que les mines d'or, dont on a en général une si haute idée dans le monde, ne produisent guère sur toute la surface de la terre, que le sixième de ce que fournissent les mines de fer en Europe.

(358) *Numéraire.* En ajoutant ensemble les valeurs d'or et d'argent, on voit qu'il en résulte annuellement une somme d'environ 266 millions, dont l'Europe fournit seulement environ la dix-septième partie. Elle reçoit, à la vérité, presque tout le reste; mais son commerce avec l'Asie en absorbe au moins 138 millions, qui se trouvent enfouis pour toujours dans les trésors des souverains de ces contrées; il n'en reste donc que pour 128 millions, dont on estime qu'il est employé 38 millions en bijoux, en objets de luxe di-

vers, en réparation des pertes que les usages journaliers entraînent. Il résulte de là qu'il ne s'en trouve qu'environ 89 millions en circulation, somme dont s'augmente annuellement notre numéraire. A ce taux, en comptant depuis l'époque de la découverte de l'Amérique (1492), qui a jeté subitement une quantité prodigieuse d'or et d'argent dans le monde, le numéraire de l'Europe devrait être augmenté d'environ 29 milliards 548 millions; il doit aussi s'être accumulé dans le même temps pour 45 milliards 816 millions de fr. de ces métaux précieux dans les trésors des cours de l'Asie; enfin, il doit s'en trouver pour 12 milliards employés en objets de luxe, et dont une bonne partie, entraînée par les frottements de de toute espèce, doit être disséminée en poussière sur nos continents.

## SELS ET ACIDES MINÉRAUX.

(359) Les arts et les usages de la vie réclament un assez grand nombre de sels, presque tous tirés du règne minéral. Il en est quelques-uns qui se trouvent dans la nature, en assez grande abondance pour suffire à nos besoins, et qu'il faut simplement extraire du sein de la terre; d'autres sont en trop petite quantité, relativement à l'emploi qu'on en fait journellement, ou même n'existent pas du tout, et l'on est alors réduit à les préparer avec les matériaux qui en renferment les principes. Ces usages et ces fabrications consomment encore journellement un grand nombre de matières que nous allons faire connaître.!

1<sup>o</sup> *L'alun* qui existe quelquefois tout formé dans des terres, qu'il suffit de lessiver, mais que l'on prépare soit avec *l'alunite*, minéral par excellence, qui se rattache aux terrains d'origine ignée ( pag. 65 ),



soit avec des *schistes argileux*, des *argiles schisteuses*, des *lignites*, remplis les uns et les autres de sulfure de fer, dont la décomposition à l'air produit l'acide sulfurique, qui se porte bientôt sur l'alumine de ces matières, soit enfin avec des argiles sur lesquelles on fait agir immédiatement l'acide sulfurique préparé pour le commerce.

2<sup>o</sup> Le *sulfate de fer* qui se fabrique fréquemment en même temps que l'alun, au moyen des schistes et des lignites pyriteux, quelquefois par les pyrites mêmes.

3<sup>o</sup> Le *sulfate de cuivre*, qu'on extrait quelquefois par évaporation des eaux qui circulent dans quelques mines de cuivre, ou par le grillage de certains minerais de cuivre pyriteux, ou bien par l'action de l'acide sulfurique sur des carbonates de cuivre naturel (Chessy près de Lyon), ou enfin par le cuivre même que l'on grille avec du soufre.

4<sup>o</sup> Le *sulfate de zinc*, qu'on prépare à Goslar par le grillage du sulfure de ce métal.

5<sup>o</sup> Le *chromate de potasse*, que l'on prépare avec le chromite de fer que l'on calcine dans des creusets avec le nitrate de potasse, qui fait passer l'oxide chromique à l'état d'acide. On se sert ensuite de ce sel pour préparer le *chromate de plomb*, couleur jaune fort en usage aujourd'hui, et différents chromates métalliques dont les couleurs sont fort belles.

6<sup>o</sup> Le *sulfate de magnésie* dont l'usage se borne à la médecine, qu'on retire de certaines eaux minérales (Sedlitz, Epsom, etc.), et qu'on prépare ailleurs au moyen des matières magnésiennes, comme serpentine, etc., qu'on fait calciner avec du sulfure de fer, ou du calcaire magnésien sur lequel on fait agir l'acide sulfurique, etc.

7<sup>o</sup> Le *sulfate de soude* jadis employé uniquement

en médecine, et appliqué aujourd'hui à la fabrication du verre, que l'on tire immédiatement de certaines eaux (pag. 644), ou que l'on fabrique par l'action de l'acide sulfurique sur le sel commun qui produit en même temps l'*acide hydrochlorique*.

8<sup>o</sup> Le *carbonate de soude* employé pour la fabrication du verre, du savon, pour la lessive, etc., qu'on tire des eaux de certains lacs, ou que l'on fabrique par la décomposition du sel marin.

9<sup>o</sup> Le *sel commun* dont l'usage ordinaire est bien connu, que l'on donne aussi aux bestiaux dans quelques contrées, dont on tire l'acide hydrochlorique, le carbonate de soude, etc.; il s'extrait des eaux des mers, des lacs salés, des sources, ou enfin à l'état solide du sein de la terre.

10<sup>o</sup> Le *nitrate de potasse* employé pour la fabrication de la poudre à tirer, et de l'acide nitrique, que l'on récolte à la surface de la terre (pag. 644), des vieux murs des écuries, ou que l'on obtient par la décomposition, au moyen de sels de potasse, des nitrates de chaux et de magnésie qui se forment journellement.

11<sup>o</sup> Le *borax* qu'on tire immédiatement des eaux de certains lacs (pag. 645), ou que l'on prépare avec l'acide borique, que fournissent certaines eaux, auquel il faut seulement fournir la base alcaline. Il est employé principalement comme fondant.

12<sup>o</sup> L'*acide sulfureux* qu'on prépare pour les besoins des arts, par l'action de l'acide sulfurique sur des matières capables de le désoxygéner en partie, mais qui, produit par la combustion du soufre, sert lui-même à la préparation de l'acide sulfurique par l'intermédiaire du deutocide d'azote, qu'on développe par un procédé ou par un autre, mais le plus ordinairement par la décomposition du nitrate de potasse avec lequel on fait brûler le soufre.

13° Un grand nombre de sels, tels que les acétates de plomb, de cuivre (verdet), de mercure, le tartrate antimonié de potasse (émétique), l'arséniat de cuivre, les chlorures de cuivre, d'étain, de mercure, le nitrate d'argent, etc., qu'on prépare par le moyen de différents métaux qu'on trouve dans le commerce, les uns en grandes fabriques pour la peinture, la teinture, etc. les autres dans les pharmacies pour la médecine.

(360) *Importance de ces matières.* Les sels et acides fabriqués ou tirés immédiatement du sein de la terre, forment une branche considérable de revenus. On évalue le produit

Du sel commun en Europe à.. . . . .	150 000 000 f.
Du carbonate de soude, en France seulement.	12 à 14 000 000
De l'alun, en France. . . . .	6 000 000
De l'acide sulfurique, en France. . . . .	5 à 6 000 000
Du sulfate de fer, en France. . . . .	2 à 3 000 000

TERRES CUITES ET POTERIES.

(361) Les argiles de diverses sortes, qui se trouvent en si grande abondance à la surface de la terre, et sur lesquelles le minéralogiste daigne souvent à peine jeter un regard, sont encore de la plus haute importance sous les rapports économiques. Leurs nombreuses variétés fournissent les matières premières des poteries de toute espèce, dont la fabrication procure l'existence à un nombre immense de familles, que le riche comme le pauvre réclament journellement, et dont la valeur est en quelque sorte inappréciable. Dans la France seule, il existe plus de 300 fabriques de poteries, qui en livrent annuellement pour plus de 25 000 000 f. La confection des briques fournit encore à l'existence

d'un grand nombre d'hommes, et s'élève à plus de 17,000,000 de francs.

Pour les *briques*, les *carreaux*, les *tuiles*, les *poteries grossières*, on emploie toutes les espèces d'argiles qui se trouvent à différents étages des formations secondaires ou même tertiaires. Pour les trois premiers genres de fabrication, les seules conditions importantes à observer, sont, que l'argile ne renferme pas de carbonate de chaux, qui en se réduisant en chaux, provoque bientôt la destruction des objets fabriqués, qu'il n'y ait pas de sulfure de fer, et qu'enfin elle renferme assez de sable pour ne pas se déformer pendant la dessiccation et la cuisson. Dans certains cas où l'on veut des briques et des carreaux très réfractaires, on cherche en outre les argiles qui sont principalement formées de silice et d'alumine, qui ne renferment pas de silicate de chaux, d'oxide de fer, etc., qui les rendent plus ou moins fusible. Pour la fabrication des poteries, il faut en outre que l'argile soit assez *liante*, pour ne pas être obligé de donner trop d'épaisseur aux vases. Toutes les argiles sont bonnes lorsqu'on ne cuit pas à grand feu; mais pour les poteries dites *de grès*, qu'on livre au commerce sans aucun vernis, et qui par cela même ont besoin d'être cuites au grand feu, il faut employer des argiles suffisamment réfractaires.

Pour les *poteries plus fines*, la faculté de faire une pâte liante est encore plus nécessaire. On emploie souvent les mêmes argiles que pour les poteries grossières, mais on les broie et on les lave avec un certain soin pour ne se servir que des parties fines enlevées par l'eau. Dans certain cas (pour les poteries dites *terres de pipe*, *terres anglaises*), on choisit des argiles blanches, ou qui deviennent blanches par la cuisson, et l'on apporte des soins particuliers dans la prépara-

tion. Pour la *porcelaine*, on emploie des argiles particulières qui proviennent de la décomposition des roches feldspathiques ou de la ponce, et que l'on désigne sous le nom de *kaolin*.

Il est rare que les argiles que l'on rencontre, renferment les proportions exactes de silice, destinées à donner la porosité convenable, pour que le vase puisse aller au feu, et l'on est obligé d'en introduire. Dans les poteries grossières, on mélange alors des sables siliceux; dans les autres de la silice très divisée, que l'on prépare avec les silex des craies, en les calcinant, les broyant dans des moulins, les tamisant avec soin. Dans la porcelaine, on introduit du feldspath non altéré, broyé très fin; mais c'est alors pour donner le degré convenable de demi-fusibilité à une haute température.

La *couverte des poteries*, ou *verniss* destiné à empêcher l'imbibition, est aussi formée par des matières minérales. Pour les poteries grossières on emploie fréquemment la galène réduite en poudre, connu alors sous le nom d'*alquifoux*, dont on saupoudre la pièce, ordinairement après la cuisson, en l'employant tantôt seul, pour la couleur jaune, tantôt avec le cuivre ou le manganèse pour les couleurs vertes et brunes: il en résulte un enduit d'oxide de plomb. Pour les terres anglaises, on emploie encore une couverte à l'oxide de plomb; mais cet oxide est préalablement fondu avec un verre siliceux, que l'on réduit ensuite en poudre pour le placer sur la pièce. Pour la faïence on emploie un vernis opaque formé ordinairement d'oxide de plomb et d'oxide d'étain, avec une certaine quantité de silice dont on fait un émail que l'on broie pour en saupoudrer les pièces. Ces couvertes sont en général très tendres, et celles des poteries grossières uniquement formées d'oxide de plomb, sont par cela même malsaines. M. Fourmy a proposé depuis long-

temps de les remplacer par des vernis salubres faits soit avec des scories de forges, soit avec de la ponce; il faut seulement rendre la pâte de la poterie plus réfractaire, afin qu'elle puisse subir la chaleur suffisante à la fusion de ces nouvelles couvertes.

Les poteries de grès n'ont pas ordinairement besoin de vernis; mais lorsqu'on en emploie, ce sont des vernis terreux. Quelquefois on se contente de jeter du sel commun dans le four, à une certaine époque de la cuisson, et sa décomposition par la silice de l'argile, donne lieu à un enduit de verre siliceux à base de soude.

La porcelaine n'est jamais couverte que d'un vernis terreux, pour lequel on emploie le feldspath, que l'on broie en poudre très fine, et qu'on agite ensuite dans l'eau. C'est dans cette eau que l'on plonge toutes les pièces, en sorte qu'il ne reste qu'une pellicule extrêmement mince de vernis à leur surface.

