

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

A L'ART DE L'INGÉNIEUR

ENCYCLOPÉDIE

DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par M.-C. LECHALAS, Insp^r gén^l des Ponts et Chaussées

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

A L'ART DE L'INGÉNIEUR

PAR

E. NIVOIT

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES

PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

TOME PREMIER

*PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES
MINÉRAUX
ROCHES — FOSSILES*

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
BAUDRY ET C^{ie}, LIBRAIRES-ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES

MÊME MAISON A LIÈGE

1887

TOUS DROITS RÉSERVÉS

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage, qui est la reproduction, un peu étendue, des leçons que nous professons depuis quelques années à l'École nationale des Ponts et chaussées, n'a pas la prétention d'être un cours complet de géologie.

Nous avons cherché à y condenser, sans nous flatter toutefois d'avoir réussi, les notions qu'il est utile à un ingénieur des ponts et chaussées de posséder pour l'exercice de son art. Aussi on ne s'étonnera pas s'il manque parfois de proportion et d'homogénéité, si certaines parties y sont relativement développées tandis que d'autres ne sont qu'effleurées, s'il contient même des renseignements qui ne se rattachent pas directement à la géologie pure. Notre excuse est dans les exigences de notre enseignement.

Comme nous n'avons pas entendu faire une œuvre d'érudition, nous n'avons guère cité les noms des auteurs dont nous avons mis les travaux à contribution que pour les idées ou les faits nouveaux qui ne font pour ainsi dire pas encore partie du domaine commun. Mais nous prendrons soin de donner, à la fin du second volume, l'indication des sources auxquelles pourront se reporter les personnes désireuses d'acquérir des connaissances plus étendues sur tel ou tel point de la science.

Entre tous les ouvrages que nous avons consultés, nous devons cependant citer dès maintenant l'excellent *Traité de géologie* de notre collègue et ami M. de Lap-parent, le plus complet que nous possédions en France, auquel nous avons fait de larges emprunts, notamment pour les Phénomènes géologiques et la Stratigraphie.

E. N.



TABLE DES MATIÈRES

DU PREMIER VOLUME

INTRODUCTION.....	4
-------------------	---

PREMIÈRE SECTION

Phénomènes actuels.

CHAPITRE I. — Phénomènes d'origine interne.....	11
§ I. Action directe de l'atmosphère.....	12
§ II. Action de l'eau à l'état solide.....	19
§ III. Action des eaux courantes.....	29
§ IV. Action des eaux d'infiltration.....	45
§ V. Action de la mer.....	59
§ VI. Action des organismes animaux.....	70
§ VII. Action des organismes végétaux.....	77
CHAPITRE II. — Phénomènes d'origine interne.....	87
§ I. Chaleur interne.....	87
§ II. Déperdition de la chaleur interne par conductibilité.....	94
§ III. Sources thermales.....	95
§ IV. Volcans.....	101
§ V. Phénomènes geysériens.....	121
§ VI. Tremblements de terre.....	128
§ VII. Mouvements lents du sol.....	145

DEUXIÈME SECTION

Phénomènes anciens.

CHAPITRE III. — Formation de l'écorce du globe.....	151
CHAPITRE IV. — Matériaux de l'écorce terrestre.....	161
§ I. Terrains sédimentaires.....	161

§ II. Terrains ignés.....	173
§ III. Filons.....	177
§ IV. Métamorphisme.....	182
CHAPITRE V. — Mouvements anciens de l'écorce terrestre.....	187
§ I. Mouvements séculaires.....	188
§ II. Formation des montagnes.....	189
§ III. Formation des vallées.....	198
§ IV. Coordination systématique des accidents statigraphiques.....	201

TROISIÈME SECTION

Minéraux.

CHAPITRE VI. — Caractères géométriques des minéraux.....	211
§ I. Disposition réticulaire des milieux cristallisés.....	213
§ II. Symétrie des cristaux.....	220
§ III. Dérivation des cristaux.....	226
§ IV. Groupements des cristaux.....	236
§ V. Dimorphisme.....	239
§ VI. Isomorphisme.....	239
§ VII. Particularités de la structure des cristaux.....	241
CHAPITRE VII. — Caractères physiques et chimiques des minéraux....	245
§ I. Propriétés optiques.....	245
§ II. Propriétés physiques diverses.....	255
§ III. Caractères chimiques... ..	258
CHAPITRE VIII. — Description des principaux minéraux.....	263
Premier groupe. Minéraux pierreux silicatés.....	264
1. Silice.....	264
2. Silicates d'alumine.....	272
3. Feldspaths.....	275
4. Phyllites.....	284
5. Pyroxènes et amphiboles.....	289
6. Gemmes.....	293
7. Zéolithes.....	298
Deuxième groupe. Minéraux pierreux non silicatés.....	300
1. Oxydes.....	300
2. Nitrates.....	304
3. Borates.....	305
4. Carbonates.....	305
5. Sulfates.....	315
6. Phosphates.....	319
7. Chlorures.....	326
8. Fluorures.....	327
Troisième groupe. Minerais métalliques.....	328
1. Minéralisateurs.....	329
2. Minerais de manganèse.....	331
3. Minerais de fer.....	334

4. Minerai de chrome.....	341
5. Minerais de cobalt.....	341
6. Minerais de nickel.....	342
7. Minerais de zinc.....	344
8. Minerai de tungstène.....	345
9. Minerais de molybdène.....	346
10. Minerai d'étain.....	346
11. Minerais d'antimoine.....	347
12. Minerais de cuivre.....	348
13. Minerais de plomb.....	352
14. Minerais de bismuth.....	355
15. Minerais d'urane.....	356
16. Minerais de mercure.....	356
17. Minerais d'argent.....	357
18. Minerais de platine.....	360
19. Minerais d'or.....	361
Quatrième groupe. Combustibles minéraux.....	362
1. Carbone.....	363
2. Charbons minéraux.....	365
3. Bitumes.....	385
4. Résines fossiles.....	390

QUATRIÈME SECTION

Roches.

CHAPITRE IX. — Généralités sur les roches.....	391
§ I. Constitution minéralogique des roches.....	391
§ II. Détermination des éléments des roches.....	394
§ III. Caractères généraux des roches.....	399
CHAPITRE X. — Description des principales roches.....	421
Premier groupe. Roches ignées.....	421
1. Roches granitoïdes.....	427
2. Roches porphyriques.....	451
3. Roches volcaniques.....	464
Deuxième groupe. Roches sédimentaires.....	472
1. Roches siliceuses.....	473
2. Roches argileuses.....	486
3. Roches calcaires.....	497
a) Calcaires ordinaires.....	498
b) Marbres.....	514
c) Chaux sulfatées.....	533
Importance relative des roches, des minéraux et des corps simples dans la nature.....	537

CINQUIÈME SECTION

Fossiles.

CHAPITRE XI. — Notions sommaires sur les fossiles.....	545
§ I. Classification des fossiles.....	545
1. Règne animal.....	557
a) Vertébrés.....	548
b) Articulés.....	551
c) Mollusques.....	553
d) Zoophytes.....	557
2. Règne végétal.....	560
§ II. Etat des fossiles.....	562
§ III. Conséquences des études paléontologiques.....	578
INDEX ALPHABÉTIQUE.....	587

INTRODUCTION

1. — Si l'on s'en tenait au sens strict du mot, la *géologie* serait la science de la terre. Mais il s'en faut que tout ce qui concerne la terre soit du ressort de la géologie ; son domaine est en réalité beaucoup plus restreint et il convient avant tout de le délimiter d'une manière aussi précise que possible.

La géologie recherche quelle est la composition des diverses substances minérales qui constituent l'écorce du globe, comment ces substances sont disposées les unes par rapport aux autres, quelle influence elles exercent sur la configuration de la surface terrestre.

Elle a encore un autre but. Comme le globe a été amené à son état actuel par une série de transformations qui ont laissé leurs empreintes à sa surface ou dans ses profondeurs, le géologue est appelé à remonter dans le passé pour reconstituer toutes ces phases et à expliquer, jusque dans leurs moindres détails, les faits que lui dévoile l'observation.

La géologie peut ainsi être envisagée sous deux aspects, d'où résultent deux parties bien distinctes dans la science : la *géognosie*, ou *géologie descriptive*, qui se contente de décrire l'écorce terrestre, et la *géogénie*, qui n'est autre chose que la théorie de la formation du globe.

La première partie est de beaucoup la plus importante pour nous ; c'est celle qui recevra le plus de développements dans cet ouvrage.

La seconde, qui répond à un besoin de l'esprit humain, ne pourra, malgré son caractère hypothétique, être laissée complè-

tement de côté. Au point de vue pratique même, il n'est d'ailleurs pas sans intérêt de grouper un ensemble de faits autour d'une idée théorique.

Toutefois il ne faut procéder en pareille matière qu'avec une très grande réserve. Il est peu de sciences, en effet, où l'imagination puisse se donner aussi librement carrière que la géologie; il en est peu également où les théories fausses soient plus dangereuses. Ce serait une histoire curieuse et instructive à écrire que celle des tentatives improductives, des dépenses stériles qui ont été faites, par exemple pour la recherche de minerais ou d'autres matières utiles, sur la foi d'hypothèses hasardées.

2. — Au milieu de l'innombrable quantité de documents qu'a amassés la géologie, il nous faudra nécessairement faire un choix.

Les deux sections de la science sur lesquelles nous insistons le plus sont la *lithologie* ou *pétrographie*, qui s'occupe des roches considérées en elles-mêmes, abstraction faite de leur gisement, et la *stratigraphie*, qui étudie le mode d'arrangement de ces roches.

Mais avant d'aborder ces deux sections, il sera indispensable de donner quelques indications générales sur les phénomènes auxquels les roches doivent leur origine. Nous passerons ainsi rapidement en revue les principaux phénomènes géologiques, en commençant par ceux de l'époque actuelle à cause de la lumière qu'ils nous permettront de jeter sur ceux qui se sont produits dans les âges anciens.

D'autre part, les roches étant des agrégations de divers composés à proportions définies ou *minéraux*, il sera logique de faire précéder la lithologie de l'étude des minéraux les plus répandus; c'est l'objet de la *minéralogie*.

Enfin les roches contenant souvent des *fossiles*, restes d'animaux ou de plantes qui servent à fixer leur âge relatif, nous ne pourrions nous dispenser de donner quelques notions sommaires sur ces débris d'un monde disparu.

Cet ouvrage se divisera par conséquent en six sections d'importance bien inégale :

- 1° Phénomènes géologiques actuels ;
- 2° Phénomènes géologiques anciens ;
- 3° Etude des minéraux ;
- 4° Etude des roches ;
- 5° Notions sur les fossiles ;
- 6° Stratigraphie.

Les cinq premières sections peuvent se réunir en une première partie servant pour ainsi dire d'introduction à une seconde partie, la stratigraphie, qui constitue la *géologie proprement dite*.

3. — La géologie a une utilité incontestable, qu'il est presque superflu de faire ressortir.

La terre contient en effet une foule de substances dont l'homme tire parti : matériaux de construction, minerais métalliques, combustibles minéraux, matières employées par l'agriculture, pierres précieuses, etc. C'est la géologie qui donne les lois suivant lesquelles ces substances sont réparties au milieu d'autres inutiles, qui nous enseigne en quels points il faut porter ses travaux pour les atteindre.

Pour ne parler que des matériaux de construction, qui devront surtout nous occuper, les granites, par exemple, ne se trouvent que dans les contrées accidentées. Ce serait perdre son temps que de les rechercher dans les pays de plaine ; là, on a à sa disposition des pierres à bâtir d'une tout autre nature, telles que des calcaires ou des grès.

L'ardoise, dont on se sert pour la couverture des maisons, n'existe pas partout. Elle est cantonnée dans des terrains d'un faciès tout spécial, caractérisés par leur structure schisteuse et par les contournements prononcés qu'ont subis leurs couches.

Les pierres à chaux et à ciment forment des couches dont la géologie nous fournit le signalement. Si, dans une contrée déterminée, il n'y a pas de calcaire donnant l'espèce de chaux dont l'ingénieur a besoin, de la chaux hydraulique par exemple, celui-ci peut encore s'adresser en toute confiance à la science ; elle lui dira à quel niveau géologique se rencontre l'argile, à quel autre le carbonate de chaux, dont le mélange,

dans les proportions fixées par les travaux de Vicat, sera propre à donner de la chaux hydraulique par la calcination.

Pour la recherche des nappes d'eau profondes, pour la découverte des sources et notamment des sources minérales, les indications de la géologie sont indispensables. L'étude même du régime des eaux, si importante pour l'ingénieur des ponts et chaussées, ne peut plus se séparer de l'étude du sous-sol ; dans ses remarquables travaux, Belgrand a montré comment l'état de perméabilité ou d'imperméabilité du terrain influe sur les crues des cours d'eau.

L'exécution des travaux publics a les plus grands secours à attendre de la géologie. S'il connaît bien la composition du sol sur lequel il opère, l'ingénieur ne s'exposera pas à creuser une tranchée dans des argiles ébouleuses ou à entamer à grands frais des roches dures et résistantes, alors qu'à peu de distance se trouve un terrain solide et facile à attaquer. Il n'établira pas un réservoir d'alimentation sur un terrain perméable, qui laissera filtrer la plus grande partie de l'eau à travers ses fissures, s'il sait qu'en le déplaçant légèrement il peut l'asseoir sur un terrain complètement imperméable. Il ne courra pas le risque de faire des fondations dans un terrain sans consistance si ses études géologiques lui ont montré qu'à une faible profondeur il rencontrera une couche compacte.

Par une sorte de réciprocité, les grands travaux publics ont puissamment aidé aux progrès de la science. Les tunnels qui traversent les montagnes, les grandes tranchées creusées dans des pays dont le sol était masqué par la végétation ou des dépôts superficiels, nous ont permis d'augmenter nos connaissances sur la constitution de l'écorce terrestre.

L'agriculture ne peut se dispenser de recourir aux enseignements de la géologie. C'est cette science qui lui indique les gisements des amendements et engrais minéraux dont le cultivateur, plus soucieux qu'autrefois de ses véritables intérêts, fait maintenant un si grand usage, les marnes, les pierres à chaux, les cendres minérales, les phosphates de chaux, etc. C'est elle qui l'éclaire sur le mode de formation de la terre arable et sur les éléments dont elle se compose, sur la constitution du sous-sol, sur l'influence que celui-ci peut exercer sur

la végétation par son état physique, par son degré plus ou moins grand de perméabilité.

4. — Si on laisse ce côté utilitaire de la question pour se placer à un point de vue plus élevé, à un point de vue philosophique pour ainsi dire, on trouve encore que l'étude de la géologie présente un intérêt de premier ordre.

Considérons par exemple les constructions ; il est impossible de ne pas constater qu'elles sont en rapport intime avec le sol sur lequel elles s'élèvent.

Ainsi la Champagne, cette grande plaine aride qui s'étend dans l'est de la France, ne fournit que de la craie, substance poreuse, sans résistance ; aussi les habitations des villages y sont misérables, les monuments anciens y sont rares.

Dans le nord de la France, notamment en Flandre, en Picardie, où le sol est couvert d'un épais manteau de terre argileuse, les maisons sont construites avec des briques qu'on obtient par la cuisson de cette terre. Les habitations y sont déjà plus confortables parce que la brique vaut mieux que la craie ; mais, comme elle ne se prête guère aux effets de l'architecture, les belles constructions y sont encore peu communes.

Par contre, dans les pays où abondent les bons matériaux et surtout les pierres calcaires, les édifices ont un caractère artistique qu'ils n'atteignent pas ailleurs. C'est grâce à cette circonstance que la Touraine s'est couverte de châteaux Renaissance aux sculptures délicates, que les villes normandes nous montrent de si élégantes églises gothiques. C'est également à cette circonstance que les grandes cités de l'antiquité devaient leurs magnifiques monuments, et l'on a pu dire que si elles n'avaient eu à leur disposition d'excellents matériaux les arts de l'architecture et de la sculpture n'eussent pas brillé d'un éclat aussi vif.

En résumé, les centres de population sont pour ainsi dire sortis du sol sur lequel ils reposent ; cela est tellement vrai qu'un géologue expérimenté, qu'on conduirait les yeux fermés dans une localité inconnue, reconnaîtrait, après avoir examiné attentivement les matériaux dont elle est bâtie, la formation sur laquelle elle se trouve.

On pourrait pousser plus loin cette intéressante étude de l'influence du sol local. On montrerait qu'elle rend compte d'une foule de particularités, que la prospérité d'un peuple, ses progrès dans la civilisation, jusqu'aux détails de ses habitudes, sont en relation étroite avec la composition minérale du pays qu'il habite. Ce sont des considérations qu'ont fait ressortir avec éloquence nos grands géologues, Cuvier, Dufrénoy, Elie de Beaumont.

PREMIÈRE PARTIE

PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES

MINÉRAUX, ROCHES, FOSSILES

PREMIERE SECTION : *PHÉNOMÈNES ACTUELS*

DEUXIÈME SECTION : *PHÉNOMÈNES ANCIENS*

TROISIÈME SECTION : *MINÉRAUX*

QUATRIÈME SECTION : *ROCHES*

CINQUIÈME SECTION : *FOSSILES*

PREMIÈRE SECTION

PHÉNOMÈNES ACTUELS

CHAPITRE I. Phénomènes d'origine externe. — CHAPITRE II. Phénomènes d'origine interne.

5. — La partie du globe accessible à nos investigations subit d'incessantes transformations. Sous l'influence d'agents divers, elle se modifie à la fois dans sa forme et dans sa composition. Il en a toujours été ainsi d'ailleurs dans les anciennes périodes géologiques, et à cet égard on peut dire que notre époque ne fait que continuer celles qui l'ont précédée.

Si nous recherchons les sources de ces actions, nous les trouvons à l'extérieur et à l'intérieur de la terre. Il y a ainsi deux grandes classes de phénomènes : 1^o les phénomènes dus à des agents externes qui attaquent l'enveloppe terrestre par sa superficie; 2^o ceux qui sont dus à des causes internes agissant sur cette enveloppe de bas en haut. Nous étudierons d'abord les phénomènes de la première classe.

CHAPITRE PREMIER

PHÉNOMÈNES D'ORIGINE EXTERNE

6. -- L'atmosphère, mélange de gaz qui enveloppe le globe d'une manière continue, agit sur sa surface, soit directement, soit par les réactions qui s'y produisent et qui donnent naissance à ces masses d'eau, de neige, de glace, dont une partie s'insinue dans le sol et dont une autre s'écoule pour constituer d'abord des cours d'eau, puis les océans.

Les actions exercées par chacune de ces masses sont de trois sortes : chimiques, physiques, et mécaniques. Ces trois modes ne sont d'ailleurs presque jamais distincts ; ils se superposent et ils ont pour effet d'altérer la composition du sol en même temps qu'ils en modifient le relief.

Les organismes jouent également un rôle très important. Ils empruntent leur nourriture à la terre et à l'atmosphère, et, après leur mort, ils restituent leurs débris à ces deux milieux, en sorte qu'ils exercent une double action, chimique et mécanique.

Nous pouvons donc classer en six catégories les agents qui produisent les phénomènes d'origine externe :

- 1° Atmosphère (action directe).
- 2° Eau solide.
- 3° Eaux courantes.
- 4° Eaux d'infiltration.
- 5° Mer.
- 6° Organismes.

§ I

ACTION DIRECTE DE L'ATMOSPHERE

7. Action physique de l'atmosphère. — Les variations de la température sont une des premières causes de la désagrégation des roches. Il suffit de parcourir une contrée montagneuse pour constater combien est puissante l'influence des alternatives de chaleur et de froid ; d'énormes blocs, arrachés aux roches les plus dures, forment souvent des amas considérables et peuvent même se réduire à la longue en menus fragments.

Cet effet est considérablement amplifié par l'eau qui vient remplir les fissures et qui, en se congelant, augmente de $\frac{1}{16}$ de son volume et agit à la manière d'un coin. C'est là une des raisons pour lesquelles les monuments, dans les climats rigoureux, se dégradent si rapidement.

Les coups de foudre sont susceptibles d'altérer les roches en les fondant ou en les brisant. Sur les hautes montagnes et dans certains monticules sablonneux du nord de l'Allemagne, on observe des tubes vitreux, flexueux, lisses à l'intérieur, dus à l'action de l'électricité et auxquels on donne le nom de *fulgurites*.

8. Action chimique de l'atmosphère. — On sait que l'atmosphère est un mélange de 79 parties d'oxygène avec 21 parties d'azote en volume, et qu'elle contient en outre 3 à 4 millièmes d'acide carbonique et une quantité variable de vapeur d'eau.

Ces substances fondamentales de l'air sont souvent accompagnées d'un certain nombre de matériaux de nature minérale ou organique. Les eaux de la mer, fouettées par les ouragans, se pulvérisent en globules d'une excessive finesse qui emportent avec eux des sels marins, chlorure de sodium, sulfate de

soude, etc. Les poussières terrestres, soulevées par les vents, laissent en suspension dans l'air qui paraît le plus pur des matières extrêmement ténues qu'on retrouve dans les eaux de pluie. Les astres minuscules qui constituent les météorites apportent à notre atmosphère, en se broyant dans leur course rapide, de petits grains noirs, arrondis, composés principalement de fer. Enfin les poussières aériennes comprennent tout un monde d'êtres microscopiques, morts ou vivants.

Des diverses substances constituantes de l'atmosphère, l'azote est celle qui prend le moins de part aux phénomènes géologiques. On ne connaît guère qu'une combinaison azotée qui se produise sans l'intervention de la vie, sous l'influence de l'étincelle électrique : c'est l'acide azotique qui se retrouve dans l'eau de pluie, en très faible proportion, à l'état libre ou à l'état d'azotate d'ammoniaque. Quelquefois même il peut se former de l'azotite d'ammoniaque.

Il n'en est pas de même des trois autres éléments constituants. Ces éléments sont dans un état de circulation continue et chacun d'eux peut être fixé par les substances minérales pour retourner ensuite dans l'atmosphère après un temps plus ou moins long. Mais, en raison de la grande étendue de l'enveloppe gazeuse de la terre et des mouvements qui tendent à uniformiser sa composition, les variations dans les proportions relatives de ces gaz sont à peine sensibles.

L'oxygène est soutiré à l'atmosphère par la vie animale, par la putréfaction, par l'oxydation des corps minéraux, et il lui est restitué par la respiration des plantes qui suffit à rétablir l'équilibre détruit par les causes précédentes.

L'acide carbonique suit un cycle analogue à celui de l'oxygène dans la vie végétative. Il agit sur la nature minérale en transformant par exemple les silicates alcalins ou alcalino-terreux en carbonates, en se combinant au carbonate de chaux pour former du bicarbonate plus soluble dans l'eau, etc. Mais comme ces effets se confondent avec ceux de l'eau chargée d'oxygène et d'acide carbonique, nous n'insisterons pas davantage ici sur l'action chimique de l'atmosphère.

9. Action mécanique de l'atmosphère. — C'est

surtout par sa masse que l'atmosphère se montre apte à modifier le relief de la surface terrestre.

Les fines particules provenant de la désagrégation des roches ne restent guère en place. Balayées par les vents, elles peuvent être entraînées parfois jusqu'à de grandes distances ; c'est ainsi que l'Italie reçoit des pluies de sables arrachés aux déserts du Sahara. Ces sables, projetés avec force contre les roches, sont susceptibles d'y produire des effets d'érosion remarquables, analogues à ceux du soufflet à sable employé dans l'industrie ; quand ils sont quartzeux, comme en Algérie, ils creusent les calcaires, y déterminent des rainures ou leur donnent le poli du marbre.

10. Influence des vents sur la fertilité du sol.

— L'enlèvement des particules terreuses par les ouragans peut être poussé assez loin pour que des régions fertiles se transforment en déserts. La stérilité du plateau de Karst, entre la Carniole et l'Istrie, a été amenée par des tempêtes qui ont arraché toute la terre végétale du sol, autrefois protégé par des forêts. Le *mistral*, vent violent qui souffle du nord-ouest dans la vallée du Rhône, produit les mêmes effets sur les montagnes de la Provence.

Par contre, les mouvements atmosphériques sont susceptibles d'exercer une action bienfaisante dans certaines régions. D'après M. Alluard, l'air est presque constamment transparent à l'ouest et au sud-ouest du Puy-de-Dôme, tandis qu'il est trouble à l'est et au sud-est. Ce phénomène est dû au transport des cendres ou poussières volcaniques, si abondantes dans les groupes montagneux des Puys, du Mont-Dore et du Cantal ; ces cendres, qui peuvent rester longtemps en suspension dans l'atmosphère à cause de leur légèreté, apportent des éléments fertilisants, notamment de l'acide phosphorique et de la potasse, aux contrées favorisées sur lesquelles elles finissent par s'abattre ; la pluie et surtout la neige en activent la précipitation. Dans la Limagne, le poids des poussières volcaniques déposées sur un hectare de terrain peut être évalué à 4,000 kilogr. par an. C'est ainsi que s'explique l'inépuisable fertilité de ce pays où toutes les cultures réussis-

sent parfaitement, à tel point qu'une terre de la commune de Gerzat, près de Clermont-Ferrand, a produit de très beau chanvre pendant 48 ans de suite sans le secours d'aucun engrais.

11. Dunes. — Les phénomènes atmosphériques que nous avons examinés jusqu'à présent ne produisent en somme que des actions superficielles et n'exercent qu'une faible influence sur le modelé actuel du globe. On peut dire qu'ils se bornent à adoucir les angles, à combler les dépressions et que leur rôle est pour ainsi dire de niveler peu à peu la surface terrestre.

Mais lorsque les particules minérales enlevées par les vents peuvent, grâce à des circonstances spéciales, s'accumuler en certains points, elles donnent des monticules sableux appelés *dunes* qui accentuent notablement le relief du sol.

Les dunes se montrent principalement sur le bord de la mer, car c'est là que se trouvent réunies les conditions les plus favorables à leur formation. Pour qu'elles prennent naissance, il faut que la côte soit basse, que le rivage ait une pente douce et qu'il présente une zone sablonneuse assez étendue pour que le flot ne puisse la recouvrir entièrement, sans quoi le vent ne trouverait rien à enlever.

Dans ces conditions, les grains de sable desséchés par le soleil sont transportés par le vent soufflant de la mer et cheminent à peu près horizontalement jusqu'à ce qu'ils rencontrent un obstacle ; la moindre saillie du sol, un caillou, une touffe d'herbe, suffit à les arrêter et ils commencent à s'entasser en avant de cette saillie en formant un talus qui, dans les Landes, est incliné de 7 à 42° vers la mer et dont la hauteur atteint bientôt celle de cette saillie. Ce moment arrivé, les matériaux que le vent continue à apporter ne s'accumulent plus guère en avant ; ils se déposent en arrière avec une pente égale à celle qui correspond à l'éboulement naturel du sable, en faisant ainsi disparaître l'obstacle sous un petit monticule de forme dissymétrique.

Pendant un certain temps, le vent fait monter le sable sur le plan incliné tourné vers la mer et ce sable retombe par der-

rière ou latéralement. A côté du premier monticule a pu s'en former un autre disposé de la même manière ; mais à mesure qu'ils grandissent tous deux, le sable les gravit moins aisément, il ne tarde pas à atteindre la limite qu'il ne peut franchir et il se porte alors sur le vide resté entre eux, d'autant plus facilement qu'il y a là une sorte de gorge où le vent s'engouffre. Une nouvelle dune s'établit par suite un peu en arrière dans l'intervalle compris entre les deux premières.

Ces dunes une fois formées, le vent ne les laisse pas en repos. En faisant ébouler leur sommet et en élevant le sable sur leur plan incliné, il les chasse sans cesse devant lui, puis il en construit d'autres à la place qu'elles abandonnent.



Fig. 1. Marche des dunes.

La contrée se couvre ainsi d'une série d'ondulations plus ou moins parallèles qui s'avancent sur la terre ferme à peu près comme les vagues de la mer, quoique avec une certaine irrégularité.

12. Dimensions des dunes maritimes. — Les masses de dunes les plus considérables d'Europe sont celles du littoral de la Gascogne, qui s'étendent de l'Adour à l'embouchure de la Gironde sur une longueur de plus de 200 kilomètres, avec une largeur moyenne de 4 à 5 kilomètres. Elles atteignent une hauteur de 75 mètres ; il en est même une dont le sommet est à 89 mètres. On évalue à 20 ou 30 millions de mètres cubes le volume des sables ainsi amoncelés, qui consistent presque entièrement en grains de quartz.

Sur le littoral atlantique du Sahara, les dunes sont encore plus puissantes. Entre le cap Bojador et le cap Vert elles ont de 120 à 180 mètres de hauteur.

Sur les côtes méditerranéennes, de Port-Vendres aux Bouches-du-Rhône, il existe des dunes dont la hauteur ne dépasse pas 7 à 8 mètres, parce que là, comme il n'y a pas de marées

sensibles, les courants atmosphériques trouvent peu de matériaux à leur disposition, et que de plus les vents dominants soufflent vers la mer.

13. Progression des dunes. — La vitesse de cheminement des dunes dépend de la force et de la fréquence du vent dominant et des diverses circonstances locales. En Gascogne, d'après les observations de Brémontier, leur progrès annuel est de 20 à 25 mètres. Par suite de ce mouvement en avant, l'embouchure de l'Adour a été déviée de plusieurs kilomètres, des étangs se sont déplacés en amenant parfois des inondations désastreuses, la voie romaine de Bayonne à Bordeaux a disparu et plusieurs villages, mentionnés dans les chartes du moyen-âge, ont été complètement ensevelis sous les sables. On a calculé que si rien n'entravait la marche des dunes, elles atteindraient Bordeaux avant 2000 ans.

En Bretagne, ce mouvement de progression est encore bien plus rapide. A Saint-Pol de Léon, dans le Finistère, une contrée habitée jusque vers la fin du XVII^e siècle est actuellement recouverte d'une couche de 6 à 7 mètres, et pendant longtemps on a pu voir le sommet des édifices s'élever au-dessus de cette couche; dans cette région, la vitesse de progression est de 537 mètres par an.

14. Fixation des dunes. — Pourvu que la sécheresse du climat ne s'oppose pas au développement de la végétation, il est facile de fixer les dunes en consolidant le sol par des semis. Les plantes qui réussissent le mieux sur les sables quartzeux sont le pin maritime et le pin sylvestre, ainsi que des herbes ou arbustes marins comme l'*Arundo arenaria*, le *Carex arenaria*, le *Salix arenaria*, le *Dianthus gallicus*, qui étendent au loin leurs souches traçantes ou leurs racines touffues. Quand on sème des pins, il est nécessaire de faire au début quelques clayonnages pour les protéger.

Grâce à l'initiative de Brémontier, les dunes de Gascogne sont maintenant couvertes de forêts de pins, dont la valeur est de plus de 25 millions de francs. Des entreprises analogues ont

été tentées avec succès sur les dunes de la Coubre et de Boulogne.

15. Dunes continentales. — Les dunes ne se trouvent pas seulement dans le voisinage de la mer. Elles sont encore susceptibles de se former partout où il y a de grandes masses de sable sur lesquelles les vents peuvent exercer leur action, comme dans le Sahara.

La hauteur habituelle de ces dunes continentales ne dépasse pas une vingtaine de mètres; exceptionnellement quelques pitons de sable atteignent 70 à 80 mètres. Elles sont généralement alignées; ainsi à 20 et 40 kilom. à l'est d'El-Goleah, on observe deux chaînes de dunes de 80 kilom. de longueur sur une largeur moyenne de 4 kilom., qui côtoient le pied occidental de deux séries d'escarpements et de monticules calcaires. Elles sont mobiles comme les dunes maritimes, mais leur cheminement est plus capricieux, parce que le vent n'a pas la même constance que sur le bord de la mer; cependant elles semblent s'acheminer en définitive vers le sud-est, avec une vitesse à peine sensible pendant la durée d'une génération.

Nous signalerons enfin, dans les environs de Paris, un exemple de dunes de dimensions restreintes, mais très bien caractérisées. Ce sont les petits monticules formés sur la surface des plateaux de calcaire de la forêt de Fontainebleau par le sable que le vent emporte.

16. Envahissement des oasis par les sables. — Dans les déserts de l'Afrique, les ensablements qui, sous forme de dunes, se sont amoncelés sur certains points de la lisière des oasis ou même dans leur intérieur, menacent d'un envahissement progressif les sources, les cultures, les habitations elles-mêmes. Le débit des sources, qui sont la raison d'être des oasis, diminue progressivement, par suite de l'ensablement de leurs bassins, et l'étendue des parties cultivées suit forcément la même marche décroissante. Le sol, laissé en friche et dénudé, se désagrège lui-même peu à peu à sa surface et devient ainsi un nouveau foyer d'ensablement.

Pour combattre le mal, il convient d'arrêter le sable des

chotts ou de la mer à l'aide de palissades ou de clayonnages, de façon à créer, à quelques centaines de mètres de l'oasis, une dune bien régulière que l'on gazonne et que l'on fixe dès qu'elle a atteint une hauteur de 7 à 8 mètres. Les plantations de tamarix sont aussi à recommander.

Lorsque, ce qui est le cas le plus fréquent, l'ensablement provient de la simple désagrégation du sol, on se borne à installer autour des parties mobilisées une levée de terre de 1^m 50 à 2 mètres de hauteur, au sommet de laquelle on plante des branches de palmier, de manière à constituer une zone de protection qui ne tarde pas à se couvrir d'une abondante végétation arbustive et herbacée, pourvu que le bétail n'y pénètre pas.

§ II.

ACTION DE L'EAU A L'ÉTAT SOLIDE

17. Neige. — Quand l'eau en vapeur se sépare de l'atmosphère dans des régions où la température est inférieure à 0°, elle se condense en petits cristaux tantôt groupés en étoiles à six branches, tantôt irrégulièrement enchevêtrés en gros flocons. C'est de la *neige*.

L'abondance des neiges dépend donc surtout de la température. Comme celle-ci s'abaisse de plus en plus à mesure qu'on s'élève sur les hautes montagnes ou qu'on se dirige vers les pôles, on ne tarde pas à arriver en un point où, la température étant constamment inférieure à 0°, les neiges sont *persistantes* et ne peuvent entrer en fusion.

Cette limite ne coïncide pas exactement toutefois avec celle de la ligne isotherme de 0°, car elle est modifiée par des circonstances locales telles que l'humidité de l'air, l'exposition, etc. On lui donne souvent le nom de *limite des neiges éternelles* ou *des neiges perpétuelles*, expression impropre, puisque, comme nous le verrons tout à l'heure, la neige subit des modifications et ne reste pas en place.

Sur les montagnes, la limite des neiges persistantes est d'autant plus élevée qu'elles sont plus éloignées des pôles. Dans les Andes de la Bolivie, à la latitude de 16° , elle est de 4.850 mètres sur le flanc oriental et de 5.640 mètres sur le flanc occidental ; sur les Alpes, à la latitude de 45° , elle atteint 2.700 mètres pour le versant nord et 2.800 mètres pour le versant sud ; au Spitzberg, par 79° de latitude, les neiges descendent jusqu'au bord de la mer.

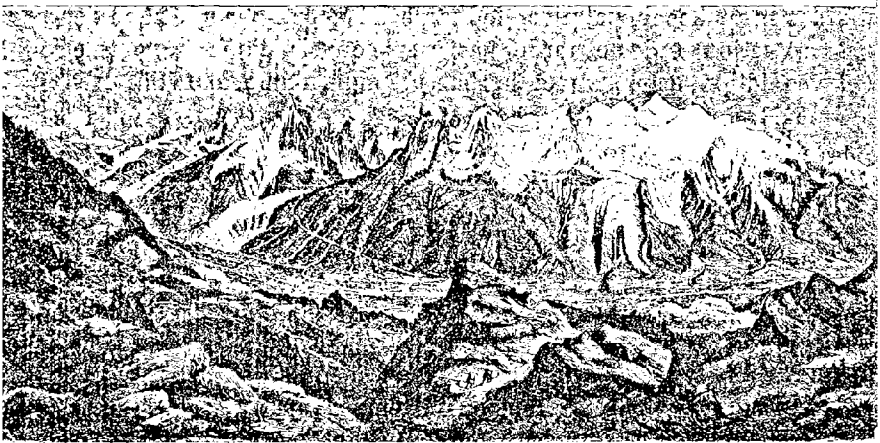


Fig. 2. — Massif du Mont-Blanc.

Tant que la neige couvre le sol, elle le préserve de la gelée et de la désagrégation. C'est ainsi que le sommet du Mont-Blanc, protégé par une calotte neigeuse de 60 mètres environ d'épaisseur, conserve sa forme malgré la rigueur du climat (fig. 2). Mais lorsqu'elle fond, elle active le morcellement des roches, dans les fissures desquelles elle s'infiltré.

Les ouragans amoncellent souvent la neige dans les dépressions ; leur fusion, surtout quand elle est causée par un dégel subit, peut alors amener des débâcles qui bouleversent et ravinent les terres et renversent les habitations.

18. Avalanches. — D'autres fois, les neiges, poussées par les vents, restent appliquées sur des pentes raides le long

desquelles elles sont pour ainsi dire suspendues dans un état d'équilibre instable. Si, par suite d'un changement de température, elles viennent à fondre à la surface, l'eau qui en provient s'infiltré, ruisselle au-dessous, et tout d'un coup d'énormes masses se détachent, coulent sur le sol rendu glissant par l'eau et se précipitent avec une vitesse considérable en ravageant tout sur leur passage.

Les *avalanches*¹, c'est le nom qu'on donne à ces masses de neige en mouvement, concourent ainsi à la dénudation des pentes et au déplacement des blocs de rochers dans les montagnes. C'est au printemps que leur intensité est la plus grande. Elles suivent généralement un chemin déterminé, tracé par un large sillon à parois verticales, en sorte qu'on peut prévoir jusqu'à un certain point le moment et le lieu de l'écoulement.

Il n'en est pas de même pour certaines avalanches qui se produisent en hiver et qui sont composées d'une neige rendue pulvérulente par une assez forte élévation de température ; ce sont les *avalanches poudreuses*. Cette poussière se divise dans l'air ; aussi elle n'agit guère par son propre poids, mais, sous l'influence de vents impétueux, elle forme des tourbillons redoutables qui font périr plus d'hommes que les chutes de grandes masses.

19. Glaciers. — Les neiges qui s'accumulent sur les hautes cimes n'y restent pas en repos. Les légers flocons qui les constituent à l'origine s'agglomèrent, se tassent peu à peu en descendant le long des pentes. Cette masse incohérente, soumise à l'action du soleil dans les beaux jours de l'été, éprouve un commencement de fusion à sa surface ; les gouttelettes d'eau qui en proviennent circulent dans ses vides et arrivent dans les couches inférieures qu'elles cimentent en gelant sous l'influence du refroidissement nocturne.

Le neige se transforme de cette manière en une substance granuleuse, remplie de bulles d'air, à laquelle on donne le nom de *névé*, et qui est d'autant plus grossière qu'on s'éloigne da-

1. Patois de la Suisse romande ; du latin *ad*, vers, et *vallem*, vallée.

vantage des neiges persistantes, par suite de l'augmentation du volume des glaçons qui la constituent. Sa densité est déjà plus considérable que celle de la neige ; tandis que cette dernière, fraîchement tombée, ne pèse que 85 kilogr. le mètre cube, le névé pèse 500 à 600 kilogr. sous le même volume.

A mesure que cette masse granuleuse descend, elle devient de plus en plus consistante et ne tarde pas à donner naissance à une glace encore un peu bulleuse, opaque, laiteuse, qui pèse 900 à 950 kilogr. par mètre cube.

La glace bulleuse continuant à descendre acquiert plus de compacité, grâce à la pression qu'elle supporte et aux alternances de fusion et de congélation qu'elle éprouve, jusqu'à ce qu'elle présente une cassure homogène, une demi-transparence et une belle coloration bleuâtre.