#### VERRERIES.

(362) Tous les verres dont nous nous servons sont des silicates de diverses bases, que l'on prend parmi les produits naturels, qu'il suffit alors de faire fondre, ou que l'on compose immédiatement. Pour le verre à bouteille on se sert des sables volcaniques formés de rapilli ou de débris de laves, des laves elles-mêmes, des basaltes, que l'on peut souvent fondre seuls sans aucune addition. Dans les lieux où ces matières manquent on en emploie beaucoup d'autres, mais auxquelles il faut souvent alors ajouter quelques fondants comme des sels de soude et de potasse, la chaux, etc., pour former des silicates fusibles.

Pour les verres blancs, il faut éviter toutes les ma-

tières qui renferment des oxides colorés. Dans quelques localités on emploie les perlites et les matières vitreuses qui font partie des terrains trachytiques, et. l'on pourrait employer de même les ponces, les roches feldspathiques blanches, etc.; toutes matières qu'il suffit de porter au fourneau pour en obtenir immédiatement du verre. Le plus souvent on fabrique ces verres de toutes pièces en employant d'une part les sables siliceux les plus blancs, les plus purs, de l'autre les sous-carbonates de potasse ou de soude, le sulfate de soude, le chlorure de sodium, ou sel commun, etc., que l'on réunit dans des proportions convenables. Dans l'espèce de verre blanc que l'on nomme *cristal*, on fait entrer en outre une assez grande quantité d'oxide de plomb, qui lui donne à la fois plus de poids et plus de force de réfraction, ce qui le rend plus agréable à l'œil.

Quelques soins que l'on ait apportés dans le choix des matières, il est rare que les verres qu'on obtient soient d'une blancheur parfaite, surtout parce qu'on a peine à éviter quelques traces de matière carbonneuse. Pour y remédier, on ajoute une certaine quantité de peroxyde de manganèse, qui en se désoxidant brûle les matières étrangères; mais il faut avoir soin de n'en employer que la quantité nécessaire, parce qu'une surabondance colorerait elle-même le verre en violet, comme nous le voyons fréquemment dans les gobleteries communes.

Les verres de couleur doivent leurs teintes à des oxides métalliques, quelquefois au carbone, qui produit une teinte bleue lorsqu'il est en petite quantité, et une couleur jaune lorsqu'il est en quantité plus grande. Les oxides qu'on emploie le plus fréquemment sont : pour le bleu, l'oxide de cobalt; pour le vert, l'oxide de chrome, qui donne un vert émeraude de la

plus grande beauté, ou l'oxide de cuivre; les violets, les rouges, sont produits par les oxides de manganèse, de fer, d'or. Les verres opalins demi transparents sont le résultat d'un mélange d'oxide d'étain, d'oxide d'arsenic ou de phosphate de chaux.

C'est avec ces verres colorés que l'on imite toutes les pierres précieuses, dont la fabrication est arrivée aujourd'hui à un très haut point de perfection; car on donne même à ces verres l'éclat de la pierre qu'ils imitent et ses jeux de réfraction. On se sert à cet effet de verres qui renferment une grande quantité d'oxide de plomb, ce qui malheureusement les rend lourds et assez tendres, quelquefois même au point qu'ils se dépolissent très promptement par le seul frottement du linge. Le diamant même est imité par l'art au point de tromper les yeux les plus exercés, au moyen de ces verres de plomb qui prennent le nom de *strass*; mais il ne faut ni les souspeser, ni essayer leur dureté, car par l'un ou l'autre de ces moyens on découvre bientôt l'artifice.

MATIÈRES EMPLOYÉES POUR PEINTURE ET DESSIN.

(363) Un assez grand nombre de substances naturelles sont employées immédiatement pour les peintures grossières; c'est ainsi qu'on se sert de la craie sous les noms de *blanc d'Espagne*, *blanc de Molleton*, *blanc de Troyes*, etc., pour les détrempes de toutes espèces, des argiles ferrugineuses sous les noms d'*ocre* et de *rouge de Prusse*. Quelques variétés de ces ocres sont particulièrement recherchées, à cause de la vivacité de leur teinte, pour les peintures les plus délicates; on les prépare par le broiement, le lavage, au moyen duquel on sépare les parties les plus fines, qui restent suspendues dans l'eau, et ne se déposent qu'après un certain temps.



Ce sont ces argiles préparées, tantôt à l'état naturel, tantôt calcinées, qui constituent les *ocres jaunes, rouges ou bruns*, la *terre d'ombre*, la *terre de Sienne*, simple ou brûlée, la *terre d'Italie*, le *brun rouge*, etc.

On emploie aussi en nature les bois très altérés, et particulièrement ceux que l'on tire de Cologne, que l'on connaît sous le nom de *terre de Cologne*, et qui produisent des tons bruns très beaux. Le bitume est la matière de la couleur qu'on nomme *momie*; le plus estimé est le bitume du lac Asphaltique, dont les Égyptiens se servaient pour embaumer les corps, et que l'on a quelquefois tiré de leurs momies. La *terre verte de Vérone*, broyée, lavée, produit une fort belle couleur, très solide et fort recherchée; les grains verts qui se trouvent dans la craie, dans les calcaires grossiers, produisent une autre teinte dont j'ai vu de fort beaux effets.

Parmi toutes les substances colorées employées en nature, il n'en est pas de plus belle que l'*outremer*, qui se fait avec le lapis lazuli convenablement broyé et lavé; c'est la couleur la plus inaltérable et la plus éclatante. On est parvenu à la faire artificiellement ce qui doit en augmenter prodigieusement l'usage. On peut citer aussi parmi les couleurs naturelles le *bleu de montagne*, ou carbonate bleu de cuivre, le *vert de montagne*, qui est le carbonate vert, le *chromate de plomb*, l'*orpiment* et le *réalgar*, qui fournissent de très beaux jaunes, qu'on est parvenu à appliquer sur des étoffes, et qui offrent des teintures inaltérables, le *vermillon* ou cinabre, qui est le sulfure de mercure; mais il est rare qu'on emploie ces couleurs naturelles, que nous savons toutes très bien fabriquer par l'art. Il en est aussi beaucoup d'autres qui sont tout-à-fait artificielles; tels sont le *bleu de Thénard*, ou phosphate alumineux de cobalt, qui rivalise avec l'*outremer*, le *vert de schéele*, qui est un arséniate de cuivre. le *verdet*

ou *vert-de-gris*, qui est l'acétate du même métal, l'*oxide de chrome*, qui produit une belle couleur d'un vert sombre, le *jaune minéral*, qui est le protoxide de plomb, le *minium*, qui est le deutoxide, le *jaune de Naples*, dans la fabrication duquel on fait entrer de l'oxide d'antimoine, le *chromate de zinc*, qui, comme le chromate de plomb, fournit un jaune de la plus grande beauté, qu'on prépare par l'action d'une solution de sel de zinc sur une de chromate de potasse.

Pour le dessin, on emploie le *graphite*, ou carbone à un état particulier, dont on compose les crayons fausement désignés sous le nom de crayons de mine de plomb. Les meilleurs sont ceux que l'on fabrique avec le graphite d'Angleterre, qui est d'une finesse et d'une douceur extrêmes; on ne lui fait subir d'autre préparation que de diviser, au moyen d'une scie, en petites baguettes, que l'on enchâsse ensuite dans du bois.

L'espèce de crayon qu'on nomme *Pierre d'Italie*, n'est qu'un schiste argileux, très doux, très fin, imprégné naturellement d'une certaine quantité de graphite. Le crayon noir des charpentiers, ou *Pierre noire*, est encore un schiste, mais coloré par du carbone à un autre état. Les *crayons rouges*, aujourd'hui peu en usage, sont fabriqués avec les argiles ocreuses rouges, qu'on lave avec soin, et que l'on agglutine avec de la gomme arabique et de la colle de poisson. Les variétés solides de ces ocres, connues sous le nom de *sanguine*, ne sont employées brutes que par les ouvriers, dans certaines contrées. Les *crayons blancs* sont formés de craie lavée et desséchée, et débitée en baguettes; quelquefois on y introduit une eau gommeuse, pour leur donner plus de solidité. Enfin, nous devons faire mention des *crayons d'ardoise* dont on se sert depuis qu'on a introduit l'usage des tablettes d'ardoises dans les écoles, et pour faire des calculs jour-

naliers. On en fabrique une très grande quantité aux environs de Nuremberg, où on les taille en petites baguettes grossièrement arrondies; on pourrait également fabriquer dans un grand nombre de lieux de la France.

*Pierres lithographiques.* — Une des plus belles découvertes de notre siècle est la lithographie, qui, à une économie réelle de main-d'œuvre, joint le précieux avantage de multiplier le dessin original d'un artiste sans aucune altération. Les pierres dont on se sert pour cet objet sont des variétés compactes de carbonate de chaux, qui doivent être bien homogènes, sur une étendue suffisante, avoir un grain très fin et uniforme, être exemptes de veines, de fissures, et s'imbiber d'eau jusqu'à un certain point. Les pierres qui réunissent plus particulièrement ces qualités sont celles des parties supérieures de la formation jurassique; les plus renommées sont celles de Papenheim, sur les bords du Danube, en Bavière; mais on en a aussi trouvé en France qui sont de très bonne qualité, et dont nos artistes se servent avec succès: telles sont particulièrement les pierres de Châteauroux (Indre), de Belley (Ain), de Dijon, de Périgeux; on en a même trouvé aux environs de Paris, dans le calcaire siliceux des formations d'eau douce, et particulièrement dans certains lits de marne qui accompagnent les dépôts de gypse tertiaire.

TERRE À FOULON, PIERRES À DÉTACHER.

(364) Parmi les variétés d'argile, que nous avons vues être d'une haute importance pour la fabrication des poteries, il en est qui ne sont pas moins utiles par la faculté qu'elles possèdent d'absorber les corps gras. Ces variétés sont désignées sous le nom *d'argile smectique*; elles sont très grasses au toucher, se délaient dans l'eau,

qu'elles rendent plus ou moins savonneuse, ce qui fait que dans les endroits où elles existent, le peuple s'en sert pour blanchir le linge, et à tous les usages auxquels nous employons ordinairement le savon. Elles sont de la plus grande utilité pour les fabriques de draps, et c'est par leur moyen qu'on débarrasse ces tissus de l'huile dont on a été forcé d'imbiber la laine pour la travailler. On foule ces étoffes avec cette terre dans de grandes auges et sous des pilons de bois, et c'est de là qu'est venue la dénomination de terre à foulon.

C'est aussi une argile smectique qu'on emploie comme pierre à détacher, qui est particulièrement utile pour les taches de graisse; celle qu'on vend à Paris, sous la forme de tablettes est un marne de la formation gypseuse, qui forme une couche épaisse à Montmartre. On l'emploie seule, ou mélangée avec un peu de carbonate de soude: c'est ce dernier sel qui produit surtout l'effet de raviver les couleurs dégradées par l'acide nitrique, dont les gens qui les vendent font journellement l'expérience sur les places publiques.

PIERRES A AIGUISER, SUBSTANCES A POLIR, ETC.

(365) Il se fait dans les arts mécaniques une grande consommation de matières minérales pour aiguiser, affûter les instruments tranchants, pour polir les métaux, etc. Les pierres à aiguiser sont le plus souvent des grès, qu'on tire surtout de la formation du grès houiller ou du grès rouge. C'est le grès rouge qui fournit la plupart des meules et des pierres à affûter, de couleur rouge, connues sous le nom de *pierres de Lorraine*, et plusieurs autres qui sont blanchâtres, verdâtres, que l'on connaît sous différents noms de localités. On fait aussi des meules avec les grès des terrains tertiaires; ce sont celles qui servent dans la grosse taillanderie, à laquelle

on a même appliqué les grès des environs de Paris. En général, tous les grès solides, homogènes, tenaces, peuvent être, et sont en effet employés à cet usage. Le grès houiller fournit la plupart des pierres grises ou noirâtres qui servent à affûter les instruments, et que l'on connaît sous les noms de *pierres à faux*, *pierres quercès*, etc. Tantôt on y emploie immédiatement les variétés fines de ces grès, que l'on taille en prismes carrés, en forme de navette, etc. ; tantôt on les broie pour en faire une pâte que l'on moule, et que l'on cuit ensuite pour leur donner le degré de dureté convenable. On emploie aussi, pour ces sortes de pierres, des variétés de quartz micacé, dont les particules quarzeuses sont fines et bien entremêlées avec des paillettes de mica ; les calcaires micacés produisent aussi d'excellentes pierres : celles que l'on nomme *pierres à faux de Suède* m'ont toujours offert l'une ou l'autre de ces roches.