Tel est en quelques mots le mode de formation d'un glacier, succédant à un champ de névé, qui lui-même fait suite aux neiges persistantes.

20. Progression des glaciers. — Les glaciers ne sont pas immobiles ; ils cheminent lentement sur la pente des grands ravins dans lesquels ils sont encaissés.

Le mouvement de translation d'un glacier est loin d'être le même dans toutes ses parties. C'est sur les bords que la vitesse est minima, et sur la ligne médiane, où l'épaisseur et la pente sont les plus fortes, qu'elle atteint son maximum ; elle varie de même dans le sens vertical, et elle est d'autant plus faible que sa profondeur est plus grande.

On admet comme limites extrêmes de l'avancement journalier d'un glacier à sa surface 0^m025 et 4^m25. Les glaciers se comportent ainsi comme les fleuves ; mais ils doivent leur progression à des causes différentes.

Cette progression peut s'expliquer à l'aide de deux propriétés appartenant à la glace, la *plasticité* et le *regel*.

On sait que la glace, soumise à une température légèrement supérieure à 0°, se comporte comme une matière plastique, visqueuse, sans doute par suite de la présence d'une petite quantité d'eau de fusion que le contact de l'atmosphère fait naître dans sa masse. D'autre part, Tyndall a constaté

que des morceaux de glace fondante, comprimés à la presse hydraulique, donnent une masse laiteuse susceptible de recevoir toutes les formes possibles. C'est cette propriété qu'on appelle en physique le *regel* ; il est probable que la pression commence par liquéfier une partie de la glace et que l'eau ainsi produite soude les divers fragments en se regelant.

21. Crevasses. — Malgré sa plasticité, la glace ne peut se prêter à de grands efforts de tension ou de compression sans qu'il en résulte des dislocations dans sa masse. En réalité la glace qui paraît la plus compacte et la plus solide renferme une multitude de petites fentes dans lesquelles peuvent même circuler de très petits insectes, sans compter de grandes fissures qui traversent parfois le glacier sur toute son épaisseur et qu'on appelle des *crevasses* ou *rémayes*.

On en distingue de trois espèces. Il y a d'abord les *crevasses marginales*, qui n'existent que sur les bords et qui résultent évidemment de la différence de vitesse entre la partie centrale et la partie latérale du glacier ; ce sont les plus nombreuses. Il y a ensuite les *crevasses transversales*, qui coupent le glacier dans toute sa largeur et qui sont occasionnées par une saillie du sol sous-jacent relevant la masse de glace et la forçant à se ployer. Enfin il se forme des *crevasses longitudinales* quand le glacier, au passage d'un étranglement, est obligé de subir une sorte de laminage pour franchir l'obstacle.

Les crevasses sont un des traits les plus caractéristiques des glaciers. En hiver, elles se remplissent de neige ; mais souvent la nappe de neige ne descend pas jusqu'au fond de la cavité et le vide est masqué par une couche blanche uniforme qui s'étend sur toute la surface du glacier. C'est là un des dangers les plus redoutés des touristes.

22. Fusion des glaciers. — Les glaciers sont constamment alimentés par le névé. Mais leur masse ne s'accroît pas indéfiniment, car à mesure qu'ils pénètrent dans des régions de moins en moins froides, la glace fond à leur surface et à leur partie inférieure pour s'écouler à l'état d'eau. C'est ce que l'on appelle l'*ablation* du glacier.

On a constaté que dans les Alpes l'ablation superficielle des glaciers est représentée par une couche de trois mètres d'épaisseur moyenne.

Un de ses effets les plus curieux est de mettre à découvert les objets enfouis dans les parties les plus profondes ; les montagnards le qualifient en disant que le glacier rejette ses impuretés. Parfois, d'énormes blocs de roches, préservant de la fusion la glace sur laquelle ils reposent, restent perchés sur des sortes de colonnes et constituent les *tables des glaciers*.

L'ablation n'est jamais rigoureusement égale à l'alimentation. Aussi le volume d'un glacier varie d'une année à l'autre, en même temps que celui-ci avance ou recule suivant que l'été est pluvieux ou chaud. Ces variations ne sont cependant pas très considérables dans l'espace d'une année, en sorte qu'il s'établit une sorte d'équilibre entre l'alimentation et l'ablation.

Les glaciers peuvent s'avancer jusqu'à une très grande distance de leur origine et se maintenir dans des régions tempérées où il semble que la température devrait les faire disparaître. Ainsi, celui du Mont-Blanc descend jusqu'à 1000 mètres d'altitude.

23. Dimensions des glaciers. — Le volume et l'étendue d'un glacier dépendent surtout des circonstances locales, de la dimension du bassin d'alimentation, de l'abondance des neiges, du nombre des affluents, de l'orientation par rapport aux hauts sommets, du profil de la vallée encaissante, etc. Le glacier de l'Aar, dans les Alpes Bernoises, a 8 kilomètres de long sur 1450 mètres de large et 400 mètres d'épaisseur maxima. Le glacier de Baltoro, dans l'Himalaya, s'étend sur une longueur de 58 kilomètres et une largeur de trois à quatre kilomètres.

24. Effets de transport des glaciers. — Par suite de la désagrégation constante des cimes montagneuses, des masses considérables de débris tombent chaque hiver sur la surface de la glace en mouvement et s'accumulent au pied des escarpements. Il se forme de cette manière, sur chaque rive du glacier, deux longues traînées appelées *moraines laté-*

rales. Si la vallée est étroite, ces deux moraines se cofondent.

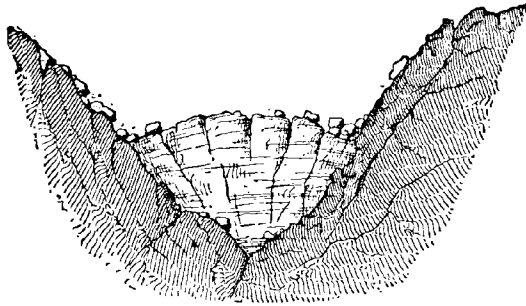


Fig. 3. — Profil en travers d'un glacier, Moraines latérales.

Quand deux glaciers se réunissent à la rencontre de deux vallées, la moraine latérale de droite de l'un se confond avec

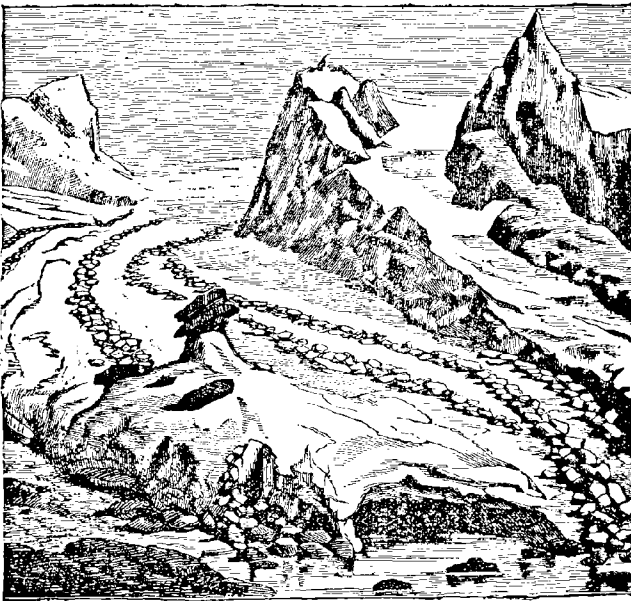


Fig. 4. — Glacier avec ses moraines.

la moraine latérale de gauche de l'autre, ou inversement, et l'on a une *moraine médiane* sur le glacier principal. Il peut ainsi y avoir sur un glacier autant de moraines médianes qu'il a reçu d'affluents (fig. 4) ¹.

En outre de ces moraines superficielles, des *moraines profondes* se constituent avec les blocs qui sont engloutis par la masse dans les régions des neiges et des névés ou qui tombent dans les profondeurs des crevasses.

Tous ces fragments charriés jusqu'à l'extrémité du glacier se précipitent sur le sol et constituent un barrage transversal appelé *moraine frontale*, de forme convexe, qui est plus puissant à ses deux extrémités qu'à son centre où l'apport des matériaux est le moins actif.

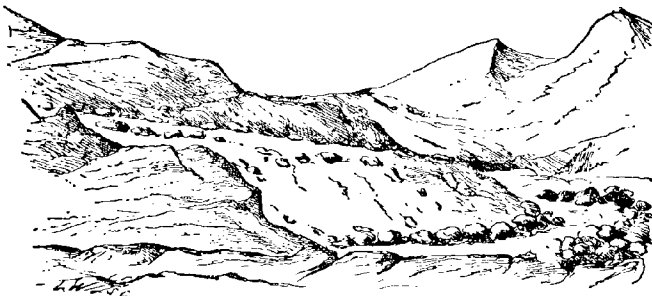


Fig. 5. — Moraine frontale.

25. Actions mécaniques exercées par les glaciers.

— L'énorme pression à laquelle les glaciers sont soumis se transmet aux blocs qu'ils portent dans leur sein. Ceux-ci, enchassés dans la glace comme dans un manche, tracent des stries sur la roche encaissante ou la polissent s'ils sont plus durs qu'elle; si c'est l'inverse, ils sont arrondis et striés par elle.

1. Cette figure et plusieurs autres ont été extraites du *Cours élémentaire de géologie stratigraphique* (Vélain, 3^e édition 1877), du *Traité de géologie* (Lapparent, 2^e éd.) et du *Cours de minéralogie* du même auteur, édités par M. Savy.

C'est sur le fond de la vallée que ces effets de rabotage sont naturellement le plus accentués. Les roches du lit s'arrondissent et se polissent sur les faces des saillies de l'amont, tandis que les faces d'aval gardent la netteté de leurs contours. Elles ressemblent ainsi de loin à un troupeau de moutons endormis, d'où le nom de *roches moutonnées* que leur a donné de Saussure.



Fig. 6. — Roches moutonnées (d'après Falsan et Chantre).

L'usure et la trituration des roches produisent en outre une boue à particules très ténues, d'un bleu gris d'ardoise, qui est entraînée avec des sables, des fragments, des blocs parfois volumineux, par l'eau résultant de l'ablation qui jaillit à la base du glacier sous la forme de torrent. Cette boue se distingue des alluvions des torrents ordinaires par sa coloration et la finesse de son grain.

26. Glaces polaires. — Dans les régions polaires, les glaciers ont une extension énorme. Presque tout le Groënland est recouvert d'une calotte de glace qui, sur un grand nombre de points, s'avance jusqu'à la mer. Des masses considérables s'en détachent pour constituer les *ice-bergs* ou *glaces flottantes*, qui peuvent s'élever au-dessus de l'eau de 70 à 100 mètres.

Les courants polaires charrient les ice-bergs jusqu'à de grandes distances dans l'Océan et on les a rencontrés par 36

à 37° de latitude nord. Ceux qui flottent dans l'Atlantique échouent très souvent contre le banc de Terre-Neuve où ils fondent sous l'action de l'atmosphère chaude et du Gulfstream. Ils sont parfois chargés de débris rocheux qui tombent au fond de la mer lors de leur fusion.

27. Glace des rivières et des lacs. — Dans les hivers rigoureux, la congélation atteint souvent l'eau des lacs et des rivières.

Pour peu que la profondeur soit assez grande, les glaçons se forment d'abord à la surface. Mais quand le niveau de l'eau est bas, la prise en glace peut avoir lieu de la surface jusqu'au fond. Parfois même la congélation commence par le fond ; c'est ce qui arrive par exemple lorsque des cailloux à surface brillante sont recouverts d'une eau claire et limpide et deviennent ainsi le siège d'un rayonnement intense ou bien quand de l'eau, d'une température inférieure à zéro, rencontre des corps durs qui provoquent sa congélation partielle ; c'est à ce dernier phénomène qu'on a donné le nom de *surfusion*. Les glaçons ainsi formés montent à la surface, entraînant des galets, des graviers ou du sable du lit.

28. Embâcles de glaces. — Lorsque l'hiver a une rigueur exceptionnelle, il peut se produire dans certaines circonstances des amoncellements de glace flottante appelés *embâcles de glace* par analogie avec les embâcles de bûches des rivières flottables. Ce sont de véritables barrages qui ferment absolument les rivières et soutiennent les eaux à plusieurs mètres au-dessus de leur niveau naturel.

Tels sont ceux qui se sont formés dans le terrible hiver de 1879-1880 sur la Seine, la Saône, la Loire et nombreux autres cours d'eau. Parmi ces embâcles, celui de la Saône à Lyon a été particulièrement remarquable par son importance : c'étaient d'énormes blocs de 10 à 12 mètres cubes, accumulés dans toutes les positions et soudés entre eux par une glace plus opaque mais aussi dure, dont le volume total atteignait 5 millions de mètres cubes. La masse des eaux arrêtées par ce barrage et suspendues au-dessus de leur niveau naturel repré-

sentait au moins 6 millions de mètres cubes, constituant un danger redoutable pour la traversée de Lyon. M. Pasqueau, Ingénieur en chef des ponts et chaussées, n'a pu rétablir le cours régulier de la rivière qu'au bout de 43 jours de lutte sans relâche, en attaquant les glaces par la dynamite.

Les embâcles résultent presque toujours de la soudure des glaces flottantes qui sont retenues dans une partie trop large et trop profonde de la rivière par le ralentissement du courant dû à cette augmentation de la section. Ces amas s'enracinent au sol par l'effet du regel sur les glaces qui viennent plonger sous la première nappe. Ils s'accroissent rapidement en terrasse vers l'amont par la superposition d'une série de gradins dus à la soudure des glaces qui flottent dans un bief de plus en plus élevé à mesure que l'obstruction de la rivière devient plus complète.

§ III

ACTION DES EAUX COURANTES

29. Partage de la pluie. — La pluie résulte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique qui passe à l'état liquide et se résout en gouttelettes dès que le point de saturation de l'air est atteint. A peine tombée à la surface de la terre, elle se partage en trois parties : l'une s'infiltré lentement dans le sol, la seconde ruisselle, la troisième s'évapore et retourne dans l'atmosphère.

Les rapports entre l'infiltration, le ruissellement et l'évaporation sont très variables suivant les lieux et suivant la nature du sol. Il est évident que sous un climat chaud, l'évaporation est très forte ; que sur un sol argileux et très incliné, il n'y a pas d'infiltration, tandis que sur un terrain fissuré ou sableux la plus grande partie de l'eau pluviale s'insinue dans le sol.

En général, c'est l'évaporation qui a la part la plus considérable. Ainsi, dans le bassin de la Seine, elle enlève les deux

tiers de l'eau tombée, soit environ 35 centimètres sur les 52 centimètres qui représentent la hauteur moyenne annuelle des pluies à Paris.

Nous laisserons de côté l'évaporation, qui ne joue aucun rôle géologique, et nous étudierons d'abord le ruissellement.

Les eaux qui coulent à la surface du sol finissent, après un parcours plus ou moins prolongé, par se réunir dans les vallées pour augmenter le volume des rivières. Elles y arrivent de deux manières : soit directement, soit après s'être concentrées en torrents.

30. Eaux sauvages. — Le premier cas se présente lorsqu'elles ruissellent sur une pente modérée en cheminant dans toutes sortes de directions. Elles dégradent le sol sous-jacent et lui arrachent des matériaux qu'elles abandonnent au pied du talus ou sur ses parties adoucies en constituant des dépôts particuliers appelés *dépôts meubles sur les pentes*, dont le caractère le plus saillant est l'état anguleux des fragments. Il est peu de pentes qui ne présentent d'amas de ce genre, dont la formation est également favorisée par des éboulements ou des glissements et qui masquent ainsi sous un manteau superficiel le sol géologique.

Dans les contrées agricoles, les eaux qui coulent rapidement à la surface du sol, à la suite de violents orages, peuvent exercer des effets désastreux en enlevant la terre végétale pour la transporter plus loin ou l'amener aux rivières. Il n'y a guère d'autres moyens efficaces, pour combattre ces effets, que la régularisation du cours de ces eaux superficielles à l'aide de rigoles convenablement disposées ou la création d'obstacles artificiels qui ralentissent la vitesse.

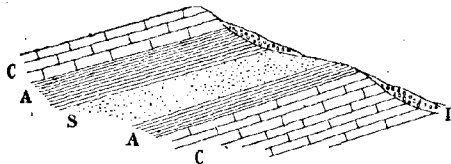


Fig. 7. — A, argile; C, calcaire; S, sable; D, dépôt meuble.

Mais il existe des régions qui, sans le secours des eaux sau-

vages, seraient à peu près dépourvues de terrains cultivables. Supposons un coteau (fig. 7) sur lequel viennent affleurer des couches alternatives de calcaire, d'argile et de sable, chacun peu propre à la culture. Le mélange de ces trois sortes de roches, déterminé surtout par le ruissellement, donnera un dépôt meuble favorable à la végétation.

Les dépôts meubles, si on n'y fait pas attention, peuvent induire le géologue en erreur. Il faut bien se garder de les confondre avec les couches sous-jacentes formées dans les anciennes périodes géologiques, et, dans l'étude du sous-sol d'un pays, on doit faire abstraction de cette mince pellicule qui, au point de vue agronomique, a au contraire une importance capitale.

31. Torrents. — Les *torrents* sont des cours d'eau violents, souvent éphémères, à pentes rapides, dont la longueur ne dépasse jamais une vingtaine de kilomètres et qui sont susceptibles de déborder plus de 200 mètres cubes par seconde, alors qu'un fleuve comme la Seine n'en débite que 130 en temps normal.

Les torrents prennent naissance dans les pays montagneux lorsque, par suite de la disposition du terrain, les eaux peuvent se réunir dans de grands *bassins de réception*, d'où elles s'échappent par de profonds ravins qui servent de *canaux d'écoulement*. Ils sont assez souvent en relation avec les glaciers.

Le bassin de réception ou *entonnoir* est une dépression du

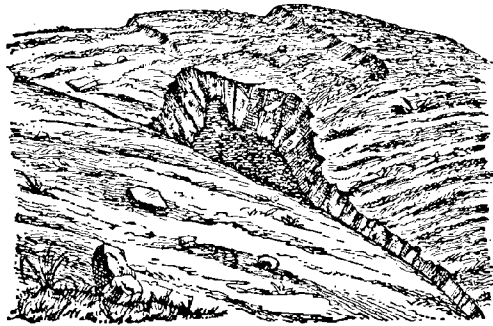


Fig. 8. — Bassin de réception d'un torrent.

sol située généralement dans la partie centrale de la chaîne de montagnes et qui a la forme d'un cirque plus ou moins complet, à pentes abruptes et à fond très inégal. Les eaux des pluies et celles qui proviennent de la fonte des neiges y arrivent par une foule de canaux de très petite section et très ramifiés. Quand la roche dans laquelle est creusé l'entonnoir est d'une assez grande dureté, elle ne se laisse guère entamer; tel est le cas du cirque de Gavarnie, dans les Pyrénées, qui est un des plus beaux exemples que l'on puisse citer. Mais lorsque la roche est meuble ou peu résistante, les parois s'éboulent et l'entonnoir tend sans cesse à s'agrandir.

Le canal d'écoulement ou *couloir* est généralement séparé du bassin de réception par une sorte de goulet très étroit. Ce canal constitue le lit du torrent proprement dit; sa pente, quoique encore forte, n'est déjà plus aussi élevée que dans l'entonnoir; mais ses parois sont toujours abruptes. C'est là que le torrent exerce surtout sa puissance mécanique en ravissant le sol avec violence et enlevant des quartiers de roche qui, lancés contre les parois, heurtés les uns contre les autres, ne tardent pas à se réduire en fragments.

32. Cônes de déjection. — Le torrent vient en général déboucher dans une vallée où sa vitesse s'amortit. Il n'a plus alors la force de repousser devant lui les matériaux qu'il tenait en suspension et ceux-ci s'amoncellent à l'extrémité du canal d'écoulement en formant un atterrissement de forme co-

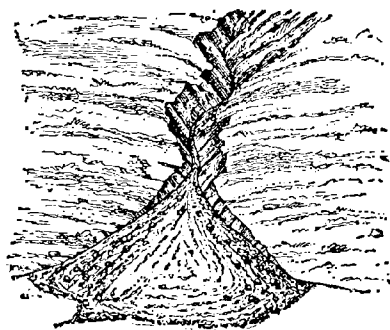


FIG. 9. — Cône de déjection d'un torrent (d'après Viollet-le-Duc).

nique, appelé *cône de déjection*, au sommet duquel il s'écoule pour s'épancher ensuite sur ses pentes par une série de rigoles. La rivière à laquelle le torrent apporte ses eaux se détourne pour éviter cet obstacle ou le balaye dans les grandes crues.

Il y a donc ainsi trois parties dans un torrent : la région d'affouillement, dans l'entonnoir et le couloir ; celle de dépôt, à la sortie de ce couloir, et celle de divagation sur les pentes du cône.

Les cônes de déjection ont parfois une grande régularité, notamment dans la vallée du Rhône. Leur pente, qui diminue du sommet à la base, est comprise entre 2 et 12° ; mais elle atteint très rarement cette dernière limite. Le plus souvent les matériaux y sont disposés en ordre inverse de leur grosseur ; les plus volumineux, qui sont le moins facilement transportables, se trouvent au sommet du cône, tandis que les galets et les graviers sont à la base. Ces matériaux ayant été usés par le frottement dans le canal d'écoulement sont arrondis ; cependant, comme le transport est court, certains blocs conservent leurs arêtes vives.

Les éléments détritiques les plus ténus peuvent souvent donner des terres fertiles. Aussi n'est-il pas rare de voir des villages assis sur les pentes des cônes de déjection.

33. Dégâts causés par les torrents. — Les torrents constituent l'un des plus grands fléaux des pays de montagnes. Les effets que nous avons signalés déjà à propos des eaux sauvages s'exercent là avec une puissance incomparablement plus grande, surtout depuis qu'on a inconsidérément défriché les forêts et détruit les pâturages qui formaient obstacle au mouvement trop rapide des eaux. Aussi nos départements alpins, où l'action torrentielle a une violence spéciale, se dépeuplent-ils avec une effrayante rapidité. Le remède consiste principalement à rétablir ce qu'avait fait la nature, c'est-à-dire à reboiser et à regazonner les montagnes ; ce n'est que de cette manière qu'on peut espérer arriver à éteindre les torrents en régularisant leur régime. Il faut ajouter à cela des moyens artificiels que nous n'avons pas à examiner ici, tels

que l'exécution de barrages, la fixation du sol par des clayonnages, etc.

34. Cours d'eau permanents. — Les cours d'eau permanents reproduisent tous les traits principaux des torrents. Comme eux ils prennent naissance dans des vallées élevées, et produisent des affouillements lorsque leur inclinaison est assez forte ; comme eux ils adoucissent leur pente à mesure qu'ils s'éloignent de leur origine ; comme eux enfin, ils abandonnent les matériaux charriés pour former des alluvions et, quand ils aboutissent à l'Océan, pour constituer des atterrissements dans leur estuaire ou dans la région littorale de leur embouchure.

35. Profil en long. — Le profil en long d'une rivière ou d'un fleuve affecte en grand la forme générale d'une courbe parabolique concave. C'est un fait qui s'explique par la diminution progressive de la pente, conséquence mathématique du mode par érosion suivant lequel se sont établis les cours d'eau. Cependant, si l'on entre dans le détail des cotes de nivellement de ce profil en long, on remarque des variations locales qui font osciller le profil réel des deux côtés de cette courbe. En réalité un cours d'eau présente une succession de parties tranquilles, à pente faible, qui s'étalent dans les plaines, et de rapides, où il est étranglé dans des sortes de gorges. C'est à la nature géologique du sol qu'il faut attribuer cette allure : les cours d'eau ont dû se composer primitivement d'une série de lacs étagés, installés sur les roches tendres, et qui, en se déversant en cascades les uns dans les autres, ont corrodé leurs seuils formés de roches plus résistantes.

Ainsi le Rhin, d'abord encaissé dans les montagnes des Grisons, fournit le lac de Constance à la sortie duquel il est resserré entre des collines très élevées jusqu'au coude de Bâle ; il s'étale ensuite librement dans les alluvions de la plaine d'Alsace et du pays de Bade ; puis, de nouveau étranglé entre les montagnes de Mayence à Dusseldorf, il se divise en plusieurs bras dans les vastes plaines de la Hollande.

Toutefois, sauf en quelques points exceptionnels où il existe des rapides ou des cascades, la pente est assez faible. Une ri-

vière est navigable quand son inclinaison est de 1 millimètre par mètre, ou de 3' 26". Au-dessus de 7 à 8°, soit 2 à 2,5 pour 1.000, la rivière est qualifiée de torrentielle.

La vitesse de l'eau n'est pas seulement en relation avec la pente; elle dépend au moins autant du volume débité par la rivière. En temps ordinaire, la Seine à Paris a une vitesse de 0^m30 par seconde; le Rhin à Strasbourg de 2^m13; cette vitesse peut doubler ou même tripler en temps de crue, la pente restant la même. La rapidité du courant est d'ailleurs plus grande au milieu du lit et à la surface que dans le fond et près des bords.

36. Profil en travers. — Si l'on fait une coupe en travers d'une vallée, on constate que la rivière qui y court présente deux lits, le *lit mineur*, creusé dans les alluvions et qui contient les eaux en temps ordinaire, et le *lit majeur*, sur lequel s'étendent les débordements. Toutefois, dans les gorges étroites, il n'y a qu'un lit, limité de chaque côté par les versants.

La profondeur n'est assujettie à aucune règle fixe. Mais on peut dire d'une manière générale qu'elle est en raison inverse de la largeur et que, à moins que la rivière ne coule sur des roches dures, elle atteint son maximum du côté concave des sinuosités par rapport au cours d'eau.

Ces sinuosités se présentent très fréquemment dans les rivières qui, dans le fait, ne sont qu'exceptionnellement rectilignes. Tous les ingénieurs savent que quand on veut rectifier en ligne droite une partie courbe d'un cours d'eau, ce n'est qu'au prix de travaux coûteux qu'on arrive à combattre sa tendance à reprendre sa forme primitive; il cherche toujours en effet à réaliser sa situation d'équilibre en allongeant son parcours. Il opère en même temps un travail de remaniement de ses alluvions qu'il arrache aux rives concaves pour les reporter sur les rives convexes.

Les méandres des rivières sont particulièrement remarquables dans les plaines peu accidentées; tels sont ceux de la Seine entre Paris et Rouen. Dans les pays montagneux, il existe bien aussi des rivières sinueuses, mais la cause est

autre ; là ce sont des crevasses du sol qui ont déterminé leur cours.

37. Régime. — Le régime des cours d'eau varie avec une foule de circonstances : étendue et constitution géologique du bassin hydrographique, durée et abondance des pluies, fonte des neiges, direction des vents, hauteur des marées, état de la culture et de la végétation forestière. Ce serait sortir de notre cadre que d'examiner en détail l'influence de ces divers éléments ; nous nous contenterons de donner un exemple de l'influence qu'exerce la nature géologique du sol.

Supposons qu'une grande pluie vienne à se produire à la fois sur toute la superficie du bassin de la Marne. Les eaux tombées entre Saint-Dizier et Vitry-le-François sur le terrain crétacé inférieur, qui est imperméable, se précipiteront vers la Marne en ruisseaux torrentiels ; de Vitry à Epernay, sur la craie poreuse de la Champagne, la crue ne fera que s'étaler et s'affaïsser ; le maximum mettrait environ 4 jours pour se transmettre à Chalifert, à 40 kilomètres au delà de Meaux, si les plateaux imperméables de la Brie, composés d'argiles et de meulières, ne versaient souvent de nouveaux torrents sur la rive gauche de la Marne par le Surmelin, le Petit-Morin et le Grand-Morin.

38. Débit. — Pour montrer entre quelles limites peut osciller le débit d'une rivière, c'est-à-dire le volume d'eau qui s'écoule en une seconde, nous citerons quelques chiffres relatifs à la Seine et à la Loire. A Paris, ce premier fleuve a un débit moyen d'étiage de 74 mètres cubes, qui, dans les sécheresses exceptionnelles, s'abaisse jusqu'à 40. Dans les grandes crues, le débit habituel est de 1.384 mètres cubes ; il s'est élevé à 2.400 en 1658.

Pour la Loire, l'écart est beaucoup plus considérable ; à Briare, elle donne en effet seulement 30 mètres cubes à l'étiage et jusqu'à 9.000 mètres cubes dans les crues, c'est-à-dire 300 fois plus. Elle constitue donc un fleuve beaucoup moins tranquille que la Seine, ce qui tient à ce qu'elle reçoit de nombreux torrents descendus du Plateau central et à ce que son

bassin hydrographique est formé, pour près des 3/4 de sa superficie, par des terrains imperméables, tandis que la Seine n'a guère d'autres affluents torrentiels que ceux du Morvan et que les terrains imperméables ne forment que le quart de la superficie de son bassin.

39. Action destructive des cours d'eau. — Examinons maintenant les actions destructives exercées par les cours d'eau. D'abord les rivières torrentielles continuent à creuser leur lit, et cet affouillement est d'autant plus prononcé que le sol sur lequel elles coulent est plus tendre ou plus fissuré. Il est peu d'exemples aussi instructifs sous ce rapport que celui des rivières qui prennent naissance sur le Plateau central, dans le voisinage du Cantal, telles que la Dordogne ou la Corrèze. Elles ont à peine entamé les nappes basaltiques ou les granites sur lesquelles s'étend la première partie de leur cours ; mais parvenues sur les gneiss qui succèdent à ces roches, elles se sont creusé des vallées profondes de quelques centaines de mètres dans les fissures qui les traversent.

L'affouillement des eaux peut aussi se produire sur des couches de faible consistance intercalées au milieu de roches plus dures. C'est ainsi que la colline du Pech-David, près de

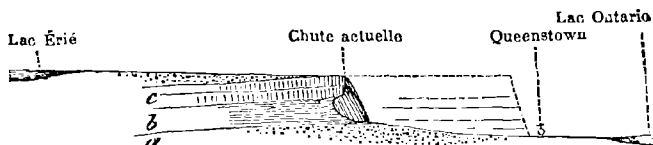


Figure 10. — Coupe de la chute du Niagara : *a*, grès tendre ; *b*, marne ; *c*, calcaire.

Toulouse, est incessamment démolie par la Garonne au-dessous du confluent de l'Ariège. C'est également par un phénomène analogue que la fameuse cataracte du Niagara subit un mouvement de recul si manifeste. Là, le seuil du déversoir est formé par un calcaire dur qui repose sur des marnes au-dessous desquelles se trouvent des grès tendres ; ces marnes et ces grès, soumis au choc de l'eau qui rejaille sur leur surface,

se creusent peu à peu et il arrive un moment où l'encorbellement du déversoir est assez prononcé pour qu'il s'écroule.

L'action érosive des eaux est parfois aidée par le frottement des matériaux durs qu'elles charrient. Les *chaudières* ou cavités arrondies qui se trouvent dans le lit de certains cours d'eau, comme le Tarn, la Vienne, le Doubs, ont été creusées en des points où le tourbillonnement des eaux communique à ces matériaux un mouvement circulaire.

40. Alluvions. — Après avoir détruit, les rivières construisent. Les *alluvions* consistent en accumulations de matériaux qu'elles ont arrachés au sol dans la partie supérieure de leur cours et qu'elles ont abandonnés dans les points où la force du courant est devenue impuissante à les transporter plus loin.

Ces matériaux, triturés par les eaux, s'usent peu à peu en frottant les uns contre les autres, et leurs arêtes s'émousent en même temps que leur volume diminue. Les plus petits donnent des graviers, des sables ou des boues, tandis que les plus gros se transforment en cailloux roulés, qui se distinguent des galets marins en ce qu'ils ont généralement des formes moins arrondies. Les substances dures résistent mieux que les autres à la trituration ; c'est ainsi qu'on explique pourquoi les silex sont toujours relativement plus abondants dans les alluvions que dans les terrains auxquels ils ont été enlevés.

Les cailloux sont abandonnés les premiers par la rivière ; les graviers et les sables ordinaires se déposent dans la partie moyenne ; quant aux sables fins et aux boues, ils peuvent être entraînés jusqu'à l'embouchure. Il s'opère ainsi, sous l'action des eaux courantes, un triage naturel des matériaux charriés.

Mais, ainsi que nous l'avons vu, les rivières torrentielles sont les seules qui produisent des effets d'érosion appréciables sur les roches et qui donnent des apports nouveaux aux alluvions. Pour les autres, qui sont de beaucoup les plus nombreuses, le travail d'alluvionnement se réduit à un remaniement des alluvions anciennes dans lesquelles leur lit est creusé ; elles corrodent leurs rives concaves pour atterrir sur leurs rives convexes. De plus, au moment des crues, comme leur

force de translation est rendue plus grande par l'accroissement de la vitesse, elles charrient violemment des cailloux et des graviers et, se répandant sur le lit majeur, les abandonnent successivement, de telle sorte que les plus gros sont les plus rapprochés des rives et les plus légers les plus éloignés.



Fig. 41. — Profils en travers de vallées à versants perméables (d'après Belgrand).

Il se forme ainsi une sorte de bourrelet de gravier, et il en résulte que le fond de la vallée a une tendance à devenir convexe (fig. 41). Cependant, si la vallée est étroite et que ses



Fig. 42. — Profil en travers d'une vallée à versants imperméables (d'après Belgrand).

pentes soient argileuses, les débris arrachés par le ruissellement le long de ces pentes viennent se mêler aux alluvions et tendent à combattre cet effet ; la vallée a même alors une tendance à prendre une forme concave sur son fond (fig. 42).

41. Importance des alluvions. — Les dépôts alluviers qui se forment de nos jours sont en réalité fort peu de chose. Ainsi, on évalue à 0 m. 426 seulement la quantité dont s'élève en un siècle le sol de la vallée du Nil par le dépôt du limon. L'action des eaux courantes n'a guère plus de puissance sous ce rapport que celle de l'atmosphère ; c'est à peine si elle modifie d'une manière appréciable le modelé de la surface du sol.

Mais il n'en était pas ainsi autrefois, dans les temps reculés où les rivières ont façonné leurs vallées et où le régime hydrographique du globe s'est fixé. Elles ont alors couvert le fond de toutes les vallées d'une couche plus ou moins épaisse d'alluvions dans lesquelles on peut généralement distinguer trois parties. A la base, ce sont d'abord des cailloux constituant une nappe de gros gravier, ou *gravier de fond*, qui correspond à une période de creusement. Au-dessus viennent

des sables entremêlés de cailloux et passant insensiblement à des sables gras ou terreux ; ils ont été déposés quand la pente d'amont étant réduite, la rivière avait déjà perdu beaucoup de sa vitesse. Enfin, la partie supérieure consiste en un limon argilo-sableux, produit du débordement de la rivière, qu'on exploite comme terre à briques et qui est souvent très propre à la culture.

42. Deltas. — Les fleuves aboutissent à la mer par une baie, sorte d'échancrure du rivage. Lorsque cette mer est peu sujette aux marées, les eaux douces, se heurtant contre la masse des eaux tranquilles, abandonnent les matières fines qu'elles tenaient encore en suspension, en formant, au fond de la baie, un véritable cône de déjection. Ce cône s'accroît sans cesse par de nouveaux apports, surtout dans les crues, et prend l'aspect d'un îlot triangulaire ressemblant à un Δ grec (d'où lui est venu son nom), au milieu duquel le fleuve se trace un chemin en se divisant en plusieurs bras et qui est souvent entrecoupé de marais ou d'étangs.

Pour qu'un delta puisse se former, il faut toutefois que la pente ne soit pas trop forte ; autrement les limons seraient transportés jusque dans la pleine mer. Il faut également qu'il n'y ait pas de courant marin longitudinal trop violent qui enlèverait incessamment les dépôts. Quand la région où un fleuve édifie son delta est protégée par un cordon littoral, les dépôts se constituent naturellement avec une plus grande rapidité. L'action de l'homme peut produire le même résultat ; en endiguant les fleuves, on concentre leurs courants, on accroît leur vitesse et par suite on augmente la quantité de matières meubles charriées jusqu'à l'embouchure. Tandis que le delta du Pô s'avance de 70 mètres par an depuis le XVI^e siècle, époque à laquelle le fleuve a été endigué, celui du Nil, dont les eaux sont réparties par des canaux pour les besoins de l'agriculture, progresse à peine de 4 mètres ; il est vrai que pour ce dernier fleuve, les alluvions sont en partie enlevées par un courant parallèle à la côte, qui les transporte plus à l'est.

C'est surtout par la base que les deltas s'accroissent, en empiétant sur la mer par l'entassement des alluvions. Mais par

contre ils perdent du terrain en arrière par l'obstruction de leurs anciennes branches, de sorte que toute la masse chemine lentement vers la mer. Pour le delta du Rhône (fig. 13), ce mouvement se fait avec une vitesse de 50 à 60 mètres par an.

Les deltas offrent dans leur profil transversal une disposition analogue à celle que nous avons signalée pour les larges vallées. Comme c'est près des rives du fleuve que la plus grande partie des débris charriés par les eaux tendent à se déposer lors des débordements, il se produit un plan incliné de chaque côté de son lit, qui coïncide ainsi avec le sommet d'un angle dièdre. La même chose s'observe, quoiqu'à un moindre

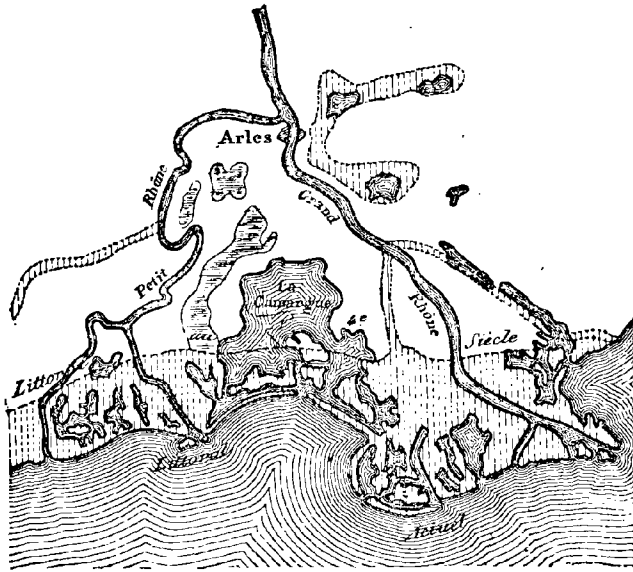


Fig. 13. — Delta du Rhône.

degré, pour tous les bras du fleuve, qui coulent également sur un dos d'âne. Le delta du Mississipi est l'exemple le mieux caractérisé de cette disposition.

Nous avons dit plus haut que les deltas se rencontrent le long des mers où les marées sont très faibles ; les plus remarquables sont ceux du Rhône, du Pô, du Nil, dans la Méditer-

ranée ; du Danube, dans la mer Noire ; du Volga, de l'Oural, dans la mer Caspienne ; du Mississipi, dans le golfe du Mexique. Le delta du Gange, qui est le plus vaste du globe, fait seul exception à la règle ; cela tient à la masse considérable des eaux du fleuve qui lui permet de lutter avec avantage contre le courant de la marée.

43. Estuaires. — Dans les mers où la marée exerce son influence, les échancrures par lesquelles les fleuves débouchent, ou *estuaires*, ne peuvent plus se combler, sauf dans des cas exceptionnels comme pour le Gange. Au moment de la marée montante, les eaux douces sont repoussées en amont et les limons qu'elles tenaient en suspension, auxquels se mêlent du sable et des galets du rivage, forment une sorte de bourrelet qui tend à oblitérer le débouché ; mais quand la mer s'abaisse, le fleuve reprend sa course et repousse ce bourrelet. On a ainsi une sorte de rempart sous-marin, auquel on donne le nom de *barre*, qui se déplace plus ou moins, suivant l'heure et la force de la marée, et constitue souvent une grande gêne pour la navigation.