La plupart de ces matières sont assez grossières, et ne peuvent servir pour affûter les tranchants fins, si ce n'est quelques variétés de la pierre de Lorraine, employées par les graveurs, les tourneurs, pour affûter leurs burins, leurs ciseaux ; on emploie en général, pour les instruments fins, des variétés de schiste argileux, ou des matières fines, homogènes, assez dures, qui forment des couches subordonnées au schiste, auquel elles passent souvent par toutes les nuances : telles sont la *pierre à rasoirs*, la *pierre à lancettes*, la *pierre bleue* des corroyeurs, la *pierre de Nuremberg* ; ces dernières sont très tendres, et ne servent qu'à donner le dernier douci aux tranchants. On se sert aussi de certaines variétés de dolomie à grains fins et serrés ; telle est la nature de la *pierre du Levant*, qui durcit beaucoup, et change entièrement de caractère, par l'imbibition de l'huile : certaines variétés compactes un

peu siliceuses des calcaires tertiaires, peuvent aussi être employées avec succès.

Toutes les matières employées à dresser, à polir les métaux et autres objets, sont encore tirées du règne minéral : ce sont tantôt des matières solides, tantôt des matières en poussières plus ou moins fines. Les grès de diverses espèces sont fréquemment employés dans ce cas, et c'est ainsi qu'on se sert à Oberstein, de grandes meules de grès pour tailler les agates. Les variétés fines de ces grès, ou des grès houillers, fournissent des matières propres à donner le douci, ainsi que le schiste argileux, qui, sous le nom de *pierres à l'eau*, *pierres de Nuremberg* ou de *Sonnenberg*, servent à préparer les bijoux d'or au poli vif. La *ponce en pierre* doit être encore comptée parmi ces matières.

Les substances employées à l'état de poussière, sont d'abord les sables siliceux, les grès qu'on peut facilement broyer, et beaucoup d'autres substances que l'on réduit par l'art, en poudres plus ou moins fines. Ce qu'on désigne sous le nom d'*émeri*, n'est en principe qu'une variété de corindon très ferrugineuse, qui, à cause de sa dureté, est très propre à préparer toutes les matières dures au poli; mais on emploie aussi sous ce nom, des sables de grenat, de zircon, qui sont communs dans quelques localités, et qui, étant plus durs que les sables quarzeux, sont aussi très propres à divers usages. La *ponce* est aussi fréquemment employée *en poudre* pour doucir les métaux, les bois, l'ivoire, etc.; mais le *silex nectique* de Saint-Ouen, près Paris, la remplace avec avantage, parce que sa poussière est beaucoup plus douce : malheureusement cette dernière substance n'est pas assez abondante pour être employée dans les arts.

Toutes les pierres qui n'ont pas un très grand degré de dureté, comme les agates, le grenat, etc., peuvent être taillées et polies avec les matières que nous venons

de citer ; mais il n'en est pas de même du diamant , et on ne peut employer pour le tailler que sa propre poussière, que l'on nomme *égrisée* ; on se sert pour la préparer de très petits diamants, et de tous ceux qui sont défectueux.

Il y a aussi des matières naturelles qu'on emploie après qu'on a donné le douci, soit pour préparer les corps au dernier poli, soit pour le leur procurer ; tels sont *le tripoli*, le *rouge d'Angleterre*, etc. Le tripoli n'est quelquefois que de la ponce broyée naturellement, transportée, lavée par les eaux, et qui est alors d'une grande finesse : dans *d'autres cas* ce sont des argiles schisteuses des dépôts de houilles ou de lignites, qui ont été calcinées par l'inflammation de ces combustibles ; on en fabrique aussi artificiellement en calcinant ces mêmes matières. Plusieurs espèces d'argiles fines peuvent être employées au même usage, telles sont la *terre de Ringelbach*, près de d'Oberstein, qui n'est que la partie argileuse fine des dépôts de grès rouge, la *terre pourrie d'Angleterre*, le *schiste à polir*, etc. La *craie* bien lavée est encore employée dans plusieurs cas, et c'est elle que nous prenons pour raviver l'argenterie. Les *ocres jaune* et *rouge* sont aussi employés avec succès.

Quant au rouge d'Angleterre, quoique pour des usages grossiers, on emploie sous ce nom les ocres dont nous venons de parler, on le prépare ordinairement par la calcination du sulfate de fer, qui passe à l'état de sous-sulfate de peroxyde ou de peroxyde pur, qu'on lave avec le plus grand soin, pour l'amener ensuite au plus grand état de ténuité ; c'est par conséquent un produit de l'art, et il en est de même de la potée d'étain.

(366) On se sert encore de diverses substances minérales pour *brunir* les métaux ; c'est-à-dire pour leur donner l'éclat en frottant leur surface, préalablement

douce, avec un corps plus dur qu'eux, poli, et incapable de rayer comme les matières à polir. On emploie pour cela l'*hématite*, quelques *variétés d'agate*, et de *silex*, et en général toutes les pierres dures. L'*hématite* se taille dans la longueur des fibres, et se polit dans le sens transversal, ce qui forme alors des espèces de cabochons que l'on monte à l'extrémité d'un manche de bois. L'*agate* et le *silex* sont employés pour les brunissoirs courbes, pour ceux qui ont besoin d'être très effilés. On remplace fréquemment ces matières par l'acier poli, que l'on façonne suivant les différents besoins des arts.

## USAGES DIVERS.

(367) Les arts, les usages de la vie, donnent lieu à l'emploi de plusieurs autres matières minérales, ou à des variétés de celles dont nous avons déjà parlé. C'est ainsi que plusieurs roches, simples ou composées, sont employées pour la confection des *pierres à moulins*, le *silex* pour faire des *pierres à fusil*, certaines variétés de calcaire et de grès pour composer les fontaines filtrantes, les sables fins légèrement argileux pour mouler les métaux, plusieurs espèces de pierres, telles que basalte, *silex*, etc., nommées alors *Pierre de touche*, pour essayer promptement le titre des matières d'or et d'argent, etc., etc.

(368) Parmi les pierres qui servent à la confection des meules de moulin, il n'en est pas qui réunissent à un plus haut point toutes les qualités désirées que le *silex molaire*, ou *Pierre meulière*. On en exploite dans diverses localités (La Ferté-sous-Jouarre, Seine-et-Marne; La Ferté-sur-Loire, près Nevers; Domme, Cheyroux, Dordogne; Mairé, St.-Maixent, Pers, Caunoy, Deux-Sèvres; Houlbec et Molière, Eure; Incourt, Seine-et-Oise) d'où elles sont transportées dans beaucoup de lieux par les canaux intérieurs, et ex-



portées même outre-mer par Bordeaux et le Havre.

On fait aussi des pierres à moulins avec des laves poreuses (Bords du Rhin) ou des roches celluleuses très siliceuses des dépôts trachytiques (Hongrie). On emploie aussi des grès et des poudingues siliceux, dans les endroits où l'on ne peut se procurer d'autres matières, (Auvergne, Limousin, etc., Angleterre, Autriche, etc.) On se sert enfin des roches granitiques, tantôt du granite proprement dit, tantôt des variétés de micaschistes, qui sont remplies de grenat; mais toutes ces pierres ne valent pas à beaucoup près le silex molaire.

Les pierres à fusil se font avec le silex; mais quoique cette substance soit très commune dans la nature, et particulièrement dans les pays crayeux, il n'est pas toujours facile d'en trouver qui réunissent toutes les qualités convenables, c'est-à-dire une assez grande ténacité pour résister aux chocs réitérés, et cependant assez de fragilité, au moins dans un certain moment, pour pouvoir les façonner. L'Autriche, la Prusse ont été long-temps avant de s'en procurer de bonnes, et n'en ont pas même encore qui puissent rivaliser avec celles que nous possédons en France, dont on faisait autrefois une exportation considérable, aujourd'hui prohibée. Ce sont les silex blonds translucides qui paraissent être les meilleurs; mais ils présentent dans le même lieu de très grandes différences: les uns se taillent facilement, les autres s'y refusent entièrement. On a remarqué que, pour les tailler, il fallait qu'ils fussent encore imbibés de l'humidité de carrière, et que quand ils avaient été exposés long-temps à l'air, ils devenaient impropres à la fabrication.

(369) *Quelques instruments de physique* doivent leur existence aux matières minérales. Nous avons vu des électroscopes fondés sur la propriété de la tourmaline

de s'électriser par la chaleur, sur la facilité avec laquelle le carbonate de chaux s'électrise, et la lenteur avec laquelle il perd l'électricité acquise. Les instruments de polarisation, le colorigrade, sont fondés sur la double réfraction du carbonate de chaux, ou du cristal de roche, et sur les propriétés optiques de quelques autres matières. Mais outre ces instruments, il en est un fort utile dans beaucoup de circonstances, et qui est encore une application très ingénieuse de la double réfraction que l'on doit à Rochon; la pièce principale est le micromètre à double image, pl. IX, fig. 23, qu'on place dans l'intérieur d'une lunette, à travers laquelle par conséquent on voit en général deux images. Cette lunette est tellement disposée qu'on peut faire mouvoir le prisme dans son intérieur, et le placer de manière à amener les images à se superposer exactement ou à se toucher, ce qui conduit à déterminer le diamètre apparent de l'objet: elle porte sur sa longueur une division au moyen de laquelle, étant donnée la grandeur apparente d'un corps, on peut avoir à l'instant sa distance, ou réciproquement.

(370) Sans doute nous aurions encore à citer l'emploi de beaucoup de substances; mais, nous ne pouvons passer tout le règne minéral en revue dans une esquisse générale, où nous avons voulu réunir un ensemble d'application, et c'est dans la description des espèces qu'il faut chercher des détails plus circonstanciés.

FIN DU TOME PREMIER.

## OBSERVATIONS.

Nous avons annoncé, page 378, que nous donnerions ici une table des poids atomiques, pour les substances, simples ou composées, qui sont les plus utiles à la minéralogie. Cette table est d'autant plus nécessaire aujourd'hui qu'on ne peut plus se servir des tables publiées en 1819 par M. Berzelius; car depuis cette époque les observations de ce savant y nécessitent de nombreux changemens. En effet, M. Berzelius a été conduit à changer les poids atomiques de près de la moitié des corps simples, ce qui change par conséquent ceux des corps composés dans lesquels ils entrent; de plus il a admis des simplifications, déjà proposées en France, mais peu suivies, qui consistent à ne prendre en général que la moitié des nombres atomiques qu'il avait d'abord employés, ce qui rend les formules des corps composés beaucoup moins compliquées; enfin il a adopté la théorie du chlore et de tous les corps qui lui sont analogues, ce qui achève de changer entièrement ses anciennes tables, et en fait désirer vivement une nouvelle édition.

Nous avons dû nécessairement introduire ces changemens importans dans la partie chimique de la minéralogie, et par conséquent calculer la table suivante d'après les données nouvelles; mais la petite table publiée par M. Berzelius (*Annales de chimie et de physique*, tome xxxviii, page 426), qui a servi de base à la nôtre, n'est arrivée à notre connaissance qu'après l'impression de la partie chimique de ce volume, en sorte que nous n'avons pu profiter alors des améliorations qu'elle présente. Heureusement ces améliorations ne changent absolument rien à la théorie atomique, et on pourra tout aussi bien la comprendre d'après les anciens nombres atomiques que nous avons adoptés que d'après les nouveaux; lorsqu'on se sera familiarisé avec les détails et les exemples que nous avons donnés, il sera tout aussi facile de faire le calcul des analyses que l'on pourra avoir avec les nouvelles tables que si nous nous en étions immédiatement servi. D'après ces réflexions nous avons cru pouvoir nous dispenser de réimprimer les six feuilles qui ont rapport à la théorie atomique et à ses applications, quoique pour le second volume nous ayons employé les nouvelles données.

Nous devons cependant faire ici quelques observations.

1° Les changemens de poids atomiques introduisent dans les composés binaires

les mêmes complications de rapports que dans les composés d'un ordre plus élevé ; c'est-à-dire qu'il n'arrive plus toujours, comme nous l'avons dit page 371, que l'un des élémens puisse être pris pour unité, et que l'autre soit un multiple de cette unité par un des nombres 1, 2, 3, etc. : il arrive au contraire quelquefois que l'un des élémens est représenté par 2, et l'autre par 3 ou par 5.

2° La simplification des nombres atomiques simplifie quelques-uns des exemples que nous avons pris, pages 372, 373, pour démontrer qu'on trouvait souvent dans les composés ternaires des rapports compliqués dans les nombres atomiques, comme de 2 à 3, 3 à 4, etc. Mais si, par hasard, nos exemples se trouvent simplifiés, il y a beaucoup d'autres composés dans lesquels on reconnaîtrait encore, malgré les nouveaux nombres, les lois que nous avons annoncées.

3° Relativement aux signes atomiques les rapports de 2 à 3, de 2 à 5, que l'on trouve quelquefois entre les élémens qui forment un composé binaire, ont nécessité de nouveaux signes lorsqu'il s'agit de composés oxigènes. Par exemple, on trouve des corps oxigénés dans lesquels il y a 2 atomes d'un élément, et 3 atomes, ou 5 atomes d'oxigène; or pour exprimer alors l'élément qui est au nombre de 2 atomes, M. Berzelius a imaginé de couper la lettre qui le représente par un trait horizontal : ainsi il écrit  $\overset{\sim}{\text{A}}$ ,  $\overset{\sim}{\text{F}}$ ,  $\overset{\sim}{\text{P}}$ , etc., pour indiquer l'oxide d'aluminium, l'oxide de fer, dans lesquels l'aluminium ou le fer entre pour 2 atomes et l'oxigène pour 3, ou bien l'acide phosphorique dans lequel le phosphore entre pour 2 atomes, et l'oxigène pour 5. Nous adopterons ce moyen simple d'indication.

4° Enfin nous ferons remarquer que tous les oxides dans lesquels nous avons admis, comme anciennement M. Berzelius, 2 atomes d'oxigène, n'en renferment plus qu'un, lorsqu'on admet la simplification du nombre qui représente les poids atomiques des corps simples. D'après cela les formules des composés ternaires, quaternaires, etc., dont ces oxides font partie, se trouvent généralement moins compliqués; ainsi les silicates, bi-silicates, tri-silicates de chaux, par exemple, au lieu de s'écrire  $\overset{\sim}{\text{Ca}}^5 \overset{\sim}{\text{Si}}^2$ ,  $\overset{\sim}{\text{Ca}}^5 \overset{\sim}{\text{Si}}^4$ ,  $\overset{\sim}{\text{Ca}}^5 \overset{\sim}{\text{Si}}^2$ , s'écriront  $\overset{\sim}{\text{Ca}}^5 \overset{\sim}{\text{Si}}$ ,  $\overset{\sim}{\text{Ca}}^5 \cdot \overset{\sim}{\text{Si}}^2$ ,  $\overset{\sim}{\text{Ca}} \overset{\sim}{\text{Si}}$ ; la formule de la tremolite  $\overset{\sim}{\text{Ca}} \overset{\sim}{\text{Si}}^2 + \overset{\sim}{\text{Mg}}^5 \overset{\sim}{\text{Si}}^4$  deviendra  $\overset{\sim}{\text{Ca}} \overset{\sim}{\text{Si}} + \overset{\sim}{\text{Mg}}^5 \overset{\sim}{\text{Si}}^2$ ; de même la formule  $\overset{\sim}{\text{Na}} \overset{\sim}{\text{Si}}^2 + 2 \overset{\sim}{\text{A}} \overset{\sim}{\text{Si}} + 4 \text{Aq}$  devient  $\overset{\sim}{\text{Na}} \overset{\sim}{\text{Si}} + \overset{\sim}{\text{A}} \overset{\sim}{\text{Si}} + 2 \text{Aq}$ , qui est plus simple.

Ces changemens n'en apportent pas dans les signes minéralogiques; seulement il arrive que ceux-ci sont plus souvent semblables aux signes chimiques par leurs coefficients.

## TABLE

*Du poids des atomes des corps simples, et des composés les plus utiles à la minéralogie, avec leur composition.*

NOMS des CORPS.	SIGNE.	POIDS de L'ATOME.	COMPOSITION EN POIDS.	
			ÉLÉMENT électro-négatif.	ÉLÉMENT électro-positif.
Acide arsénieux . . . . .	$\ddot{\text{A}}\text{rs.}$	1240,084.	Ox. = 24, 19.	Ars. = 75, 81.
— arsénique . . . . .	$\ddot{\text{A}}\text{rs.}$	1440,084.	Ox. = 34, 72.	Ars. = 65, 28.
— borique . . . . .	$\ddot{\text{B}}\text{or.}$	871,966.	Ox. = 68, 81.	Bor. = 31, 19.
— carbonique . . . . .	$\ddot{\text{C}}\text{arb.}$	276,437.	Ox. = 72, 34.	Carb. = 27, 65.
— chromique . . . . .	$\ddot{\text{C}}\text{hr.}$	651,819.	Ox. = 46, 02.	Chr. = 53, 98.
— hydrochlorique . . . . .	$\text{H. Cl.}$	455,129.	Cl. = 97, 26.	H. = 2, 74.
— manganique . . . . .	$\ddot{\text{M}}\text{an.}$	1211,575.	Ox. = 41, 27.	Man. = 58, 73.
— molybdique . . . . .	$\ddot{\text{M}}\text{ol.}$	898,525.	Ox. = 33, 39.	Mol. = 66, 61.
— nitrique . . . . .	$\ddot{\text{N}}\text{it.}$	677,036.	Ox. = 73,852.	Nit. = 26,148.
— oxalique . . . . .	$\ddot{\text{C}}\text{arb.}$	452,875.	Ox. = 66, 24.	Carb. = 33, 75.
— phosphorique . . . . .	$\ddot{\text{P}}\text{ho.}$	892,310.	Ox. = 56, 03.	Pho. = 43, 97.
— sulfurique . . . . .	$\ddot{\text{S}}\text{ul.}$	501,165.	Ox. = 59, 86.	Sul. = 40, 14.
— tantalique . . . . .	$\ddot{\text{T}}\text{an.}$	2607,430.	Ox. = 11, 51.	Tan. = 88, 49.
— tungstique . . . . .	$\ddot{\text{W}}\text{olf.}$	1483,200.	Ox. = 20, 23.	Wolf. = 79, 77.
Alumine . . . . .	$\ddot{\text{A}}.$	642,334.	Ox. = 46, 71.	Al. = 53, 29.
Aluminium . . . . .	$\text{Al.}$	171,167.		
Ammoniaque . . . . .	$\text{Nit. Hy}^5.$	107,237.	Nit = 82, 54.	Hy. = 17, 46.
Antimoine . . . . .	$\text{Stib.}$	806,452.		
Argent . . . . .	$\text{Arg.}$	1351,607.		
Arséniate ferreux . . . . .	$\ddot{\text{A}}\text{rs. Fe}^3.$	2757,723.	$\ddot{\text{A}}\text{rs.} = 52, 21.$	$\text{Fe.} = 47, 78.$
— ferrique . . . . .	$\ddot{\text{A}}\text{rs. Fe}^3.$	4375,362.	$\ddot{\text{A}}\text{rs.} = 32, 91.$	$\text{Fe.} = 67, 09.$
Arsenic . . . . .	$\text{Ars.}$	470,042.		
Arséniure cobaltique . . . . .	$\text{Ars. Cob.}$	839,033.	$\text{Ars.} = 56, 03.$	$\text{Cob.} = 43, 97.$
Bi-arséniure cobaltique . . . . .	$\text{Ars}^2. \text{Cob.}$	1309,075.	$\text{Ars.} = 71, 82.$	$\text{Cob.} = 28, 18.$
Arséniure ferrique . . . . .	$\text{Ars. Fe.}$	809,255.	$\text{Ars.} = 58, 09.$	$\text{Fe.} = 41, 91.$
Bi-arséniure ferrique . . . . .	$\text{Ars}^2. \text{Fe.}$	1279,297.	$\text{Ars.} = 73, 50.$	$\text{Fe.} = 26, 50.$
Arséniure nickelique . . . . .	$\text{Ars. Nik.}$	839,717.	$\text{Ars.} = 55, 98.$	$\text{Nik.} = 41, 02.$
Bi-arséniure nickelique . . . . .	$\text{Ars}^2. \text{Nik.}$	1309,759.	$\text{Ars.} = 71, 78.$	$\text{Nik.} = 28, 22.$
Azote ( <i>nitricum</i> ) . . . . .	$\text{Nit.}$	38,518.		
Baryte . . . . .	$\text{Bar.}$	956,880.	Ox. = 10, 45.	Bar. = 89, 55
Bar, um . . . . .	$\text{Bar.}$	856,880.		
Bismuth . . . . .	$\text{Bis.}$	330,376.		

N O M S des CORPS.	SIGNES.	POIDS de L'ATOME.	COMPOSITION EN POIDS.	
			ÉLÉMENT électro-négatif.	ÉLÉMENT électro-positif.
Bore.....	Bor.	135, 983.		
Brome.....	Bro.	475, 550?		
Cadmium.....	Cad.	696, 767.		
Calcium.....	Cal.	256, 019.		
Carbone.....	Carb.	76, 437.		
Bi-carbonate calçique...	Carb. Cal.	632, 456.	Carb. = 43, 71.	Cal. = 56, 29.
———— cuprique ..	Carb. Cu.	772, 132.	Carb. = 35, 81.	Cup. = 64, 19.
———— ferreux. ...	Carb. Fe.	715, 650.	Carb. = 38, 64.	Fe. = 61, 36.
———— magnésique.	Carb. Mag.	534, 790.	Carb. = 51, 69.	Mag. = 48, 31.
———— manganoux.	Carb. Man.	732, 224.	Carb. = 37, 75.	Man. = 62, 25.
———— p'ombeux. .	Carb. Flo.	1670, 935.	Carb. = 16, 54.	Flo. = 83, 46.
Quadri-carbonate plom- beux.....	Carb <sup>2</sup> . Flo.	1947, 372.	Carb. = 28, 39.	Flo. = 71, 61.
Cérium.....	Cer.	574, 718.		
Chaux.....	Cal.	356, 019.	Ox. = 28, 09.	Cal. = 71, 92.
Chlore.....	Chl.	221, 325.		
Chlorure de plomb.....	Chl <sup>2</sup> . Flo.	1737, 148.	Chl. = 25, 48.	Flo. = 74, 52.
Chrome.....	Chr.	351, 819.		
Cobalt.....	Cob.	368, 991.		
Cuivre.....	Cup.	395, 695.		
Eau.....	Hy. ou Aq.	112, 479.	Ox. = 88, 90.	Hy. = 11, 10.
Étain.....	Stan.	765, 294.		
Fer.....	Fe.	339, 213.		
Glucine.....	Gl.	962, 958.	Ox. = 51, 15.	Gl. = 68, 85.
Glucinium.....	Gl.	331, 479.		
Hydrate cuprique.....	Aq. Cup.	608, 174.	Aq. = 18, 49.	Cup. = 81, 51.
———— magnésique....	{ Aq. Mag.	370, 832.	Aq. = 30, 33.	Mag. = 69, 67.
	{ Aq <sup>4</sup> . Mag.	708, 269.	Aq. = 63, 52.	Mag. = 36, 48.
———— zincique.....	{ Aq. Zin.	615, 705.	Aq. = 18, 27.	Zin. = 81, 73.
	{ Aq <sup>5</sup> . Zin.	840, 663.	Aq. = 40, 14.	Zin. = 59, 86.
Hydrogène.....	Hy.	6, 2398.		
Jode.....	Io.	768, 781.		
Lithine.....	Lit.	227, 757.	Ox. = 43, 91.	Lit. = 56, 09.
Lithium.....	Lit.	127, 757.		
Magnésie.....	Mag.	258, 353.	Ox. = 38, 71.	Mag. = 61, 29.
Magnésium.....	Mag.	153, 353.		
Manganèse.....	Man.	355, 787.		
Mercure.....	Mer.	200, 594.		
Molybdène.....	Mol.	598, 60.		