Comme le volume de la barre ne peut pas s'accroître au-delà d'une certaine limite, tout ce qui reste en excès est entraîné au loin par les courants marins ou donne en arrière des amas de sables et de menus graviers, appelés *dépôts d'estuaires*. Les énormes quantités de matières amenées par le fleuve des Amazones sont emportées au large, puis, saisies par le courant qui vient d'Afrique en traversant l'Océan, elles sont emmenées dans la direction des Antilles où elles tombent peu à peu sur le fond de la mer.

La Gironde en aval de Bordeaux, la Seine au Havre, la Tamise en aval de Londres, nous offrent des types d'estuaires bien caractérisés. Le premier de ces fleuves, large en quelques points de 12 kilomètres, présente le phénomène de la marée sur 143 kilomètres de longueur, du Verdon à Castets.

44. Lacs. — Le cours des fleuves est parfois interrompu par de grands lacs qu'on peut considérer comme des dilatactions extraordinaires du lit. Leur niveau se maintient à peu près constant, parce que les grands débits de leurs affluents s'éta-

lent sur une vaste surface, et ils jouent ainsi le rôle de régulateurs pour les cours d'eau qui les traversent. Tel est le cas pour le Rhône, dont le régime est torrentiel avant son entrée dans le lac de Genève et qui, à sa sortie, n'a que des crues dont le débit ne dépasse pas quatre fois celui de l'étiage. Malheureusement cet effet bienfaisant s'efface peu à peu, à mesure que le fleuve, en poursuivant sa marche, reçoit des affluents à régime irrégulier.

En dehors des lacs de ce genre, dont les eaux se rendent à la mer, il existe des lacs sans écoulement, bien moins nombreux, comme les lacs du Thibet. Ce sont de véritables mers intérieures dont le niveau, plus ou moins stable, résulte de l'équilibre qui s'établit entre l'alimentation par la pluie et les affluents, d'une part, et les pertes par évaporation d'autre part.

Tous ces lacs se comportent à la manière des mers fermées, mais avec des proportions réduites. Ainsi les vagues du Lac Supérieur de l'Amérique du Nord, le plus grand du monde, ne dépassent jamais une hauteur de 1^m30. Nous n'étudierons donc pas ici les effets dynamiques des eaux lacustres ; ce serait faire double emploi avec ce que nous dirons plus tard des actions produites par les eaux marines.

45. Étangs et marécages. — Lorsque les eaux pluviales tombent à la surface de roches complètement imperméables, telles que les argiles, les roches massives quand elle ne sont pas fissurées, comme les granites, les micaschistes, les grès, et que la pente est nulle ou très faible, elles se rassemblent dans les dépressions pour former des étangs ou des marécages. Tel est le cas pour les contrées argileuses de la Bresse, de la Sologne, de la Woëvre (département de la Meuse).

Des étangs peuvent aussi s'établir sur les terrains perméables, quand leur surface, par suite de circonstances particulières, devient impuissante à laisser passer l'eau. La craie, par exemple, se colmate facilement ; ses pores sont bouchés par les petites particules crayeuses tenues en suspension dans l'eau et elle passe ainsi peu à peu à l'état de roche imperméable. C'est grâce à cette circonstance que les villages champenois des plateaux élevés possèdent des mares auxquelles viennent s'a-

breuver les bestiaux. Il est à remarquer que ces mares ou étangs, au contraire de ceux qui reposent sur les formations argileuses, ne sont généralement pas délétères.

46. Action chimique superficielle des eaux pluviales. — L'eau de pluie n'est pas pure ; elle contient en dissolution ou en suspension des gaz, comme l'oxygène et l'acide carbonique, et des substances variées provenant du lavage de l'atmosphère.

Quoique ces matières s'y trouvent en faible proportion, elles sont loin d'être négligeables au point de vue de l'enrichissement de la terre végétale, et il est passé en proverbe chez les cultivateurs que les pluies d'orage, qui sont caractérisées par la présence de composés azotés, engraisent le sol. D'après Isidore Pierre, un hectare de terre reçoit annuellement par les eaux pluviales, dans le voisinage de Caen, 50 kilogrammes de chlorures alcalins et 29 kilogrammes de sulfates divers. Barral a signalé la présence des phosphates dans l'eau de pluie recueillie à Paris.

En ruisselant à la surface du sol, l'eau exerce des effets de dissolution, mais qui n'ont qu'une faible importance, et ce n'est que dans des cas tout à fait exceptionnels que la pluie rencontre des substances solubles en quantités suffisantes pour qu'elle puisse en retenir des traces appréciables. A Cardone, en Catalogne, où la moyenne annuelle des eaux pluviales atteint 0^m80, il existe une véritable colline de sel gemme exposée à toutes les intempéries ; cependant le ruisseau qui en découle après les averses est à peine salé et la montagne perd au plus une couche de 1^m50 dans un siècle.

Le carbonate de chaux se dissout dans l'eau de pluie en plus forte proportion que dans l'eau chimiquement pure, à cause de la présence de l'acide carbonique. Mais c'est une action qui ne parvient encore à désagréger les roches calcaires qu'au bout d'un long espace de temps. Un mètre cube d'eau fluviale ne contient pas en effet plus de 150 grammes de carbonate de chaux en dissolution.

Certains grès deviennent friables à la longue par suite de l'élimination du carbonate de chaux qui sert à cimenter leurs grains.

Les roches cristallines qui renferment des feldspaths ou autres silicates sont attaquées par l'eau chargée d'acide carbonique. Ainsi que l'a montré Ebelmen, les silicates alcalins ou alcalino-terreux sont transformés lentement en carbonates, tandis que les silicates alumineux, quand il y en a, donnent du kaolin, argile pure employée dans la fabrication de la porcelaine. C'est là une des causes de la désagrégation des granites qui se remarque surtout dans les régions septentrionales, où elle est activée par les variations de la température atmosphérique.

§ IV

ACTION DES EAUX D'INFILTRATION.

47. Perméabilité des roches. — C'est grâce à la perméabilité des roches que les eaux pluviales peuvent s'insinuer en plus ou moins grande abondance dans le sol. Cette propriété affecte deux modes bien distincts.

Certaines roches présentent des vides nombreux et de petites dimensions qui permettent à l'eau de circuler comme à travers une éponge, tantôt en vertu de la capillarité, tantôt par suite de son propre poids ou de la pression exercée sur elle. Ce sont des roches *perméables en petit*; les principales sont les sables, les grès poreux, les calcaires à tissu lâche, etc.

D'autres roches, à texture très compacte, ne se laissent qu'à peine imbiber d'humidité; mais elles sont traversées par des fissures ou des cavités dans lesquelles l'eau pénètre et chemine facilement. Elles sont dites *perméables en grand*; tels sont les calcaires et les grès fendillés.

48. Nappes aquifères. — En pénétrant dans le sol, les eaux sont peu à peu soustraites à l'influence de l'évaporation et, à partir d'une certaine profondeur, elles remplissent tous les vides de la roche, qui se trouve alors saturée d'humidité.

dité. Elles donnent ainsi naissance à des nappes souterraines, dont l'allure varie avec les deux catégories de roches que nous avons distinguées ci-dessus.

Dans les roches perméables en petit, la nappe est limitée à sa base par une couche imperméable, argile ou calcaire compact non fissuré par exemple, qui s'oppose à la pénétration plus profonde de l'eau. De plus elle est continue et régulière.

Dans les roches perméables en grand, au contraire, la nappe a pour caractères d'être discontinue et irrégulière, puisque l'eau ne peut s'y concentrer que dans des fissures. Sa surface inférieure, déterminée par la compacité de la roche, est nécessairement ondulée plus ou moins fortement.

Cela posé, deux cas peuvent se présenter, suivant que dans une région déterminée le terrain est complètement perméable au-dessus du niveau des vallées ou qu'une couche imperméable affleure à flanc de coteau.



Fig. 14. — Allure d'une nappe d'infiltration.

Considérons d'abord le premier cas, réalisé par exemple en Champagne, dont le sol est constitué par la craie blanche, roche très poreuse qui absorbe l'eau avec la plus grande facilité. La surface supérieure de la nappe aquifère passera par les points à partir desquels l'eau d'infiltration ne peut plus s'évaporer; elle aura par conséquent une forme ondulée qui rappellera celle de la superficie (fig. 14). Les vallées profondes constitueront comme des espèces de collecteurs qui exerceront sur l'eau une action de drainage et la partie supérieure de la nappe aquifère s'abaissera jusqu'à leur fond pour se relever sous les monts. Les vallons élevés au contraire seront complètement secs.

Cette allure est mise en évidence par la profondeur des puits dont l'altitude au fond va en augmentant à mesure que celle

de l'orifice est plus élevée. On a constaté en outre que la nappe est d'autant plus rapprochée de la surface du sol que l'année a été plus humide; aussi, dans les années sèches, ce sont les puits élevés qui tarissent les premiers.

Quand, par suite de la présence d'une couche imperméable ACDE au-dessous de terrains perméables (fig. 15), l'eau ne peut pas s'enfoncer jusqu'au niveau des vallées, on a une nappe de forme surbaissée ABC se terminant en biseau à ses deux extrémités A et C.

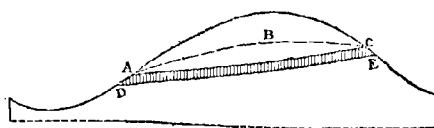


Fig. 15. — Nappe superficielle.

49. Sources. — L'eau emmagasinée ainsi dans l'intérieur de la terre tend à s'écouler au dehors. Mais, sauf dans les sables où elle suinte à peu près tout le long de la ligne d'affleurement de la nappe aquifère, elle ne sourd qu'en certains points privilégiés où elle se concentre pour former des *sources*.

Cet écoulement des eaux au dehors est surtout favorisé par des thalwegs, des dépressions entamant la nappe aquifère, des fentes, des ondulations de la couche imperméable qui est rarement un plan régulier. On peut dire que les masses perméables sont sillonnées çà et là par des cours d'eau souterrains, circulant dans des fissures peu à peu élargies qui fonctionnent comme des drains naturels, en sorte qu'une source ne serait autre chose que l'affleurement d'un de ces drains.

Dans les terrains très perméables, comme la craie de Champagne, les sources ne se trouvent que dans le fond des vallées. Toute la masse qui s'étend au-dessus est privée d'eaux naturelles, et les habitants des villages situés sur les plateaux ne peuvent s'alimenter qu'à l'aide de puits dont la profondeur peut être très grande.

Lorsque le niveau d'eau est supérieur au fond de la vallée, comme dans le cas de la figure 15, il peut se former des sources en différents points de la ligne d'affleurement, du côté où se

trouve la partie la plus basse de la couche imperméable. Sur l'autre versant on ne pourra se procurer d'eau qu'à l'aide d'une galerie inclinée traversant la couche imperméable et recueillant les eaux qui circulent sur la partie d'amont.

Il est à remarquer toutefois que ces sources sourdent souvent à un niveau inférieur au plan de séparation AB des terrains perméable et imperméable (fig. 16). C'est ce qui arrive quand la pente du coteau est recouverte d'éboulis au-dessous desquels s'insinuent les eaux et les choses se passent comme si le niveau descendait de AB en CD.

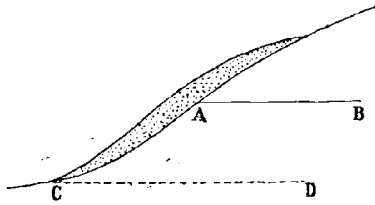


Fig. 16.

La vitesse avec laquelle l'eau chemine dans les interstices des roches est très lente, en raison des résistances que le frottement oppose à son mouvement ; elle n'est guère sensible que dans les fissures suffisamment larges ou dans les bancs un peu poreux. Aussi l'eau qui s'écoule à un moment donné d'une source est-elle tombée depuis des mois et même des années.

50. Débit des sources. — Les sources à flanc de coteau sont en général moins régulières dans leur débit que celles qui prennent naissance dans le fond des vallées, parce que la moins grande profondeur de la nappe qui les alimente les met moins bien à l'abri des variations atmosphériques. Dans les années sèches il n'est pas rare qu'elles tarissent complètement.

C'est dans les vallons creusés à travers les grandes formations perméables qu'on a les sources les plus volumineuses, soit que la couche imperméable constitue le fond même du vallon, comme pour les sources de la Dhuis qui donnent

18.000 mètres cubes par 24 heures, soit qu'elle se trouve plus bas, comme il arrive pour les sources de la Vanne dont le débit est de 60.000 mètres cubes et qui servent avec les précédentes à l'alimentation de la ville de Paris. C'est là également qu'on a les sources les plus régulières; la masse perméable n'agit pas seulement en effet comme un filtre, mais surtout comme un vaste réservoir régulateur de l'écoulement.

La célèbre source de Vaucluse est un des exemples les plus remarquables que l'on puisse citer de la concentration des eaux en un point déterminé. Cette source, qui jaillit au-dessus d'une couche imperméable, n'est pas un don gratuit de la nature, car elle recueille les eaux qui ont filtré sur une étendue de 96.500 hectares de calcaires très fissurés et tellement perméables que tout ce vaste plateau constitue une sorte de désert dans lequel il n'y a ni puits ni le moindre suintement. La hauteur annuelle de la pluie dans cette région étant de 0^m85, le bassin d'alimentation de la source reçoit 820.250.000 mètres cubes par an, soit 26 mètres cubes en moyenne par seconde. Or le volume de cette source à l'étiage est de 10 à 12 mètres cubes; on peut admettre que la différence représente l'eau enlevée par évaporation et par ruissellement.

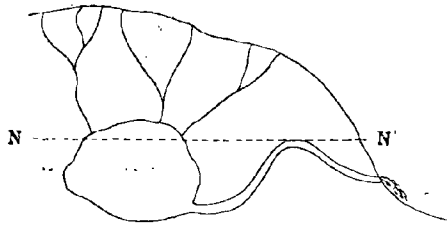


Fig. 17.

51. Sources intermittentes. — Les sources intermittentes sont des sources qui ne laissent échapper leurs eaux qu'à des intervalles plus ou moins réguliers. Les plus connues en France sont celles de Colmars (Hautes-Alpes), de Froid-Puits près de Vesoul (Haute-Saône), la Fontaine-Ronde près de Pontarlier (Doubs).

Voici comment on explique leur fonctionnement. Imaginons qu'une cavité intérieure, dans laquelle se réunissent les eaux par un réseau de fissures (fig. 47), communique avec le sol par un canal replié en siphon. Quand l'eau souterraine dans ce bassin atteint le niveau NN' du coude du siphon, celui-ci se trouve amorcé naturellement et la source coule jusqu'à ce que le réservoir s'épuise. Le tarissement dure tout le temps nécessaire au remplissage de la cavité.

52. Température des sources. — La température des sources est généralement constante et s'écarte peu de la moyenne annuelle propre au lieu où elles sourdent. Cependant quand les nappes aquifères sont à une faible profondeur au-dessous du sol, à moins d'une dizaine de mètres dans nos climats, elles ne sont pas entièrement soustraites aux variations des saisons et l'on remarque que les eaux qui s'en écoulent sont un peu plus chaudes en été qu'en hiver.

53. Influence de la végétation. — Si la nature du sol exerce une influence prépondérante sur la manière dont s'y fait la pénétration de l'eau, d'autres éléments, au nombre desquels nous mettrons en première ligne la végétation, peuvent jouer un rôle qui est loin d'être négligeable.

Les arbres des forêts, les herbes des prairies, attirent et condensent la vapeur de l'atmosphère ; ils apportent des obstacles au ruissellement trop rapide des eaux ainsi qu'à l'évaporation ; ils favorisent par conséquent la formation des sources. Aussi on a constaté que, dans les contrées déboisées, le débit des sources a diminué d'importance et est devenu moins régulier.

M. Boussingault cite un exemple remarquable de l'influence des bois sur le régime des eaux. La ville de Nueva-Valencia, bâtie en 1765 à 2 kilomètres du lac de Tacarigua dans le Venezuela, s'en trouvait à plus de 5 kilomètres en 1800 à la suite des défrichements ; mais les guerres civiles ayant désolé ce pays pendant une longue suite d'années, les eaux du lac s'étaient peu à peu rapprochées de la ville, à mesure que la végétation forestière avait remplacé les cultures abandonnées.

51. Matières en dissolution dans les sources. — Pendant le trajet qu'elles suivent à travers les interstices ou les fissures des roches, les eaux dissolvent des matières diverses. La chaux et la magnésie, combinées à l'acide carbonique ou à l'acide sulfurique, sont les éléments minéraux qui s'y trouvent en plus grande poportion. D'autres substances, telles que le fer, l'alumine, les alcalis, l'ammoniaque, les acides nitrique, silicique ou phosphorique, le chlore, l'iode, le brôme, ne sont généralement qu'à l'état de traces ; ils n'existent en quantités un peu notables que dans les sources dites *minérales*.

Presque constamment, les eaux souterraines renferment des proportions plus ou moins considérables de matières organiques, de composition et de propriétés très variables, mais dont l'influence sur leur qualité est toujours fâcheuse. Enfin elles contiennent des gaz, acide carbonique, oxygène et azote.

La proportion et la nature des substances minérales dissoutes dans une source sont en rapport avec la constitution minérale du terrain d'où elle sort. Voici, d'après Belgrand, les degrés hydrotimétriques¹ de quelques sources du bassin de Paris :

Sources des granites du Morvan,	2 à 41°
— des sables verts,	7 à 42°
— des sables de Fontainebleau,	6 à 22°
— de la craie blanche,	12 à 47°
— de la craie marneuse,	14 1/2 à 22°
— des marnes vertes,	20 à 30°
— de l'argile plastique,	20 à 35°
— des marnes du gypse,	23 à 455°

Les sources des granites et des sables sont les moins chargées de principes minéraux. Les moins pures sous ce rapport sont celles qui sortent des marnes du gypse, à cause de la grande

¹ Le degré hydrotimétrique se mesure à l'aide d'une dissolution alcoolique titrée de savon, que l'on verse dans l'eau à essayer jusqu'à ce qu'il se forme par l'agitation une mousse légère et abondante. Un degré hydrotimétrique correspond à peu près à un centigramme de sels terreux par litre.

quantité de sulfate de chaux qu'elles peuvent dissoudre ; on les dit alors *séléniteuses* et elles sont impropres à la plupart des usages domestiques.

Dans le voisinage des mers, les sources des plages basses et horizontales deviennent quelquefois saumâtres en se chargeant de sel marin. Tel est le cas pour les Landes, la Courlande, le Nord de la Prusse.

55. Puits artésiens. — Quand une couche perméable plonge à partir de son affleurement sous une couche imperméable, la nappe d'eau contenue dans la première ne peut s'écouler au dehors et constitue un réservoir souterrain situé à une grande profondeur.

Si, en un point du sol plus bas que l'affleurement, on vient à percer un sondage qui traverse la couche imperméable, l'eau, trouvant une issue, jaillira à la surface en vertu du principe des vases communicants. Un sondage de ce genre s'appelle un *puits artésien*, parce que c'est dans l'Artois que les premiers ont été forés en France, sinon en Europe.

Les conditions favorables à l'établissement des puits artésiens sont parfaitement réalisées sur l'emplacement qu'occupe la capitale. Paris est en effet au centre d'un bassin géologique formé de couches successives, emboîtées les unes dans les autres comme des cuvettes de diamètres décroissants, et dont les affleurements s'élèvent à des altitudes de plus en plus grandes à mesure qu'on s'éloigne vers le sud, l'est et le nord-est. L'une de ces couches est constituée par des sables, carac-

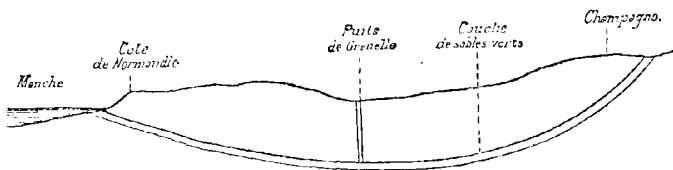


Fig. 18. — Nappe artésienne du bassin de Paris.

térisés par leur coloration verdâtre et auxquels, à cause de

cette circonstance, on donne le nom de *sables verts* ; elle est recouverte par une couche d'argile imperméable appelée *gault* (fig. 48).

Les sables verts, qu'on voit affleurer à la surface du sol, depuis les Ardennes jusqu'à la Loire, sous forme d'une bande courbe et étroite, atteignent une hauteur qui n'est jamais inférieure à 400 mètres. A Paris, ils passent à 550 mètres au-dessous du sol. L'altitude de la Seine étant de 33 mètres, on voit qu'en perçant l'argile du gault, on aurait de l'eau qui jaillirait jusqu'à 67 mètres au-dessus de ce niveau si les résistances qu'éprouve l'eau, dans son long parcours souterrain, n'occasionnaient une notable perte de charge.

Le puits artésien de Grenelle, dont le forage a été terminé en 1842, donne de l'eau que l'on a emprisonnée dans une colonne montante jusqu'à l'altitude 73.

Le débit des puits artésiens est proportionnel à leur section. Il est constant et ne reçoit aucune modification des averses les plus prolongées ou des débordements de rivières. Quand on contient l'eau dans une colonne montante, au lieu de la laisser s'écouler librement, on réduit naturellement ce débit, dans une proportion d'autant plus forte que la colonne est plus haute. Ainsi le puits de Grenelle a un débit de 3.200 mètres cubes par jour au niveau du sol ; on l'a réduit à 4.100 mètres cubes en forçant l'eau à s'élever à l'altitude 73.

Quand on creuse plusieurs puits artésiens à peu de distance l'un de l'autre, ils se nuisent réciproquement en se partageant l'eau de la nappe à laquelle ils s'alimentent. C'est ainsi que le débit du puits de Grenelle a diminué après l'ouverture du puits de Passy, qui n'en est éloigné que de quelques kilomètres.

56. Sources jaillissantes.— Il existe des sources qui jaillissent naturellement, par un phénomène semblable à celui des puits artésiens. Telles sont les sources du Loiret et de la Rouvre, qui sortent en bouillonnant de gouffres profonds que les gens du pays regardent comme des abîmes sans fond et qui fournissent assez d'eau pour porter des bateaux à leur sortie de terre,

Les eaux jaillissantes peuvent se faire jour au-dessus de la surface de la mer. L'un des plus beaux exemples que l'on puisse citer sous ce rapport se remarque dans le golfe de la Spezzia. L'eau s'élançe au-dessus de la mer en formant un mamelon de plus de 20 mètres de diamètre sur 30 à 40 centimètres de hauteur, et on voit à son centre un grand nombre de jets verticaux tellement impétueux qu'un bateau ne s'arrête que difficilement au milieu de cette protubérance liquide, distante de 50 mètres de la terre.

57. Influence des marées sur le régime des eaux souterraines. — Lorsque les nappes souterraines sont en communication avec l'Océan, la pression exercée sur le sol sous-marin par le flux devient plus considérable et elle se propage dans ces nappes. Il y a sur le bord de la mer, en Vendée, des sources qui coulent à marée haute, mais qui tarissent au moment de la basse mer. On voit de même, dans le département de la Somme, le niveau des puits artésiens monter et baisser avec le flux et le reflux.

Cette influence peut se faire sentir jusqu'à d'assez grandes distances des côtes. Ainsi on a reconnu qu'il y avait corrélation entre les marées et les variations constatées soit dans la dépense du puits artésien de l'hôpital militaire de Lille, soit dans la hauteur à laquelle s'élève l'eau quand on interrompt l'écoulement. En comparant l'heure de la pleine mer entre Dunkerque et Calais et l'heure à laquelle a lieu le maximum de la dépense du puits, on est arrivé à cette conclusion que l'effet produit par la marée met huit heures à se transmettre jusqu'à Lille.

Les marées peuvent encore influencer le régime des eaux souterraines par un autre procédé qui se manifeste avec une grande évidence sur la Tamise, d'après Lyell. Entre Richmond et Londres, ce fleuve coule sur un lit de gravier recouvrant l'argile ; la couche supérieure, qui est poreuse, se trouve alternativement imprégnée d'eau de la Tamise quand la marée s'élève, et mise à sec jusqu'à la distance de quelques centaines de mètres des rives quand la marée s'abaisse, de sorte que les puits qui se trouvent dans cette étendue éprouvent régulièrement le flux et le reflux.

58. Erosions souterraines. — Les eaux souterraines qui circulent dans les crevasses sont susceptibles d'y produire des effets comparables en petit à ceux des cours d'eau de la surface. Elles acquièrent en effet une grande vitesse, pour peu que ces crevasses soient larges et que leur seuil présente des dénivellations, et elles ont ainsi une force suffisante pour démolir les parois, avec une rapidité d'autant plus grande que la roche est plus tendre et plus fendillée. Leur pression est souvent augmentée par le gonflement que peuvent subir ces rivières souterraines en temps de crue. Enfin à cette action vient s'ajouter, mais dans une faible mesure, hâtons-nous de le dire, le pouvoir dissolvant de l'eau chargée d'acide carbonique sur les roches calcaires.

C'est de cette manière que se forment les grottes, si nombreuses dans certaines régions. La plus célèbre est celle du Mammoth, dans le Kentucky, qui a été explorée sur 15 kilomètres de profondeur et qui contient tout un système de lacs et de rivières à divers étages. A Han, en Belgique, il existe plusieurs grottes, sortes de grandes chambres communiquant entre elles et traversées par la Lesse, affluent de la Meuse.

59. Mouvements du sol dus aux eaux souterraines. — **Effondrements.** — A force d'agrandir les vides souterrains qu'elles parcourent, les eaux finissent par amener des effondrements de la surface. Dans les contrées calcaires, comme le Jura, il n'est pas rare de rencontrer des sortes d'entonnoirs ou de gouffres, au fond desquels on entend le murmure de l'eau et qui jalonnent quelquefois le cours des rivières souterraines. Ce sont des *bétoires* ou *embues*; dans la saison des pluies, ils se remplissent d'eau venue d'en bas sous la pression de la nappe qui ne peut s'écouler par des orifices trop étroits.

Les effondrements se produisent surtout au-dessus des gisements de matières très solubles, comme le gypse et le sel gemme, quand l'eau est à même d'exercer sur elles son action dissolvante.

En 1835, on a senti dans la vallée de Visp en Valais des tremblements de terre locaux que l'on a attribués à la soustraction lente par l'eau du gypse contenu dans le sous-sol.

L'exploitation par dissolution du sel gemme en Lorraine détermine la formation de cavités dangereuses pour la sécurité du sol. Aussi elle est interdite jusqu'à une certaine distance des habitations et des voies de communication.

60. Bouversements du terrain. — L'anhydrite, ou sulfate de chaux anhydre, qui se trouve en amas dans certaines formations géologiques, a la propriété de s'hydrater par l'effet de l'humidité pour se transformer en gypse en augmentant de volume dans la proportion de 33 0/0. Que cette substance soit atteinte par les eaux d'infiltration, il en résultera un gonflement qui occasionnera des bouleversements jusqu'à la surface du sol, si elle n'est pas située à une trop grande profondeur.

Le tunnel de Genevreville, près de Lure (Haute-Saône), sur la ligne de Paris à Belfort, a traversé sur 340 mètres de longueur un de ces amas d'anhydrite qui, en s'hydratant au contact de l'eau, se dilate et soulève la voie, tout en exerçant une pression dans le sens latéral. Pour arrêter ces mouvements, très inquiétants pour la circulation des trains, il a fallu exécuter des travaux considérables, radier, galerie d'assainissement en contrebas, galeries transversales d'assèchement, qui n'ont remédié qu'en partie à ces inconvénients. Les piédroits, déjà reconstruits presque totalement en 1858, se sont de nouveau écrasés et il est nécessaire de faire des reprises dans les parties devenues trop mauvaises.

61. Eboulements. — Les eaux d'infiltration peuvent encore amener des mouvements de terrain en délayant peu à peu les parties friables des roches dans lesquelles elles s'insinuent et privent de leur support les roches superposées, qui s'écroulent alors avec fracas ou glissent lentement vers le fond des vallées. Dans les montagnes d'Embrun (Hautes-Alpes), qui sont composées de matériaux durs alternant avec des matériaux plus tendres, les faits de ce genre sont fréquents et on voit des villages descendant par degrés dans la vallée avec les champs et les vergers qui les entourent.

L'une des plus terribles catastrophes dues à cette cause est

celle du Rossberg, près du Righi, survenue en 1806. Cette montagne est formée par un conglomérat que supportent des couches argileuses. A la suite d'une saison très pluvieuse, les eaux, s'engouffrant de tous côtés dans les fissures du conglomérat, avaient délayé l'argile et l'avaient transformée en une masse boueuse. Soudain une partie de la montagne se mit à glisser sur ce support à demi-liquide et vint s'abattre en quelques minutes dans la plaine, engloutissant trois villages et coûtant la vie à 457 personnes. L'éboulement avait 4.500 mètres de long sur 320 mètres de largeur moyenne et 32 mètres d'épaisseur, représentant ainsi une masse de 15 millions de mètres cubes.

L'exécution des travaux publics amène souvent en petit des glissements analogues. Supposons, par exemple, que la pente d'un coteau soit constituée par des bancs de calcaire fissuré au-dessous duquel se trouve de l'argile (fig. 19). L'eau qui s'insinue dans les fentes du calcaire jusqu'à l'argile imperméable formera une nappe aquifère dont l'écoulement se fera au-dessous du fond de la vallée, suivant la pente de la couche, à moins qu'elle ne puisse s'échapper par des fissures au fond de la vallée en donnant des sources. Quoiqu'il en soit, la stabilité sera assurée. Mais si l'on vient à exécuter une tranchée

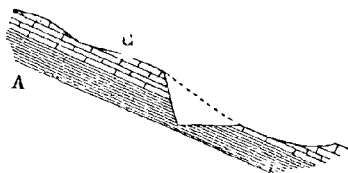


Fig. 19. — Tranchée dans un coteau formé de calcaire C recouvrant de l'argile A.

qui entame le calcaire et l'argile sous-jacente, cette masse calcaire, ainsi coupée à son pied, pourra descendre sur l'argile

devenue glissante par le contact de l'eau et encombrera les travaux.

62. Dépôts formés par les eaux d'infiltration. — L'eau, en sortant du sol, est toujours plus ou moins chargée de matières en dissolution. De toutes ces matières, le carbonate de chaux est celle qui tend à s'en séparer le plus rapidement, par suite du dégagement de l'acide carbonique en excès.

C'est ainsi que se forment, autour de suintements, les *tufs*, dépôts caverneux, de consistance terreuse, que favorise la présence des mousses ou d'autres herbes en forçant l'eau à s'étaler et multipliant par suite les surfaces d'évaporation. Ils constituent souvent une pierre susceptible d'un bon emploi dans les constructions, à cause de leur légèreté unie à une assez grande solidité. On les exploite notamment dans le Jura pour les cheminées et les voûtes.

Dans certaines circonstances, le carbonate de chaux se dépose en couches concentriques autour de grains de sable, agités et ballottés par les jets des sources, et ces grains retombent au fond des bassins, transformés en petites boules de la grosseur du millet à celle d'un pois ou d'une noisette. Telle est l'origine des *dragées de Tivoli*.

Les eaux exceptionnellement riches en carbonate de chaux peuvent même l'abandonner sur les objets qu'on y plonge et les recouvrir d'une couche calcaire en les *incrûstant*. Les sources célèbres de Saint-Allyre et de Saint-Nectaire, en Auvergne, possèdent cette propriété à un haut degré, grâce à leur forte teneur en acide carbonique due à des émanations volcaniques.

Les *stalactites* et les *stalagmites* des grottes se forment de la même manière. Chaque goutte d'eau qui suinte des fissures du toit abandonne une partie de son acide carbonique par évaporation, et laisse du carbonate de chaux qui adhère au toit en une mince pellicule destinée à s'accroître lentement ; puis cette goutte, tombant sur le sol, donne, à l'aide du carbonate de chaux qu'elle contient, une nouvelle concrétion qui s'avance peu à peu vers la première. Toutes deux finissent par se re-

joindre en formant une de ces colonnes qui étincellent à la lumière et qui ont rendu célèbres certaines grottes.

Quand les eaux de source contiennent de l'oxyde de fer, qui s'y trouve dissous à la faveur de l'acide carbonique ou de matières organiques, elles peuvent fournir des concrétions ferrugineuses près des points où elles sourdent. Ce sont surtout ces eaux qui donnent dans les tuyaux de conduite en fonte des tubercules ferrugineux de nature à en diminuer progressivement le débit.

Nous mentionnerons enfin, parmi les produits dus à la même cause, l'*alios*, grès quartzeux brun noirâtre qui se trouve à une faible profondeur dans les sables des Landes. Les matières organiques de la surface sont entraînées dans le sol par les eaux d'infiltration, et quand la nappe souterraine s'abaisse, par suite de l'évaporation à laquelle elle est soumise en été, ces matières se déposent au milieu du sable et en cimentent les grains. Il se mêle fréquemment aux matières organiques de l'oxyde de fer hydraté qui rend le grès plus dur.

§ V

ACTION DE LA MER.

63. Etendue et profondeur des mers. — Les eaux de la mer occupent près des trois quarts de la surface du globe terrestre. Elles sont surtout concentrées dans l'hémisphère austral, qui n'a guère qu'un tiers de sa superficie à l'état de terre ferme. Cette inégalité de distribution s'accroît encore si on prend pour axe un diamètre aboutissant au Pas-de-Calais et qu'on divise le globe en deux hémisphères par un plan perpendiculaire à cet axe ; on a ainsi un hémisphère continental dans lequel la terre est à la mer dans le rapport de 1 à 1,1 et un hémisphère océanique où ce rapport est de 1 à 8, en nombres ronds.

Le fond des mers est au moins aussi accidenté que la surface des continents. La profondeur la plus considérable qu'on ait me-

surée est d'environ 8.500 mètres, chiffre qui ne s'éloigne pas beaucoup de l'altitude des plus hautes cimes de l'Himalaya. La profondeur moyenne paraît être de 4.000 mètres environ, c'est-à-dire plus de sept fois l'altitude moyenne des continents qui est de 550 mètres.

Les plus grandes dépressions sous-marines sont voisines des plus hauts sommets. C'est le long de la Cordillère des Andes, des côtes de la Norvège, etc., que la mer atteint les profondeurs les plus fortes.

64. Action destructive de l'Océan. — Cette énorme masse d'eau marine est sans cesse en mouvement. L'attraction exercée par la lune et le soleil y produit en effet des marées qui abaissent et élèvent périodiquement sa surface ; la chaleur que le soleil déverse sur la terre détermine de grands courants dont le plus important est le *Gulf-stream* ; enfin la force du vent soulève des vagues d'une grande hauteur.

Pour se rendre compte des effets destructeurs que peut exercer l'Océan venant battre ses rivages, il suffit d'observer comment il agit, un jour de tempête, sur une côte escarpée.

Les vagues, poussées à la fois par le vent, la marée et le courant, viennent frapper obliquement la falaise en exerçant sur elle une pression qui est de 3,000 à 3,500 kilogr. par mètre carré en moyenne et qui peut atteindre plus de 30,000 k. Tandis qu'en pleine mer elles n'ont qu'une hauteur moyenne de 5 à 6 mètres, exceptionnellement d'une quinzaine de mètres, elles produisent sur les côtes, où leur force vive est contrariée, des jets d'eau d'une hauteur prodigieuse ; on a vu des lames s'élever à plus de 50 mètres au phare d'Eddystone, l'enveloppant d'une masse de 2,000 à 3,000 mètres cubes d'eau.

Les parties les moins dures s'éboulent ; les roches résistantes les suivent dans leur chute. A la suite de ces choes répétés, une brèche est pratiquée au pied de l'escarpement, si bien que la partie supérieure se trouve en porte-à-faux et cet encorbellement, placé à l'abri de la vague, finit par s'écrouler lui-même sous son propre poids.

Les matériaux provenant de cette démolition sont ballottés par les flots et subissent un triage. Les moins cohérents s'u-

sent promptement et, convertis en sable ou en vase, sont entraînés par les flots; les plus durs, maintenus sur la limite de la plage, sont lancés en avant par la mer dans chacun de ses retours offensifs et, agissant à la façon de projectiles, contribuent pour leur part à la destruction de la côte, tout en se transformant en galets et en graviers.

Certaines îles, placées au voisinage des côtes exposées à de violents coups de mer, subissent des ablations considérables; il en est même qui ont été complètement détruites. L'îlot de Nordstrand, primitivement réuni au Darnemark, en a été séparé en 1240, puis détruit en 1634. L'île d'Heligoland a perdu dans ces cinq derniers siècles plus des trois quarts de sa surface; elle est réduite maintenant à un rocher de 2 kilomètres sur 600 mètres.

Sans doute la mer n'agit pas partout ni toujours avec une telle furie; mais il n'en est pas moins vrai que chaque lame qui vient se briser sur le rivage lui arrache quelque parcelle, si petite qu'elle soit, et le détruit ainsi peu à peu.

65. Influence de la constitution géologique de la côte. — La rapidité avec laquelle s'opère la destruction d'une côte dépend de son profil, de son contour et surtout de la nature de la roche qui la constitue.

Sur les bords de la Manche, en Normandie, les falaises consistent en roches crayeuses, friables, très fissurées; aussi à peine sont-elles rongées par le bas qu'elles s'écroulent et qu'elles présentent de hautes parois verticales, bordées à la base par un entassement de blocs énormes qui forment comme une ligne de défense, une sorte de *falaise basse*. Quand la mer a transformé ces blocs en galets et en sable, elle attaque de nouveau l'escarpement qui ainsi recule à des intervalles plus ou moins éloignés.

Après du Havre des écroulements de ce genre se sont parfois produits, d'un seul coup, sur une longueur de 400 mètres et une épaisseur de 15 mètres.

Il en est de même en Angleterre, sur la côte opposée qui est composée des mêmes roches, et c'est ainsi que la Manche va constamment en s'élargissant.

On a calculé que sur le territoire français la mer a gagné 4.400 mètres depuis le commencement du XIX^e siècle. A deux reprises, il a fallu démolir le phare qui domine le cap de la Hève pour le reconstruire plus en arrière.

Au contraire les côtes formées entièrement de roches très résistantes sont à peine entamées par les vagues. Tel est le cas pour certaines falaises de la Bretagne et du Cotentin, sur lesquelles la mer épuise à peu près en vain toute son énergie. Le raz d'Ouessant et le raz de Sein, taillés en plein granite, constituent dans l'Océan deux pointes avancées dont le profil reste inébranlable, tandis que dans l'intervalle la mer a creusé de profondes découpures au milieu de roches schisteuses plus altérables, la rade de Brest et celle de Douarnenez.

Mais pour que ces roches dures résistent réellement à la mer, il est nécessaire qu'elles soient massives. Pour peu qu'elles soient traversées par des fissures, les vagues s'y insinuent, les découpent et leur arrachent d'énormes blocs, laissant parfois de distance en distance des rochers isolés, des aiguilles, des arcades d'un effet pittoresque, comme dans les Orcades ou l'archipel de Shetland.

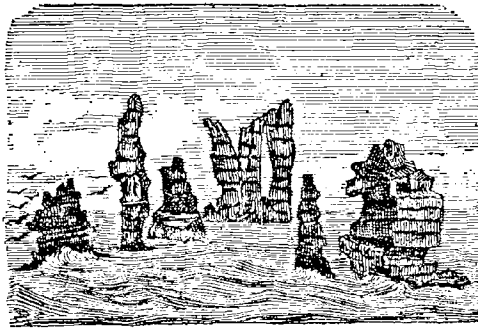


Fig. 20. — Roches dures dans les Orcades.

66. Travail de reconstruction de la mer. — Ce que la mer enlève d'un côté, elle le dépose d'un autre, détruisant ainsi pour construire. Ces dépôts, s'ajoutant à ceux qu'apportent les fleuves, vont s'étaler sur les plages, remplir les baies

ou les estuaires, combler les dépressions et travailler par suite sur certains points à l'accroissement des continents, incessamment rognés sur d'autres.