N O M S des CORPS.	SIGNES.	POIDS de L'ATOME.	COMPOSITION EN POIDS.	
			ÉLÉMENT électro-négatif.	ÉLÉMENT électro-positif.
Nikel.....	Nik.	369,675.		
Or.....	Aur.	1243,013.		
Oxide antimonique.....	Stib.	1912,904.	Ox. = 15, 68.	Sb. = 84, 32.
— cereux.....	Cer.	674,718.	Ox. = 14, 82.	Cer. = 85, 18.
— cérique.....	Cer.	1449,436.	Ox. = 20, 70.	Cer. = 79, 30.
— chromique.....	Chr.	1003,638.	Ox. = 29, 89.	Chr. = 70, 11.
— cobalteux.....	Cob.	468,991.	Ox. = 21, 32.	Cob. = 78, 68.
— cobaltique.....	Cob.	1037,982.	Ox. = 28, 90.	Cob. = 71, 10.
— cuprique.....	Cup.	495,695.	Ox. = 20, 17.	Cup. = 79, 83.
— ferreux.....	Fe.	439,213.	Ox. = 22, 77.	Fe. = 77, 23.
— ferrique.....	Fe.	978,426.	Ox. = 30, 66.	Fe. = 69, 34.
— manganeux.....	Man.	455,787.	Ox. = 21, 94.	Man. = 78, 06.
— manganique (oxide brun).....	Man. ou Man. Man.	1011,575.	Ox. = 29, 66.	Man. = 70, 34.
— manganeux manga- nique (oxide rouge.	Man. Man. <sup>2</sup> .	1467,362.	Ox. = 27, 25.	Man. = 72, 75.
Péroxide manganique...	Man.	555,787.	Ox. = 35, 99.	Man. = 64, 01.
Oxide nickeliqne.....	Nik.	469,675.	Ox. = 21, 29.	Nik. = 78, 71.
— plombeux.....	Plo.	1394,498.	Ox. = 7, 171.	Plo. = 92, 829.
— stanique.....	Sta.	935,294.	Ox. = 21, 33.	Sta. = 78, 67.
— titanique.....	Tit.	589,092.	Ox. = 33, 95.	Tit. = 66, 05.
— uraneux.....	Ur.	2811,360.	Ox. = 3, 56.	Ur. = 96, 44.
— uranique.....	Ur.	5722,720.	Ox. = 5, 24.	Ur. = 94, 76.
— zincique.....	Zin.	503,226.	Ox. = 19, 87.	Zin. = 80, 13.
Oxigène.....	Ox.	100,000.		
Phosphate d'alumine....	Pho <sup>3</sup> . A <sup>4</sup> .	5246,266.	Pho. = 51, 03.	A. = 48, 97.
— de chaux.....	Pho. Cal <sup>5</sup> .	1960,367.	Pho. = 45, 52.	Cal. = 54, 48.
— de cuivre....	Pho. Cup <sup>5</sup> .	2379,395.	Pho. = 37, 50.	Cup. = 62, 50.
Phosphate de fer.....	Pho. Fe <sup>5</sup> .	2209,949.	Pho. = 40, 38.	Fe. = 59, 62.
	Pho. Fe <sup>4</sup> .	2649,162.	Pho. = 33, 68.	Fe. = 66, 32.
	Pho <sup>2</sup> . Fe <sup>5</sup> .	3980,685.	Pho. = 44, 83.	Fe. = 55, 17.
Phosphates de manganèse.	Pho. Man <sup>5</sup> .	2259,671.	Pho. = 39, 49.	Man. = 60, 51.
	Pho. Man <sup>4</sup> .	2715,458.	Pho. = 32, 86.	Man. = 67, 14.
	Pho <sup>2</sup> . Man <sup>5</sup> .	4063,555.	Pho. = 43, 92.	Man. = 56, 0.
Phosphate d'urane.....	Pho. Ur.	9026,390.	Pho. = 9, 89.	Ur. = 90, 11.
Phosphore.....	Pho.	196,155.		
Phthore.....	IRIS : LILL	AD - Université LILL	60.	

N O M S des CORPS.	SIGNES.	POIDS de L'ATOME.	COMPOSITION EN POIDS.	
			ÉLÉMENT électro-négatif.	ÉLÉMENT électro-positif.
Platine.....	Plat.	1215,220.		
Plomb.....	Plo.	1294,498.		
Potasse.....	Kal.	589,916.	Ox. = 16, 95.	Kal = 83, 05.
Potassium.....	Kal.	489,916.		
Rhodium.....	Rho.	750,680.		
Selenium.....	Sel.	494,582.		
Seleniure d'argent.....	Sel. Arg.	1846,189.	Sel. = 26, 79.	Arg. = 73, 21.
— de plomb.....	Sel. Plo.	1789,080.	Sel. = 27, 64.	Plo. = 72, 35.
Silicate tri-aluminique..	Sil. $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}}^5$ .	2504,480.	Sil. = 23, 05.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}}$ = 76, 95.
— bi-aluminique...	Sil. $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}^2$ .	1862,146.	Sil. = 31, 01.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}$ = 68, 99.
— aluminique.....	Sil. $\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}$ .	1219,812.	Sil. = 47, 34.	$\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}$ = 52, 66.
Bi-silicate aluminique...	Sil $^2$ $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}$ .	1797,290.	Sil. = 64, 26.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}$ = 35, 74.
Tri-silicate.....	Sil $^5$ $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}}$ .	2374,768.	Sil. = 72, 95.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{A}}}}$ = 27, 05.
Silicate calcaïque.....	Sil. Cal $^5$ .	1645,535.	Sil. = 35, 09.	Cal. = 64, 91.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . Cal $^5$ .	2223,013.	Sil. = 51, 95.	Cal. = 48, 05.
Tri-silicate.....	Sil. Cal.	933,497.	Sil. = 61, 86.	Cal. = 38, 14.
Silicate ferreux.....	Sil. Fe $^5$ .	1895,117.	Sil. = 30, 47.	Fe. = 69, 53.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . Fe $^5$ .	2472,595.	Sil. = 46, 71.	Fe. = 53, 29.
Tri-silicate.....	Sil. Fe.	1016,691.	Sil. = 56, 80.	Fe. = 43, 20.
Silicate ferrique.....	Sil. $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{Fe}}}$ .	1555,904.	Sil. = 37, 12.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{Fe}}}$ = 62, 88.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{Fe}}}$ .	2133,382.	Sil. = 54, 14.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{Fe}}}$ = 45, 86.
Tri-silicate.....	Sil $^5$ . $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{Fe}}}$ .	2710,860.	Sil. = 63, 91.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{Fe}}}$ = 36, 09.
Silicate glucinique.....	Sil. $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}$ .	1540,436.	Sil. = 37, 49.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}$ = 62, 51.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}$ .	2117,914.	Sil. = 54, 53.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}$ = 45, 47.
Tri-silicate.....	Sil $^5$ . $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}$ .	2695,392.	Sil. = 64, 27.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}$ = 35, 73.
Quadri-silicate.....	Sil $^4$ . $\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}}$ .	3272,870.	Sil. = 70, 58.	$\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}}}$ = 29, 42.
Silicate lithique.....	Sil. Lit $^5$ .	1260,749.	Sil. = 45, 81.	Lit. = 54, 19.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . Lit $^5$ .	1838,227.	Sil. = 62, 83.	Lit. = 37, 17.
Tri-silicate.....	Sil. Lit.	805,235.	Sil. = 71, 72.	Lit. = 28, 28.
Silicate magnésique.....	Sil. Mag $^5$ .	1352,537.	Sil. = 42, 70.	Mag. = 57, 30.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . Mag $^5$ .	1930,015.	Sil. = 59, 84.	Mag. = 40, 16.
Tri-silicate.....	Sil. Mag.	835,831.	Sil. = 69, 09.	Mag. = 30, 91.
Silicate manganoux.....	Sil. Man $^5$ .	1944,839.	Sil. = 29, 69.	Man. = 70, 31.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . Man $^5$ .	2522,317.	Sil. = 45, 79.	Man. = 54, 21.
Tri-silicate.....	Sil. Man.	1033,265.	Sil. = 55, 89.	Man. = 44, 11.
Silicate potassique.....	Sil. Ka $^5$ .	2347,226.	Sil. = 24, 60.	Ka. = 75, 40.
Bi-silicate.....	Sil $^2$ . Ka $^5$ .	2924,704.	Sil. = 39, 49.	Ka. = 60, 51.
Tri-silicate.....	Sil. Kal.	1515,514.	Sil. = 49, 47.	Kal. = 50, 53.
Silicate sodique.....	Sil. Nat $^5$ .	1750,169.	Sil. = 33, 00.	Nat. = 67, 00.



N O M S des CORPS.	SIGNES.	POIDS de L'ATOME.	COMPOSITION EN POIDS.	
			ÉLÉMENT électro-négatif.	ÉLÉMENT électro-positif.
Bi-silicate sodique.....	$\ddot{\text{Si}}\text{L}^2 \cdot \text{Nat}^5$ .	2327,647.	$\ddot{\text{Si}}\text{L} = 49, 62.$	$\text{Nat} = 50, 38.$
Tri-silicate.....	$\ddot{\text{Si}}\text{L} \cdot \text{Nat}.$	968,375.	$\ddot{\text{Si}}\text{L} = 59, 63.$	$\text{Nat} = 40, 37.$
Silice.....	$\ddot{\text{Si}}\text{L}.$	577,478.	$\text{Ox} = 51, 95.$	$\text{SiL} = 48, 05.$
Silicium.....	$\text{SiL}.$	277,478.		
Sodium.....	$\text{Nat}.$	290,897.		
Soude.....	$\ddot{\text{N}}\text{at}.$	390,897.	$\text{Ox} = 25, 58.$	$\text{Nat} = 74, 42.$
Soufre.....	$\text{Sul}.$	201,165.		
Strontiane.....	$\ddot{\text{S}}\text{tr}.$	647,285.	$\text{Ox} = 15, 45.$	$\text{Str} = 84, 55.$
Strontium.....	$\text{Str}.$	547,285.		
Sulfate aluminique.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \ddot{\text{A}}.$	1143,499.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 43, 83.$	$\ddot{\text{A}} = 56, 17.$
Bi-sulfate.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul}^2 \cdot \ddot{\text{A}}.$	1644,664.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 60, 95.$	$\ddot{\text{A}} = 39, 05.$
Tri-sulfate.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul}^3 \cdot \ddot{\text{A}}.$	2145,829.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 70, 07.$	$\ddot{\text{A}} = 29, 93.$
Tri-sulfate calcique.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Cal}.$	857,184.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 58, 47.$	$\text{Cal} = 41, 53.$
Sulfate cuprique.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Cup}^5.$	1988,250.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 25, 21.$	$\text{Cup} = 74, 79.$
Bi-sulfate cuprique.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul}^2 \cdot \text{Cup}^3.$	2489,415.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 40, 26.$	$\text{Cup} = 59, 74.$
Tri-sulfate.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Cup}.$	996,860.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 50, 27.$	$\text{Cup} = 49, 73.$
Bi-sulfate ferreux.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul}^2 \cdot \text{Fe}^5.$	2319,969.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 43, 21.$	$\text{Fe} = 56, 79.$
Tri-sulfate.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Fe}.$	940,379.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 53, 29.$	$\text{Fe} = 46, 71.$
Bi-sulfate ferrique.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul}^2 \cdot \ddot{\text{F}}\text{e}.$	1980,756.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 50, 60.$	$\ddot{\text{F}}\text{e} = 49, 40.$
Tri-sulfate.....	$\ddot{\text{S}}\text{ul}^3 \cdot \ddot{\text{F}}\text{e}.$	2481,921.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 60, 58.$	$\ddot{\text{F}}\text{e} = 39, 42.$
Tri-sulfate magnésique...	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Mag}.$	759,518.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 65, 98.$	$\text{Mag} = 31, 02.$
—————manganoux...	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Man}.$	956,952.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 52, 37.$	$\text{Man} = 47, 63.$
—————potassique...	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Ka}.$	1091,081.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 45, 93.$	$\text{Kal} = 54, 07.$
—————plombique...	$\ddot{\text{S}}\text{ul} \cdot \text{Plo}.$	1895,663.	$\ddot{\text{S}}\text{ul} = 26, 44.$	$\text{Plo} = 73, 56.$
Sulfure d'antimoine.....	$\text{Sul}^3 \cdot \text{Stit}^2.$	2216,399.	$\text{Sul} = 27, 23.$	$\text{Stib} = 72, 77.$
—————d'argent.....	$\text{Sul} \cdot \text{Arg}.$	1552,772.	$\text{Sul} = 12, 95.$	$\text{Arg} = 87, 05.$
Sulfures d'arsenic.....	$\text{Sul} \cdot \text{Ars}.$	671,207.	$\text{Sul} = 29, 97.$	$\text{Ars} = 70, 03.$
	$\text{Sul}^5 \cdot \text{Ars}^2.$	1543,579.	$\text{Sul} = 39, 10.$	$\text{Ars} = 60, 90.$
Sulfure de bismuth.....	$\text{Sul}^3 \cdot \text{Bis}^2.$	3264,247.	$\text{Sul} = 18, 49.$	$\text{Bis} = 81, 51.$
—————bi-cuprique.....	$\text{Sul} \cdot \text{Cup}^3.$	992,555.	$\text{Sul} = 20, 27.$	$\text{Cup} = 79, 73.$
—————cuprique.....	$\text{Sul} \cdot \text{Cup}.$	596,850.	$\text{Sul} = 23, 703.$	$\text{Cup} = 66, 297.$
—————cobaltique.....	$\text{Sul} \cdot \text{Cob}.$	570,156.	$\text{Sul} = 35, 36.$	$\text{Cob} = 64, 64.$
Bi-sulfure cobaltique....	$\text{Sul}^2 \cdot \text{Cob}.$	771, 32.	$\text{Sul} = 52, 16.$	$\text{Cob} = 47, 84.$
Sulfure ferrique.....	$\text{Sul} \cdot \text{Fe}.$	540,378.	$\text{Sul} = 37, 23.$	$\text{Fe} = 62, 77.$
Bi-sulfure.....	$\text{Sul}^2 \cdot \text{Fe}.$	741,543.	$\text{Sul} = 54, 26.$	$\text{Fe} = 45, 74.$
Sulfure nickelique.....	$\text{Sul} \cdot \text{Nik}.$	570,840.	$\text{Sul} = 35, 24.$	$\text{Nik} = 64, 76.$
Bi-sulfure.....	$\text{Sul}^2 \cdot \text{Nik}.$	772,005.	$\text{Sul} = 52, 12.$	$\text{Nik} = 47, 88.$
Sulfure plombique.....	$\text{Sul} \cdot \text{Plo}.$	1495, 66.	$\text{Sul} = 13, 45.$	$\text{Plo} = 86, 55.$
—————stannique.....	$\text{Sul} \cdot \text{Sta}.$	936, 45.	$\text{Sul} = 20, 99.$	$\text{Sta} = 79, 01.$

N O M S des CORPS.	SIGNES.	POIDS de L'ATOME.	COMPOSITION EN POIDS.	
			ÉLÉMENT électro-négatif.	ÉLÉMENT électro-positif.
Tantalate calcique. . . . .	$\ddot{T}an. \dot{C}al^5.$	3675,487.	$\ddot{T}an. = 70, 94.$	$\dot{C}al. = 29, 06.$
— bi-calcique. . . . .	$\ddot{T}an^5. \dot{C}al^6.$	4743,544.	$\ddot{T}an. = 54, 97.$	$\dot{C}al. = 45, 03$
Bi-tantalate ferreux . . . . .	$\ddot{T}an^2. \dot{F}e^5.$	6522,499.	$\ddot{T}an. = 79, 83.$	$\dot{F}e. = 20, 17$
Tri-tantalate— . . . . .	$\ddot{T}an. \ddot{F}e.$	3046,643.	$\ddot{T}an. = 85, 58.$	$\dot{F}e. = 14, 42.$
Bi-tantalate manganoux. . . . .	$\ddot{T}an^2. \dot{M}an^5$	6582,220.	$\ddot{T}an. = 79, 23.$	$\dot{M}an. = 20, 77.$
Tri-tantalate— . . . . .	$\ddot{T}an. \dot{M}an.$	3063,217.	$\ddot{T}an. = 85, 12.$	$\dot{M}an. = 14, 88.$
Tantalate uranique. . . . .	$\ddot{T}an. \ddot{U}r.$	8330,150.	$\ddot{T}an. = 31, 30.$	$\ddot{U}r. = 68, 70.$
— bi-yttrique. . . . .	$\ddot{T}an. \dot{Y}tt^6.$	5618,470.	$\ddot{T}an. = 46, 41.$	$\dot{Y}tt. = 53, 59.$
— yttrique. . . . .	$\ddot{T}an. \dot{Y}tt^5.$	4112,950.	$\ddot{T}an. = 63, 40.$	$\dot{Y}tt. = 36, 60.$
Tantale. . . . .	Tan.	1153,715.		
Tellure. . . . .	Tel.	806,452.		
Sex-titanate calcique. . . . .	$\ddot{T}it^5. \dot{C}al.$	2123,295.	$\ddot{T}it. = 83, 23.$	$\dot{C}al. = 16, 77$
Bi-titanate ferreux. . . . .	$\ddot{T}it. \dot{F}e.$	1028,305.	$\ddot{T}it. = 57, 29.$	$\dot{F}e. = 42, 71.$
Quadri-titanate— . . . . .	$\ddot{T}it^2. \dot{F}e.$	1617,397.	$\ddot{T}it. = 72, 85.$	$\dot{F}e. = 27, 15.$
Sex-titanate — . . . . .	$\ddot{T}it^3. \dot{F}e.$	2206,489.	$\ddot{T}it. = 81, 10.$	$\dot{F}e. = 19, 90.$
Bi-titanate manganoux . . . . .	$\ddot{T}it. \dot{M}an.$	1044,879.	$\ddot{T}it. = 56, 38.$	$\dot{M}an. = 43, 62.$
Quadri-titanate— . . . . .	$\ddot{T}it^2. \dot{M}an.$	1633,971.	$\ddot{T}it. = 72, 11.$	$\dot{M}an. = 27, 89.$
Sex-titanate— . . . . .	$\ddot{T}it^3. \dot{M}an.$	2223,063.	$\ddot{T}it. = 79, 50.$	$\dot{M}an. = 20, 50.$
Titane . . . . .	Tit.	389,092.		
Tungstate calcique . . . . .	$\ddot{W}olf. \dot{C}al^5.$	2551,257.	$\ddot{W}olf. = 58, 13.$	$\dot{C}al. = 41, 86$
Tritungstate — . . . . .	$\ddot{W}olf. \dot{C}al.$	1839,219.	$\ddot{W}olf. = 80, 64.$	$\dot{C}al. = 19, 36$
Tungstate ferreux. . . . .	$\ddot{W}olf. \dot{F}e^5.$	2800,839.	$\ddot{W}olf. = 52, 96.$	$\dot{F}e. = 47, 04.$
Tritungstate— . . . . .	$\ddot{W}olf. \dot{F}e.$	1922,413.	$\ddot{W}olf. = 77, 15.$	$\dot{F}e. = 22, 85.$
Tungstate manganoux. . . . .	$\ddot{W}olf. \dot{M}an^5.$	2850,561.	$\ddot{W}olf. = 52, 03.$	$\dot{M}an. = 47, 97.$
Tritungstate — . . . . .	$\ddot{W}olf. \dot{M}an.$	1938,987.	$\ddot{W}olf. = 76, 49.$	$\dot{M}an. = 23, 51.$
Tungstein. . . . .	Wolf.	1183,200.		
Urane. . . . .	Ur.	2111,360.		
Yttria. . . . .	Ytt.	501,840.	$Ox. = 19, 93.$	$Ytt. = 80, 07.$
Yttrium . . . . .	Ytt.	401,840.		
Zinc. . . . .	Zin.	403,226.		
Zircone. . . . .	$\ddot{Z}ir.$	1140,476.	$Ox. = 26, 30.$	$Zir. = 73, 70.$
Zirconium. . . . .	Zir.	420,238.		

\*TN.

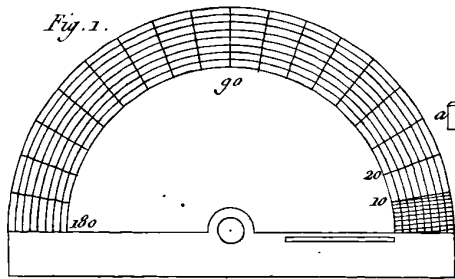


Fig. 3.

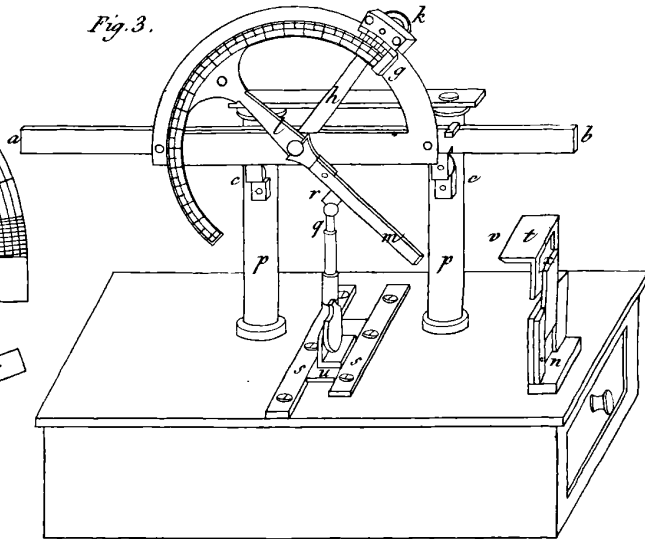


Fig. 4.

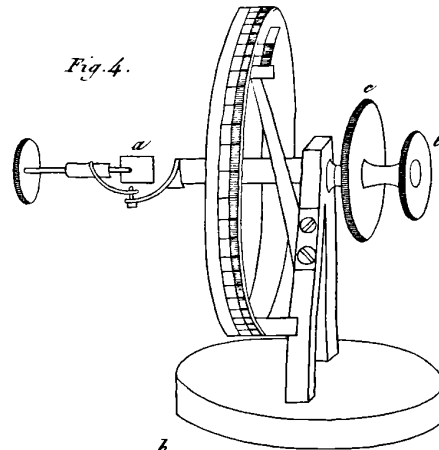


Fig. 20.



Fig. 2.

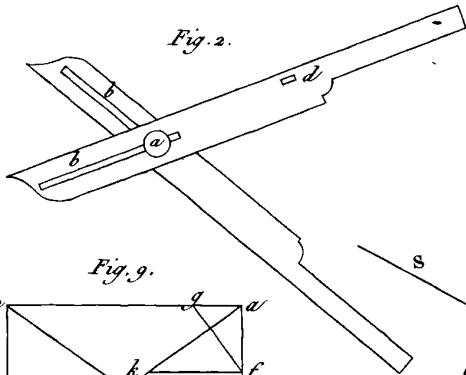


Fig. 8.

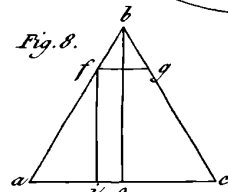


Fig. 7.

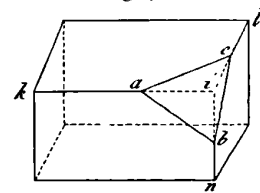


Fig. 5.

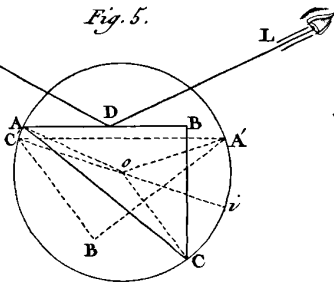


Fig. 6.

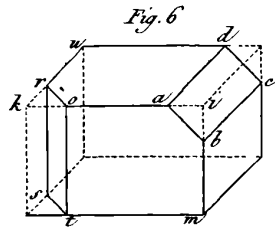


Fig. 9.

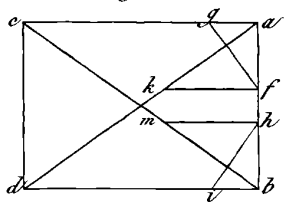


Fig. 14.

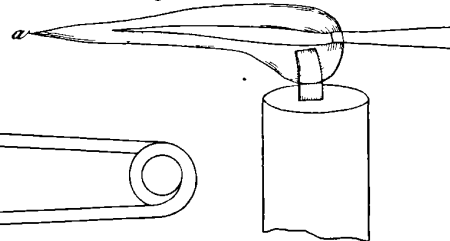


Fig. 12.