Il tend donc à se constituer tout un ensemble de dépôts qui rectifient pour ainsi dire le profil sinueux des côtes et limitent le domaine de la mer d'une manière très nette. On donne le nom d'*appareil littoral* à ces formations, qui se divisent en deux grandes catégories, les *cordons littoraux* et les *dépôts de plages*, sans compter les *dépôts d'eau profonde* qui s'étalent sous la mer à une certaine distance du rivage.

67. Cordons littoraux. — Nous avons vu que, sous l'action des vagues, les graviers et les galets sont soumis à des impulsions souvent répétées. En raison de la direction oblique imprimée aux lames par la forme de la côte et le sens de la propagation de la marée, ces matériaux cheminent peu à peu le long de cette côte, et s'éloignent souvent très loin de leur point de départ jusqu'à ce qu'ils arrivent en un point où les conditions du rivage leur permettent de s'arrêter. Il existe en outre, au large de la plupart des rivages, des courants littoraux dont l'action peut s'ajouter à celle des vagues.

Quand ces sortes d'*alluvions voyageuses* atteignent une échancrure, où l'eau est en général peu profonde et par conséquent peu agitée, elles s'arrêtent brusquement, s'enracinent pour ainsi dire au pied des caps qui limitent la découpe et forment deux espèces de digues ou flèches qui finissent par se rejoindre, en ne laissant entre elles qu'un étroit passage pour un cours d'eau, s'il en existe.

Si ces matériaux sont poussés jusqu'à une côte plate où les vagues s'amortissent en frottant sur le fond, le flot de retour est impuissant à ramener à la mer les galets et les graviers ; il ne reprend que les sables et les matières plus fines. Il s'établit alors des *levées de galets* ou *de sables*, qui, à cause de l'allure régulière des lames dirigées suivant les lignes de niveau de la côte, se disposent par traînées rectilignes au-dessus du niveau de la haute mer. Quand la mer est sujette à un jeu de marées assez sensible, on remarque dans le profil de ces levées deux terrasses, dont la plus basse correspond aux

vagues de haute mer ordinaire et l'autre aux vagues de tempête ou de marée d'équinoxe (fig. 21).

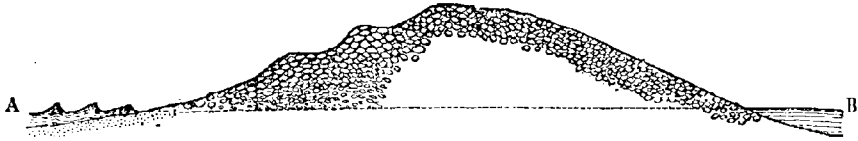


Fig. 21. — Levée de galets de la baie d'Andierne (Elie de Beaumont). — A, niveau moyen de la mer ; B, étang littoral.

Les cordons littoraux, dont la hauteur peut dépasser de 4 à 5 mètres le niveau de la haute mer ordinaire, se répètent parfois avec une régularité extrême par grandes rangées parallèles.

Les dunes, dues à l'action de l'atmosphère, complètent l'appareil littoral.

68. Lagunes. — Derrière le cordon littoral se montrent souvent de petits lacs ou des flaques d'eau qu'on appelle des *lagunes* et qui, dans la plupart des cas, résultent de l'endiguage des anciennes échancrures du rivage. Elle peuvent aussi provenir de l'accumulation des eaux de pluie ou de ruisseaux retenues par le cordon littoral ou la ligne des dunes ; à proprement parler, ce sont plutôt alors des étangs.

Les lagunes ne peuvent guère exister que dans les mers où le jeu des marées est peu considérable, car un cordon de sable de quelques mètres de hauteur ne résisterait pas à de trop grandes variations du niveau des eaux marines ou à de trop fortes tempêtes. Aussi on ne trouve de lagunes que dans la Méditerranée, à Venise et sur les côtes de la Provence, dans la Baltique, dans le golfe du Mexique où le flux et le reflux ont peu d'importance ; sur les côtes de la Hollande où l'amplitude des oscillations de l'Océan n'est que de 2 mètres, tandis qu'elle atteint 7 à 8 mètres dans le Pas-de-Calais.

Les lagunes sont appelées à se combler peu à peu, surtout parce que des cours d'eau viennent généralement y déboucher et que, sous la protection du cordon qui les isole de la haute mer, les alluvions fluviales ont toutes facilités pour s'y déposer tranquillement. C'est de cette manière que s'est peu à peu constituée toute la fertile région méridionale du bas Languedoc

qui, avant l'époque romaine, était encore occupée par les eaux.

Ailleurs ce sont les dunes qui, comme en Courlande, envahissent les lagunes et les font disparaître. Dans les lagunes peu profondes ou plutôt dans les espaces déprimés que la mer abandonne dans l'intervalle de deux fortes marées, ce qui arrive sur les côtes néerlandaises, la végétation spontanée peut contribuer à la conquête du sol et venir en aide à l'homme pour la création des *polders*.

En Hollande on épuise par des moyens mécaniques les eaux de ces lagunes et on obtient des terres cultivables, dont le niveau est quelquefois inférieur de 8 mètres à celui de l'Océan, et qui sont garanties contre son envahissement par les cordons littoraux et souvent par des digues artificielles. Plus d'une fois, à la suite de violents ouragans, la mer a rompu les obstacles qu'elle avait elle-même élevés, forcé les digues et repris les conquêtes qu'on lui avait arrachées. Ce n'est que récemment qu'on a réussi à dessécher la mer de Harlem, qui s'était formée au XVI^e siècle par une irruption des eaux marines.

69. Dépôts de plages. — Les dépôts de plages, ou *dépôts côtiers*, s'établissent au pied même de la côte qui en a fourni les éléments, généralement dans les parties où l'agitation des flots est le plus facilement amortie.

Supposons que la mer agisse sur une plage doucement inclinée où sont étalés les débris arrachés à la côte. Les vagues les entraîneront et, comme elles atteignent leur vitesse maxima au moment où elles se brisent, les matériaux les plus lourds, c'est-à-dire les blocs volumineux et les gros galets, se déposeront les premiers, à la distance la plus éloignée du rivage ; ils s'accumuleront ainsi au niveau de la haute mer et pourront même être poussés plus loin encore si la côte est exposée à de violentes tempêtes. Puis, les vagues se retirant, leur vitesse ira en s'accroissant en sens inverse et elles entraîneront les galets les plus petits et les graviers jusqu'au point où elles reprendront leur marche en avant et où, réduites un instant au repos, elles abandonneront les sables fins.

Il se forme de cette manière une plage de sables fins à faible

penne, qui se relève brusquement en un talus de graviers et de galets, à profil concave vers le ciel, dont l'inclinaison au sommet est de 18 à 30°. Les matériaux des dépôts côtiers sont donc répartis suivant un ordre vertical inverse de celui qui se produirait dans une eau tranquille, les plus gros au sommet, les plus petits à la base, la mer ne conservant plus que les matériaux très fins susceptibles de rester en suspension dans une eau agitée.

Cependant, quand la plage est exposée à de fortes marées, ces dépôts peuvent être fréquemment remaniés et la succession régulière que nous venons de décrire ne se maintient pas alors. Il y a des alternances de sable fin et de graviers et le talus de galets présente généralement deux terrasses comme le cordon littoral d'Audierne (n° 67).

Les dépôts côtiers subissent souvent une véritable préparation mécanique, analogue dans ses effets à celle que l'on réalise dans le triage des minerais métalliques. Delesse, dans sa *Lithologie du fond des mers*, a étudié la composition minéralogique de ces dépôts sur les côtes de France. Ainsi près de Wissant (Pas-de-Calais), on observe des amas de nodules de pyrite de fer, provenant de la destruction par la mer de l'argile dans laquelle ils étaient englobés ; sur les côtes de Normandie, le sable du littoral renferme beaucoup de quartz hyalin qui, à cause de sa dureté, a pris peu à peu la prédominance sur les autres matières plus tendres.

70. Tangue, trez, merl. — Les dépôts côtiers peuvent, dans certaines régions, fournir des matières utiles à l'agriculture. Telles sont notamment la *tangue*, le *trez* et le *merl*.

La tangue est une vase sableuse fine qui se dépose dans les baies et particulièrement à l'embouchure des rivières de la basse Normandie et de la basse Bretagne. Ce produit, essentiellement marin, est composé pour plus de moitié de sable siliceux, résultant de la destruction des roches granitiques et schisteuses des côtes de la Manche, et pour le reste de carbonate de chaux très divisé qui provient de la pulvérisation de coquilles et qui en constitue l'élément le plus actif. Il est, en outre, imprégné de sels marins, chlorures et sulfates alcalins

et alcalino-terreux, et contient accidentellement du phosphate de chaux dont l'origine est attribuée à la décomposition de petits poissons plats.

C'est l'apport de la tanguie qui exhausse continuellement la baie du Mont-Saint-Michel, en donnant un sol excellent pour la culture, que l'on rattache peu à peu à la terre ferme par des travaux d'endiguement.

La tanguie est également exploitée comme engrais. Les cultivateurs apprécient tellement ses bons effets sur les terres privées de calcaire, qu'ils n'hésitent pas à faire jusqu'à 40 kilomètres pour venir la chercher. Il y a peu d'années, les trois départements de l'Ille-et-Vilaine, de la Manche et du Calvados exploitaient annuellement près de 4 millions de tonnes valant de 2 fr. à 3 fr. 50 l'une. L'extraction se ralentit actuellement, à cause de l'extension que prennent les engrais commerciaux.

Le trez est un sable mariu, à débris de coquilles, ressemblant beaucoup à la tanguie, mais plus grossier, qui se trouve sur les plages du Finistère.

Quant au merl, il consiste surtout en fragments de poly-piers, de la grosseur d'un grain d'orge à celle d'une petite aveline, que l'on retire de la mer à l'aide de la drague sur les côtes du Morbihan et du Finistère en France et sur celles du Cornwall et du Devonshire en Angleterre.

74. Dépôts d'eau profonde. — Après avoir construit les cordons littoraux et les dépôts côtiers, la mer renferme encore en suspension des sables très fins et des boues. Les sables sont formés de petits grains quartzeux qui ont tout au plus $\frac{1}{10}$ de millimètre ; au-dessus ils ne pourraient rester en suspension dans l'eau. A cause de leurs faibles dimensions, ils ont échappé à l'usure que produit le frottement, en sorte qu'ils ont encore la netteté de leurs arêtes.

Ces sables fins se précipitent les premiers. Ils s'accumulent sur le fond de la mer, à peu de distance de la côte, plus rapidement qu'ils ne le feraient dans l'eau douce, en raison de la propriété que possède l'eau marine de se clarifier 15 fois plus vite que l'eau des rivières. Quant aux boues ou vases qui résultent de la trituration de roches tendres, argileuses ou cal-

caires, elles se précipitent plus loin, dans les régions tranquilles de l'Océan.

On a par conséquent, autour des continents et des îles, une ceinture de dépôts littoraux, dont la première partie est sableuse et stratifiée en couches horizontales, sauf quand les courants de marée atteignent une puissance suffisante pour les remanier, auquel cas il y a des alternances de lits horizontaux avec des assises à stratification oblique. Des fragments brisés d'organismes marins se mêlent à ces sables. Quand les côtes sont balayées par des courants intenses, comme au large de la Bretagne et du Cotentin, le fond de la mer est à nu.

Au delà des sables viennent ensuite des vases argileuses bleuâtres ou rougeâtres, avec de nombreux organismes calcaires, notamment des moules de foraminifères, et des matières d'origine chimique sur lesquelles nous reviendrons tout à l'heure.

Ces dépôts littoraux d'eau profonde ne s'étendent généralement pas à plus de 200 à 300 kilomètres des côtes. Au delà on ne trouve plus que des dépôts d'origine chimique ou organique.

73. Action chimique des eaux marines. — L'eau de la mer contient en dissolution un très grand nombre de substances diverses, représentant 3,3 à 3,7 0/0 de son poids, parmi lesquelles les plus abondantes sont, par ordre d'importance, le chlorure de sodium, le chlorure de magnésium, le sulfate de chaux, le sulfate de magnésie, le chlorure de potassium, le carbonate de chaux, le bromure de magnésium, etc. Il y a en outre de l'acide carbonique en proportion 30 fois supérieure à celle de l'eau douce et des substances organiques azotées.

La teneur en matières minérales est assez constante et ne subit guère que des variations locales dues à l'évaporation plus ou moins forte suivant la latitude, au déversement des grands fleuves, à la fusion de grosses masses de glace dans les régions polaires. Ainsi l'Océan Atlantique est moins salé que la Méditerranée où l'évaporation est plus active.

Toutes ces matières proviennent pour la plus grande partie

de l'atmosphère primitive du globe, qui était très chargée de principes volatils à une haute température. Les autres sont apportées à la mer par les fleuves ou sont dissoutes par les vagues dans leur travail de démolition des côtes.

Lorsque l'eau de mer est soumise à une évaporation très active sans qu'aucun apport vienne réparer ses pertes, elle abandonne plusieurs des substances qu'elle tient en dissolution, suivant l'ordre inverse de leur solubilité. Ainsi les substances les moins solubles, comme le carbonate de chaux, se déposent les premières; puis successivement le sulfate de chaux, le chlorure de sodium, les sulfates de magnésie et de potasse avec des chlorures. Ces phénomènes, qu'on produit artificiellement dans les *marais salants*, se réalisent naturellement dans certaines régions, entre autres près de la Mer Caspienne et sur les bords de la Mer Noire, dont les dépôts salins sont exploités.

L'Océan joue, au point de vue de la constance de la teneur de l'air en acide carbonique, un rôle important qu'a fait ressortir M. Schlœsing. Cette fixité est due à ce que, depuis de longs siècles, il s'est établi entre les bicarbonates contenus dans l'eau de mer et l'acide carbonique atmosphérique un équilibre qui, à peine troublé, tend à se rétablir. Si les eaux pluviales enlèvent à l'air une certaine quantité d'acide carbonique, les bicarbonates de la mer s'empressent de le lui restituer. Si le bicarbonate de chaux des eaux salées se décompose pour former les dépôts littoraux d'eau profonde, les eaux douces chargées d'acide carbonique parcourent la surface des continents et y trouvent le calcaire qu'elles convertissent en bicarbonate pour le porter aux mers.

73. Cimentation produite par l'eau de mer. —

A l'embouchure de certains fleuves et dans le voisinage des falaises crayeuses, l'eau de mer est souvent très chargée de sels calcaires. Elle est alors susceptible de produire de puissants effets d'agglutination, en abandonnant son carbonate de chaux qui sert de ciment pour souder ensemble les grains de sable ou les galets de la plage et former ainsi des grès ou des poudingues.

C'est à cette cause que sont dus les poudingues de Biarritz,

les grès de la Rochelle, les calcaires durs des côtes du Calva-dos qui renferment des *moules* et autres coquilles vivant ac-tuellement dans cette région.

Dans les mers tropicales, où l'évaporation est beaucoup plus active que sous nos climats, ces formations se dévelop-pent avec une plus grande rapidité et prennent une puissance considérable. La ville de Bahia, au Brésil, est construite avec un grès marin moderne qui se forme dans les environs. Sur les côtes de la Guadeloupe se trouve un tuf d'origine sem-blable dans lequel a été empâté un squelette humain que l'on conserve au British Museum à Londres ; ce tuf se reforme pour ainsi dire à vue d'œil et les excavations qu'on y pratique ne tardent pas à se combler, justifiant le nom expressif de *Ma-çonne-bon-Dieu* que lui ont donné les nègres.

74. Argile rouge des grandes profondeurs. — Nous avons dit qu'à quelques centaines de kilomètres des rivages les dépôts littoraux s'arrêtent et qu'au delà aucune matière en suspension ne se précipite. Les sondages du *Challenger* ont montré que là le fond de la mer est tapissé par une argile rouge ou grise caractéristique, chargée de grains d'oxydes hydratés de fer et de manganèse et contenant en outre de petites parti-cules volcaniques avec des restes organiques.

Ce dépôt paraît provenir de la décomposition d'un tuf volca-nique qui constituerait dans ces parages le fond de l'Océan. Quant aux grains ferrugineux et manganésifères, leur subs-tance, empruntée aux matières volcaniques ou aux sels dissous dans l'eau de mer, se serait concentrée par voie d'attraction moléculaire autour de corps étrangers.

§ VI

ACTION DES ORGANISMES ANIMAUX

75. — Les êtres organisés n'exercent à la surface du globe que des actions destructives de fort peu d'importance. Ainsi

certains mollusques dits *lithophages*¹ creusent dans les rochers des perforations d'aspect particulier. Ainsi encore les plantes, en enfonçant leurs racines dans les fentes des roches, les élargissent et contribuent à réduire ces roches en fragments. Il est vrai qu'elles fournissent à l'atmosphère de l'oxygène pendant leur vie, de l'acide carbonique après leur mort, et que ces deux gaz jouent un rôle chimique qui est loin d'être insignifiant dans le travail de décomposition des substances minérales; mais c'est là une action indirecte qui ne doit pas nous occuper ici.

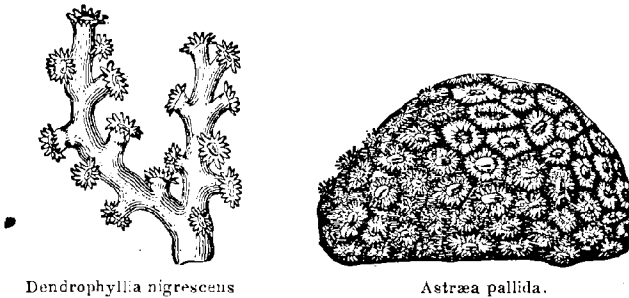
Si la faculté destructive des organismes est à peu près négligeable, il n'en est pas de même de leur aptitude à construire. Ils prennent une part considérable à l'édification de l'écorce terrestre en formant par la simple accumulation de leurs dépouilles des terrains puissants, tels que des calcaires, des combustibles minéraux, etc., et il est intéressant de constater que ce sont les animaux les plus petits et les moins parfaits comme organisation qui nous donnent les masses les plus importantes.

76. Bancs de foraminifères. — Les *foraminifères* sont des animaux microscopiques ou de très petites dimensions qui peuplent les grands fonds de l'Océan, que l'on croyait, il y a peu de temps encore, impropres à la vie. Ces animaux, qui ont la propriété de s'assimiler le calcaire et la silice que l'eau de mer tient en dissolution, produisent en s'accumulant une boue calcaire ou sableuse qui se dépose sur les rivages, mais surtout dans les grandes profondeurs. Les bancs qu'ils constituent ainsi peuvent avoir plus de 15 mètres de puissance; parfois ils obstruent les golfes, comblent les ports et apportent une grande gêne à la navigation. Les vases du port d'Alexandrie, sur une épaisseur de 12 mètres, sont formées par des foraminifères microscopiques. L'obstruction de l'Elbe a été attribuée au développement excessif de ces organismes.

77. Récifs coralliens. — Les *récifs coralliens* sont des

1. De *λίθος*, pierre; *φαγω*, je mange.

massifs élevés dans les mers tropicales par des animaux constructeurs tels que les *polyptiers* (fig. 22) et les *bryozoaires*, auxquels se joignent des algues des familles des *nullipores* et des *corallines*. Ces êtres, qui incorporent à leurs tissus la chaux contenue dans l'eau de mer, peuvent donner lieu à de véritables plantations, qui meurent sans cesse par le pied, tandis que la partie extérieure continue à s'accroître par le développement de nouveaux individus.



Dendrophyllia nigrescens

Astræa pallida.

Fig. 22. — Polyptiers constructeurs.

Il existe différentes espèces de massifs coralliens : les *récif*s *côtiers* ou *frangés*, qui se trouvent en contact immédiat avec les rivages qu'ils bordent comme une ceinture de largeur variable ; les *récif*s *barrières*, qui s'étendent à une certaine distance des côtes, en formant une barrière interposée entre le rivage et la haute mer, et les *récif*s *annulaires* (fig. 23), appelés aussi *atolls*,



Fig. 23. — Atoll dans l'Océan Pacifique.

d'un mot de la langue maldivienne, qui ont la forme d'un anneau étroit, ovale ou circulaire, souvent fermé, entourant un lac intérieur dont le calme contraste singulièrement avec l'agitation des flots à l'extérieur.

Tous ces récifs ont des parois abruptes du côté de la haute mer et s'inclinent doucement de l'autre côté. Leur largeur ne dépasse pas quelques centaines de mètres et ils s'élèvent à peine au-dessus du niveau de la mer. Les récifs barrières, qui sont les plus importants, se révèlent de loin au navigateur par une ligne de brisants situés au large de la terre et qui résulte de ce que la vitesse des vagues s'amortit sur cet obstacle surgissant brusquement en travers de leur route.

Pour que ces édifices coralliens puissent s'établir, plusieurs conditions sont indispensables : 1° la température de la mer ne doit jamais descendre au-dessous de + 20° ; quelques coraux peuvent cependant supporter par exception 16° ; 2° la profondeur sur laquelle doit s'élever l'édifice ne peut dépasser 40 mètres ; au-dessous, les polypiers vivent encore, mais isolés, et n'ont plus la faculté de se réunir en colonies pour construire ; 3° il faut une eau pure, ne contenant pas de matières solides en suspension.

Les sondages exécutés dans le voisinage des massifs coralliens ont montré qu'ils sont susceptibles d'atteindre une grande épaisseur verticale. En divers endroits de la Polynésie, on connaît d'anciens récifs portés par des soulèvements bien au-dessus du niveau de la mer et offrant sur plus de 400 mètres une apparente homogénéité dans leur masse.

78. Mode de formation des récifs coralliens.— Jusque dans ces derniers temps on admettait presque à l'unanimité dans la science l'explication donnée par Darwin pour la formation de ces récifs. La théorie de ce savant est basée sur l'affaissement lent du lit du Pacifique, dont on a relevé des preuves directes en plusieurs points. Ainsi, il y a sur l'île de Ponape, dans l'Archipel des Carolines, des monuments funéraires anciens dont la mer baigne actuellement les fondations. De plus, si on figure, à l'aide des sondages, les lignes d'égale profondeur de la mer autour des îles du Pacifique, on les voit parfois former brusquement des angles rentrants au débouché des vallées, ce qui montre que les thalwegs d'érosion se prolongent assez loin sous les eaux.

Cela posé, que l'on suppose que le fond de cet océan s'aff-

faisse de 1 millim. à 1 millim. 1/2 au plus par an, vitesse d'accroissement annuel des polypiers, et l'on comprendra que ces animaux, quoiqu'il n'aient plus la faculté de vivre en colonies à plus de 40 mètres de profondeur, aient pu arriver à construire des masses calcaires d'épaisseurs considérables. Quant à la forme annulaire si curieuse des atolls, elle aurait pour point de départ l'installation par les polypiers d'une barrière sous-marine tout autour d'une île, à quelque distance du rivage.

Les observations recueillies dans l'expédition scientifique du *Challenger* ont montré l'inexactitude des données sur lesquelles est basée la théorie de Darwin. C'est en réalité sur des protubérances volcaniques dont les sommets étaient à de faibles profondeurs au-dessous du niveau de la mer, ou bien ont été amenés à la hauteur convenable par l'accumulation de carapaces calcaires de foraminifères, que se sont élevés les récifs coralliens. Tout démontre l'importance exceptionnelle de l'action volcanique dans la région du Pacifique et les faits constatés sont en général plutôt favorables à l'élévation qu'à l'affaissement du fond de l'Océan. Ces massifs ne sont pas aussi épais qu'on le croyait et s'ils paraissent parfois présenter une grande uniformité de composition sur plusieurs centaines de mètres de puissance, cela tient à ce que des blocs, arrachés des bords des récifs par les vagues, se sont rassemblés sur les pentes, que leurs interstices se sont remplis de sable corallien provenant de la dégradation de la masse et que le tout, cimenté par des eaux calcaires, s'est ainsi transformé en une roche tout-à-fait semblable à la roche corallienne de la partie supérieure.

79. Diverses espèces de calcaires coralliens. — Les récifs coralliens sont encore très intéressants pour le géologue en ce qu'il lui permettent de saisir sur le fait le mode de formation de plusieurs variétés de roches calcaires.

La masse principale résulte du développement sur place des coraux, dont les interstices sont comblés par des sables, des coquilles de mollusques, des annélides, des oursins et des débris de toutes sortes ; c'est une roche calcaire solide et résistante qu'on peut employer dans les constructions.

Les vagues, exerçant leur action destructive sur les poly-

piers, en arrachent les rameaux les plus exposés et les étalent sur les bords externes des récifs ou les amoncellent en certains points ; puis ces débris, cimentés par le carbonate de chaux de l'eau de mer, se transforment en un calcaire compact.

La désagrégation peut être poussée plus loin encore. Les fragments enlevés au massif sont souvent broyés contre ses parois abruptes jusqu'à ce qu'ils soient réduits en poussière. Cette sorte de boue calcaire, rejetée par les lames dans l'intérieur des lagunes, donne une autre espèce de calcaire compact qui se caractérise par sa cassure fine et l'absence complète de restes organiques.

Ce calcaire a parfois la structure *oolithique* ; il se compose alors de nombreux petits nodules à couches concentriques, de la grosseur d'une tête d'épingle, ressemblant extérieurement à des œufs de poissons. Grâce aux alternatives de sécheresse et d'humidité si fréquentes dans ces régions, chaque petit grain de sable s'enveloppe de couches successives de carbonate de chaux ; et tous ces grains ainsi incrustés ne tardent pas à s'agglomérer en une roche dure et compacte.

80. Distribution géographique des récifs coralliens. — C'est dans les parties tropicales de l'Océan Pacifique que les constructions coralliennes sont le plus abondantes ; il en existe également dans l'Océan Indien et dans le golfe du Mexique. Les plus grands récifs du globe s'étendent au large de la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie et de la côte orientale de la Nouvelle-Hollande, où ils ont des longueurs respectives de 700 et 1600 kilomètres ; leur distance aux rivages varie de 30 à 100 kilomètres. Les récifs côtiers ont généralement moins de développement et sont interrompus au débouché des rivières, qui amènent des eaux troubles dans lesquelles les coraux ne peuvent vivre.

Quant aux atolls, on en a compté près de 300. Les plus considérables sont dans les Lacquedives et les Maldives, où on en connaît qui ont une forme elliptique mesurant plus de 100 kilomètres de longueur sur 25 ou 30 de largeur.

81. Amas de coquilles. — Les mollusques, comme les

foraminifères et les coraux, travaillent à soustraire le carbonate de chaux de l'eau de mer pour l'employer à la confection de leurs coquilles. Aussi cette eau, quoique recevant continuellement par les courants des quantités considérables de bicarbonate de chaux, renferme seulement 0,0001 de carbonate, ce qui est à peine la dixième partie de ce qu'elle peut tenir en dissolution.

En certains points, ces animaux se réunissent en colonies pour former des bancs parfois puissants, mais qui sont loin toutefois d'atteindre l'importance des constructions coralliennes ; tels sont les bancs d'huîtres ou de peignes que l'on observe sur nos côtes. L'île d'Anastase, qui s'élève en face de la Floride et qui a une longueur de 12 kilomètres, consiste uniquement en un amas de coquilles marines réunies par un ciment calcaire ; cette roche, assez dure, est recherchée pour les constructions. Sur certaines plages ces coquilles, triturées par les vagues, donnent des sables calcarifères propres à l'amendement des terres siliceuses, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

82. Amas de restes d'animaux terrestres. — C'est surtout la mer, comme on voit, qui nourrit les animaux constructeurs. Les animaux terrestres qui, pour la plupart, rendent au sol et à l'atmosphère leurs éléments constitutifs, n'ont qu'un rôle effacé dans l'œuvre de construction du globe. On ne peut guère citer que les amas d'ossements dans certaines cavernes, les dépôts de déjections d'oiseaux, etc.

83. Guano. — Ces derniers dépôts, connus sous le nom de *guano*, méritent de fixer quelques instants notre attention, à raison de l'intérêt qu'ils présentent pour l'agriculture.

On les trouve sur le littoral du Pérou et de la Bolivie et dans quelques îlots coralliens inhabités de la zone équatoriale du Pacifique, avec une épaisseur qui peut aller jusqu'à 30 mètres. Les amas les plus célèbres sont ceux des îles Chinchas ; outre les déjections d'oiseaux, ils contiennent des débris d'os, des graviers, de la terre ; leur teneur en acide phosphorique est en moyenne de 12 0/0 et en azote de 14 0/0.

On peut assimiler au guano les excréments déposés par les chauves-souris dans un grand nombre de grottes (Arcis-sur-Cure, près d'Auxerre; Baume-Ponterry, dans les environs de Draguignan, etc.). Ces matières renferment de 3 à 4 0/0 d'acide phosphorique; elles sont surtout riches en principes azotés.

Il est à remarquer que dans les pays où il pleut rarement, le guano a une forte teneur d'azote. Au contraire, celui qui a été soumis à l'action dissolvante des grandes pluies est pauvre en azote et presque exclusivement phosphaté; la partie inférieure du gisement peut même se cimenter sous l'influence des dissolutions qui la traversent et se transformer en un véritable phosphate de chaux minéral, qui comble quelquefois des fissures du terrain sous-jacent.

La *sombrevite*, que l'on exploite à Sombrero et dans d'autres petites îles des Antilles, s'est formée de cette manière. C'est une substance compacte, blanche ou rougeâtre, qui renferme environ 82 0/0 de phosphate de chaux et d'alumine.

Un gisement remarquable, découvert il y a quelques années dans l'île de Curaçao, paraît avoir une origine analogue. Le phosphate de chaux s'y présente comme une sorte de rempart énorme qui entoure la base d'une montagne de calcaire corallien; il a les caractères les plus divers, mais il ressemble le plus souvent à un conglomérat et il est de couleur grise ou brune, parfois zônée. Ce gisement ne serait autre chose qu'un banc de coraux, pénétré par les parties solubles d'un dépôt de guano disparu, et transformé presque entièrement en phosphate, puisqu'il en renferme plus de 85 0/0.

§ VII

ACTION DES ORGANISMES VÉGÉTAUX.

81. Terre végétale. — La *terre végétale* ou *arable* est ce dépôt meuble qui forme une pellicule mince sur le sol et qui

sert de support aux plantes en même temps qu'il leur fournit des éléments nécessaires à leur nourriture. C'est en quelque sorte l'épiderme du globe.

La terre végétale ne se trouve pas partout. Il ne suffit pas, pour qu'elle se produise, que les roches soient désagrégées; le concours de la végétation est absolument indispensable. C'est ainsi qu'à Aden, il n'y en a pas trace, parce que les roches volcaniques de ce pays, désagrégées par l'action de l'atmosphère, ne contiennent pas l'eau nécessaire au développement des végétaux. De même dans le désert du Sahara, on ne voit s'étendre sur d'immenses étendues que des sables arides provenant de la destruction du sous-sol.

Pour comprendre comment la terre végétale a pris naissance, observons ce qui se passe sur les laves récentes d'un volcan, du Vésuve par exemple. A peine sont-elles refroidies que des lichens, des mousses, s'établissent à leur surface, enfoncent leurs rhizomes dans leurs fissures et leur empruntent les principes minéraux dont ils ont besoin pour leur nourriture, tandis que l'atmosphère ou les eaux pluviales leur procurent de l'azote et du carbone.

Il a dû en être de même dans les temps anciens. Ces plantes inférieures, après avoir commencé le travail de désagrégation des roches qui les portaient, ont constitué par leurs débris la première réserve organique du sol. Puis des générations successives de végétaux plus élevés en organisation se sont installées sur ce dépôt et ont contribué à l'enrichir en y laissant leurs restes. En même temps l'atmosphère, les pluies, les infiltrations souterraines apportaient à la couche arable divers principes fertilisants.

Les détritiques organiques abandonnés par les plantes après leur mort se transforment peu à peu, sous l'influence d'actions multiples, en ces produits noirs et complexes, très chargés de carbone, auxquels on donne le nom d'*humus* ou *terreau*, et qui, mélangés à la terre, lui communiquent une coloration brunâtre.

Parmi ces actions, l'une des principales est celle de l'air. Il faut signaler ensuite celle des animaux microscopiques dont les uns transforment les débris végétaux en matières solubles,

plus directement assimilables par les plantes, et dont les autres oxydent les résidus de la putréfaction des substances azotées pour les changer en salpêtre. Les vers de terre, ainsi que l'a fait ressortir Darwin, sont eux-mêmes des auxiliaires utiles dans ce grand travail de constitution de la couche arable ; en faisant passer la terre à travers leur corps, ils la soumettent à un mouvement lent, continu, qui expose sans cesse de nouvelles surfaces à l'influence de l'acide carbonique dans le sol et des acides de l'humus.

On se rend ainsi bien compte de la différence qui doit exister entre la terre végétale et le sous-sol. Elle est plus friable et plus poreuse que ce dernier ; elle a en général une coloration plus prononcée et elle s'est enrichie de substances nouvelles. Toutes ces propriétés spéciales résultent de la présence de l'humus.

L'humus est donc le trait caractéristique de la terre végétale et il en constitue l'élément le plus indispensable. C'est son accumulation, continuée pendant des siècles sans qu'elle ait eu à subir les emprunts de l'homme, qui a formé dans certains pays, comme l'Amérique, ces énormes réserves de fertilité qui sont actuellement une menace pour notre agriculture. Dans les terres soumises à la culture, il faut avoir soin de l'entretenir au moyen d'engrais d'origine végétale dont le plus important est le fumier. Exclusivement employés, les engrais minéraux peuvent bien tromper le cultivateur par de belles récoltes pendant quelques années ; mais celui-ci ne tarde pas à reconnaître son erreur quand sa terre effritée, privée de terreau, a perdu la qualité essentielle de rester meuble sous la pluie.

86. Terre noire de Russie. — La terre végétale est généralement assez mince. On peut citer cependant quelques contrées privilégiées où elle a une épaisseur relativement considérable. Ainsi dans la Russie méridionale il existe une région très fertile, couverte d'une *terre noire*, dite *tchernoïzem*, provenant de la décomposition des herbes des steppes dont les résidus sont mêlés à du sable siliceux, et qui a une puissance de 0^m,60 à 1^m,50. Cette terre occupe une superficie de

95 millions d'hectares et s'étend également dans la Hongrie, la Moldavie et le Banat. D'après les observations que l'on a faites, il se forme en un siècle 2 centim. 1/2 d'épaisseur de terre noire, dans laquelle la proportion de matière organique peut s'élever jusqu'à 40 et même 47 0/0.

86. Amas de végétaux. — Le Mississippi et ses innombrables affluents débordent chaque printemps en arrachant à leurs rives des forêts entières. Les troncs d'arbres, charriés par les eaux et enchevêtrés les uns dans les autres, donnent lieu à d'énormes accumulations qui encombrant les rivières. Le lit de la Rivière Rouge est obstrué par un de ces amas qui augmente sans cesse à l'amont tandis que des arbres de la partie d'aval s'en détachent ; en 1833, cet amas avait plus de 200 kilomètres de longueur et on dut, après des efforts infructueux, renoncer à le détruire et se borner à améliorer les canaux de décharge latéraux.

Les arbres sont souvent entraînés beaucoup plus loin. Ils arrivent jusque dans le Golfe du Mexique où, en se décomposant, ils donneront avec le temps des dépôts de lignite. Une partie, saisie par le Gulf-Stream, est transportée en Islande ou sur d'autres terres polaires, au grand profit des habitants de ces régions désolées qui n'ont guère d'autre combustible à leur disposition.

Sur les rivages de la Colombie et sur les côtes méridionales des États-Unis, on trouve d'intéressants exemples de l'accumulation des végétaux sur place. Les marécages qui bordent ces côtes sont envahis par une végétation vigoureuse de plantes herbacées et de roseaux, puis de mangliers, de palétuviers, de cyprès, etc., dont les débris jonchent le sol et qui sont enfouis sous les alluvions déposées par les grandes crues. Le même phénomène s'est répété jusqu'à dix fois en certains points, présentant toujours la même succession de plantes et d'alluvions dans le sens vertical ; ce qui montre que toute la contrée s'est affaissée lentement.

87. Tripoli, travertin, minéral des marais. — De petites algues siliceuses, de la classe des *diatomées*, peuvent, en

s'accumulant dans les eaux douces, donner des couches de cette farine siliceuse connue sous le nom de *tripoli*. Le sol sur lequel s'élève Berlin est constitué par un amas siliceux de ce genre.

Dans d'autres cas, ce sont de petites plantes aquatiques qui extraient le carbonate de chaux dissous dans l'eau et en incrustent leurs tissus pour former une roche calcaire appelée *travertin*.

Le *minéral de fer des marais*, qui se forme sur une large échelle dans les régions basses de la Hollande, du Nord de l'Allemagne, de la Pologne, résulte de l'enlèvement de l'oxyde de fer à des sables ferrugineux par des plantes en décomposition, à sa réduction en protoxyde de fer qui, se combinant à l'acide carbonique, est ensuite transporté dans les bas fonds où il se peroxyde de nouveau.

Enfin nous rappellerons que certains végétaux contribuent à l'édification des massifs coralliens.

88. Tourbières. — C'est principalement sous la forme de tourbières que le règne végétal concourt à l'accroissement de la terre ferme.

La tourbe est une substance combustible formée par des végétaux plus ou moins décomposés, mais dans laquelle on peut presque toujours reconnaître la nature des plantes constitutives. C'est ce qui la distingue surtout des combustibles minéraux anciens comme l'anthracite, la houille, le lignite.

Les tourbières ne peuvent s'établir qu'avec un concours de conditions spéciales. En premier lieu, l'eau est l'agent essentiel du tourbage, non-seulement parce qu'elle est nécessaire au développement rapide de la végétation, mais encore parce qu'en préservant les végétaux du contact immédiat de l'atmosphère, elle s'oppose à la prompt désorganisation des tissus. L'eau se charge, en effet, de substances en dissolution dont le mode de formation et la nature ne sont pas encore bien connus ; ce sont en tout cas des substances résultant d'une première décomposition, telles que l'acide ulmique, l'acide gallique, des résines ou des gommés, etc., susceptibles d'agir à la manière d'antiseptiques et d'empêcher l'altération d'aller trop loin.

Une seconde condition est que l'eau soit très limpide. Une trop grande proportion de limon nuirait au développement de la végétation, et comme les eaux limoneuses se rencontrent surtout dans les contrées à sous-sol imperméable, il en résulte, contrairement à ce qu'on pourrait penser au premier abord, que c'est sur les sols perméables que les tourbières s'établissent de préférence.

Le climat joue également un rôle important. Il faut qu'il soit humide et que la chaleur ne soit pas trop élevée, car autrement elle activerait la décomposition des matières végétales. Aussi les tourbières ne peuvent exister au-dessous du 43° parallèle ; le 56° parallèle semble être leur zone de prédilection.

Enfin la profondeur de l'eau doit être assez faible pour que les plantes puissent prendre racine, et l'écoulement doit se faire très lentement afin que les principes antiseptiques ne soient pas enlevés par un courant trop rapide. Si sur des pentes assez raides des montagnes on observe parfois de la tourbe, cela tient à ce que le sol y est constamment imbibé d'eau par des suintements et que cette eau est retenue par les mousses aquatiques qui ont une grande avidité pour l'humidité.

89. Mode de formation d'une tourbière. — Parmi les végétaux qui contribuent à la formation des tourbes, les plus abondants sont les *sphaignes*, sortes de mousses aquatiques, vivaces, à feuilles blanches avec une légère teinte rousâtre ou verdâtre. Elles croissent exclusivement par le sommet et à mesure que la partie supérieure de la tige s'allonge, les touffes meurent du pied et se décomposent partiellement sous l'eau.

Dans le Jura, où le phénomène du tourbage a été étudié avec beaucoup de soin par M. Lesquereux, c'est généralement par les sphaignes que les tourbières commencent à s'établir ou à se régénérer. Ces plantes, qui ont une croissance rapide et qui se ramifient beaucoup, se pressent les unes contre les autres en donnant un feutrage épais et exhaussent graduellement le sol. Il ne tarde pas alors à se développer sur ce sol, qui n'est plus recouvert que d'une faible couche d'eau, d'autres végétaux

tels que des *mousses* d'espèces différentes, des *joncs*, des *càrex*, des *violettes d'eau*, des *saxifrages*, et même quelques plantes ligneuses, *andromèdes*, *saules nains*, etc. Quand la tourbière est suffisamment élevée pour que sa surface ne soit plus aussi marécageuse, apparaissent des plantes propres aux terrains d'humidité moyenne, *prêles*, *myrtilles*, *mélampyres*, puis la végétation arborescente représentée par des *saules*, des *bouleaux*, des *pins*; c'est le troisième et dernier stade du tourbage.

Dans plusieurs localités, notamment en Irlande, en Hollande, dans le Danemark, on a constaté sur les lieux mêmes qu'occupent les marais tourbeux d'anciennes forêts dont les arbres, appartenant à des essences disparues de la contrée, sont couchés à côté de troncs encore debout et brisés à la hauteur de quelques mètres. Ces forêts fossiles, qui ont été renversées sans doute par de violents ouragans, sont activement exploitées.

90. Structure des tourbières. — Les tourbières sont loin d'être uniformes sur toute leur épaisseur. Elles présentent généralement deux couches assez distinctes; la plus superficielle consiste en une tourbe légère, à tissu lâche, formée par un entrelacement de végétaux à peine décomposés, à laquelle on donne le nom de *tourbe mousseuse*; à mesure que l'on s'enfonce, la tourbe, comprimée sous son propre poids, devient de plus en plus compacte, de plus en plus noire et parfois elle est assez décomposée pour qu'il ne soit plus possible d'y reconnaître les espèces végétales dont elle provient.

Les bancs de tourbe des vallées offrent souvent des intercalations de lits horizontaux de graviers ou de sable, qui ont été déposés lors des crues violentes.

La croissance de la tourbe est d'environ 0^m30 à 1^m30 par siècle. Pourtant, dans la vallée supérieure de la Somme, on estime qu'il suffit d'un siècle pour la production d'une couche de 3^m30. Depuis l'époque celtique et même depuis l'époque romaine, il s'est formé des bancs puissants de tourbe, ainsi qu'en témoignent les monnaies ou les ustensiles qui s'y trouvent enfouis à différentes profondeurs.

Quant à l'épaisseur des tourbières, elle est très-variable,

depuis quelques centimètres jusqu'à 8, 10 et même 18 mètres. C'est en Hollande qu'on trouve les plus fortes épaisseurs.

91. Gonflement des tourbières. — Les sphaignes se développent quelquefois avec une telle vigueur qu'ils entraînent pour ainsi dire avec eux la nappe d'eau qui accompagne leur pied et élèvent la surface supérieure de la tourbière bien au-dessus du sol environnant. Ainsi en Lithuanie il existe des tourbières dont la partie centrale domine le pays de plus de 15 mètres.

Les dépôts tourbeux peuvent également se gonfler et prendre une forme convexe sous l'action de l'eau qui s'infiltré dans leur masse, à la suite de fortes pluies ou de fontes de neige. Ce bombement dépasse parfois 2 ou 3 mètres, comme dans les tourbières de la Hamme. Il est alors dangereux de parcourir ces marais qui, au dessous d'une couche plus ou moins épaisse de tourbe, sont susceptibles de présenter une assez grande profondeur d'eau.

92. Distribution géographique des tourbières. — Les tourbières couvrent en Europe des espaces immenses, bien plus considérables que ceux qui sont occupés par les gisements houillers. Mais ces derniers rachètent cette infériorité par le plus grand nombre de leurs couches et leur plus grande épaisseur.

Dans les Flandres et la Hollande, toutes les plaines basses et les vallées sont couvertes de dépôts consistant en couches alternatives de limon, de sable et d'une tourbe facile à exploiter.

La grande plaine du Nord de l'Allemagne est en grande partie occupée par des marais et d'anciennes tourbières.

Mais c'est surtout l'Irlande qui est le pays de la tourbe. Plus d'un million d'hectares, c'est-à-dire la septième partie de l'île, consiste en gisements tourbeux activement exploités et dans lesquels le combustible se reforme au fur et à mesure que les excavations sont abandonnées.

En France, la tourbe abonde dans plusieurs vallées du Nord sur les bords de la Somme, de l'Oise, de l'Aisne, et de la plu-

part de leurs affluents, sur les hauts plateaux granitiques à pente faible dont se compose une partie du Plateau central de la France, dans les combes argileuses du Jura, etc.

CHAPITRE II

PHÉNOMÈNES D'ORIGINE INTERNE

§ 1. Chaleur interne. — § 2. Déperdition par conductibilité. — § 3. Sources thermales. — § 4. Volcans. — § 5. Phénomènes geysériens. — § 6. Tremblements de terre. — § 7. Mouvements lents du sol.

§ I

CHALEUR INTERNE

93. Augmentation de la température avec la profondeur. — Les variations de la température de l'air sont considérables. A Paris, sous un climat tempéré, le thermomètre a monté jusqu'à $+ 40^{\circ}$ et est descendu à $- 30^{\circ}$; ce qui correspond à un écart de 70° . Si l'on considère des points situés l'un dans le voisinage du pôle, comme Yakoutsk en Sibérie, l'autre dans les régions équatoriales, on constate que la différence entre les températures extrêmes est beaucoup plus considérable encore et qu'elle peut atteindre 120° .

Pour peu que l'on s'enfonce dans l'intérieur de la terre, ces variations s'atténuent rapidement; ce qui tient à la mauvaise conductibilité des roches. A Paris elles sont à peine sensibles au delà de 10 mètres de profondeur; dans les caves de l'Observatoire, qui sont creusées à 27^m,60 au-dessous du sol, on

s'est assuré, par une longue série d'observations, que le thermomètre reste dans un repos absolu et marque constamment 11°82, température moyenne du lieu.

Il existe donc au-dessous du sol une couche dont la température est invariable. La situation de cette couche par rapport à la surface du sol varie suivant les régions dans des limites très étendues. Il est clair qu'elle est d'autant plus éloignée du sol que l'écart entre les températures extrêmes est plus élevé.

Si la terre n'était soumise à aucune autre influence calorifique que celle du soleil et des différents astres, la température, à partir de la zone invariable, devrait se maintenir la même jusqu'au centre du globe. Or il n'en est rien et l'on sait depuis longtemps qu'elle augmente avec la profondeur.

On a cherché à déterminer la loi de cette progression, en faisant des observations dans les mines, dans les sondages et dans les tunnels. Les chiffres que l'on a obtenus ne sont pas parfaitement concordants; ce qui peut s'expliquer par la diversité de la nature des roches qui a pour conséquence des différences dans le pouvoir conducteur pour le calorique, par l'existence d'un réseau compliqué de fissures qui traverse l'écorce du globe et dans lequel s'insinuent les eaux froides venant de l'extérieur aussi bien que les eaux chaudes chassées de l'intérieur, par le voisinage souvent ignoré de centres éruptifs, peut-être aussi dans certains cas par les méthodes employées qui n'éliminent pas suffisamment les causes d'erreur. Tout cela est de nature à rendre ces chiffres plus ou moins suspects, de telle sorte que les ondulations des surfaces isothermes au-dessous de la couche à température constante peuvent être comparables à celles des lignes du même nom à la surface terrestre.

94. Observations dans les mines. — Les mines nous offrent un champ commode d'expérimentation. Toutefois il ne faut pas oublier que ce n'est pas la température de l'air qu'on doit mesurer, car elle peut être influencée par la ventilation, par la combustion des lampes, par le tirage des coups de mine, etc. Il est nécessaire d'opérer sur la roche elle-même et pour

cela on y creuse des trous dans lesquels on enfonce des thermomètres en achevant de remplir les vides avec du sable.

En opérant ainsi dans des mines métalliques, en France, en Suisse, en Allemagne, en Angleterre, différents observateurs ont trouvé que la température augmente d'un degré pour une profondeur variant de 16 à 42 mètres. Dans les mines de houille, l'accroissement paraît être en général un peu plus rapide.

95. Observations dans les sondages. — Les puits artésiens donnent un moyen de mesure plus exact que les mines. On doit admettre en effet que l'eau qui vient jaillir à la surface du sol possède la température des roches les plus profondes avec lesquelles elle s'est trouvée en contact.

Le puits de Grenelle, qui a une profondeur de 548 mètres et dont le fond est situé par conséquent à 538 mètres au-dessous de la zone invariable, fournit de l'eau à 27° 70. Si l'on déduit de ce chiffre la température moyenne de Paris, soit 10° 80, il reste 16° 90 pour l'accroissement de la chaleur de cette eau ; ce qui correspond à 1° pour 31^m,83.

Le sondage exécuté il y a quelques années à Sprenberg, à 44 kilomètres sud de Berlin, a été percé presque entièrement, jusqu'à la profondeur de 4.269 mètres, dans une énorme masse de sel gemme, condition très favorable à l'observation en raison de l'homogénéité de la masse. Les mesures qui ont été prises à divers niveaux ont donné de grandes irrégularités dans l'accroissement de la température, irrégularités que l'on a même interprétées dans un sens défavorable à la théorie de la chaleur centrale. Mais si l'on s'en tient aux résultats d'ensemble, on constate là encore que l'augmentation moyenne est de 1° pour 32^m,51.

A Schladebach, petit village situé dans les environs de Leipzig, on est allé encore plus loin dans les entrailles du globe. Un sondage entrepris pour la recherche de la houille a déjà atteint une profondeur supérieure à 4.700 mètres, après onze ans d'un travail exécuté à l'aide d'une sonde à pointes de diamant, suivant le procédé employé pour la première fois par Leschot. La température observée au fond conduit, pour

l'augmentation moyenne de la chaleur en profondeur, à un résultat inférieur à ceux des forages précédents, car elle n'est que d'un degré pour 37 mètres.

96. Observations dans les tunnels. — Les grands souterrains qui pénètrent sous le sommet des montagnes jusqu'à des profondeurs qu'aucun travail de mine n'a encore atteintes, permettent également de rechercher la loi d'accroissement de la température avec la profondeur. En discutant les résultats obtenus dans les tunnels du Mont-Cenis et du Saint-Gothard, on trouve que l'augmentation moyenne est d'un degré pour 30 mètres.

On a constaté en outre ce fait important, c'est que, pour des altitudes voisines de la limite des neiges persistantes, une augmentation de plusieurs centaines de mètres sur la hauteur des montagnes ne produit pas sur la même verticale un accroissement sensible de la température interne ; ce qui revient à dire que, dans ces régions élevées, la limite de la zone invariable est à plusieurs centaines de mètres au-dessous de la surface du sol.

97. Rôle de la chaleur interne dans l'exécution des grands tunnels.—L'augmentation de la chaleur interne n'est pas une des moindres difficultés contre lesquelles l'Ingénieur a à lutter dans la traversée souterraine des grands massifs montagneux. Dans le tunnel du Saint-Gothard, surmonté par une épaisseur maxima de 1700 mètres de roches, la température de 29° fut atteinte dès le cinquième kilomètre à chaque tête et elle se maintint égale ou supérieure pendant la traversée des cinq kilomètres restants, inspirant parfois les plus légitimes appréhensions pour le résultat final de l'entreprise.

L'éventualité du percement de nouveaux tunnels à travers les Alpes donne un grand intérêt à l'étude de cette question. Ainsi que le fait remarquer M. Revaux, les formules que l'on a déduites des observations du Saint-Gothard ne peuvent être appliquées sans de nombreuses réserves. Elles laissent, en effet, de côté plusieurs facteurs dont l'importance est suffisante

pour faire varier sensiblement le résultat d'un endroit à l'autre; ce sont, entre autres, la conductibilité des roches, leur degré de perméabilité, les infiltrations, la schistosité, les conditions météorologiques de la surface, etc.

C'est ainsi qu'à 2.500 mètres environ de l'entrée nord du Saint-Gothard, où la formule indiquait une température de 12°, celle-ci s'est élevée en réalité à 22° au passage d'un banc calcaire qui possédait une conductibilité et un pouvoir calorifique différents de ceux du gneiss avoisinant, et formait en outre un foyer de chaleur distinct par la décomposition de la pyrite qu'il contenait.

Il faut donc tenir un grand compte de ces influences dans la rédaction des projets et c'est ce qu'on ne peut faire sans une connaissance précise de la constitution géologique du massif à attaquer. Ainsi, dans les divers projets présentés pour le tunnel du Simplon, on n'hésite pas à dévier les tracés rectilignes pour gagner quelques degrés sur la chaleur interne; on espère que la température n'y dépassera pas 35°.

Il est également question d'une percée souterraine par le Mont-Blanc. D'après les données actuelles, ce tunnel aurait une longueur de 48 kilomètres et la hauteur superposée atteindrait 3.000 mètres. On devrait s'attendre à rencontrer une température d'au moins 50°; de plus, par suite de la forme régulièrement conique du massif, les températures supérieures à 30° règneraient sur plus de 10 kilomètres.

Il est superflu de dire que cette chaleur élevée ne se maintient pas, une fois que le tunnel est percé, car l'air extérieur exerce alors une action réfrigérante dont l'énergie dépend du plus ou moins d'activité du trafic. La moyenne des températures de l'année 1879 dans la partie centrale du Mont-Cenis a été de 20°, tandis que la moyenne pendant le percement était de 29°5; c'est donc un refroidissement de plus de 9° obtenu après 6 années d'exploitation.

98. Conséquences géologiques de l'accroissement de température. — Noyau fluide interne. — Les observations faites jusqu'à ce jour, même dans les sondages forés en Sibérie à travers plusieurs centaines de mètres de terrains

glacés, s'accordent toutes, sans exception, à établir que la température augmente avec la profondeur. On est donc en droit d'admettre qu'elle continue encore à s'accroître, au moins jusqu'à une certaine limite, au-delà des couches soumises à l'expérimentation.

Supposons que cet accroissement se fasse à raison de 3 degrés environ par 100 mètres. On aurait la température de l'eau bouillante à 3.300 mètres au-dessous du sol et, si un jour l'art du forage des puits était assez perfectionné pour nous permettre d'atteindre cette profondeur, on pourrait exploiter la chaleur interne du globe au grand profit de l'industrie. A 66 kilomètres, la température serait de 2000°, capable par conséquent de fondre le platine et presque toutes les substances connues, et notre globe serait ainsi une masse fondue entourée d'une écorce peu épaisse relativement à son diamètre.

Mais il semble probable que, à mesure qu'on se rapproche du centre de la terre, la rapidité de l'accroissement de température doit aller notablement en diminuant. On sait, en effet, que tout corps qui perd sa chaleur par rayonnement dans l'espace, et tel est le cas du globe terrestre, offre dans le voisinage de sa surface libre une variation bien plus rapide que dans l'intérieur de sa masse. Les expériences exécutées par Bischof sur une sphère de basalte fondu, dont il a mesuré la température à diverses distances du centre, viennent à l'appui de cette manière de voir.

Nous n'avons d'ailleurs que de vagues notions sur la nature et la composition du noyau fluide interne, auquel on donne le nom de *pyrosphère*. On le considère généralement comme un bain de matières métalliques en fusion, où domine le fer et qui tient en dissolution des gaz réducteurs, entre autres des hydrocarbures et de l'hydrogène sulfuré. C'est ainsi qu'on explique que, tandis que la densité moyenne des matériaux solides qui composent l'écorce est bien inférieure à 3, celle du globe est de 5,5.

99. Hypothèse d'un noyau central consolidé. — La conception d'une masse fluide enveloppée d'une mince écorce n'est, nous le reconnaissons, qu'une pure hypothèse ; mais c'est celle qui se concilie le mieux avec les faits observés.

Quelques savants ont cherché à faire prévaloir une autre doctrine. Pour eux, le noyau central est consolidé, mais il est séparé de la croûte extérieure par une zone, ou tout au moins des réservoirs souterrains, où les roches se trouvent à l'état de fusion ignée. Les principales raisons sur lesquelles s'appuie cette théorie sont que les roches fondues se solidifient à partir de leur centre lorsqu'elles sont soumises à une forte pression, comme c'est le cas pour le centre de la terre, et que la marche des phénomènes magnétiques exige l'existence d'une masse magnétique solide, indépendante de l'écorce et tournant plus lentement qu'elle.

On peut répondre que les roches fondues ne se solidifient pas toujours de l'intérieur à l'extérieur; ainsi les laves des volcans commencent, comme nous le verrons plus tard, à se recouvrir d'une couche solide de scories qui augmente peu à peu d'épaisseur avec les progrès du refroidissement. Quant aux phénomènes magnétiques, on s'en rend compte aussi bien en assimilant la terre à un solénoïde qu'en la regardant comme un aimant; seul, le déplacement séculaire des lignes magnétiques s'explique ainsi d'une manière moins satisfaisante.

Il y a d'ailleurs une sérieuse difficulté à résoudre, c'est de montrer comment a pu se former cette zone fluide sous-corticale, qui doit avoir dans toutes ses parties une composition uniforme, puisque les matières rejetées par les volcans sont partout les mêmes, sauf quelques différences locales. Nous n'entrerons pas dans l'examen des hypothèses plus ou moins vraisemblables qui ont été émises dans ce but.

100. Phénomènes dus à la masse fluide. — Nous nous en tiendrons donc à l'ancienne théorie du noyau fluide interne, contre laquelle on n'a pas jusqu'à présent élevé d'objection bien sérieuse, et nous considérerons l'intérieur du globe comme un réservoir d'énergie qui tend à se dissiper progressivement.

Cette déperdition peut se faire par simple *conductibilité à travers les roches*, par les *sources chaudes* venant des profondeurs ou par voie d'*éruptions volcaniques*, auxquelles se rattache tout un ensemble de phénomènes accessoires dits *geysériens*. La masse fluide peut aussi donner naissance à des disloca-

tions de l'écorce qui se traduisent par des *tremblements de terre* ou des *mouvements lents du sol*. Nous sommes ainsi en présence de six catégories de phénomènes que nous allons étudier successivement.

§ II

DÉPERDITION DE LA CHALEUR INTERNE PAR CONDUCTIBILITÉ.

101. — La déperdition de la chaleur par conductibilité proprement dite est extrêmement lente. D'après les calculs de Fourier, ce flux de chaleur ne saurait modifier d'une manière appréciable la température de la surface, qu'il affecte à peine de $\frac{1}{30}$ de degré. C'est le soleil seul qui règle les climats et l'ordre des saisons ; la chaleur, accumulée pendant une certaine partie de l'année, est dissipée pendant l'autre, de manière qu'il s'établit à la fin une exacte compensation.

Arago a démontré de son côté, par des considérations astronomiques, que la température moyenne du globe n'a pas varié de $\frac{1}{10}$ de degré depuis 2.000 ans.

C'est à la faible conductibilité des roches composant l'écorce terrestre qu'il faut attribuer ces résultats que confirme la pratique industrielle. Des températures de plus de 1.200° sont produites journallement en effet dans les fours métallurgiques et il suffit de revêtements en briques de moins d'un mètre d'épaisseur pour que la chaleur soit à peine sensible à la main placée sur les parois extérieures. Les coulées de lave, qui restent incandescentes et peuvent même conserver leur fluidité intérieure plusieurs années après leur émission, montrent encore avec quelle lenteur les roches terrestres se refroidissent.

§ III.

SOURCES THERMALES.

102. Caractères des sources thermales.— Les *sources chaudes* ou *sources thermales* diffèrent des sources ordinaires en ce que leur température est notablement supérieure à la température moyenne du point où elles arrivent au jour. De plus comme, en raison de la chaleur qu'elle possèdent et parfois aussi grâce à des émanations gazeuses internes, elles ont la faculté de tenir en dissolution certains principes minéraux, elles sont en même temps *minérales*.

Elles se distinguent encore des sources ordinaires en ce qu'elles ne proviennent pas de nappes d'eau reposant sur des lits imperméables. Elles arrivent au jour par des fissures de l'écorce terrestre ; aussi on les rencontre de préférence dans les pays de montagne où cette écorce a subi les plus fortes dislocations.

Quelquefois elles sont en relation bien évidente avec les phénomènes volcaniques. Telles sont les sources jaillissantes connues sous le nom de *geysers*, qui sont en réalité de véritables *volcans d'eau*, et que nous décrirons plus loin.

103. Origine des sources thermales. — L'existence des sources thermales, ou plus exactement *thermo-minérales*, est liée à celle de cavités souterraines situées très profondément, et dans lesquelles les eaux se réunissent par infiltration, en passant par des fissures petites ou grandes, qui traversent l'écorce du globe. Cette cavité ou réservoir, étant très profonde, est soumise à l'influence de la chaleur centrale qui porte l'eau à une température élevée, et celle-ci arrive au jour comme si elle était poussée de bas en haut par une forte pression, en vertu d'un phénomène analogue à celui que nous réalisons dans les sondages artésiens.

Soit par exemple une montagne *M* (fig. 24) traversée par des fissures qui permettent aux eaux de se rendre dans une cavité intérieure aboutissant au sol en un point *D*, qu'on appelle le *griffon* de la source. La pression qui fait arriver l'eau en *D* est

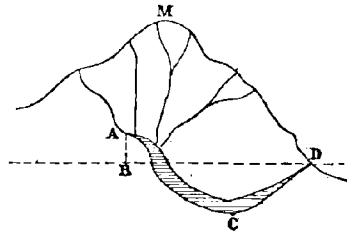


Fig. 24. — Origine des sources thermales.

donnée par la hauteur *AB* et la température de cette eau correspond à la distance verticale *MC* et peut être par conséquent bien plus élevée que celle qui résulterait de la profondeur *AC*.

Dans d'autres cas, on peut expliquer le jaillissement des sources thermales par l'expansion des vapeurs qui se forment au fur et à mesure que les eaux pénètrent dans des régions de plus en plus chaudes.

104. Composition des sources minérales. — Les matières minérales contenues en dissolution dans les sources thermales sont très variées; leur nature dépend non-seulement de la température, ou, pour employer l'expression consacrée, de la *thermalité* de ces sources, mais surtout de la constitution des terrains traversés, puisque c'est dans leur parcours au travers des roches que ces eaux se chargent des principes qui les font rechercher. Il faut ajouter que dans bien des cas, ainsi que nous l'avons déjà dit, des émanations de nature volcanique apportent leur contingent aux sources thermales; c'est ainsi que s'explique la présence de l'acide carbonique dans plusieurs eaux minérales de l'Auvergne et dans celles de Seltz dans le Nassau.

Au point de vue thérapeutique, les sources minérales ne

sont pas toujours des sources thermales. Il en existe un certain nombre, très renommées pour leurs vertus curatives, qui, abstraction faite de leur composition, diffèrent à peine des sources ordinaires. Leur température est inférieure à 15° et, par opposition aux précédentes, on leur donne le nom de *sources minérales froides*.

105. Sources minérales de France. — Le sol de la France présente un grand nombre de sources minérales dont les propriétés thérapeutiques sont telles que notre pays n'a rien à envier sous ce rapport aux autres nations et qui sont concentrées surtout dans les régions montagneuses, les Pyrénées, les Alpes, les Vosges, le Plateau central ou dans leurs environs immédiats. La Statistique publiée par le Ministère des Travaux publics les divise en quatre grands groupes d'après leur caractère médico-chimique prédominant :

1° *Eaux sulfureuses*, caractérisées par l'hydrogène sulfuré, soit à l'état libre, soit à l'état de sulfure alcalin ; telles sont les eaux d'Amélie-les-Bains, de Bagnères de Luchon, de Saint-Sauveur, de Caunterets, les Eaux-Bonnes, celles d'Allevard, d'Aix-les-Bains, d'Enghien ;

2° *Eaux alcalines*, sources non sulfureuses où prédomine la soude à l'état de carbonate ou de bicarbonate, avec ou sans dégagement d'acide carbonique. Vichy et Vals sont des types de ce genre d'eaux minérales. Les carbonates alcalins sont fréquemment accompagnés d'autres substances, comme le carbonate de chaux, le chlorure de sodium, et quelquefois la silice, en quantités assez notables pour qu'on hésite à ranger certaines sources parmi les eaux alcalines plutôt que parmi les eaux salines. De ce nombre sont celles de Plombières (bicarbonatées silicatées sodiques), du Puy-de-Drôme (chloro-bicarbonatées), de Saint-Galmier (acidules sodiques et calciques), etc., qui sont comptées avec les alcalines ;

3° *Eaux ferrugineuses*, renfermant des sels alcalins ou calcaires, accompagnés de carbonate de fer tenu en dissolution grâce à un excès d'acide carbonique. Toutes sortes d'eaux peuvent être ferrugineuses ; on ne range dans cette classe que les

eaux non sulfureuses dont le fer forme le caractère principal, comme celles d'Orezza et de Sylvanès ;

4^o *Eaux salines* ; ce sont des eaux généralement complexes, les unes caractérisées par le chlorure de sodium (Bourbonne, Luxeuil, Bourbon-l'Archambault, Balaruc) ou le sulfate de soude (Evau, Bains) ; les autres par le carbonate ou le sulfate de chaux (Pougues, Cransac, Contrexéville, Aulus).

D'après cette classification sommaire, les 1027 sources minérales exploitées en France se classent ainsi :

Sources sulfureuses.....	319
Sources alcalines.....	354
Sources ferrugineuses.....	135
Sources salines	219
	1027

106. Température des sources thermales. — La température d'une source thermale est une donnée géologique d'un haut intérêt, car, sauf pour celles qui sont franchement d'origine volcanique, elle indique la profondeur d'où provient l'eau, pourvu toutefois que celle-ci ne soit pas refroidie par son mélange avec des infiltrations superficielles.

Les eaux sulfureuses sont généralement douées d'une température élevée, excepté quand elles ont pour élément principal le sulfate de chaux ; au contraire les eaux ferrugineuses sont le plus souvent froides. Voici au reste la température de quelques sources :

Source sulfureuse calcique d'Aix-les-Bains (Savoie).....	47°
Source saline de Luxeuil (Haute Saône)	69°
Source sulfureuse alcaline d'Olette (Pyrénées-Orientales).	78°
Source sulfureuse de Chaudesaigues (Cantal).....	81°
Source calcaire d'Hammam-Meskoutine (Algérie)	95°

107. Débit et minéralisation. — Le volume des sources thermales est très variable. Il en est qui ne font que ruisseler en petits filets à la surface du sol, tandis que d'autres, s'échappant en gerbes jaillissantes, donnent de véritables torrents d'eau chaude. Voici le débit par 24 heures de quelques sources connues :

Cauterets (Hautes-Pyrénées).....	392 ^{mc}
Royat (Puy-de-Dôme).....	1.296
Bourbon-l'Archambault (Allier).....	2.400
Warasdin-Teplitz (Croatie).....	15.000

En général le régime de ces eaux est constant, c'est-à-dire que les grandes pluies, de même que les sécheresses prolongées, sont sans influence sur leur débit. Cette particularité, due à la grande profondeur de leur réservoir qui les soustrait aux variations atmosphériques, les distingue encore des sources ordinaires.

Le poids de substances dissoutes par litre n'est pas moins variable que la nature de ces substances. En général les eaux très chaudes sont les moins chargées. Celles de Plombières, dont la thermalité est très forte (74°), sont peu *minéralisées*, puisqu'elles ne contiennent que 0 gr. 03 de matières minérales par litre. Les eaux de Vichy donnent par an 440 tonnes de carbonate de soude ; celles de Carlsbad, en Bohême, 600 tonnes de carbonate de soude, 10,000 tonnes de sulfate de soude et des quantités très importantes de carbonate de chaux et de chlorure de sodium.

108. Rôle géologique des sources thermales. — Les sources thermales sont particulièrement intéressantes au point de vue géologique par les dépôts qu'elles peuvent former et

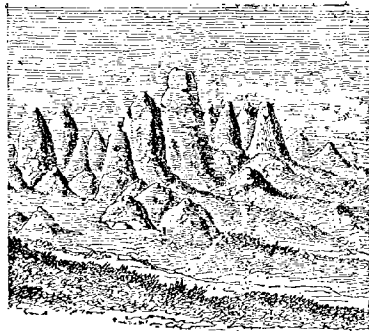


Fig. 23. — Hammam-Meskoutine.

par les modifications qu'elles exercent à la longue sur les terrains qu'elles traversent.

Les sources de Hammam-Meskoutine (bains maudits), qui jaillissent dans la province de Constantine, en Algérie, avec un débit de 100.000 litres par heure et une température de 93°, sont chargées de sels calcaires qu'elles abandonnent sur leur passage ; c'est ainsi que s'est déposé cet admirable amoncellement de stalagmites qui ont transformé la colline d'où elles sortent en une cascade de pierre. En apportant sans cesse de nouveaux matériaux, elles ont produit plus de cent cônes qui, le soir, à travers les nuages de vapeur qu'elles produisent, ressemblent aux « pierres tumulaires d'un cimetière de géants ». Leur chaleur permet de les employer directement aux usages culinaires, comme celles de Chaudesaigues, dans le Cantal.

Les sources thermales des Pyrénées exercent sur les parois des roches qu'elles traversent des phénomènes d'altération marquée. Ainsi à Bagnères de Bigorre elles corrodent fortement le calcaire et la source du ravin Graüs d'Olette décompose le gneiss en le kaolinisant.

Les études de M. Daubrée sur les sources de Plombières, de Bourbonne et de Bourbon-l'Archambault ont montré l'importance des réactions chimiques qu'elles déterminent.

A Plombières, les eaux sont alcalines et chargées surtout de silicate de potasse et de fluorure de calcium. Les Romains les avaient amenées, au moyen de conduites prolongées ou d'aqueducs, dans des thermes dont les matériaux de fondation, encore visibles, consistaient en grès et briques avec ciment de chaux sans sable, le tout formant une masse compacte et résistante. Sous l'action prolongée de l'eau chaude qui a imprégné cette masse pendant 18 siècles, il s'est développé différents minéraux, et notamment des *zéolithes*, silicates hydratés d'alumine, chaux et alcalis, de l'*opale*, silice hydratée, de la fluorine, de l'hydrocarbonate de magnésie. Tous ces produits étaient logés dans les vides des briques et du mortier, ou formaient partie constituante de ces matériaux modifiés dans leurs éléments.

Il a donc suffi de l'introduction d'une substance alcaline en faible proportion et d'une chaleur relativement peu élevée, pour déterminer des modifications aussi profondes.

§ IV

VOLCANS.

109. Définitions. — Un *volcan* est un appareil naturel qui met en communication, d'une façon permanente ou temporaire, la surface du globe avec la masse fluide interne. Il se présente généralement sous l'aspect d'une montagne conique, tronquée à son sommet par un orifice en forme de coupe, appelé *cratère*, au fond duquel débouche un canal, ou *cheminée*.

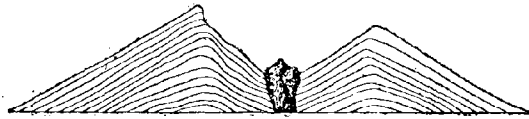


Fig. 26. — Coupe théorique d'un volcan.

Dans le langage vulgaire, le mot *volcan* s'applique à cette montagne conique, qui n'est en réalité qu'un amas de matériaux produits par l'activité volcanique. C'est bien plus bas que doit être recherché le siège de cette action. Le cône volcanique n'est d'ailleurs pas un organe indispensable de l'appareil; comme nous le verrons plus tard, il existe des volcans qui n'en possèdent pas et dans lesquels la cheminée vient aboutir au niveau du sol.

L'activité volcanique se manifeste par tout un ensemble de phénomènes, au nombre desquels les plus remarquables sont les *éruptions*.

Une éruption est presque toujours annoncée par des *signes précurseurs*. Elle débute par une *explosion* due au dégagement d'énormes quantités de vapeurs et de gaz, qui projettent dans les airs des cendres, des scories, des blocs souvent volumineux. Puis apparaît la *lave*, qui s'écoule du cratère ou par des fissures du cône, tandis que les dégagements gazeux diminuent d'intensité. Enfin la lave s'arrête, le volcan se calme et

il ne reste plus sur le lieu de l'éruption que quelques *émanations gazeuses* qui persistent plus ou moins longtemps.

110. Signes précurseurs. — Les volcans ont dû tous commencer par de violents tremblements de terre, à la suite desquels le sol s'est ouvert. C'est du moins de cette manière que les choses se sont passées partout où il a été permis à l'homme d'assister à la naissance d'un volcan. Ainsi le Monte-Nuovo s'est formé en 1538 au fond de la baie de Baïa, sur la côte de Naples, à la suite de tremblements de terre qui secouaient le sol depuis deux ans ; l'éruption dura sept jours et combla en partie le lac Lucrin ; depuis cette époque le cône a conservé sa forme et sa hauteur, qui atteint 134 mètres.

Ces secousses, causées par les gaz et les matières fluides qui cherchent à se frayer une issue, ne sont pas d'ailleurs les seuls phénomènes précurseurs de l'éruption. On sait que, pour les volcans établis, elles sont accompagnées de bruits souterrains, du tarissement des puits, de la diminution du débit des sources dans le voisinage et d'une augmentation dans le dégagement des vapeurs qui sortent du sol.

A mesure que les matières en fusion montent dans la cheminée, il se dégage une grande quantité de chaleur dont les effets peuvent se faire sentir sur les parois du cône, quand elles sont couvertes de neige, comme dans les Andes. Il en résulte des torrents qui causent des ravages d'autant plus terribles qu'ils sont inattendus. C'est de cette manière que le Cotopaxi annonce ses explosions ; il en est de même pour les volcans de l'Islande.

111. Eruption. — Colonne de fumée. — L'éruption proprement dite commence par des craquements dans le cratère dont les parois internes s'éboulent en partie. Puis une formidable explosion se produit ; les matières solidifiées qui obstruaient la cheminée sont violemment projetées et on voit s'élever vers le ciel une épaisse colonne de fumée noire qui, à la partie supérieure, s'étale en un panache horizontal et qui, réfléchissant la lumière de la lave en fusion, ressemble la nuit à une gerbe de feu.

Cette colonne de fumée est formée surtout de vapeur d'eau avec quelques gaz tels que l'air, l'acide carbonique, l'hydrogène carboné, etc., et de cendres, de scories, de débris divers

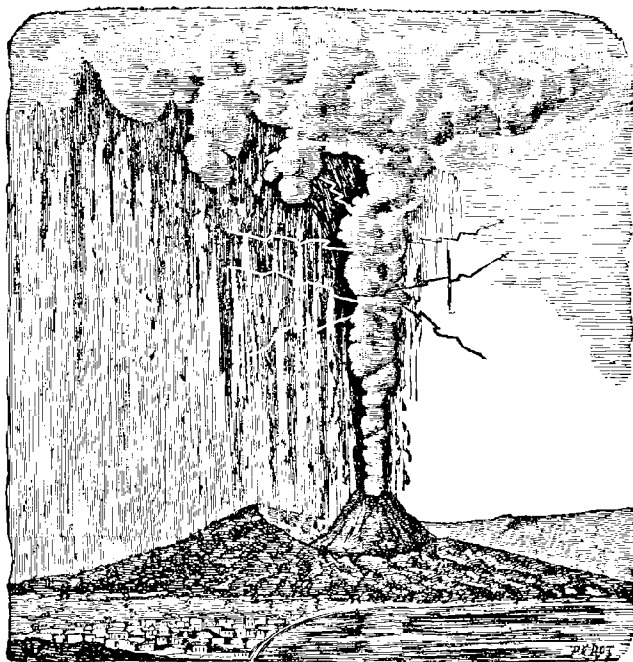


Fig. 27. — Le Vésuve en éruption (d'après Vélain).

incandescents, qui retombent en pluie très épaisse autour du volcan ou qui sont projetés à une certaine distance. Il sort quelquefois aussi du cratère de véritables flammes dues à la combustion au contact de l'air des gaz hydrogénés; mais le fait est beaucoup plus rare qu'on ne le suppose généralement.

La colonne de fumée peut avoir plusieurs milliers de mètres de hauteur. Elle donne naissance à des nuages chargés de cendres fines qui s'étendent dans tous les sens et peuvent se prolonger très loin sous l'impulsion du vent. Leur épaisseur est parfois tellement grande qu'ils obscurcissent complètement le ciel.

Des phénomènes électriques intenses se développent dans ces nuages. La foudre éclate, mêlant ses grondements aux détonations du volcan, et il en résulte des orages et des pluies diluviennes boueuses, qui sont souvent pour la contrée sur laquelle elles s'abattent la cause de bien plus grands ravages que les coulées de lave elles-mêmes.

112. Matières projetées. — Les premiers matériaux solides lancés par les volcans proviennent des laves refroidies qui obstruaient la cheminée ou ont été arrachés au terrain fondamental de la profondeur; ce sont des scories et des quartiers de roches diverses. Ce n'est qu'ensuite qu'apparaissent les cendres.

Les scories ne sont autre chose que des fragments de laves cavernueuses, rudes au toucher; par suite du mouvement giratoire dont elles sont animées, elles prennent parfois une forme ovoïde, allongée, qui les fait ressembler à un fuseau fortement renflé; ce sont les *bombes volcaniques* ou *larmes du Vésuve* des Napolitains.

Les cendres ont la même composition que la lave; elles consistent en une poussière vitreuse, grise, d'une extrême ténuité, et proviennent de la pulvérisation de la lave encore fluide dont les particules, projetées par l'expansion des gaz, ont été soumises dans l'air à un refroidissement rapide.

Les matériaux rejetés par les volcans ne consistent pas seulement en blocs volumineux et en cendres impalpables; entre ces deux extrêmes on trouve tous les intermédiaires possibles. Quand les fragments ne dépassent pas la grosseur d'un pois ou d'une noix, on les appelle *lapilli*¹; quand ils sont encore plus petits, ce sont des *sables volcaniques*.

La force de projection des volcans est énorme. En 1799, les blocs lancés par le Vésuve restèrent de 20 à 25 secondes dans les airs et s'élevèrent à près de 4 kilomètres; on en vit retomber à 4 kilomètres du cratère. En 1822, des quartiers de rocs furent lancés par un des volcans de l'Islande à une distance de 41 kilomètres.

1. De l'italien *lapillo*, petit caillou.

113. Cendres. — Les cendres, qui sont très légères, peuvent être entraînées par les vents jusqu'à des distances beaucoup plus considérables encore, et c'est principalement aux nuages qu'elles forment qu'est due l'obscurité qui accompagne beaucoup d'éruptions volcaniques. Les cendres de l'Etna parviennent parfois jusqu'à l'île de Malte et on les a vues atteindre la côte d'Afrique. L'éruption survenue en Islande en 1875 fut accompagnée d'une pluie de cendres à Stockholm, à une distance de 4.900 kilomètres.

Elles ne retombent pas toujours sur le sol à l'état pulvérisé. Nous avons vu plus haut qu'elles sont souvent entraînées par les pluies qui les précipitent à l'état boueux. C'est ainsi qu'en l'an 79 Herculanium fut enseveli sous des torrents de boue, tandis que Pompéi périt sous une pluie de cendres sèches. En tombant lentement sur cette dernière ville, les cendres ont recouvert tous les objets, dont elles ont pris les empreintes avec une netteté extraordinaire et qu'elles ont garantis contre les influences atmosphériques ; aussi les habitations, les ustensiles de ménage, les vêtements, les parchemins, les peintures se sont-ils maintenus dans un parfait état de conservation, et il a suffi d'enlever avec précaution les matières meubles qui les ont protégés pendant tant de siècles pour faire revivre une civilisation disparue. Les cendres ont en outre atterri le littoral, comme le montre la situation de Pompéi qui est maintenant à plusieurs centaines de mètres de la mer, tandis qu'en 79 il était sur son rivage.