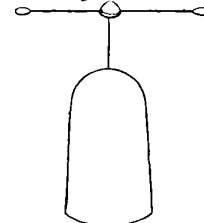


Fig. 11.

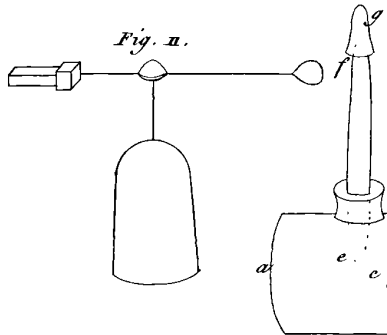


Fig. 15.

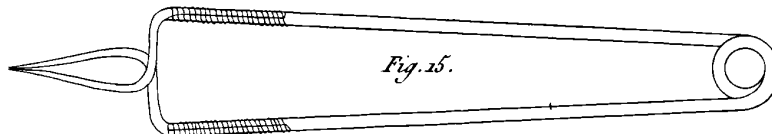
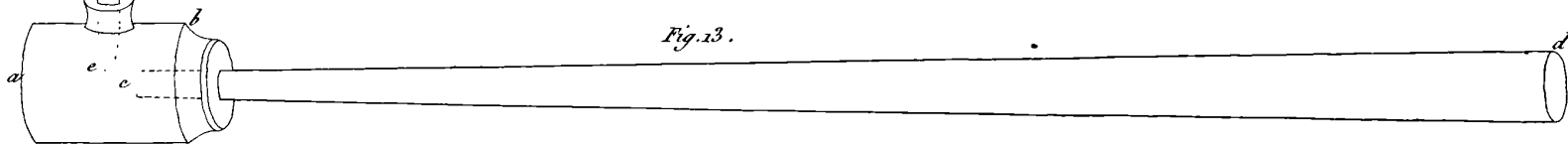
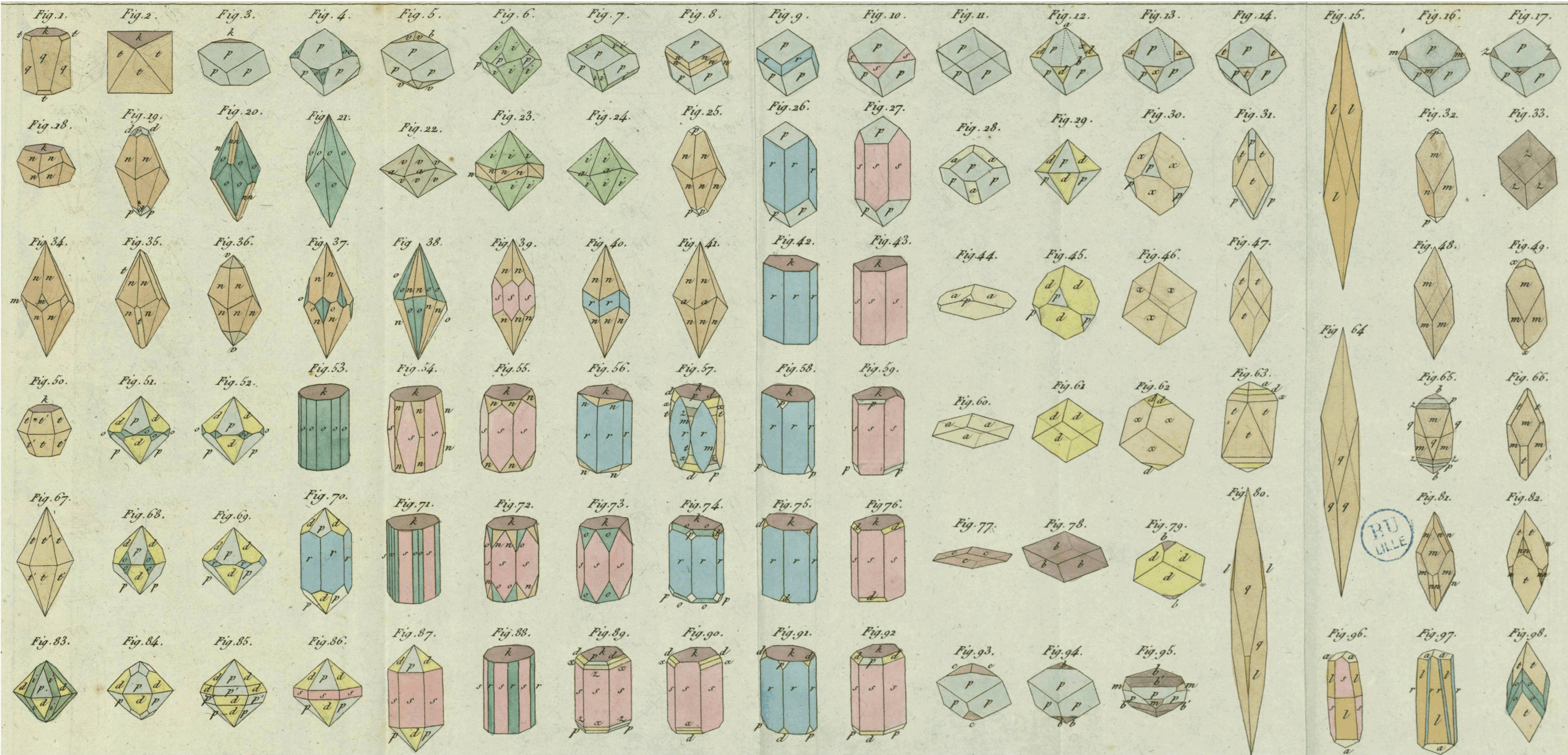
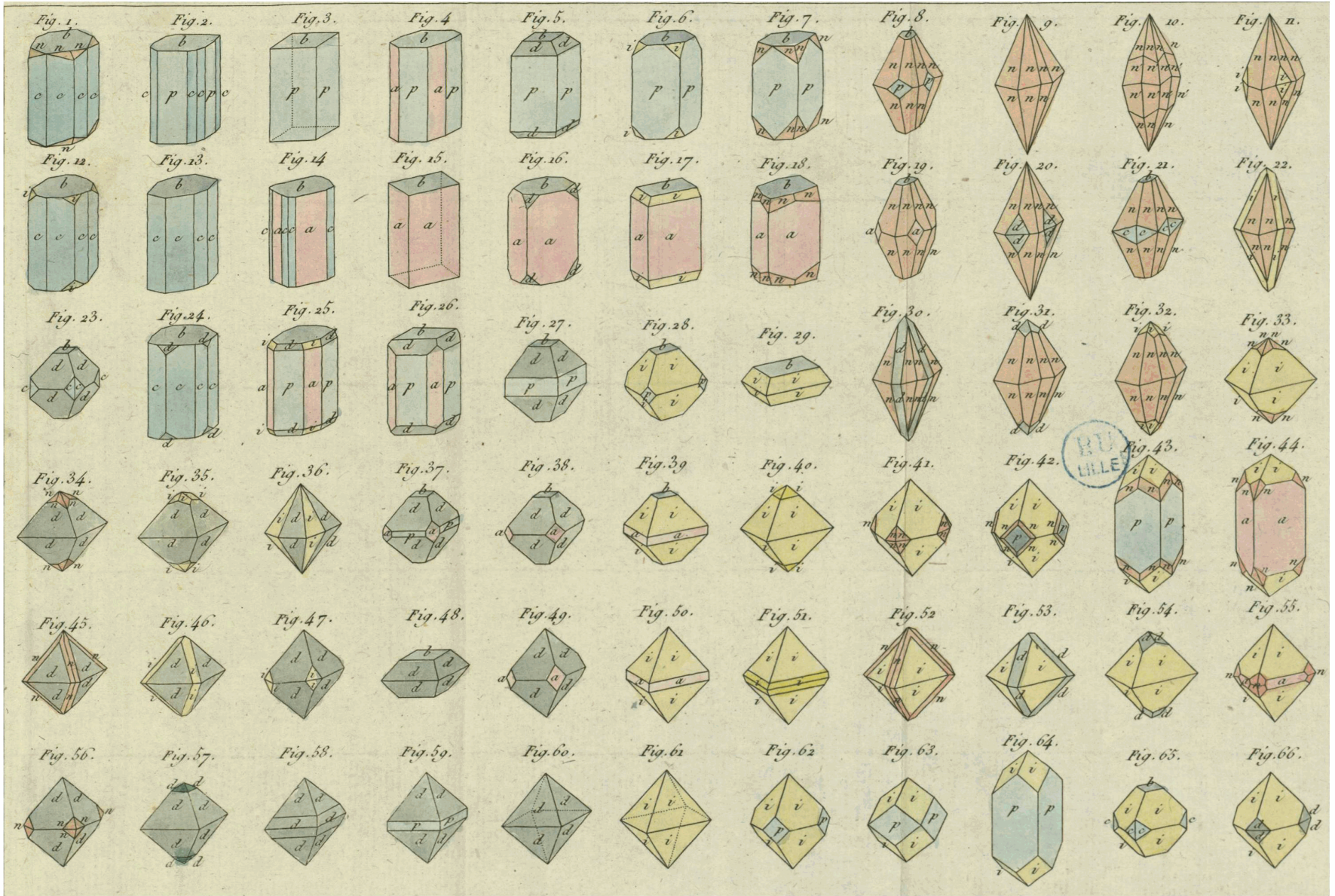


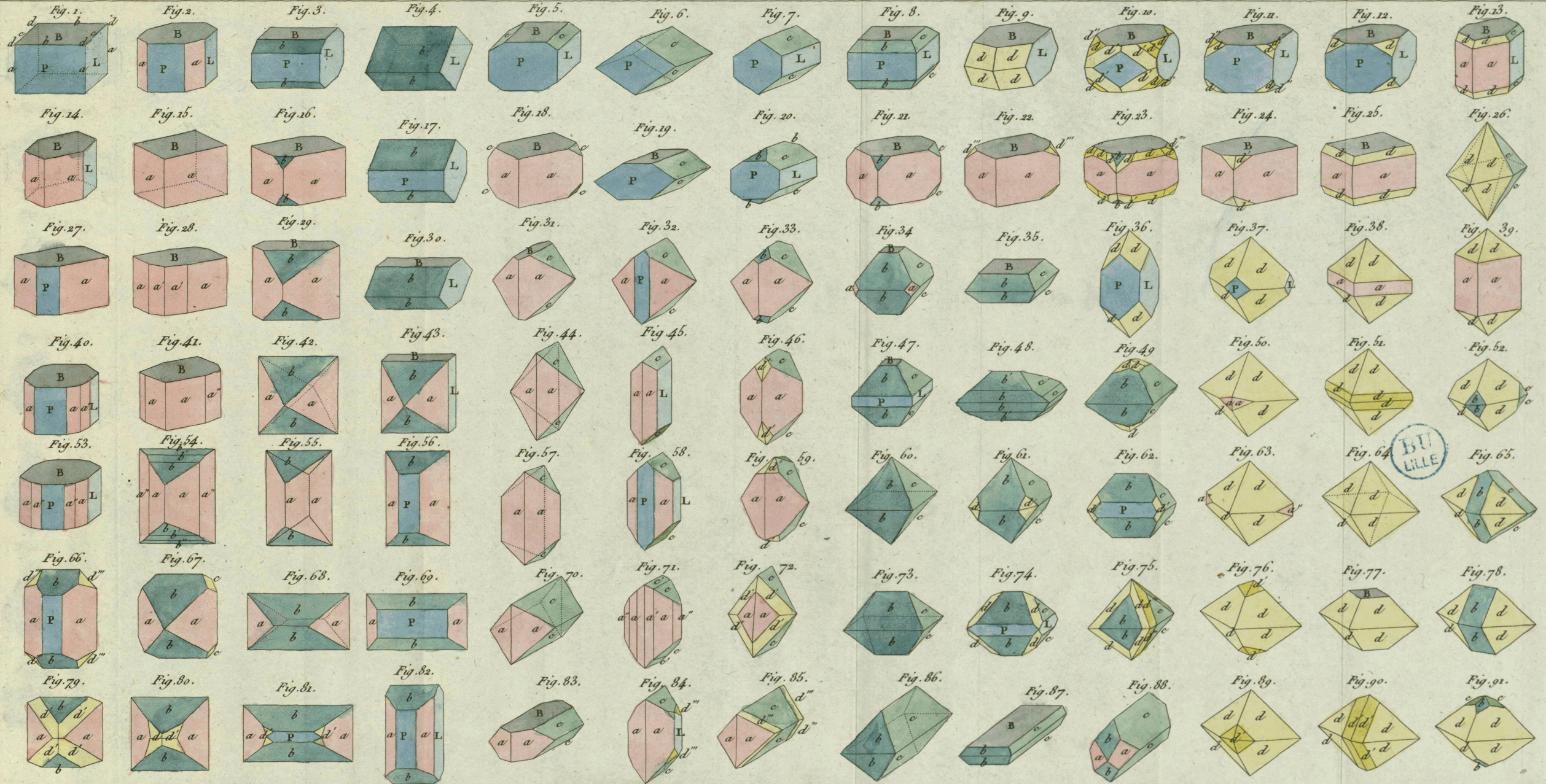
Fig. 13.