114. Importance de la première phase de l'éruption. — Le volume des matières rejetées par les volcans, dans cette première phase de l'éruption, est souvent prodigieux. L'une des plus fortes projections de cendres et de débris volcaniques est celle qui eut lieu en 1815 dans les Indes néerlandaises, au Temboro, et qui ensevelit complètement la ville du même nom. La mer était couverte d'une couche flottante de débris et, dans un rayon de 500 kilomètres autour de la montagne, l'épais nuage de cendres faisait nuit noire en plein midi. On a calculé que cette pluie s'était étendue sur un espace plus grand que la superficie de l'Allemagne et repré-

sentait un volume de plusieurs centaines de kilomètres cubes. Elle fit périr 12.000 personnes dans l'île de Sumbava où se trouve le volcan. L'île Lumbock, située à plus de 120 kilomètres de distance, fut recouverte d'une couche de plus de 0^m,60 de hauteur ; aussi toutes les récoltes y furent anéanties et 44.000 personnes moururent de faim.

L'éruption du Krakatoa (détroit de la Sonde), survenue en 1883, a projeté des masses de scories et de menus débris qui ont formé un véritable barrage à l'entrée du port de Telok, Betoung ; c'est une jetée flottante de 30 kilomètres de longueur sur 1 kilomètre de largeur, d'un volume de plus de 130 millions de mètres cubes. Les projectiles ont été lancés jusqu'à 40 kilomètres, si ce n'est toutefois le mouvement des vagues qui les a portés là. A la suite de cette éruption, le Krakatoa, qui avait 793 mètres d'altitude, s'est effondré et 7 îles nouvelles ont surgi. Les manifestations de la secousse se sont propagées très loin et l'on a entendu les détonations dans l'île de Ceylan, c'est-à-dire à plus de 2.000 kilomètres.

115. Émission de la lave. — Les phénomènes que nous venons de décrire sont quelquefois les seuls que produise l'action volcanique ; tel est le cas par exemple pour les volcans de Java qui ne donnent que des éruptions boueuses. Mais le plus souvent ces phénomènes ne sont pour ainsi dire que les préliminaires de l'éruption proprement dite, c'est-à-dire de l'émission de la lave.

La lave, une fois arrivée dans le cratère, bouillonne ordinairement à sa surface par suite du dégagement des gaz et de la vapeur d'eau mêlés à sa masse. Elle s'élève peu à peu, non sans quelques oscillations, puis il arrive un moment où, en vertu de sa pression hydrostatique, elle s'épanche au dehors en coulant soit par dessus les bords du cratère, soit par des fentes ouvertes sur le flanc du cône.

Ce dernier mode est le plus fréquent, surtout pour les grands volcans. Les fentes ainsi parcourues par les laves deviennent le siège d'explosions partielles qui donnent naissance à des accumulations coniques de débris, appelées *cratères* ou *cônes adventifs*. L'Etna présente 700 de ces cônes

parasites, et quelques-uns d'entre eux sont tellement éloignés du cratère principal que quelques géologues les considèrent comme alimentés par des cheminées spéciales.

Quand la lave sort directement du cratère, il est très rare qu'elle déborde sur tout son pourtour.

116. Caractères des laves. — La lave n'est pas une roche d'une composition bien définie. Ce qui la caractérise, c'est un état physique tout spécial, consistant dans une texture ordinairement cellulaire avec des traces d'étirement qui démontrent que la substance a coulé, et dans un mélange de minéraux cristallisés et de minéraux amorphes vitreux. Ces minéraux sont presque toujours des silicates basiques, qui varient non-seulement avec les volcans, mais encore pour les différentes coulées d'un volcan déterminé et même pour les différentes parties d'une coulée. En somme il faut considérer le mot de *lave* comme désignant simplement une roche en fusion.

117. Cheminement et solidification de la lave. — Au moment où elle sort du cône volcanique, la lave a une température très élevée, qui est susceptible de fondre le fer et qui ne doit pas s'éloigner beaucoup de 1.500°. Elle est alors très fluide et elle s'écoule à la manière d'un liquide, avec une vitesse assez considérable sur les reliefs inclinés, en s'accumulant derrière les obstacles qu'elle gravit quand elle est assez abondante, et en simulant de véritables cascades de feu sur les terrains accidentés.

Mais à mesure qu'elle s'éloigne de sa source, la lave en se refroidissant perd de sa fluidité. Vers 650°, elle commence à se solidifier en devenant de plus en plus épaisse et visqueuse, et l'on peut la comprimer dans des moules et en fabriquer ces médailles grossières que l'on vend à Naples.

Dans les coulées en mouvement, la solidification se fait d'abord par la surface. Il se forme des scories isolées qui, finissant par se souder, constituent une croûte flexible et peu résistante qui enveloppe la masse fluide tout entière comme d'une gaine. Cette croûte est fréquemment déchirée et déchiquetée par la lave qui continue à cheminer dans son intérieur

en la forçant à s'allonger ; parfois elle est bombée par des explosions de gaz qui donnent naissance à des monticules creux

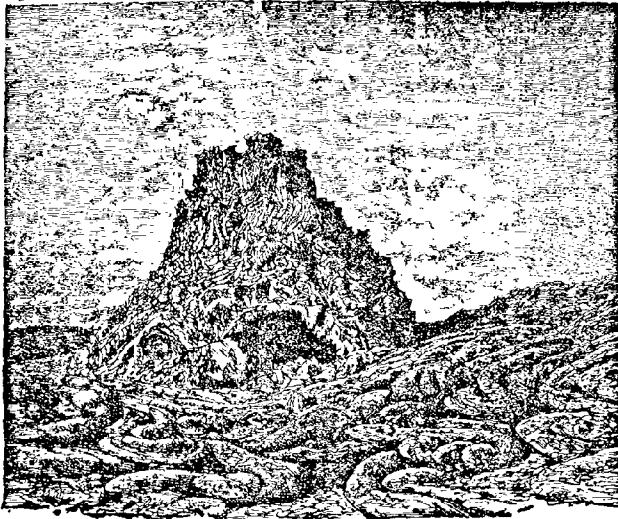


Fig. 28. -- Grotte de Rosemond, dans l'île de la Réunion (Velain).

en forme de pains de sucre comme ceux de l'île de la Réunion (fig. 28). Parfois la gaine se brise par le côté et alors le courant est dévié ; c'est ce procédé que réalisent les paysans siciliens en pratiquant des ouvertures latérales dans l'enveloppe solide pour détourner la lave de leurs villages.

La vitesse des coulées est extrêmement variable, car elle dépend de la pente du terrain, de la fluidité et de l'abondance de la lave. La plus grande vitesse qui ait été observée est celle de 8 mètres par seconde ; mais c'est dans un cas tout-à-fait exceptionnel et la lave s'avance en général assez lentement pour que l'homme et les animaux aient le temps de fuir devant elle. En 1822, une coulée du Vésuve n'a parcouru près de Resina que 1^m50 par heure ; une autre a mis deux années à faire un trajet de 2.800 mètres.

La haute température peut se maintenir très longtemps à l'intérieur des laves. Deux ans après l'éruption de 1832, la

lave de l'Etna dégageait encore une chaleur insupportable. La coulée de 1785 au Vésuve n'était pas entièrement refroidie au bout de 7 ans.

Malgré cette température élevée, la lave ne rayonne pas une grande quantité de chaleur ; celle-ci est conservée par la gaine de scories, très mauvaise conductrice du calorique. Aussi quand une coulée traverse une forêt, elle ne fait que brûler ou même simplement carboniser les arbres qu'elle atteint, tandis qu'elle respecte tous les autres. En 1787 la lave de l'Etna traversa un vaste champ de neige, fondant seulement celle qui l'avoisinait.

118. Coulées exceptionnelles. — Les coulées de lave peuvent atteindre des dimensions colossales. Le grand courant du Vésuve qui envahit en 1794 le village de Torre del Greco avait 4.200 mètres de longueur sur une largeur oscillant entre 100 et 400 mètres et une épaisseur de 8 à 10 mètres. La plus grande coulée qu'on ait observée dans les temps modernes est celle de 1855 et 1856 du Mauna-Loa, dans l'une des îles Sandwich : quelques mois après le commencement de l'éruption, elle avait 100 kilom. de longueur, 4.800 mètres de largeur moyenne et, en certains points, 100 mètres de hauteur.

119. Fumerolles. — Les laves en mouvement laissent constamment échapper de petits nuages de fumée auxquels on a donné le nom de *fumerolles* et qui sont constitués par des produits gazeux de diverses natures. Ces émanations, qui persistent jusqu'au refroidissement complet, ont été étudiées surtout par Ch. Sainte-Claire Deville ; elles sortent de la lave même dans laquelle elles étaient maintenues en combinaison grâce à la haute température de la masse.

L'ordre dans lequel elles se produisent est variable. Cependant les fumerolles qui apparaissent en premier lieu sont généralement les *fumerolles sèches*, consistant en chlorures anhydres de sodium, de potassium, de fer et de cuivre et en fluorures et sulfates alcalins ; on ne les observe que dans les volcans en activité, alors que la lave possède sa température

maxima. Viennent ensuite les *fumerolles acides*, qui se dégagent plus loin que les précédentes de la lave en fusion, et qui sont constituées par des mélanges d'acides chlorhydrique et sulfureux avec une très grande quantité de vapeur d'eau. Les *fumerolles alcalines*, qui succèdent aux fumerolles acides, sont composées essentiellement de chlorhydrate d'ammoniaque avec de la vapeur d'eau et de l'hydrogène sulfuré qui, en se décomposant, donne du soufre. Enfin les *fumerolles froides*, consistant en vapeur d'eau presque pure à une température inférieure à 100°, avec un peu d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré, et les *mofettes*¹, ou émanations d'acide carbonique, terminent la série et précèdent le refroidissement complet de la lave.

En outre des gaz que nous venons d'énumérer, les émanations volcaniques renferment fréquemment des gaz combustibles, tels que l'hydrogène et des hydrocarbures, et diverses substances qui se déposent après sublimation au voisinage des coulées, notamment du fer oligiste, ou peroxyde de fer, produit par la décomposition du chlorure de fer en présence de la vapeur d'eau, de l'acide borique, du réalgar, etc.

120. Fin de l'éruption. — Il arrive un moment où la lave cesse de se répandre au dehors ; elle se fige alors dans le cratère qu'elle obstrue. Mais si l'éruption proprement dite est finie, le volcan n'en continue pas moins à être le siège de phénomènes consécutifs qui sont comme les manifestations affaiblies de l'action volcanique et que nous étudierons plus tard sous les noms de geysers, solfatares, etc.

121. Régime des volcans. — Rien n'est plus variable que le régime des volcans. Tandis que les uns, et c'est le plus grand nombre, nous offrent des alternatives de paroxysmes violents et de repos relatifs de durées irrégulières, d'autres n'ont eu qu'une seule éruption, depuis laquelle ils continuent à se reposer ; ce sont les *volcans éteints*. D'autres, encore moins nombreux, sont en activité constante ; ce sont les *volcans permanents*.

1. De l'italien *mofetta*.

On ne peut formuler aucune règle générale; chaque volcan a son régime particulier. Aussi nous nous contenterons de choisir un exemple de chacun de ces trois types.

122. Vésuve. — En l'an 79, le Vésuve avait une configuration différente de celle d'aujourd'hui. D'après la description très précise qu'en a donnée Strabon, il se présentait sous la forme d'un cône creusé à son sommet d'une cavité hémisphérique à bords continus et couvert de pierres d'apparence calcinée. On l'appelait le Mont-Somma. C'était donc déjà un vol-



Fig. 29. — Vésuve du temps de Strabon.



Fig. 30. — Vésuve actuel.

can, mais on n'avait conservé aucun souvenir de ses éruptions, qui devaient être antérieures à la période romaine, et la sécurité était si grande que les parois du cratère s'étaient revêtues de villas, de prairies, de vignobles et de forêts. Lors de la guerre servile qui éclata en Campanie en 75, Spartacus était venu avec 10.000 esclaves se réfugier dans cette enceinte où il tint longtemps en échec les armées consulaires.

L'éruption terrible qui éclata en 79 fit naître un nouveau cône, le Vésuve proprement dit, dans l'ancien cratère, et toute la partie sud-ouest de celui-ci s'éboula sur les parties qui aboutissent à la mer. Pline-le-Jeune a relaté les circonstances de cette éruption dans une lettre célèbre adressée à Tacite, où il raconte la mort de son oncle Pline le naturaliste. Trois villes, Herculanium, Pompéi et Stabies, furent ensevelies sous une pluie de cendres et de boue qui sortirent par des crevasses transversales; il n'y eut pas de coulée de lave.

A partir de cette époque, le Vésuve eut à peu près une éruption de cendres par siècle; il ne vomit ses premières laves qu'en 1036. Après diverses intermittences, il sembla s'éteindre vers 1138 et resta à peu près en repos pendant cinq siècles. Dans cette longue période, son sommet s'était recou-

vert de belles forêts de chênes, d'érables et de châtaigniers, lorsqu'en 1631, eut lieu une violente éruption qui brûla Resina sous un torrent de lave.

Puis les éruptions se succédèrent à des intervalles assez rapprochés pour que le volcan ne soit guère demeuré en repos pendant plus de dix à quinze années consécutives. Elles ont en même temps perdu de leur intensité, et l'on peut dire d'une manière générale que les paroxysmes sont d'autant plus violents que les périodes de calme qui les précèdent sont plus longues.

Les dernières éruptions du Vésuve sont celles de 1882 et 1883 ; elles n'ont guère lancé que des fragments de lave pâteuse avec un petit courant sans importance.

On a remarqué qu'il existait une certaine corrélation entre les périodes de tranquillité du Vésuve et les crises des volcans voisins et inversement, ce qui indiquerait un déplacement de l'activité volcanique. Ainsi les éruptions sont fréquentes dans les Champs Phlégréens, situés entre Naples et Ischia, avant 79 et de 1138 à 1631 ; nous rappellerons que c'est dans cette dernière période que prit naissance le Monte-Nuovo. Au contraire, depuis 1631, les Champs Phlégréens sont restés complètement inactifs et réduits à l'état de solfatara.

123. Stromboli. — Le Stromboli est un petit volcan, situé dans l'une des îles Lipari, qui est muni d'un cratère de 725 mètres de diamètre. Depuis les temps d'Homère, la lave n'a cessé d'y bouillonner et on peut la voir alternativement monter et descendre d'environ 6 mètres toutes les six minutes. Quand elle est parvenue au point culminant de sa course, elle laisse échapper d'énormes bulles de gaz qui crèvent en projetant des cendres et des scories et produisant de vives lueurs. Ces lueurs sont en relation avec la pression atmosphérique, et le Stromboli est ainsi, pour les marins qui naviguent la nuit sur les mers voisines, un gigantesque baromètre dont les indications ne les trompent jamais.

124. Volcans éteints d'Auvergne. — Sur le plateau qui domine Clermont-Ferrand, s'alignent du nord au sud une

cinquantaine d'anciens cratères, dont la plupart sont d'une admirable conservation. Il semble que l'activité volcanique ait complètement abandonné cette région, car la tradition écrite

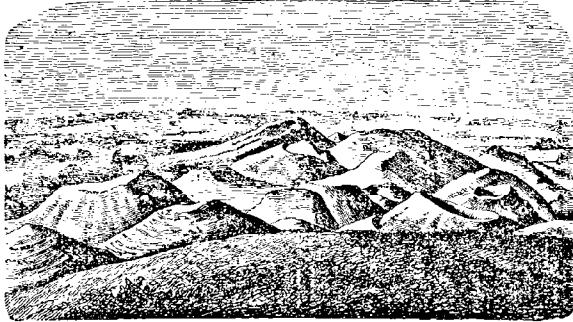


Fig. 31. — Volcans d'Auvergne.

ne nous a transmis le souvenir d'aucune éruption en Auvergne. Mais rien ne dit que ces volcans ne se rallumeront pas un jour ; le Vésuve se trouvait dans les mêmes conditions avant l'éruption de 79. Il n'y a donc pas en somme de distinction fondamentale à faire entre les volcans actifs et les volcans éteints.

125. Répartition géographique des volcans. — Quoique les volcans se trouvent sous toutes les latitudes et qu'il n'y ait guère de région de quelque étendue qui en soit dépourvue, ils obéissent dans leur disposition relative à certaines lois, comme nous allons le montrer en parcourant rapidement la carte du globe.

Région méditerranéenne. — Commençons par la Méditerranée, la région classique des volcans, celle où ils ont été le mieux étudiés. Ce sont l'Etna, qui s'élève sur la côte orientale de la Sicile à une hauteur de 3,400 mètres, dont le trait caractéristique est la grande crevasse du Val del Bove, et qui a comme cortège les nombreux petits volcans actifs ou éteints

des îles Lipari, dont l'un, le Stromboli, est en activité constante; le Vésuve, dont l'altitude est de 1.190 mètres, accompagné du volcan Epomeo dans l'île d'Ischia, des Champs Phlégréens, actuellement à l'état de solfatares, où Virgile place la scène de l'Énéide; les îles volcaniques de l'archipel grec, et notamment Santorin, qui émettent encore des vapeurs et qui, dans les temps historiques, ont eu quelques projections de scories.

Si l'on fait passer une ligne droite par Santorin et l'Étna et qu'on la prolonge à l'ouest, on tombe sur les Açores, dans l'Atlantique, qui comptent un grand nombre de bouches actives. C'est à cette ligne qu'Élie de Beaumont donnait le nom d'*axe volcanique méditerranéen*.

Islande. — L'Islande tout entière n'est pour ainsi dire qu'un immense volcan à nombreuses bouches; plusieurs d'entre elles, constamment recouvertes par un épais manteau de neige et de glace, ne se révèlent que par les fusions subites qu'elles déterminent. L'Hécla, le plus important des cônes volcaniques, a 1,654 mètres de hauteur; les autres volcans principaux sont disposés sur deux lignes parallèles qui traversent l'île du sud-ouest au nord-est. C'est dans la même direction que se trouvent les volcans de l'île Jean Mayen.

Côte d'Afrique. — Sur la côte d'Afrique, presque toutes les îles sont volcaniques: les îles Açores dont nous avons déjà parlé; les îles Canaries, où le pic de Ténériffe laisse sans interruption échapper d'épaisses vapeurs; les îles du cap Vert; l'île de l'Ascension, remarquable par les nombreuses bombes volcaniques que lance son cratère; l'île Sainte-Hélène, etc.

Océan Indien. — Dans l'Océan Indien, nous citerons les volcans de l'île de la Réunion, dont l'un est encore en activité; les îles volcaniques qui avoisinent la côte de Madagascar; les grands cratères éteints des environs d'Aden, sur les bords de la mer Rouge; ceux de l'Abyssinie qui, pour la plupart, étaient en éruption du temps des Ptolémées.

Océan Pacifique. — Mais c'est dans la région de l'Océan Pacifique que l'activité volcanique produit ses effets les plus intenses. Cette vaste mer est entourée d'un immense anneau de volcans qui forme comme une ceinture de feu.

Si nous partons de la pointe méridionale de l'Amérique, en Patagonie, nous observons d'abord de grands champs de lave, puis nous rencontrons les volcans du Chili, qui affectent une disposition si rectiligne, ceux de la Bolivie et du Pérou, parfaitement alignés également ; 23 de ces volcans sont encore en activité et s'élèvent jusqu'à 6.700 mètres d'altitude.

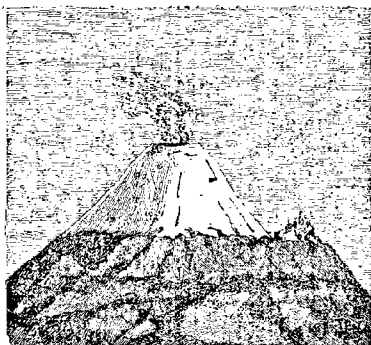


Fig. 32. — Cotopaxi.

La République de l'Équateur nous offre un groupe de 17 volcans : le Cotopaxi, haut de 5.960 mètres et toujours en activité ; le Sangay, situé sur le sommet de la Cordillère à 5.360 mètres, dont la première éruption remonte à 1728 et qui continue à émettre de vives lueurs. Tous ces volcans sont concentrés dans un espace elliptique dont le grand axe n'a pas 200 kilomètres.

Viennent ensuite les cratères de la Nouvelle-Grenade, ceux de l'isthme de Panama, le groupe mexicain dont la série linéaire s'étend de l'Océan Pacifique jusqu'au golfe du Mexique. Sur le littoral de l'Amérique du Nord, les bouches volcaniques sont un peu plus clairsemées ; elles se relient à celles de l'Asie par la traînée des îles volcaniques Aléoutiennes, dont les unes ont apparu subitement pour se développer graduellement, tandis que d'autres ont disparu sous les eaux après avoir été émergées seulement quelques années.

Les volcans du Kamtschatka et des îles Kouriles, dont une vingtaine en activité, font suite. La série se poursuit par le littoral du Japon avec le Fusi-Yama, haut de plus de 4.000 mè-

tres, dont la dernière éruption date de 1707, par l'île de Formose, par les Philippines qui possèdent dix volcans, par les Moluques, où le Gunung-Api est dans un état d'éruption presque continu et enfin par les îles de la Sonde, où se trouve le groupe volcanique le plus remarquable du globe par le nombre et les dimensions des bouches. Ces îles, avec les Moluques et les Philippines, comprennent plus de 400 volcans, dont la moitié en activité; 45 se trouvent dans la seule île de Java : l'un d'eux, le Tengger, a un cratère de plus de 9 kilomètres de diamètre avec plusieurs cônes éruptifs distincts.

Si nous continuons notre route, nous rencontrons les anciens cratères des îles Viti, puis les volcans encore fumants de la Nouvelle-Zélande, et enfin l'anneau se ferme au sud par les îles volcaniques Erebus, Terror et Shetland.

Au milieu de ce grand cercle de feu se montrent encore des îles semées de cratères, les îles Mariannes et les îles Sandwich. C'est dans l'une de ces dernières, Hawaï, que se trouve le Mauna-Loa, l'un des plus grands volcans du globe; son cratère, de forme elliptique, a près de 5 kilomètres de grand axe, une profondeur de plus de 300 mètres et il est toujours rempli de lave en fusion, agitée de mouvements oscillatoires.

Europe continentale. — Dans l'Europe continentale, il n'y a en dehors du Vésuve que des volcans éteints. L'homme a sans doute vu les éruptions de plusieurs d'entre eux, mais c'était l'homme préhistorique, qui ne nous a transmis aucune tradition écrite. Tels sont les volcans de l'Auvergne, du Velay et du Vivarais, en France; ceux de l'Eifel et des bords du Rhin, en Allemagne.

Asie centrale. — Le centre de l'Asie a aussi ses anciens volcans, au nombre desquels nous citerons ceux de la Mandchourie, qui ont fait éruption dans les deux derniers siècles.

126. Disposition relative des volcans. — Certaines parties du globe, affectionnées par l'action volcanique, sont, comme on voit, percées d'un grand nombre de bouches par lesquelles s'échappent de temps à autre la lave en fusion, les cendres, les scories, ou qui sont le siège de phénomènes consécutifs. On les a comparées, à juste titre, à de vieilles chau-

dières trouées. Le nombre total des volcans ainsi concentrés par places est de 720, dont plus de 300 ont donné depuis trois siècles des preuves d'activité.

Mais dans chaque région les volcans ne sont pas distribués au hasard. Ils se pressent autour d'un cône principal, ou bien ils affectent des directions déterminées ; souvent même ils s'alignent sur une même ligne droite. De plus, la grande majorité des volcans se trouvent au voisinage des mers, soit dans les îles, soit sur les bords des continents. Tels sont les faits saillants qui se dégagent de l'exposé qui précède ; nous verrons dans un instant quelles conclusions on peut en tirer.

127. Cause du volcanisme. — La cause du volcanisme est encore bien obscure. On a émis de nombreuses théories pour expliquer ce phénomène ; nous ne pouvons les exposer ici, et il nous suffira de dire que celles qui sont basées sur l'existence d'un noyau fluide sont seules conciliables avec les faits observés. C'est à cette matière fluide que s'alimentent les volcans ; c'est elle qui leur fournit les produits si variés qu'ils rejettent. Pour le montrer, nous sommes obligé d'anticiper un peu sur des notions que nous exposerons plus tard.

On conçoit que dans les anciens âges géologiques le noyau fluide, dont nous admettons l'existence, s'est contracté en se refroidissant plus rapidement que son enveloppe solide. Celle-ci, pour le suivre dans son mouvement, a été nécessairement

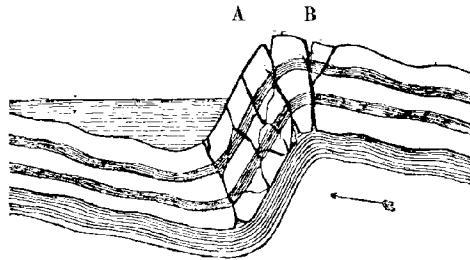


Fig. 33. — Origine des volcans.

obligée de se plisser, de se replier sur elle-même par places, à peu près à la manière d'une pomme qui se dessèche et se ride.

Il a pu ainsi se former en certains points une sorte de bourrelet, comme le montre la figure 33 ; d'un côté se trouve une saillie, de l'autre une dépression où se sont accumulées les eaux. L'observation directe démontre en effet que telle est la disposition réciproque des grandes saillies continentales et des dépressions océaniques ; les versants les plus abrupts plongeant toujours vers une profonde dépression, tandis que les moins raides s'abaissent vers une mer peu profonde.

Cela posé, il est facile de comprendre que la partie de l'écorce comprise entre les deux inflexions, ayant été la plus exposée aux efforts de refoulement, est en même temps la plus disloquée et la plus fissurée, et qu'en ces points il s'établit une communication plus ou moins directe entre la surface du globe et la masse interne. Cette déduction est entièrement d'accord avec le fait de la position des volcans dans le voisinage immédiat de la mer.

128. Explication de l'émission de la lave. — Maintenant comment peut-on se rendre compte de l'émission des laves dans les fissures et de leur jaillissement à la surface du sol ?

Les actions de refoulement qui ont courbé l'écorce terrestre doivent tendre à comprimer la masse fluide, en même temps que la partie affaissée, par son poids, exerce une pression qui concourt au même effet. Cordier a d'ailleurs calculé qu'un affaissement qui réduirait d'un millimètre seulement le diamètre du noyau interne ferait sortir au dehors une masse de 500 kilomètres cubes, ce qui dépasse de beaucoup la moyenne de 500 éruptions volcaniques réunies.

On est donc en droit d'admettre que la matière fondue s'élèvera dans les points où les fissures sont restées suffisamment ouvertes, et comme ces fissures sont situées de préférence dans la partie AB qui est la plus crevassée (fig. 33), c'est sur le versant tourné vers la mer que s'établiront surtout les cônes volcaniques, fait qui est d'accord avec l'observation. Comme les mouvements de l'écorce se produisent d'une manière inattendue, on s'explique ainsi les explosions brusques des volcans.

Quant aux fumerolles et autres vapeurs qui accompagnent les éruptions, elles proviennent de la masse interne qui, grâce à l'énorme pression à laquelle elle est soumise, contient en mélange intime une grande quantité de gaz empruntés à l'atmosphère primitive du globe. Cela n'a rien qui doive surprendre, si l'on se rappelle que, dans le phénomène connu des chimistes sous le nom de *rochage*, l'argent fondu dissout jusqu'à 22 fois son volume d'oxygène qu'il abandonne ensuite en se refroidissant.

129. Intervention de l'eau dans les phénomènes volcaniques. — L'eau joue dans les phénomènes volcaniques un rôle dont il est impossible de méconnaître l'importance. La lave en est comme saturée et les émissions de vapeurs humides persistent longtemps encore après l'éruption. On a évalué à plus de deux millions de mètres cubes le volume de l'eau rejetée par l'Etna seul pendant 100 jours en 1865.

De telles quantités d'eau ne peuvent exister normalement dans l'intérieur de la terre; il faut qu'elles proviennent de nappes superficielles ou des mers qui, par voie d'infiltration, arrivent jusqu'à la nappe fluide.

D'après plusieurs géologues, ce serait cette eau qui, attirée par la lave en fusion, se vaporiserait subitement à son contact et ferait jaillir cette dernière dans la cheminée volcanique. Ils invoquent à l'appui de cette théorie une expérience de M. Daurée, qui a fait passer au travers d'une plaque de grès poreux de deux centimètres d'épaisseur une mince couche d'eau, bien que sa face inférieure fût à la température de 160° et supportât une contre-pression de deux atmosphères. Ils font remarquer en outre que les produits gazeux dégagés par les volcans sont précisément ceux que donne l'évaporation ou la décomposition de l'eau de mer, acide chlorhydrique, chlorures alcalins, etc.

Mais cette manière de voir soulève de graves objections. Il faudrait en effet supposer à la vapeur d'eau une pression de plusieurs millions d'atmosphères et elle devrait toujours suivre, au lieu de la précéder, l'ascension de la lave. De plus on n'explique pas l'abondant dégagement d'acide carbonique, sur-

tout à la fin des éruptions. Enfin il existe quelques volcans très éloignés de la mer, comme le Popocatepetl (Mexique) qui en est à 245 kilomètres, le volcan de la Mandchourie à 900 kilomètres, les volcans d'Auvergne qui, à l'époque de leur activité, en étaient à 300 kilomètres.

130. Formation des montagnes volcaniques. — Il nous reste à dire quelques mots de la formation des montagnes volcaniques, à cause de la discussion célèbre qu'elle a soulevée dans la science.

Pour les géologues de l'école de de Buch et de Humboldt, les grands cônes volcaniques résultent d'un soulèvement du sol, opéré par une poussée verticale agissant de bas en haut. Le terrain s'est d'abord tuméfié, puis rompu en s'étoilant à partir du sommet et donnant naissance à un abîme cratéri-forme, d'où le nom de *cratère de soulèvement*. C'est au centre de cet abîme que s'est formé un cône plus petit à l'aide de débris rejetés par le volcan. Ainsi la Somma serait un cratère de soulèvement dont les parois entourent le cône actuel du Vésuve.

L'observation directe ne fournit aucune preuve décisive en faveur de cette théorie et l'on n'a constaté nettement nulle part les fentes étoilées qui devraient exister sur les bords des grands cratères. En réalité, les montagnes volcaniques sont entièrement constituées par des débris ou par des tufs provenant de la consolidation de matières boueuses, plus rarement par des laves.

Il existe cependant des volcans sans cône. Ce sont de vastes effondrements constituant à la surface du sol de brusques dépressions à bords très raides, ou même verticaux, comme si elles avaient été entaillées à l'emporte-pièce. Le lac Pavin, en Auvergne, occupe une de ces dépressions.

La formation de ces cratères doit vraisemblablement être attribuée à l'explosion de masses gazeuses momentanément comprimées; aussi on leur a donné le nom de *cratères d'explosion*.

Les faits d'explosion subites ne sont pas rares d'ailleurs dans les éruptions volcaniques. C'est ainsi que s'est terminée celle du Krakatoa en 1883.

§ V

PHÉNOMÈNES GEYSÉRIENS.

131. — Longtemps après que l'émission de la lave a pris fin, il continue à se produire dans les régions volcaniques, ainsi que nous l'avons déjà dit, tout un ensemble de phénomènes consistant surtout dans des émissions de vapeurs ou des sources bouillantes. Ce sont les dernières manifestations de l'activité volcanique ; quelques-unes peuvent à la vérité se présenter dans des régions où il n'y a pas de volcans proprement dits, mais elles n'en sont pas moins intimement liées au volcanisme.

Ces phénomènes sont appelés *geysériens*, du nom du principal d'entre eux.

132. Geysers. — Les *geysers*¹ sont de véritables volcans d'eau ayant des éruptions intermittentes. Les plus anciennement connus existent en Islande, où l'on en compte une centaine dans un rayon de 300 mètres, à 44 kilomètres au N. O. du volcan de l'Hécla.

Ils possèdent tous un cône très surbaissé supportant un large bassin circulaire, au centre duquel débouche la cheminée par laquelle arrive l'eau. Ce cône est formé par des concrétions d'une variété particulière de silice hydratée, à laquelle les minéralogistes donnent le nom de *geysérite*, à cause de son origine, et qui recouvre aussi le pays sur une grande étendue.

Les geysers firent leur apparition vers 1294, à la suite d'une de ces éruptions si fréquentes en Islande. Leur activité s'est graduellement calmée depuis cette époque, et il n'en reste plus qu'un petit nombre qui jaillissent spontanément. Le *Grand geyser*, qui est le plus important, jaillissait en 1814

1. Du mot islandais *geysir*, furieux.

toutes les six heures ; en 1872, deux fois par semaine ; actuellement il n'a plus qu'une éruption par semaine, et encore fort irrégulièrement.

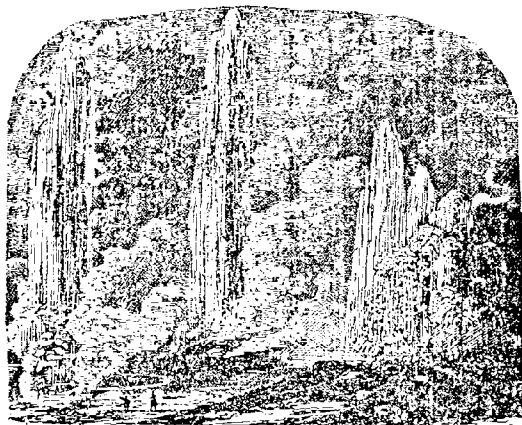


Fig. 34. — Geysers d'Islande (d'après Beudant).

Heureusement pour les touristes, un geyser voisin, le Strokkur, jaillit à volonté. Le conduit, qui a 1^m,50 de diamètre, est, à son origine, incrusté de silice ; d'habitude, l'eau n'atteint pas le niveau du sol et l'on aperçoit, à 2 mètres de profondeur, une écume mouvante agitée par des jets de vapeur ou de gaz qui produisent de perpétuels mugissements ; mais il suffit de jeter dans ce conduit une certaine quantité de terre pour qu'au bout d'un temps variable le Strokkur vomisse, avec redoublement de mugissements, des jets d'eau sale de 20 mètres de hauteur. Le phénomène se reproduit plusieurs fois à quelques minutes d'intervalle.

L'eau du grand geyser est projetée jusqu'à une hauteur de 30 à 50 mètres. Sa température, qui est de 76 à 89° dans le bassin, s'élève jusqu'à 123° à une profondeur de 22^m,50. La silice qu'elle dépose n'y est pas contenue à l'état de dissolution, comme on le croit généralement ; il résulte des recherches de M. Damour que cette eau est très chargée de silicates alcalins, qu'elle a enlevés aux roches volcaniques traversées, et que la silice est mise en liberté par l'action chimique exer-

cée sur les silicates par les vapeurs sulfureuses et chlorhydriques que dégage le geysier. Ce qui montre bien d'ailleurs que la précipitation de la silice n'est pas due à l'évaporation, c'est que si l'on recueille l'eau dans un vase au moment où elle commence à se refroidir, il ne se forme aucun dépôt.

Dans la Nouvelle-Zélande, les phénomènes geysériens sont encore plus intenses qu'en Islande. On compte les geysers par milliers dans l'île septentrionale, et plusieurs de ces sources intermittentes donnent une rivière d'eau bouillante coulant sur des terrasses siliceuses superposées, qu'elle a construites elle-même à l'aide des substances qu'elle tenait en dissolution.¹

Près des sources du Mississippi et du Yellowstone, dans le Parc national des Américains, les manifestations geysériennes dépassent tout ce que l'on peut imaginer. Là il n'y a pas moins de 10.000 bouches, dont plusieurs, en activité continue, lancent des gerbes à plus de 100 mètres de hauteur. Ces sources ne déposent pas seulement de la silice, mais aussi du carbonate de chaux, du carbonate de soude, de l'oxyde de fer, etc.

133. Explication du phénomène geysérien. — L'explication la plus rationnelle du phénomène geysérien est celle qui a été donnée par le physicien anglais Tyndall et qui est basée sur l'expérience suivante.

Prenons un tube de fer assez long, fermé à sa base et aboutissant par l'autre extrémité dans un petit bassin rempli d'eau (fig. 33). Si l'on chauffe ce tube à la fois à sa base A et dans sa partie moyenne B, l'eau, portée à une haute température en ce



Fig. 33.
Appareil
de Tyndall.

dernier point, se résout rapidement en vapeur, soulève celle qui la surmonte quand elle a acquis une tension suffisante, et on voit se produire une gerbe bouillante, qui se renouvelle à intervalles réguliers.

On peut admettre que cette expérience réalise les conditions des geysers. Le tube de fer représente la cheminée ; le bassin est le cratère, et la chaleur artificielle remplace celle qui est donnée par des

1. Cette île a été récemment bouleversée par de violents tremblements de terre qui ont modifié le régime des geysers.

gaz chauds issus de l'intérieur et venant, à l'aide de fissures, échauffer les parois de la cheminée en des points déterminés.

134. Solfatares. — Les *solfatares* ou *souffrières* se rencontrent exclusivement dans les pays volcaniques. Ce sont en général d'anciens cratères qui n'émettent plus que des vapeurs, principalement sulfureuses. Il s'y accumule souvent de grandes quantités de soufre, que l'on exploite industriellement et qui résulte de la décomposition de l'hydrogène sulfuré. Dans certains cas, les produits sulfureux s'oxydent au contact de l'air et se changent en acide sulfureux ou en acide sulfurique qui, réagissant sur les roches en contact, y forme des incrustations de gypse et d'alun.

La solfatare la plus célèbre est celle de Pouzzoles, près de Naples. C'est un cratère, de près d'un kilomètre de diamètre, qui émit ses dernières laves en 1198, et par les crevasses duquel s'échappent constamment de la vapeur d'eau, de l'acide sulfureux et de l'hydrogène sulfuré; mais le débit de ces gaz tend à diminuer et ils sont remplacés peu à peu par l'acide carbonique.

Près du volcan de Paracé (Amérique méridionale), l'acide sulfurique suinte des roches avec une telle abondance que les eaux d'une rivière dans laquelle il s'écoule en contiennent plus d'un gramme par litre. Cette rivière, appelée *Rio Vinagre* à cause de cette circonstance, ne peut naturellement nourrir aucun poisson.

135. Soufflards. — Les *soufflards* ou *suffioni* sont des jets permanents de vapeur d'eau, qui présentent une grande analogie avec les geysers, mais qui peuvent se produire dans des régions éloignées de tout volcan actif. Il en existe notamment dans les Maremmes de la Toscane, où on les voit réunis par 10 ou 30 à la fois, formant des colonnes blanches de 10 à 20 mètres de hauteur, à Monte-Cerboli, Castel-Nuovo et Monte-Rotondo. L'eau résultant de la condensation de la vapeur se déverse dans des bassins appelés *lagoni*; elle renferme de l'acide borique, qui alimente une exploitation assez importante et pour l'extraction duquel on utilise la chaleur des soufflards;

il se forme aussi dans le voisinage des dépôts de soufre et de gypse. Telle est en particulier l'origine de l'albâtre gypseux de Volterra.

136. Sources bitumineuses. — Des hydrocarbures de diverse nature, auxquels on donne le nom générique de *bitume*, sont rejetés hors du sol dans un grand nombre de contrées. Ces sources bitumineuses se rencontrent en Auvergne, en Italie, en Grèce, sur les bords de la mer Caspienne, etc. Celles de Zante, dans les îles Ioniennes, sont au nombre des plus productives ; Hérodote en fait mention et on a calculé que, depuis l'époque à laquelle vivait cet historien, elles ont fourni 23 millions de livres d'huile minérale. Parfois elles jaillissent au fond des lacs ou des mers ; tel est le cas pour la mer Morte, à la surface de laquelle vient surnager le bitume.