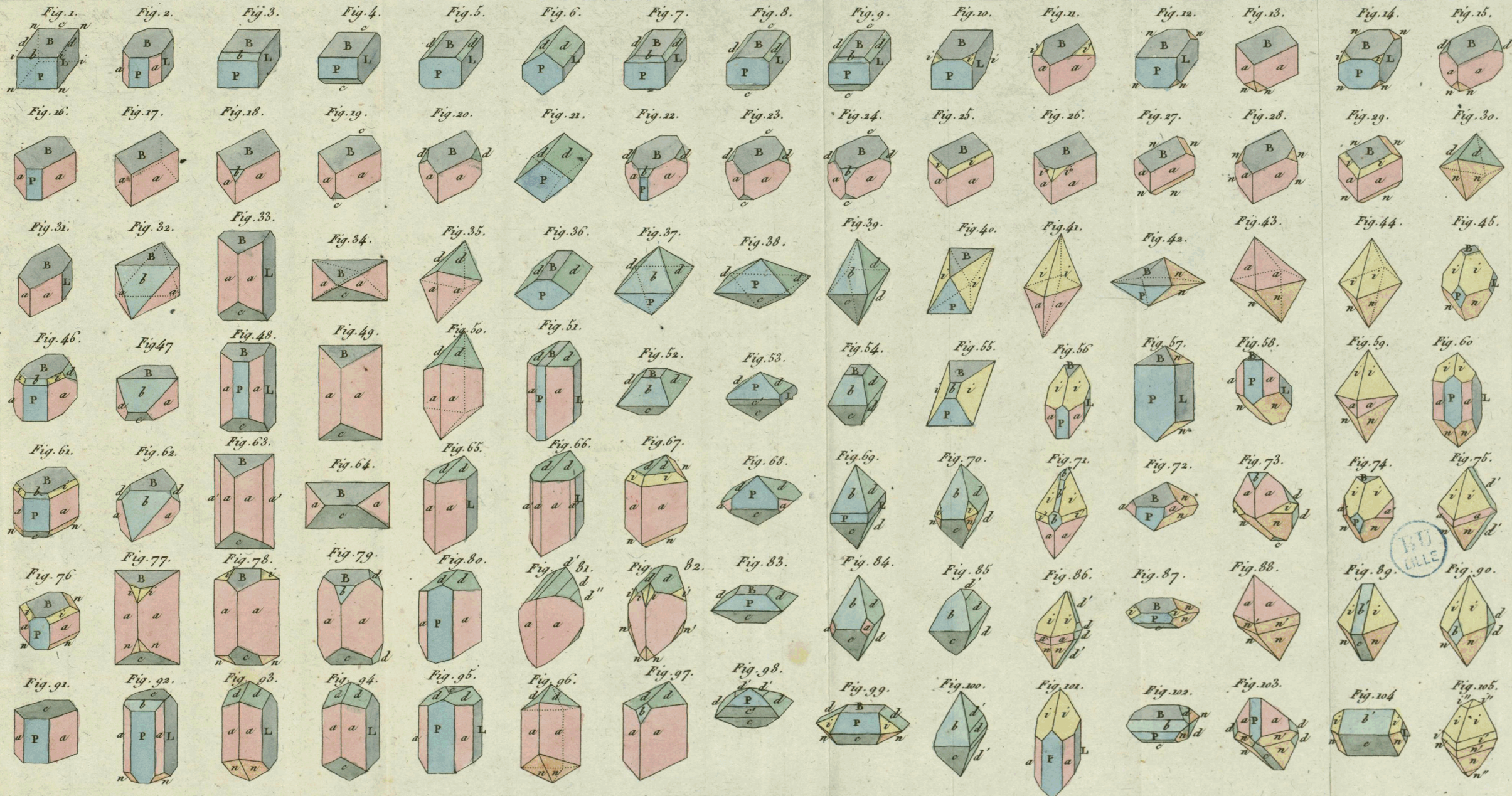




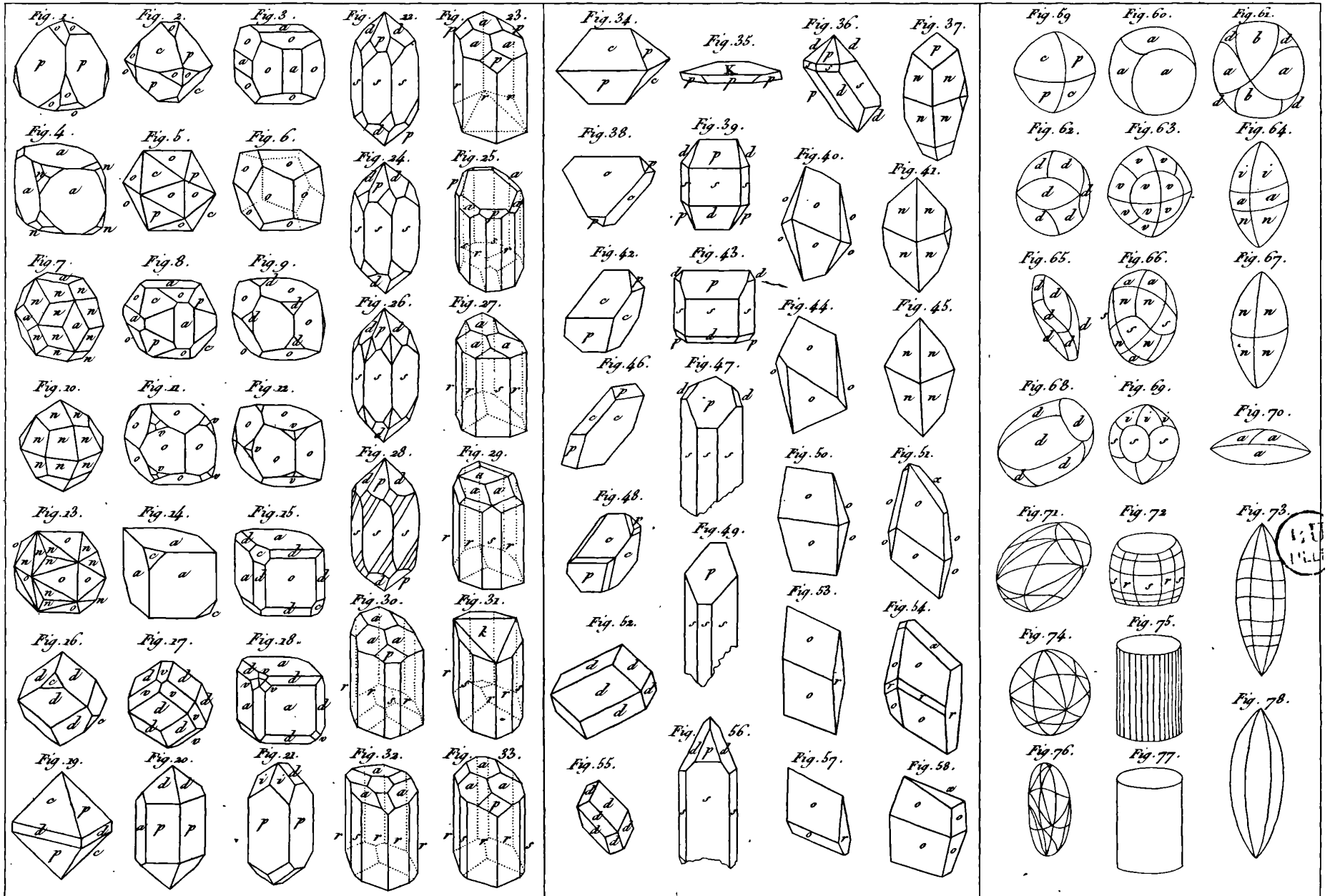


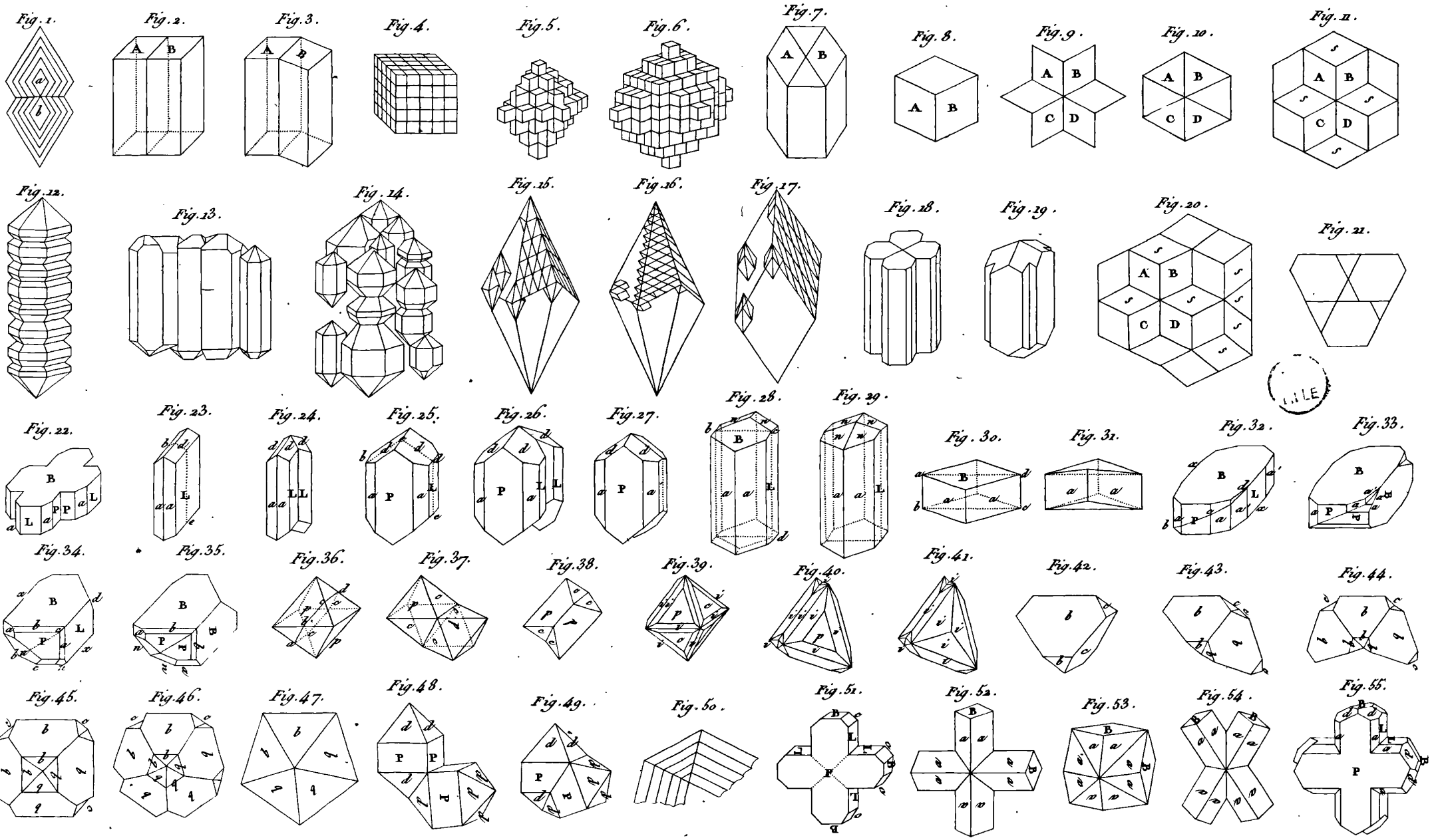












LILLE