Mais toutes ces sources naturelles ne sont rien à côté de celles que l'on a découvertes vers 1860 dans l'Amérique du Nord. Certaines régions, notamment le haut Canada, l'État de New-York, la Pensylvanie, la Virginie, sont pour ainsi imprégnées de pétrole en profondeur ; l'huile minérale, emmagasinée dans des fissures ou des crevasses, sort parfois de terre en bouillonnant et formant des espèces d'étangs naturels. Pour exploiter ce riche gisement, on se contente de creuser des puits qui donnent issue au pétrole. En Pensylvanie il existe de ces puits dont le débit journalier dépasse 220.000 litres d'huile.

Des hydrocarbures gazeux accompagnent souvent les hydrocarbures solides. En Chine, dans le pays de Szutschuan, il suffit de faire un forage pour obtenir du bitume et des gaz inflammables, en même temps que de l'eau salée, pour l'évaporation de laquelle on a ainsi sous la main la chaleur nécessaire.

Près de Nyons (Drôme), à Châtillon (Haute-Savoie), le sol laisse dégager de l'hydrogène carboné que l'on utilise pour l'éclairage.

Il peut sembler extraordinaire au premier abord de rattacher les dégagements de bitume aux phénomènes volcaniques. Cette manière de voir, qui a été longtemps combattue par la majorité des géologues, s'est surtout accréditée dans la science

depuis que M. Berthelot a montré que l'on peut fabriquer des composés hydrocarburés, entre autres l'acétylène, en combinant directement le carbone et l'hydrogène. Nous ferons remarquer d'ailleurs que les sources bitumineuses, quand elles ne sont pas dans le voisinage immédiat des volcans comme en Auvergne, sont situées de préférence dans des contrées disloquées et qu'elles sont en rapport avec les grandes fractures du sol; telles sont celles des États-Unis d'Amérique qui, en grand, sont alignées parallèlement aux monts Alleghans.

Mais hâtons-nous de dire que tous les bitumes n'ont pas une semblable origine, et que ceux qui imprègnent certaines roches paraissent incontestablement dus à une décomposition de matières organiques.

137. Salses. — On donne le nom de *Salses*¹ ou *volcans boueux* à des cônes de dimensions relativement restreintes formés par l'accumulation de boues que des gaz souterrains, con-



Fig. 36. — Salses de Carthagène, d'après Beudant.

sistant surtout en carbures d'hydrogène, amènent au jour. L'eau dans laquelle la boue se trouve délayée renferme presque toujours du sel marin; parfois elle est chargée de gouttelettes de naphte ou de pétrole.

1. Parce qu'elles donnent souvent des matières salines.

Le phénomène des salses se manifeste dans les contrées où se produisent les dégagements hydrocarburés, ce qui met hors de contestation la relation qui existe entre eux.

Il y a des salses sur les bords de la mer Caspienne, en Crimée, dans la province de Carthagène, dans la Nouvelle-Grenade, etc. Celles de Bakou se distinguent par la présence d'une forte proportion de gaz combustible, qu'on emploie au chauffage et à l'éclairage; elles donnent également une grande quantité de pétrole, que l'on exploite pour les besoins de l'industrie et dont la production en 1884 a dépassé 800.000 tonnes.

138. Mofettes. — C'est surtout dans les régions volcaniques que les dégagements d'acide carbonique, ou *mofettes*, sont abondants, et ils persistent encore très longtemps après la fin des éruptions. Tout le monde connaît la grotte du Chien, près de Naples, où le gaz qui sort des fissures du terrain vient former, en vertu de sa densité, une couche irrespirable sur le sol. En Auvergne les émanations carboniques se rencontrent à chaque pas et le sol en est souvent comme imbibé; beaucoup de caves des environs de Clermont sont même envahies par l'acide carbonique, pour peu que la pression atmosphérique diminue, et peuvent ainsi jusqu'à un certain point jouer le rôle de baromètre; à Chatel-Guyon, où il y a des eaux minérales très chargées d'acide carbonique, il est impossible d'établir aucune cave. A Java, dans un lieu dit *Vallée de la Mort*, l'acide carbonique se dégage avec une telle abondance que le sol est jonché des cadavres des animaux qui s'y sont laissé surprendre.

L'industrie peut tirer parti de ces dégagements gazeux. Un forage pratiqué en 1883 près de Burgbrohl sur le Rhin, à une profondeur de 52 mètres, donne un débit normal journalier de 2.160 mètres cubes d'acide carbonique qu'on liquéfie dans un compresseur. Le produit est utilisé dans les grandes usines Krupp, à Essen, pour la compression de l'acier; on s'en sert également pour la conservation de la bière, la fabrication de l'eau de Seltz, la mise en train des pompes à incendie, etc.

§ VI

TREMBLEMENTS DE TERRE.

139. — La terre que nous foulons sous nos pieds est loin d'être l'image de la stabilité. Elle est agitée par des ébranlements d'une intensité très variable auxquels on donne le nom de *tremblements de terre*, ou de mouvements *séismiques* ou *sismiques*.¹ Tantôt ce sont des vibrations très légères qu'on peut comparer au frissonnement du corps humain et qui ne se révèlent souvent qu'à l'aide d'appareils très délicats, par une sorte d'auscultation ; ces mouvements, qu'on pourrait appeler *microséismiques*,² sont les *tremblores* des Américains du Sud. Tantôt ce sont des oscillations violentes qui produisent des bouleversements effroyables.

Ces derniers phénomènes ne sont pas exceptionnels, comme on serait tenté de le croire au premier abord ; le nombre en est au contraire extrêmement considérable. De 1850 à 1857, on en a relevé 4.620 pour toute la surface du globe. Depuis le commencement de ce siècle jusqu'en 1845, il s'en est produit 559 dans le bassin du Rhin seul ; l'Amérique du Sud est visitée encore bien plus souvent par ce terrible fléau. Si l'on ajoute à ces secousses brusques les tremblores, on peut affirmer que la terre est dans un état perpétuel d'ébranlement sur un point ou sur un autre de sa surface.

140. Tremblements de terre récents. — Il faudrait des volumes pour décrire tous les tremblements de terre dont l'histoire a conservé le souvenir. Nous nous contenterons de faire une revue rapide de ceux qui sont arrivés dans ces six dernières années et qui sembleraient indiquer une recrudescence dans l'activité des forces souterraines.

Le 3 avril 1881, l'île de Chio, déjà secouée fortement les

1. De σεισμος, ébranlement.

2. De μικρος, petit.

années précédentes, fut en grande partie bouleversée par une violente trépidation qui fut suivie, à de courts intervalles, de plusieurs autres non moins violentes. La ville de Chio et une quarantaine de bourgs ou villages furent détruits ; 9.000 victimes furent ensevelies sous les décombres des maisons. Pendant un an les agitations du sol continuèrent avec des intervalles de courte durée.

Le 28 juillet 1883 un désastre semblable atteignait l'île volcanique d'Ischia. C'était une sorte de sauttillement d'une grande énergie, avec accompagnement d'un mugissement épouvantable, auquel succéda un mouvement ondulatoire. En 16 secondes la ville de Casamicciola et le village de Lacco-Ameno étaient comme rasés au niveau du sol. Ce tremblement de terre était localisé sur un espace bien plus circonscrit que le précédent.

L'émotion causée par ces effroyables événements n'était pas encore calmée que les 26, 27 et 28 août suivants, une formidable explosion survenait dans une autre île volcanique, celle de Krakatoa, près Java. Le sol s'écroulait sur une grande étendue et des montagnes disparaissaient sous la mer dont les vagues se propagèrent jusqu'en France. Il se produisit en même temps des vagues aériennes qui firent en deux sens opposés le tour du globe. Plus de 30.000 personnes périrent, autant, il faut le dire, par les conséquences des phénomènes volcaniques eux-mêmes que du tremblement de terre qui les suivait. On entendit des mugissements jusqu'à plus de 3.000 kilomètres de distance.

Puis ce fut le tour de l'Andalousie. Le 22 décembre 1884, un choc avant-coureur se faisait ressentir sur les côtes occidentales de l'Espagne et du Portugal. Le 25, toute la partie méridionale de l'Andalousie fut si fortement ébranlée qu'en moins de 10 secondes une vingtaine de villes ou villages furent presque entièrement détruits et 36 autres ravagés. L'espace ainsi atteint avait une longueur maxima de 60 kilomètres ; mais on éprouva des secousses bien plus loin, jusqu'au delà de Madrid vers le nord et de Séville vers l'ouest. Les chocs continuèrent à se produire encore longtemps, causant chaque fois de nouvelles ruines.

L'année 1886 a été féconde en tremblements de terre, qui heureusement ont coûté moins de vies humaines que ceux que nous venons de rappeler. Le 9 juin, la Nouvelle-Zélande, dans la région du lac Auckland, était ravagée par de violents ébranlements, précurseurs d'une éruption volcanique. Peu de temps après le bassin méditerranéen était secoué dans une zone étendue, surtout en Grèce. Bientôt l'Amérique du nord était le théâtre de convulsions répétées du sol.

Nous allons maintenant rechercher quels sont les caractères communs à tous ces redoutables phénomènes et tâcher d'en découvrir les causes.

141. Nature des secousses. — Les secousses peuvent se produire verticalement de bas en haut, ou bien horizontalement en se propageant suivant une ligne droite ou autour d'un centre à la manière des ondulations que l'on observe sur une surface liquide.

Quand les forces souterraines agissent verticalement, le sol se comporte comme une mine qui fait explosion. En 1783, dans le tremblement de terre de la Calabre, des maisons furent projetées en l'air, les sommets de quelques montagnes s'effondrèrent et le relief du sol fut notablement modifié. En 1797, à Rio-Bamba (Colombie), les cadavres de plusieurs personnes furent lancés sur une colline de plus de 100 mètres de hauteur.

Les secousses horizontales sont bien plus fréquentes. Les mouvements ondulatoires qui les accompagnent sont mis hors de doute par l'inclinaison que prennent les monuments sans être renversés, par la direction des crevasses des murailles, par l'inflexion que subissent des allées d'arbres rectilignes. Dans l'île Majorque on a vu une tour dont la base, à la suite d'un tremblement de terre, a tourné d'un angle de 60°, tandis que la partie supérieure était demeurée immobile. L'observation des crevasses qui se produisent souvent dans le sol vient encore démontrer cette translation des trépidations autour d'un point situé à une certaine profondeur au-dessous de la surface du sol.

Les deux modes d'ébranlement s'associent souvent entre

eux et se succèdent avec une si grande rapidité que le sol semble emprunter l'état liquide et se comporter comme une mer dont les vagues se heurtent en tous sens.

142. Séismographes. — Pour constater avec précision les diverses circonstances de la production de ces mouvements, on se sert d'appareils variés qu'on appelle des *séismographes*.

L'un des plus anciens est celui de Cacciatore. Il consiste en un vase cylindrique rempli de mercure jusqu'à un niveau déterminé, au-dessus duquel la paroi est percée de huit trous égaux dont les bords inférieurs rasant la surface du liquide. Qu'une secousse vienne à se produire, on juge de son intensité par le poids du mercure répandu et de sa direction par le trou qui a laissé échapper ce mercure.

On peut encore se servir d'un pendule libre d'osciller dans toutes les directions et dont la pointe entre dans une couche de sable; la trace laissée sur le sable indique le sens du mouvement.

On détermine l'heure du choc à l'aide d'horloges disposées de telle sorte qu'elles s'arrêtent sous la plus légère impulsion.

Des appareils encore plus délicats permettent de constater les plus imperceptibles agitations de la surface. Tel est celui qui a été imaginé par M. d'Abadie et au moyen duquel, en examinant un bain de mercure, on découvre de très légères déviations de la verticale.

Dans l'observation de ces mouvements microséismiques, il ne faut pas oublier que des trépidations artificielles, d'une intensité comparable ou même plus grande, peuvent se produire dans le sol. Telles sont celles qui sont déterminées par le roulement des voitures, par le passage des trains susceptibles de transmettre des vibrations à plus de 4.500 mètres de distance, etc.

143. Succession des secousses. — La durée des chocs est ordinairement très courte, une ou deux secondes, ou même une fraction de seconde; les mouvements ondulatoires se pro-

longent plus longtemps, ainsi qu'il est facile de le comprendre. Rarement un tremblement de terre est limité à une seule secousse ; il y en a presque toujours plusieurs qui se succèdent à de courts intervalles.

Les tremblements les plus dévastateurs sont instantanés. Lisbonne, en 1755, fut détruite en 5 minutes et 60.000 personnes périrent. A Casamicciola, le 28 juillet 1883, il a suffi de 16 secondes pour renverser 1.200 maisons et causer la mort de 2.300 personnes. Pendant le tremblement de terre de 1873, qui fit tant de ravages dans le nord de l'Italie, on compta à Venise 14 oscillations qui se manifestèrent à des intervalles réguliers d'une seconde et qui furent suivies de quelques commotions plus faibles.

D'autres fois les mouvements se succèdent à des intervalles assez rapprochés, pendant des mois et même des années. Le tremblement de terre qui a duré le plus longtemps est celui de la Calabre ; de 1783 à la fin de 1786 le sol fut ébranlé presque quotidiennement, et pendant la seule année 1783 Pignatore éprouva 942 secousses.

144. Bruits souterrains. — Les secousses sont souvent accompagnées de bruits que l'on a comparés tantôt à un tonnerre lointain ou à des détonations d'artillerie, tantôt à un roulement de voiture fortement chargée sur un pavé ou même à des mugissements souterrains. L'intensité de ces bruits n'est nullement en rapport avec celle de l'agitation. Ainsi le grand tremblement de terre de Rio-Bamba se fit en silence. Il y a par contre des rumeurs souterraines complètement indépendantes des secousses ; tels sont les mugissements qui se succédèrent à Guanaxuato (Mexique) en 1784 et qui épouvantèrent tellement les habitants qu'ils s'enfuirent de la ville.

145. Propagation de l'onde sismique. — Dans les contrées ébranlées, il y a généralement une région, de superficie assez restreinte, où le mouvement a été particulièrement énergique. Cette région, qui paraît correspondre au centre d'impulsion placé dans la profondeur, a reçu le nom d'*épicentre*. C'est là que les chocs se font surtout ressentir et c'est de là que

se propagent les ébranlements à la manière des ondes sonores, ainsi que l'a fait remarquer depuis longtemps Gay-Lussac.

La vitesse de propagation d'une de ces ondes, qu'on peut appeler *ondes séismiques*, est mesurée par le temps qui s'écoule entre les moments où se manifeste une même commotion dans des localités éloignées. On comprend combien la mesure en est incertaine, à cause de la difficulté qu'éprouvent à constater, à quelques secondes près, l'heure d'un phénomène des observateurs qui ne sont pas sur leurs gardes, et aussi de l'impossibilité de distinguer les unes des autres des secousses successives.

D'après les observations faites, cette vitesse varie entre 100 et 1.000 mètres par seconde. Elle est en général d'autant plus grande que la secousse initiale a été plus forte et elle décroît à mesure que l'onde s'éloigne de l'origine.

L'onde séismique n'est d'ailleurs pas circulaire ; elle est modifiée dans sa forme par la nature des terrains, qui ne transmettent pas tous les vibrations avec la même vitesse, par les accidents qui peuvent s'y rencontrer, tels que fissures, cavernes, chaînes de montagnes, etc.

L'influence des chaînes de montagnes est particulièrement frappante et on a remarqué depuis longtemps que les ondes d'ébranlement, au lieu de les franchir, les suivent de préférence, tant à cause de leur masse que des grandes cassures longitudinales qu'elles présentent. Dans les grands tremblements de terre de 1783 et de 1876, les Apennins ont fait l'office d'un mur de protection pour les provinces orientales de l'Italie, qui étaient complètement à l'abri tandis que l'autre côté de la chaîne était violemment secoué. Les Andes forment un barrage naturel, rarement franchi par les tremblements de terre qui prennent naissance sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud.

Dans le dernier tremblement de terre de l'Andalousie, les secousses se sont propagées parallèlement aux crêtes montagneuses du pays en même temps qu'aux failles nombreuses qui les découpent.

146. Foyer initial. — Le centre d'impulsion ou foyer

initial d'un tremblement de terre n'est pas situé à une grande distance sous la surface du sol, relativement aux dimensions du globe. Cette profondeur ne paraît pas dépasser généralement une quinzaine de kilomètres ; exceptionnellement elle atteint 48 kilomètres. Voici l'un des procédés à l'aide desquels on peut arriver à la déterminer.

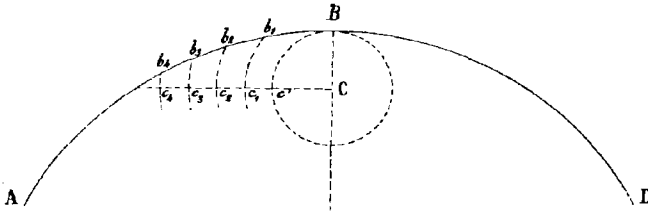


Fig. 37. — Détermination du foyer initial d'un tremblement de terre.

Soit ABD un arc de grand cercle du globe (fig. 37) et supposons que le centre initial d'impulsion soit situé en C . Le point B , placé immédiatement au-dessus, sera le premier atteint à la surface par l'onde d'ébranlement, puisque c'est celui qui en est le plus rapproché ; ce sera l'épicentre. Après des intervalles de temps égaux, l'onde se transportera successivement de Bc' en b_1c_1 , b_2c_2 , b_3c_3 , etc., de telle sorte que les distances $c'e_1$, c_1c_2 , c_2c_3 , etc., soient égales. Il est facile de voir qu'à la surface les arcs Bb_1 , b_1b_2 , b_2b_3 , etc., vont en diminuant de longueur et que cette décroissance est d'autant plus forte que le point C est plus éloigné du sol. Or l'observation montre qu'à partir de l'épicentre B , la vitesse de propagation des tremblements de terre ne diminue qu'avec lenteur. On peut donc en conclure que le point C n'est pas à une grande profondeur. Le calcul, appliqué à plusieurs tremblements de terre dont la vitesse de translation de l'onde sismique a été mesurée avec soin, montre que BC varie de 48 à 48 kilomètres.

Mais si cette méthode est irréprochable au point de vue théorique, elle est d'une application très délicate, puisque, ainsi qu'on l'a vu plus haut, la constatation de l'heure à laquelle se produit un ébranlement est sujette à erreur et que la nature et la structure des massifs traversés par une onde sismique influent sur la vitesse de propagation.

117. Surface ébranlée. — Il n'y a rien de plus variable que l'étendue de la surface affectée par un même tremblement de terre. Celui qui ravagea la Calabre en 1783 rayonna seulement à 40 ou 50 kilomètres, tandis que celui qui détruisit Lisbonne en 1755 s'étendit d'une part jusqu'en Laponie, de l'autre jusqu'à la Martinique, et au travers de cette direction entre le Groënland et le Maroc, sur $\frac{1}{13}$ environ de la surface terrestre.

Les mouvements sont d'ailleurs très inégalement sensibles dans la surface ébranlée. Certains points peuvent même rester complètement immobiles.

118. Effets sur le sol. — Sous l'action des trépidations violentes qui l'agitent, le sol subit fréquemment d'importantes modifications. Ainsi il peut se former de grandes crevasses, qui restent béantes ou se referment après avoir englouti tout ce qui se trouvait à la surface. Lors du tremblement de terre de Lisbonne, une fissure gigantesque s'entrouvrit sous les eaux, et la digue, sur laquelle une partie de la population avait cherché un refuge, disparut dans le gouffre béant. En 1783, on vit se former en Calabre des lézardes sur plus de 30 kilomètres de longueur.

Dans la plupart des tremblements de terre, le sol, momentanément déplacé, reprend sa position primitive et son ancien aspect. Mais il n'en est pas toujours ainsi et l'on trouve d'assez nombreux cas de soulèvements et surtout d'affaissements permanents.

Lors du tremblement de terre de la Jamaïque en 1692, une partie du territoire de Port-Royal disparut sous les eaux. En Calabre, un assez grand nombre de stations nautiques, indiquées sur les anciennes cartes, n'existent plus. L'un des affaissements les plus remarquables que l'on puisse citer est celui qui, à la suite du tremblement de terre de 1819, affecta le delta de l'Indus et les contrées voisines ; une surface de près de 4.000 kilomètres carrés fut ensevelie sous les eaux de la mer et il se forma en même temps un grand pli de terrain, sorte de plateau déprimé de 50 kilomètres de longueur sur 25 kilomètres de largeur et 3 mètres de hauteur ; ces évène-

ments coïncidèrent avec une éruption du volcan de Denodur, situé dans le pays de Kutch.

Les tremblements de terre qui ont eu lieu sur les côtes du Chili en 1822, 1835 et 1837 ont élevé au-dessus des eaux diverses parties du littoral et plusieurs îles voisines, sur une longueur de plus de 800 kilomètres. L'amplitude verticale de ce mouvement a varié de 1^m,00 à 3^m,50. Il y avait déjà eu auparavant dans les mêmes régions des soulèvements plus importants, sur lesquels on ne possède à la vérité aucun témoignage écrit, mais qui sont attestés par les traces des anciennes lignes de rivage.

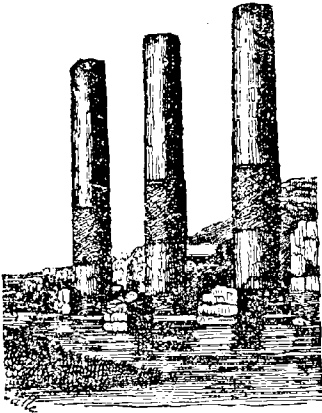


Fig. 38. — Temple de Sérapis.

Nous ne pouvons omettre de rappeler ici l'exemple classique du temple de Sérapis, qui a eu à subir deux mouvements verticaux en sens contraire. Au milieu des ruines de ce temple, qui est situé près de Pouzzoles, au-dessous de la villa de Cicéron, se dressent encore trois colonnes monolithes en marbre de 13 mètres chacune de hauteur, que l'on a dégagées des cendres volcaniques qui les entouraient. Leur surface, à la partie inférieure, est unie et intacte jusqu'à 4 mètres de haut; puis, sur une longueur de 3 mètres, elle est perforée par un mollusque lithophage, la *Modiola lithophaga*, dont on retrouve souvent les coquilles au fond des cavités pratiquées dans la pierre; la partie supérieure du fût est de nouveau intacte. Il résulte de cette observation qu'à la suite d'une éruption volcanique accompagnée de tremblement de terre et d'une pluie de cendres, la côte avec le temple s'est affaissée d'environ 7 mètres; le séjour dans l'eau a dû durer un temps assez long, comme le montrent les trous creusés par les mollusques dans la partie des colonnes qui sortait du sein des cendres. Plus tard a eu lieu un soulèvement qui a relevé le temple, mais sans lui faire reprendre tout à fait son ancienne position, car le dallage plonge légèrement sous les eaux.

149. Influence sur les eaux terrestres. — Le terrain, on le comprend sans peine, ne peut se bouleverser sans que la circulation des eaux éprouve des modifications passagères ou permanentes.

Les eaux superficielles sont détournées de leur cours, elles s'engouffrent dans des crevasses ou s'accumulent dans des dépressions pour former des lacs, en même temps que d'anciens lacs disparaissent. Tous ces phénomènes se produisirent en Calabre en 1783 et l'on vit en outre des torrents d'eau boueuse jaillir de certaines crevasses, sans doute sous la pression exercée par le poids du sol sur les nappes souterraines.

Le régime des sources peut se trouver changé complètement de façon que des eaux abondantes tarissent, que des filets insignifiants prennent de l'importance et que des sources nouvelles apparaissent. La teneur en matières minérales et la température se modifient même parfois.

D'après M. Hervé-Mangon, les secousses ressenties en 1861 et 1862 dans l'Europe occidentale amenèrent une augmentation dans la proportion des matières tenues en suspension par l'eau du puits artésien de Passy. Le 14 novembre 1861, jour d'un grand tremblement de terre en Suisse, elles s'élevèrent brusquement de 62 grammes par mètre cube à 147 grammes pour redescendre le lendemain à 91. En 1863, les forages du Sahara algérien s'obstruèrent pour une cause semblable.

La composition et la température des sources thermales des Pyrénées sont affectées, suivant M. François, par les tremblements de terre. Ces modifications sont généralement passagères ; on cite cependant les sources de Louèche qui ont gagné 7 degrés et une augmentation notable de débit, depuis le tremblement de terre qui a dévasté la vallée du Rhône en 1855.

150. Effets sur les eaux marines. — Les secousses séismiques, en se propageant sur le sol sous-marin, déterminent dans les eaux marines une agitation plus ou moins violente. Elles peuvent soulever dans la mer des vagues énormes qui se transmettent à des distances extraordinaires et des raz de marée souvent plus dangereux que les mouvements du sol même.

C'est lors de l'explosion du Krakatoa qu'on a pu se rendre compte surtout du chemin parcouru par les vagues de translation à partir du centre initial d'ébranlement. L'onde marine s'est propagée sur un trajet égal à plus de la moitié de la circonférence du globe, avec une vitesse de 294 mètres par seconde, en déterminant dans le port de Colon une série d'oscillations tout à fait comparables, pour l'amplitude, aux mouvements habituels de la marée ; on l'a reconnue aussi sur les côtes de France.

151. Relation des tremblements de terre avec les phénomènes astronomiques. — Quelques personnes ont cru trouver une relation entre les tremblements de terre et les phénomènes astronomiques. D'après Alexis Perret, il n'y aurait pas de raison pour que la matière fluide centrale n'obéît, aussi bien que les eaux de la mer, aux attractions de la lune et du soleil et pour qu'il ne s'y produisît des mouvements capables de réagir sur l'écorce solide. Partant de cette idée, ce savant a eu la patience de rechercher les rapports de 5.388 tremblements de terre avec les phases de la lune et il est arrivé à ce résultat que 51 0/0 d'entre eux coïncident avec les syzygies, c'est-à-dire avec les époques où les marées atteignent leur maximum d'amplitude, et 49 0/0 avec les quadratures. D'autre part, sur 994 tremblements, il a constaté qu'il y en a 53 0/0 pour le périgée et 47 0/0 pour l'apogée. Ces différences sont réellement trop faibles pour qu'on puisse conclure à une action appréciable de la lune ou du soleil.

Sans nier absolument qu'il se produise des marées dans la masse fluide, nous ferons remarquer qu'elles seraient insuffisantes pour expliquer des secousses aussi violentes de l'écorce terrestre qui, d'ailleurs, loin d'affecter la moindre périodicité dans leur retour, arrivent toujours de la manière la plus imprévue. Mais il semble que l'on pourrait accepter cette explication pour certains petits mouvements du sol.

On ne saurait non plus admettre une autre théorie astronomique, émise récemment, d'après laquelle la cause des mouvements séismiques serait l'action exercée par Jupiter et Saturne, surtout quand ces planètes traversent l'essai de débris

cométaires qui donnent sur la terre les pluies d'étoiles filantes d'août et septembre. M. Faye a démontré que Jupiter ne passe jamais dans cet essaim, qui est du reste imperceptible, et que ces planètes ne sont susceptibles de jouer aucun rôle dans un phénomène qui est d'ordre purement géologique.

152. Relation avec l'état atmosphérique et les saisons. — Il résulte d'observations récentes faites par M. Milne au Japon que les tremblements de terre ressentis dans cette contrée pendant les six mois d'hiver sont à ceux observés dans les six autres mois de l'année dans le rapport de 2,75 à 1, et que les secousses atteignent en général leur maximum de fréquence un peu avant les maxima de température.

D'après M. Kluge, c'est une opinion fort répandue au Pérou que les tremblements de terre et les pluies abondantes sont deux phénomènes connexes. M. Pissis déclare de son côté que la saison des pluies précède les tremblements de terre, tandis que de Humboldt affirme qu'elle les suit.

En présence d'assertions aussi contradictoires, émanant d'hommes compétents, il est impossible de formuler une loi, d'autant plus qu'un certain nombre de ces mouvements du sol ne sont que des accidents locaux, dus à des affaissements déterminés par l'action des eaux souterraines.

Nous ajouterons qu'il semble bien établi que les phénomènes séismiques n'exercent aucune influence sur l'aiguille aimantée ni sur le baromètre.

153. Influence de la nature du sol. — On a recherché si la nature du sol exerce une influence sur l'amplitude et l'énergie des secousses. On a recueilli à cet égard des faits qui sont loin d'être concordants.

Le plus grand nombre des exemples semblent indiquer que les roches dures et massives sont moins fortement ébranlées que les roches meubles ou friables ; ce qui tient sans doute à ce que dans les premières les mouvements sont uniformes et susceptibles de se propager au loin, tandis que dans les secondes ils se montrent irréguliers et ont des effets terribles dus à la mobilité plus grande des parties. En 1755, à Lisbonne, les

maisons bâties sur le basalte et le calcaire souffrirent peu, alors que celles qui avaient leurs fondements sur l'argile furent réduites en ruines. Dans le tremblement de terre de 1822, au Chili, les constructions établies sur le roc subirent de moindres dommages que celles qui s'élevaient sur les alluvions. Lors de la catastrophe d'Ischia en 1883, la destruction était complète à Casamicciola et à Forio, qui reposaient sur des tufs argileux, tandis que les environs de Lacco, assis sur le trachyte, étaient incomparablement moins maltraités.

Quelques observations vont à l'encontre de cette manière de voir. Ainsi, d'après de Humboldt, le tremblement de terre de Caracas en 1812 se fit sentir bien plus fortement dans la chaîne des Andes, composée de gneiss et de micaschistes, que dans la plaine voisine, formée de terrains moins résistants.

On expliquerait peut-être ces divergences par ce fait que la surface de séparation entre deux terrains de nature différente est susceptible d'arrêter ou au moins d'atténuer la transmission de l'onde séismique. Ce qui reviendrait à dire que la nature minéralogique du sol n'a pas d'influence et que c'est surtout, comme nous l'avons dit plus haut, à la structure du sol qu'est dû le mode de propagation des ondes d'ébranlement.

A l'appui de cette opinion, on peut rappeler que les cavernes et les travaux de mines sont un obstacle à cette propagation. Vers le commencement de ce siècle, de fortes secousses se firent sentir avec tant de violence dans les mines d'argent de Marienberg, en Saxe, que les ouvriers effrayés se hâtèrent de remonter et apprirent avec étonnement que sur le sol on n'avait rien senti. Par contre, en 1823, dans les mines de cuivre de Fahlun (Suède), les mineurs ne constataient pas le moindre mouvement, alors qu'au-dessus de leurs têtes un violent tremblement de terre jetait l'effroi parmi les habitants de la surface.

C'est l'application instinctive de ce principe qui a amené les habitants de Saint-Domingue à creuser de profondes excavations autour de leurs demeures pour en assurer la stabilité.

154. Distribution géographique des tremblements de terre. — Les tremblements de terre sont distribués d'une

manière très inégale à la surface du globe. Si l'on jette les yeux sur une mappemonde où l'on a représenté par une notation conventionnelle les résultats du dépouillement de nombreuses oscillations, comme l'a fait Robert Mallet, on remarque que certaines régions jouissent d'une sorte d'immunité, tandis que d'autres sont fatalement prédestinées au retour fréquent de ces catastrophes.

La France, dans presque toute son étendue, est une contrée dont le sol est relativement tranquille. Ce n'est pas à dire cependant que les tremblements de terre y soient rares, surtout dans les Alpes, les Pyrénées et une partie du bassin du Rhône, car la moyenne relevée est de 6 à 7 par an, sans compter ceux qui échappent à l'observation. Mais, à part ces dernières régions, qui peuvent être fortement ébranlées, les secousses y sont faibles; leurs effets se réduisent généralement à des tintements de sonnettes, des agitations de meubles, des craquements de cloisons et elles ne sont accompagnées que d'un bruit sourd. Il en est de même pour la Belgique, la Hollande, l'Allemagne du Nord, qui ne connaissent que de loin les phénomènes séismiques.

Les régions volcaniques sont essentiellement des pays à tremblements de terre. Entre toutes ces contrées, dont nous avons donné l'énumération (n° 123), c'est la partie de l'Amérique qui s'étend entre le 46° degré de latitude nord et le 46° degré de latitude sud où les phénomènes séismiques se montrent avec le plus d'intensité, car les secousses violentes y sont à peu près continuelles. Bien des villes importantes y ont été détruites ou bouleversées plusieurs fois; celle de Lima a été renversée complètement dix fois depuis l'époque de sa fondation (1535).

Cette relation géographique n'est d'ailleurs pas la seule que l'on constate entre les tremblements de terre et les éruptions volcaniques. Les manifestations de l'activité éruptive sont précédées, ainsi que nous l'avons déjà dit, par des tremblements précurseurs dont la violence se calme quand une bouche volcanique vient à s'ouvrir, en sorte qu'on a pu dire que les volcans sont les soupapes de sûreté dont l'ouverture est une sûre garantie contre ces ébranlements du sol.

Mais le phénomène séismique est beaucoup plus général que le phénomène volcanique, et certaines régions complètement dépourvues de cratères sont même ébranlées plus énergiquement et sur des étendues plus considérables que dans le voisinage des volcans. Ces tremblements de terre pourraient être appelés *telluriques*, tandis que les précédents sont *volcaniques*.

Les pays où ils se produisent sont des régions dans lesquelles le sol est disloqué, comme les massifs montagneux et de préférence ceux qui ont acquis le plus récemment leur dernier relief. Telles sont les parties septentrionales du bassin de la Méditerranée, la Syrie, l'Asie Mineure, l'Italie, la Sicile. Les couches y sont fortement redressées, ployées, contournées de diverses manières, fissurées; les masses intérieures n'y sont pas encore équilibrées, ni complètement tassées. Beaucoup de géologues admettent même que les tremblements de terre continuent à modifier par saccades le relief des chaînes de montagnes.

Dans le nord de la France, au contraire, les dépôts sédimentaires, presque horizontaux, superposés régulièrement sur quelques milliers de mètres d'épaisseur, indiquent que le sol est bien assis; aussi les secousses y sont-elles peu importantes.

155. Mouvements microséismiques. — C'est surtout en Italie que des observations suivies ont été faites sur les mouvements microséismiques. On est arrivé déjà à des résultats intéressants dont nous signalerons les principaux.

Le sol de la péninsule paraît être dans un état vibratoire permanent. On constate des périodes d'extrême agitation, qui ont reçu le nom de *bourrasques séismiques* et qui durent d'ordinaire une dizaine de jours. Ces bourrasques, qui sont séparées par des intervalles de calme relatif, sont plus régulières en hiver, mais elles présentent des maxima bien marqués à l'époque des équinoxes d'automne et de printemps, où elles dégénèrent habituellement en tremblements de terre. Elles sont souvent aussi en relation étroite avec les brusques variations barométriques. Tantôt elles sont purement locales, tan-

tôt elles font sentir leur action sur une plus grande étendue de pays.

Les mouvements microséismiques n'auraient aucun rapport avec la pluie, le vent, les variations de la température ou de l'électricité atmosphérique ; mais ils augmenteraient d'intensité quand le soleil et la lune sont près du méridien.

En combinant le sismographe avec le microphone, M. Rossi a reconnu qu'il y a identité entre ces mouvements et les explosions souterraines de vapeurs dans tout le bassin de la Méditerranée.

156. Influence des mouvements microséismiques sur le dégagement du grisou. — Les petits mouvements de l'écorce du globe peuvent avoir, d'après certains géologues, une influence importante sur l'exploitation des mines de houille. Il y a déjà longtemps que de Chancourtois et des savants italiens ont exprimé l'opinion qu'il y a connexité entre ces phénomènes et les coups de grisou.

S'il en est ainsi, des appareils sismographiques, installés à portée des exploitations houillères et annonçant les recrudescences d'activité dans les mouvements internes des terrains, seraient susceptibles de fournir des avertissements précieux au sujet du dégagement de ce gaz, si redouté des exploitants. Les mineurs seraient ainsi mis en garde contre le terrible fléau qui les menace constamment.

Les études sismographiques entreprises depuis quelque temps en France sur certains bassins houillers ne tarderont sans doute pas à montrer si cette espérance est réalisable.

Quoiqu'il en soit, on comprend facilement *à priori* que les mouvements de l'écorce terrestre, si faibles qu'ils soient, puissent produire des changements dans la pression des matériaux qui constituent un gisement houiller, en disloquant le charbon d'une manière à peine sensible à l'œil, mais suffisante pour modifier la diffusion du gaz inflammable dans sa masse.

157. Cause des tremblements de terre. — Comme nous l'avons vu plus haut, un grand nombre d'ébranlements

du sol sont en relation intime avec les crises volcaniques. Ceux-là pourraient être considérés comme des éruptions avortées et leur cause résiderait dans l'effort que font pour s'échapper les gaz et les vapeurs. C'est bien ainsi que paraît s'être produit le tremblement de terre d'Ischia, dont le foyer d'ébranlement n'était pas à une profondeur de plus de 4.200 mètres.

Il semble que la même explication peut être étendue aux tremblements telluriques, dont les effets se font sentir jusqu'à des distances bien plus grandes que les précédents. La faible profondeur de leur foyer initial relativement à l'épaisseur de la croûte solide, leur coïncidence avec les bruits souterrains étudiés par Rossi, la succession des secousses en un même point, tous ces faits tendent à démontrer qu'il convient de les attribuer également à des explosions de gaz qui, au lieu de se faire au jour comme dans les éruptions volcaniques, ont lieu souterrainement.

Telle est la théorie qui nous paraît la plus rationnelle. Elle rattache, en définitive, les phénomènes séismiques à l'existence d'une masse fluide interne, qui fournit les gaz nécessaires à leur production.

158. Précautions contre les tremblements de terre.

— Dans les pays sujets aux tremblements de terre, certains modes de construction sont employés comme opposant plus de résistance, tant par leur faible hauteur que par la nature et l'agencement de leurs matériaux.

Depuis longtemps déjà au Japon, où les agitations du sol sont journalières, ce sont des pièces de bois reliées par des cloisons en bambou.

Dans l'île de la Martinique, à Fort-de-France, on n'élève que des maçonneries de 4 mètres au plus de hauteur ; au-dessus on établit un premier étage et un grenier avec des pans de bois. De plus, dans les maisons soignées, les murailles du rez-de-chaussée sont revêtues de masques en charpente et menuiserie. Les grands édifices doivent être munis d'une ossature en bois ou en métal, contreventée dans tous les sens et régnant même dans les murs verticaux.

A Ischia, un décret royal récent prescrit que, dans les communes de Casamicciola, Lacco-Ameno et Forio, zones particulièrement dangereuses, toutes les constructions seront faites à l'avenir avec enchevêtrement de fer et de bois.

§ VII

MOUVEMENTS LENTS DU SOL.

159. — Les mouvements lents du sol sont pour ainsi dire insensibles et leurs résultats ne sont appréciables qu'après un grand nombre d'années. Ils ont pour effet d'exhausser ou d'abaisser le terrain par rapport au niveau qu'il occupait antérieurement.

C'est sur les rivages qu'on est le mieux placé pour étudier ces mouvements, parce que la mer peut servir de repère. Ainsi des parties qui étaient autrefois immergées sont aujourd'hui au-dessus du niveau des eaux et constituent ce qu'on appelle des *plages soulevées*, tandis que d'anciennes forêts, des emplacements de villes dont l'histoire fait mention, sont complètement submergés.

Il faut bien se garder de confondre ces phénomènes avec ceux que produisent les atterrissements, les érosions de la mer, les tassements de terrain, l'action des fleuves, etc., et qui sont tout à fait superficiels.

160. Observations faites en divers pays. — *Scandinavie.* — Les mouvements lents du sol ont été observés pour la première fois dès le siècle dernier en Scandinavie, où on les attribuait tout d'abord à une variation du niveau de la mer. En entaillant des lignes de repère dans les rochers le long de la Baltique et les examinant à diverses époques, on constata que la côte de Suède s'exhausait d'une manière sensible. L'élevation ne se faisait pas d'ailleurs d'une manière uniforme et régulière; elle variait suivant les lieux sans être proportion-

nelle au temps. Elle avait son maximum au sud de Torneo et diminuait à mesure qu'on se dirigeait vers le sud de la péninsule. Pour l'ensemble du golfe de Bothnie, on obtint ainsi une moyenne séculaire de 1^m31.

D'autre part, on remarqua que la Scanie et tout le midi de la Scandinavie s'affaissaient. On en conclut que toute la péninsule obéit à un mouvement de bascule autour d'une ligne neutre, restant immobile et dirigée de l'est à l'ouest sous le parallèle de Solvitzborg, à peu de distance de Kalmar. Mais des observations plus précises, faites depuis 1852, tendent à faire croire que la composante verticale du déplacement varie beaucoup plus qu'on ne le pensait avec les points considérés, et que le mouvement des côtes suédoises affecte en réalité un caractère ondulatoire, au lieu de se réduire à un simple balancement autour d'un axe unique.

Spitzberg. — Plus au nord, dans l'archipel du Spitzberg, le mouvement d'émersion est encore plus accentué que sur la région septentrionale de la Scandinavie. Ces îles présentent, à une altitude de 45 mètres et à une distance assez éloignée de la mer, d'anciennes plages couvertes encore d'ossements de baleine et de coquillages modernes.

Hollande. — Les Pays-Bas s'enfoncent graduellement. A l'époque romaine, ils formaient encore de vastes marécages tourbeux entrecoupés de forêts. Actuellement une grande partie du pays est au-dessous du niveau de la mer et n'échappe à la submersion que parce que ses habitants, acceptant la lutte contre les éléments, ont protégé leur territoire par des digues et exécuté d'immenses travaux de drainage.

L'évacuation des eaux des polders, qui s'opérait autrefois à marée basse par les portes des digues, ne peut plus se faire qu'à l'aide de machines.

Côtes françaises de l'Océan. — Dans la Flandre et la Picardie, où les côtes sont basses et peu inclinées, l'observation des mouvements du sol peut, comme en Hollande, se faire sans repère. On a prouvé que, depuis les temps historiques, deux mouvements en sens contraire y ont eu lieu.

Quand César parvint dans le nord de la Gaule chez les Ménapiens, peuplade qui occupait la région située entre la Meuse

et l'Escaut, il trouva en effet leur pays couvert de marécages tourbeux, au milieu desquels il eut beaucoup de peine à se frayer une route. Or actuellement la tourbe est à une profondeur de 2^m40 sous une couche de sable ou d'argile remplie de coquilles marines. Il est donc bien certain qu'après la conquête romaine, la mer a envahi tout le littoral de cette partie de la Gaule et y a séjourné pendant assez longtemps pour former un dépôt aussi épais. Cet envahissement, qui n'est cependant mentionné par aucun historien, a dû se produire vers le IV^e siècle de l'ère chrétienne, ainsi que le montrent des monnaies de cette époque répandues avec des poteries brisées à la surface du banc de tourbe.

A Cherbourg, si l'on descend sur la plage à marée basse, on découvre les vestiges d'une ancienne forêt ensevelie sous les sables, dont les arbres portent des entailles faites à la hache et qui, d'après des témoignages historiques, était exploitée au VIII^e siècle.

Au V^e siècle, il y avait également une vaste forêt entre les îles Chaussey et le mont Saint-Michel, et à la même époque Jersey n'était séparé du territoire de Coutances que par un ruisseau. Ce n'est qu'au XIII^e siècle que le mont Saint-Michel et Jersey ont été définitivement détachés du continent.

On trouve en Bretagne de nombreux signes de submersion. Il n'est pas rare d'y rencontrer d'anciennes routes qui s'arrêtent brusquement à la mer et se prolongent sous les flots, des monuments druidiques, des ruines qui sont découverts à basse mer. Dans la baie de Douarnenez existait encore au V^e siècle une cité florissante, la ville d'Ys, qui est maintenant recouverte de 44 à 15 mètres d'eau.

Sur le littoral du Poitou, de l'Aunis, de la Saintonge, la côte gagne au contraire du terrain. La Rochelle, qui doit son nom à la position isolée qu'elle occupait jadis, ne communique plus avec la mer que par un chenal étroit.

Côtes de la Méditerranée. — C'est surtout sur le littoral de la Méditerranée que les déplacements des rivages sont accentués. Toute la côte d'Italie, après s'être élevée dans les temps préhistoriques, s'affaisse d'une manière générale depuis la période historique.

Certaines îles sont animées d'un mouvement d'exhaussement comme les Baléares, comme une partie de la Sicile où on observe près de Palerme, sur les parois d'une crique montagneuse, des couches de sable avec coquilles identiques à celles qui vivent sur la plage actuelle. Pour d'autres îles, la Corse, la Sardaigne, le niveau de la mer semble rester très stable par rapport aux rivages.

Autres régions. — On a recueilli encore de nombreuses preuves de déplacements de rivage dans une foule d'autres régions.

Sur les côtes du Chili, les plages soulevées avec coquillages marins de l'époque actuelle abondent ; elles s'élèvent jusqu'à 150 et même 300 mètres. Le sol de Valparaiso s'exhausse sans cesse ; dans la période de 1817 à 1834, il s'est élevé de 0^m,49 en moyenne par an. Dans la baie de la Possession, il existe un lac salé, dans lequel vivent de nombreuses coquilles marines identiques à celles de la côte et qui se trouve porté à 40 mètres au dessus du niveau de l'Océan.

L'Océan Pacifique, d'après M. Dana, s'affaisse d'une manière générale dans la région septentrionale et se relève dans la région méridionale, en basculant autour d'un axe qui irait des îles Pitcairn aux îles Pelew. Les émerSIONS sont surtout attestées par les récifs coralliens portés à de grandes hauteurs au-dessus de la mer.

161. Généralité du phénomène. — Il paraît bien prouvé, d'après les observations que nous venons de rapporter, que les mouvements des côtes sont un phénomène général s'étendant à toute la surface du globe. Il n'y a pas de raison pour qu'il n'en soit pas de même à l'intérieur des continents et si des expériences précises avaient été exécutées, on aurait sans doute trouvé des variations d'altitude en un grand nombre de points.

Déjà, dans l'Amérique du sud, on a constaté des faits qui tendent à démontrer un abaissement lent des montagnes. Toutes les mesures que M. Boussingault a prises dans les Andes annoncent des hauteurs moindres que celles qui avaient été données trente ans auparavant par de Humboldt. Si ces diffé-

rences étaient dues uniquement à des erreurs d'observation, il serait difficile de concevoir comment ces erreurs auraient agi constamment dans le même sens.

On a signalé également un affaissement graduel de l'Observatoire de Neufchâtel et de celui de Berlin. Il est vrai que là on peut invoquer des causes locales telles que des tassements, et pour mettre le fait hors de contestation il faudrait des expériences plus prolongées que celles qui ont été exécutées.

En réalité, les déplacements du sol ne sont pas verticaux. Ce que l'on observe, ce n'est que la composante verticale d'un mouvement oblique qui peut être très complexe. On ne pourrait guère en effet se rendre compte autrement des alternatives d'affaissement et de relèvement constatés en plusieurs points.

Ces changements de niveau relatif ne sont autre chose que les manifestations des ondulations qui affectent l'écorce du globe, obligée de se plier aux variations de dimensions du noyau fluide. Ils se produisent surtout dans les grandes périodes de calme, qui alternent avec les courtes périodes de rupture d'équilibre où ont lieu les tremblements de terre.

162. Variations du niveau des mers. — La conclusion que nous venons de formuler repose sur le principe de l'invariabilité du niveau des mers. Or ce principe peut-il être considéré comme acquis à la science ?

La masse océanique n'a pas, comme on l'a cru longtemps, la figure exacte d'un ellipsoïde de révolution dont le petit axe coïnciderait avec l'axe des pôles. Une foule de causes locales tendent à déformer cette figure géométrique. L'une des plus importantes est l'attraction exercée par les continents qui relève la mer au-dessus de son niveau normal, de même qu'un fil à plomb est dévié sensiblement de la verticale par une montagne isolée, et qui la déprime dans ses parties centrales.

L'attraction moyenne des masses continentales correspondrait, d'après des calculs basés sur des mesures d'arcs, à une surélévation littorale de 360 à 640 mètres ; d'après d'autres calculs, à une différence de 1000 mètres ; en sorte que la terre serait un ellipsoïde déformé auquel M. Listing a donné le nom de *géοide*.

Cela étant admis, il est incontestable que toute variation survenue dans le relief terrestre devra se traduire par une variation correspondante dans le niveau de la mer. En laissant de côté les soulèvements de hautes montagnes, qui ont surtout agi dans les âges géologiques, il y a eu, à notre époque, des modifications qui ont pu influer sur le niveau des mers. Telles sont les érosions dues aux vagues ou aux eaux courantes, aux changements de température et d'humidité; telle est encore l'accumulation des glaces qui, sur les bords de la mer, présentent de notables variations dans leur puissance.

Une autre cause qui peut faire varier le niveau de la mer est la différence de salure. Il est évident que deux mers de salure inégale, communiquant librement, ne peuvent être au même niveau. M. Bouquet de la Grye a trouvé que l'Atlantique, à l'embouchure de la Gironde, est de 0^m72 plus élevé que la Méditerranée à Marseille, qui est plus salée et par suite plus dense, et ce résultat a été confirmé par le nivellement direct de M. Bourdaloue. Par conséquent si, pour un motif quelconque, la salure vient à varier dans une mer, son niveau s'en ressentira. Au nombre des causes de dessalure et par suite d'exhaussement de la surface marine, on peut citer la fusion des glaces des pôles.

Si l'attraction des continents sur la mer et la variation de salure de l'Océan peuvent rendre compte d'un certain nombre de changements de niveau entre la surface de la mer et celle de la terre, il faut convenir qu'elles sont impuissantes à les expliquer tous, surtout quand ils sont considérables, et on doit admettre qu'il y a réellement des oscillations lentes de l'écorce. Il semble bien démontré au surplus qu'à de grandes distances des rivages marins, ces mouvements se produisent dans l'intérieur des continents et que la difficulté de les étudier a seule empêché jusqu'à présent de mieux les saisir.

DEUXIÈME SECTION

PHÉNOMÈNES ANCIENS

CHAPITRE III. — Formation de l'écorce du globe. — CHAPITRE IV. Matériaux de l'écorce terrestre. — CHAPITRE V. Mouvements de l'écorce terrestre.

CHAPITRE III

FORMATION DE L'ÉCORCE DU GLOBE

163. — La géologie n'est plus, comme aux siècles derniers, une science conjecturale. Elle s'appuie sur l'observation, et les phénomènes actuels, que nous venons de décrire rapidement, nous serviront à reconstituer avec une grande vraisemblance l'histoire des phases successives par lesquelles a passé le globe que nous habitons. Mais il ne faudra pas perdre de vue que, dans les anciens âges géologiques, les phénomènes ont eu une intensité beaucoup plus grande que de nos jours et qu'ils ont dû dépasser considérablement les limites de ceux qui s'accomplissent sous nos yeux.

164. Etat primitif de fluidité du globe. — Le fait

saillant qui ressort de ce que nous avons vu jusqu'à présent, c'est que la partie centrale de la terre est encore à l'état de fusion. On ne saurait guère expliquer autrement l'accroissement de la chaleur avec la profondeur, les sources thermales, les volcans, la plupart des mouvements du sol.

Mais on peut aller encore plus loin et dire que la terre a été primitivement tout entière à l'état fluide, formant une sorte de magma plus ou moins pâteux. C'est ce qu'on peut induire de sa forme sphéroïdale, avec aplatissement au pôle et renflement à l'équateur.

L'astronomie arrive à la même conclusion. Si l'on se fonde sur le fait de la concordance dans la direction de la révolution et de la rotation des planètes, sur la faible inclinaison et la faible excentricité de leurs orbites, sur leur densité d'autant plus grande qu'elles sont plus voisines du soleil, sur l'existence de l'anneau de Saturne, on est conduit à admettre, avec Laplace, que le soleil, les planètes avec leurs satellites et les comètes sont les produits successifs de la condensation d'une nébuleuse unique, animée d'un mouvement de rotation sur elle-même de l'ouest vers l'est.

Cette hypothèse est confirmée d'une manière éclatante par l'étude des météorites, fragments planétaires qui présentent une analogie frappante avec les roches terrestres, et par l'analyse spectrale, qui nous montre que l'atmosphère lumineuse du soleil contient sous forme de vapeurs la plupart des corps simples de l'écorce du globe. Il y a ainsi identité générale de composition pour tous les astres du système solaire.

Si tous ces astres ne sont pas au même point de concentration, c'est qu'ils ont parcouru avec des vitesses différentes les cinq stades distingués par les astronomes : nébuleuse, étoile, planète, lune, météorite. La terre est à l'état de planète, c'est-à-dire de soleil éteint, comme l'a depuis longtemps entrevu Descartes; la lune est une planète refroidie, et les météorites sont des débris de planètes éclatées. Le soleil seul est encore dans la deuxième phase, parce qu'il a le volume le plus considérable et qu'il réunit les $\frac{699}{700}$ de la masse totale contenue dans la nébuleuse primitive.

165. Première croûte solide. — Prenons la terre à la fin de sa période stellaire ; ce qui s'est passé antérieurement n'est pas du domaine de la géologie. A ce moment, elle consistait en une masse fondue dans laquelle les matières étaient superposées par ordre de densités croissantes de la superficie au centre, et elle était entourée, comme l'est encore le soleil, par une atmosphère lourde et épaisse, dans laquelle se trouvaient toute l'eau répandue actuellement à la surface du globe et diverses substances volatiles à haute température, telles que des chlorures et des fluorures alcalins. On se fera une idée de l'énorme pression de cette atmosphère primitive en songeant que l'eau seule, qui occupe une superficie de près des $3/4$ de la terre avec une profondeur moyenne de 4.000 mètres, donnerait, si elle était vaporisée, une charge de plus de 300 kilogr. par centimètre carré.

Dans son voyage à travers les espaces planétaires, le globe perdait peu à peu sa chaleur propre. Bientôt, la température n'étant plus suffisante pour la maintenir tout entière à l'état fluide, il se forma des morceaux figés des matières les plus réfractaires. En se solidifiant, ces matières diminuaient un peu de volume et elles s'enfonçaient jusqu'à ce que, ayant rencontré une nappe fondue de même densité, elles subissaient une nouvelle fusion partielle ou totale ; cette fusion se faisait nécessairement aux dépens de la chaleur latente des masses avoisinantes et la terre se refroidissait ainsi par une autre cause. En même temps, les substances les moins volatiles de l'atmosphère se condensaient en se liquéfiant et se mêlaient à la masse fondue, en y déterminant des réactions chimiques dont il est difficile de se faire une idée.

Sous l'influence de ces diverses actions, on conçoit qu'il dut se former tout autour de la terre une croûte solide, relativement mince, mélange des matériaux légers de la surface avec d'autres empruntés à des nappes moins superficielles et à l'atmosphère.

166. Phénomènes éruptifs. — En raison de sa faible épaisseur, cette croûte ne pouvait résister aux mouvements de la masse fluide qu'elle enserrait, aux marées qu'y détermi-

naît l'attraction du soleil et de la lune, aux gaz qu'y dégageaient les réactions chimiques ; elle se contractait d'ailleurs par le refroidissement, plus rapide encore à la surface qu'en profondeur, et exerçait une pression de plus en plus forte sur ce noyau. Aussi elle se bosselait et se crevassait incessamment, et par les fissures s'injectaient des matières pâteuses qui pouvaient s'épancher jusqu'à la surface, en donnant des roches dites *éruptives*, à cause de leur origine analogue à celle des laves des volcans actuels, et qui contribuaient à la consolidation de l'ensemble, tout en modifiant par leur contact les parties encaissantes.

De cette manière se formèrent les plus anciens ridements de la surface du globe, ridements encore peu accentués et qui se distinguent par leur forme arrondie. C'est ainsi également que se formèrent les premiers *filons*, veines ou veinules de matières fondues provenant des profondeurs, qui traversent toute l'écorce et qui constituent de précieux gisements de minerais divers.

167. Sédimentation. — Pendant que se produisaient ces premières inégalités du sol, le globe continuait à se refroidir. Bientôt la température de l'atmosphère, isolée depuis longtemps du noyau fondu, ne fut plus assez élevée pour y maintenir en vapeur les énormes masses d'eau qu'elle renfermait. Il tomba alors sur le sol des pluies d'eau bouillante, dont la température, par suite de la pression considérable que continuait à exercer l'atmosphère, devait être bien supérieure à 100 degrés.

Un nouvel ordre de phénomène apparaît, c'est celui de la *sédimentation*. Ces eaux chaudes, chargées de matières diverses enlevées à l'atmosphère, désagrègent les roches primitives par une double action, mécanique et chimique, et entraînent leurs débris dans les dépressions pour y constituer des dépôts de roches sédimentaires.

On comprend sans peine que ces effets de ravinement devaient être incomparablement plus puissants que de nos jours, puisqu'un refroidissement accidentel de quelques degrés, qui ne donne aujourd'hui que quelques centimètres de pluie tout au plus, pouvait alors correspondre à des différences de plu-

sieurs atmosphères dans la force élastique de la vapeur d'eau.

Mais la masse fluide interne ne restait pas en repos pendant que ces dépôts s'opéraient. Toutefois, l'écorce solide augmentant progressivement d'épaisseur, elle se plissait et se fracturait moins fréquemment, plutôt par saccades que d'une manière continue. Par contre, les montagnes qui se produisaient n'étaient plus exclusivement formées de roches éruptives, mais en outre de roches sédimentaires redressées.

De plus, ces nouveaux soulèvements de montagnes amenaient un résultat que n'avaient pas les premières, alors que la terre était aride et sans eau liquide. Ils changeaient le niveau relatif des différents points de la surface, en sorte que tel point qui se trouvait sous l'eau était émergé et tel autre qui était à sec se trouvait immergé. Par suite de ces ruptures d'équilibre, le phénomène de la sédimentation, s'il était continu sur l'ensemble du globe, était discontinu en un point déterminé.

168. Apparition de la vie. — C'est sans doute peu de temps après la chute de la première goutte d'eau, quand la température se fut suffisamment abaissée et que l'atmosphère, lavée par des pluies diluviennes, eut subi une première épuration, que se produisit un autre fait, capital dans l'histoire de notre planète, l'apparition de la vie à sa surface. On retrouve en effet des restes non douteux d'organismes végétaux ou animaux dans les plus anciens sédiments.

La vie organique prend peu à peu possession des mers, puis des continents, qui, à peine esquissés dans les premiers âges et doués d'une grande instabilité, arrivent à se constituer progressivement. Elle ne quittera plus désormais la terre, mais les formes sous lesquelles elle se manifeste iront sans cesse en se modifiant, sous l'empire des variations que subissent les conditions physiques du milieu.

169. Contraction du noyau fluide. — Jusqu'à présent, l'écorce terrestre, encore chaude, allait en se refroidissant, par rayonnement dans l'espace, plus rapidement que l'intérieur du globe par conductibilité. Mais il arriva un moment où l'é-

équilibre s'établit entre la chaleur que perd la surface de la terre et la chaleur qu'elle reçoit d'un côté par le soleil et de l'autre par la masse fluide interne.

Il est permis de penser que ce moment fut bientôt atteint, car, en raison de la faible conductibilité des roches terrestres, il suffit d'une assez mince épaisseur pour que le flux calorifique qui traverse l'écorce n'exerce qu'une influence négligeable sur la température de la surface. Dès lors la croûte solide cessa de se contracter, et, le noyau solide continuant de se refroidir, elle tendit à s'en isoler et à rester comme suspendue au-dessus de lui dans une sorte d'équilibre instable. Il en résulta nécessairement des changements dans l'assiette de cette croûte, dont certaines parties s'affaissèrent, tandis que d'autres furent refoulées latéralement. De là des ploiements plus ou moins accentués, et des fissures par où s'épanchait au dehors une partie de la nappe liquide.

L'écorce prenait ainsi une consistance de plus en plus grande par l'injection de matières pâteuses dans ses fentes, en même temps que son relief s'accroissait par l'apparition de nouvelles chaînes de montagnes.

Ces montagnes, bien différentes des précédentes par le mécanisme de leur formation, sont remarquables en général par leurs grands alignements et par la rareté relative, quelquefois même par l'absence complète, des roches d'éruption apparentes à la surface.

Ces phénomènes de plissements et de cassures se sont reproduits à diverses époques, accompagnés de dénivellations qui ont changé le lieu de la sédimentation et amené des discordances ou des intermittences de stratification. A mesure que la croûte terrestre prenait plus d'épaisseur et plus de solidité, ils devenaient plus rares, mais aussi ils étaient plus intenses, et l'on peut dire d'une manière générale que les montagnes sont d'autant plus hautes qu'elles sont plus récentes.

170. Divisions dans l'histoire du globe. — Si nous résumons ce qui précède sur le mode de formation des roches, nous voyons qu'on peut répartir en quatre grandes catégories, d'après leur origine, les matériaux qui entrent dans la constitution de l'écorce terrestre :

1° Les *roches primitives*, qui résultent du refroidissement de la matière fluide et forment la première croûte consolidée ;

2° Les *roches sédimentaires*, qui ont succédé aux précédentes et qui sont dues à l'action des eaux ;

3° Les *roches éruptives*, qui proviennent de l'intérieur du globe et qui sont venues traverser à diverses époques l'écorce solide ;

4° Les *roches métamorphiques*, qui, appartenant primitivement à l'une des catégories précédentes, ont été modifiées postérieurement à leur dépôt.

Les roches primitives et les roches éruptives, dans la formation desquelles le feu a joué un grand rôle et qui présentent souvent d'ailleurs une telle ressemblance qu'il est impossible de les distinguer, sont généralement réunies sous la dénomination de *roches ignées*. On leur donne aussi le nom de *roches cristallines*, à cause de leur texture.

Les roches de la première et de la seconde catégorie déterminent dans l'histoire du globe deux grandes divisions.

La plus ancienne, qui correspond à la formation primitive et dans laquelle la vie n'était pas encore possible, est appelée à cause de cette circonstance *ère azoïque*.

La seconde, qui date de l'époque où la première île se montre à la surface du globe et où la vie essaye ses premières manifestations, se subdivise, d'après les caractères de la faune, en quatre ères, *primaire*, *secondaire*, *tertiaire* et *quaternaire*. Cette dernière, dans laquelle nous vivons, se signale par l'apparition de l'homme.

Ces quatre ères, que nous nous bornons à indiquer pour l'instant, constituent les *temps géologiques* proprement dits. On a essayé d'en évaluer la durée par diverses considérations plus ou moins plausibles ; en se fondant sur la rapidité probable avec laquelle la chaleur initiale du globe a pu se dissiper et sur son état calorifique actuel, on calcule qu'on ne peut faire remonter au-delà de 100 millions d'années le moment où la terre était assez refroidie pour que la vie ait pu s'y installer.

171. Avenir réservé à la terre. — Maintenant que

nous avons essayé de reconstituer l'histoire des temps passés, nous est-il permis de jeter un regard sur l'avenir et de chercher à entrevoir quel est le sort réservé à l'homme ? C'est là un grave problème dont la solution restera sans doute toujours en suspens.

Les anciens géologues croyaient que les êtres vivants étaient destinés à disparaître dans un grand cataclysme, tel que le soulèvement brusque d'une chaîne de montagnes qui viendrait à changer la position des mers et les répandrait à la surface du globe. Un semblable bouleversement de l'écorce n'est pas impossible, car les tremblements de terre démontrent bien que les fondements du sol sont loin d'être inébranlables, mais il est peu probable qu'il aurait de telles conséquences. L'enseignement du passé, qui nous montre que la vie n'a jamais été interrompue à la surface du globe et que les formations de chaînes de montagnes n'ont eu que des effets locaux, nous autorise à penser que ce n'est pas ainsi que finira l'espèce humaine.

Si nous interrogeons l'astronomie, nous parviendrons peut-être à former des conjectures empreintes d'un plus grand caractère de vraisemblance.

La lune devait avoir autrefois une atmosphère et de l'eau comme la terre. Si elle en est actuellement dépourvue, c'est qu'en se refroidissant, elle s'est contractée et par suite crevasée, et que sa masse solide a absorbé dans ses fissures toutes les substances liquides et gazeuses répandues à sa surface. Elle continuera son évolution en éclatant et se réduisant en météorites.

La terre est appelée à arriver au même état. Remarquons en effet que toutes les roches terrestres sont plus ou moins poreuses ; le granite lui-même, l'une des roches qui paraissent les plus compactes, renferme 0,0037 d'eau. Or il suffirait que la masse du globe consolidée contînt 0,000042 d'eau, c'est-à-dire 88 fois moins que le granite, pour qu'elle eût absorbé entièrement l'eau des mers. L'Océan aurait donc disparu bien avant que la solidification fût complète. Il en serait de même de l'enveloppe gazeuse.

La terre, ainsi privée d'air et d'eau, ne pourrait plus nourrir

ses habitants. Peut-être même, bien avant d'en arriver là, la vie aura-t-elle cessé. Le soleil en effet se contracte de plus en plus ; des taches sombres apparaîtront peu à peu à sa surface, puis une croûte obscure l'enveloppera. Dès lors le globe terrestre ne recevra plus que la chaleur insignifiante de l'espace et la lumière insuffisante des étoiles.

172. — Nous n'insisterons pas davantage sur ces prédictions sinistres, qui sont heureusement à très longue échéance, car l'infiltration de l'eau et de l'air dans les profondeurs du globe ne se fait qu'avec une extrême lenteur, de même que le refroidissement de la terre et du soleil. ¹ Nous allons revenir, dans les chapitres IV et V, sur quelques-uns des phénomènes qui ont présidé à la formation de l'écorce du globe et dont la connaissance est nécessaire à l'intelligence de ce qui suivra.

1. En traitant la question du refroidissement du soleil comme un problème de physique pure, M. William Thomson, professeur à l'Université de Glasgow, fixe à 10 millions d'années le terme où la température sera assez basse pour que la vie ne soit plus possible.

CHAPITRE IV

MATÉRIAUX DE L'ÉCORCE TERRESTRE

§ 1. Terrains sédimentaires. — § 2. Terrains ignés. — § 3. Filons. —
§ 4. Métamorphisme.

§ I

TERRAINS SÉDIMENTAIRES.

173. Mode de formation. — Les terrains d'origine externe résultent pour la plupart de la désagrégation des roches préexistantes dont les débris, réduits en fragments plus ou moins fins, sont allés se stratifier au fond des eaux. D'autres doivent leur formation à des actions chimiques ou organiques ; c'est un sujet sur lequel nous reviendrons ; il nous suffira de dire ici que les dépôts entièrement chimiques, analogues à ceux qui se forment de nos jours, sont peu abondants et que les dépôts organiques comprennent surtout les combustibles minéraux et certains calcaires.

C'est dans des bassins marins que se sont généralement déposées toutes ces roches, ainsi que le démontre la nature marine des débris fossiles qu'elles renferment. Cependant certains dépôts sédimentaires nous offrent des restes d'animaux terrestres ou d'eau douce ; on les rencontre surtout dans les périodes géologiques relativement récentes. On distingue ainsi deux sortes de sédiments : les *sédiments marins*, qui sont les plus nombreux, et les *sédiments lacustres* ou *fluvialiles*.

Les sédiments marins ont pris naissance dans des mers semblables aux mers actuelles, mais qui devaient avoir une étendue moins considérable. On a vu, en effet, que les matériaux arrachés par les mers aux côtes qui les bordent, ou apportés par les cours d'eau qui s'y déversent, se déposent sur les rivages ou à peu de distance et que le fond de l'Océan ne reçoit presque rien autre chose que des matières d'origine chimique ou organique, qui n'atteignent jamais une grande puissance (n° 71). Or les couches sédimentaires se prolongent souvent sur des espaces étendus avec une grande épaisseur. Il faut donc bien admettre que les anciennes mers remplissaient des bassins nombreux, plus uniformément répartis qu'aujourd'hui à la surface du globe. Cette manière de voir s'accorde bien du reste avec l'idée que le sol n'offrait pas alors les reliefs marqués qui l'ont accidenté à une époque relativement rapprochée de la nôtre.

174. Caractères des dépôts sédimentaires. — En se superposant les uns aux autres dans le fond des mers ou des lacs, les sédiments sont arrivés à constituer des séries de couches régulières, *bancs*, *lits* ou *strates*, de nature diverse, dont la puissance totale peut atteindre plusieurs milliers de mètres. On explique une telle accumulation par des mouvements lents d'affaissement auxquels était soumis le fond des bassins dans lesquels arrivaient les matières solides.

La stratification de ces couches est d'autant mieux visible qu'il y a plus de différence entre deux couches successives. On distingue bien mieux les strates par exemple dans une série de calcaires et de sables alternatifs que dans une formation entièrement calcaire. Les escarpements de montagnes, les tranchées ouvertes pour le tracé des voies de communication, les fronts de taille des carrières nous offrent de nombreux exemples de superposition des couches sédimentaires.

Le parallélisme caractéristique des roches sédimentaires n'existe pas seulement pour les faces limitantes de ces couches ; on l'observe souvent aussi dans la structure de chaque strate par des raies de couleur plus claire ou plus foncée, par des zones fossilifères, par des bandes dont les éléments sont plus fins ou plus grossiers, etc.

Il y a cependant des couches dans lesquelles la stratification est *diagonale* ou *entrecroisée* (fig. 39), c'est-à-dire oblique sur les plans qui les limitent. Ce fait,

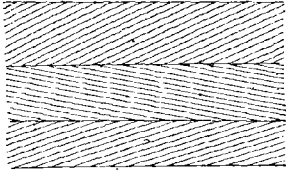


Fig. 39. — Stratification entrecroisée.

relativement rare, se rencontre surtout dans les grès; on peut l'expliquer par l'action des marées ou des courants qui ont déposé les sédiments sur une plage inclinée.

Une couche sédimentaire est rarement homogène dans toute son étendue. Ainsi on voit souvent le calcaire pur passer peu à peu à l'argile par l'intermédiaire de calcaires de plus en plus argileux, ou au grès par un mélange de sable de plus en plus prononcé. Il en est encore de même de nos jours, où les matières qui se déposent sur le rivage d'une mer peuvent varier entre deux points et se mélanger dans l'intervalle.

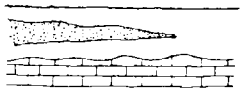


Fig. 40. — Couche en biseau.

D'autre part, les couches ne conservent pas toujours la même épaisseur. Elles s'amincissent souvent en biseau; ce qui peut s'expliquer par de petits mouvements locaux (fig. 40).

Telle est la disposition des amas de gypse au milieu des marnes des environs de Paris.

175. Consolidation des couches. — Au moment où elles venaient de se déposer, les couches sédimentaires étaient nécessairement dans un grand état de mollesse. Ce n'est qu'au bout d'un temps plus ou moins long qu'elles ont acquis la consistance que nous leur connaissons, sauf pour un petit nombre d'entre elles, comme les sables, qui ont conservé l'indépendance de leurs particules.

Il est facile de comprendre comment cette consolidation a dû s'opérer. Pour les roches d'origine chimique ou organique la force de la cohésion suffit. Dans les roches détritiques, c'est surtout la pression qui est intervenue; à mesure qu'un dépôt augmentait de puissance, sa partie inférieure était soumise à des pressions de plus en plus fortes, l'eau était presque entière-

ment expulsée et les éléments se rapprochaient jusqu'à adhérer les uns aux autres. M. Spring a prouvé par des expériences directes que des corps en poudre fine se solidifient par la pression et que la soudure des molécules est parfois tellement parfaite qu'ils peuvent conserver leur transparence.

Dans bien des cas la cimentation a été un moyen efficace de consolidation. Des matières ferrugineuses calcaires, siliceuses ou phosphatées, contenues primitivement dans le dépôt sédimentaire ou introduites au milieu de sa masse par une action postérieure, ont servi de ciment et ont agglutiné ses parties constitutives en donnant des conglomérats et des grès, analogues à ceux qu'ils se forment encore sur les bords de la mer.

On a souvent considéré la chaleur comme une des causes de solidification des masses stratifiées. Celles-ci, pénétrant davantage par leur partie inférieure dans la sphère d'action de la chaleur interne, à mesure que leur épaisseur allait en augmentant, ont pu en effet subir quelquefois une sorte de ramollissement qui les a rendues plus compactes ; mais les autres caractères se sont en même temps modifiés, et il faut voir là un effet tout différent de celui qui nous occupe, car la roche est en réalité *métamorphisée*.

176. Allure des couches. — Partout où il se forme actuellement des dépôts stratifiés, les couches sont horizontales ou au moins dans une position qui ne s'écarte guère de l'horizontalité.

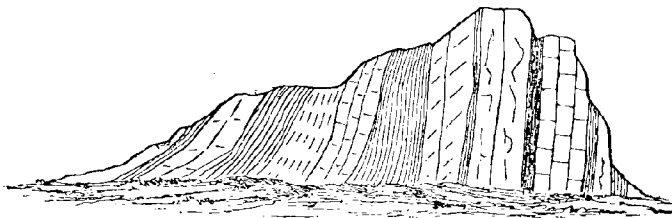


Fig. 41. — Couches redressées.

Dans les anciennes formations sédimentaires, on remarque souvent des couches très inclinées, parfois même verticales (fig. 41). Évidemment elles n'ont pu être déposées dans ces

positions et c'est par des mouvements postérieurs de l'écorce terrestre qu'il faut expliquer l'état sous lequel elles se présentent. C'est ce que mettent hors de doute les galets à plat qu'elles renferment, les fossiles disposés dans le sens des plans.

La poussée qui a redressé les couches a pu être tellement violente qu'elle les a parfois renversées complètement et que la série se reproduit en sens inverse, les strates les plus anciennes étant à la partie supérieure et les plus récentes à la base.

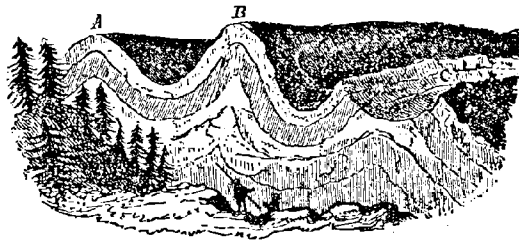


Fig. 42 — Couches ondulées du Jura Suisse. -- A et B, selles séparées par un fond de bateau ; C, combe.

Dans d'autres cas les couches ont pris une forme ondulée, composée d'une série de plis concaves. Les montagnes du Jura nous offrent des exemples classiques de cette allure (fig.42) ; sur la paroi escarpée d'une gorge profonde, ou *cluse*, on voit les contournements des couches qui se manifestent à la surface du sol en donnant des *fonds de bateaux* séparés par des *selles*.

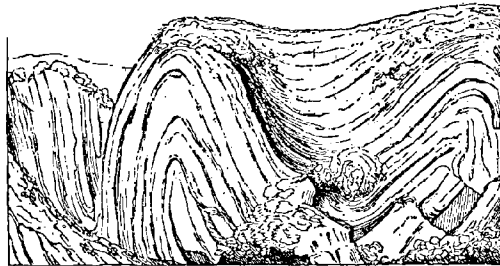


Fig. 43. — Couches schistueses plissées.

Dans les contrées schistueses les strates sont encore plus fortement repliées sur elles-mêmes, en forme d'S, ou plissées

en zigzag (fig. 43). Tel est le cas pour les montagnes de la Savoie, des Ardennes, de la Bretagne. Ce sont encore des pressions agissant latéralement qui ont produit ces effets. On le démontre par une expérience très simple qui consiste à empiler sur une table des morceaux de drap épais de colorations variées, à les recouvrir d'un livre chargé d'un objet pesant et à

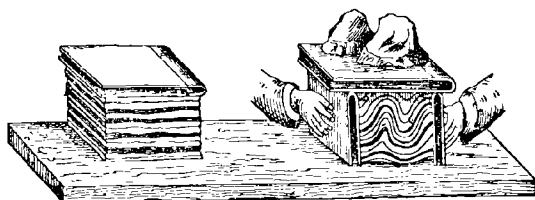


Fig. 44. — Expérience démontrant que les plissements des couches sont causés par des pressions latérales.

les comprimer sur les côtés en poussant deux autres livres parallèles placés sur la tranche (fig. 44).

La figure 45 résume les diverses variétés de plissements qui peuvent affecter les couches sédimentaires. Les plis *anticli-*

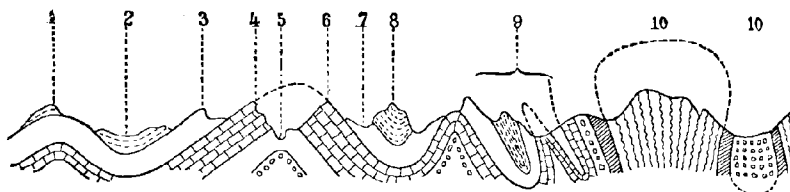


Fig. 45. — Types de structures de plissement dans le Jura et les Alpes (d'après M. Heim). 1, crête anticlinale; 2, vallée synclinale; 3, 4, 6, crêtes isoclinales; 5, vallée anticlinale ou combe; 7, vallée isoclinale; 8, crête synclinale; 9, plis isoclinaux; 10, plis en éventail.

naux sont des voûtes dans lesquelles les strates plongent des deux côtés de la ligne de faite; quand leur sommet a disparu et qu'il est remplacé par une dépression, on a une vallée *anticlinale*, appelée *combe* dans le Jura. Les plis *synclinaux* sont ceux dans lesquels les strates plongent vers l'axe du pli. Ils sont *isoclinaux* ou *renversés*, lorsque les deux versants de la voûte sont inclinés dans le même sens. Enfin on dit qu'ils sont *en éventail* quand ils forment un V très serré.

177. Schistosité. — La *schistosité* ou *fissilité* est la propriété que possèdent certaines roches d'être divisibles en feuillets minces, mais solides et tenaces. Cette propriété se rencontre à un haut degré dans l'ardoise.

Des observations faites dans les contrées schisteuses ont montré que la schistosité est distincte de la stratification et qu'elle lui est fréquemment oblique. Bien plus, dans les contournements que les couches ont subis, le plan de fissilité, auquel on donne souvent le nom de *clivage*, par analogie à ce qui se passe dans les corps cristallisés, conserve une orientation invariable (fig. 46 et 47). Cette indépendance prouve que les plans de clivage se sont produits non seulement après le dépôt des couches, mais encore lorsqu'elles avaient déjà perdu leur horizontalité primitive.

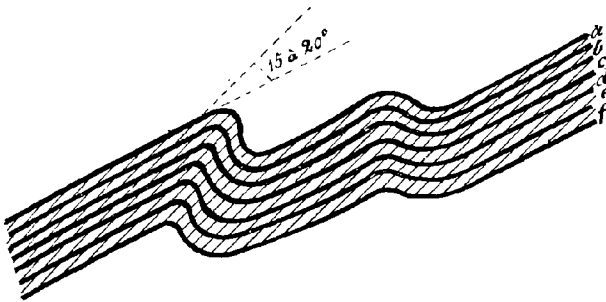


Fig. 46. — Coupe verticale d'un banc de schiste ardoisier violet, de 8 à 10 mètres de puissance, exploité à Fumay (Ardennes). Ce banc, dans lequel le plan de fissilité fait un angle de 15 à 20 degrés avec le plan de stratification, se subdivise en couches *a, b, c, d, e, f*, séparées par des lits quartzeux très minces de coloration verdâtre.

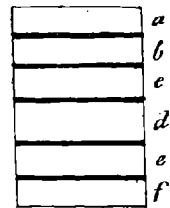


Fig. 47. — Plaque d'ardoise supposée enlevée sur toute l'épaisseur du banc de la figure 46, suivant le plan de fissilité, et à la surface de laquelle on voit une série de bandes parallèles correspondant aux subdivisions de ce banc.

L'ardoise possède encore un autre clivage, mais moins facile. Il est à peu près perpendiculaire au précédent et on l'appelle dans l'Ardenne le *longrain*, sans doute parce que, dans certains schistes ardoisiers, les petits cristaux octaédriques de fer oxydulé qui imprègnent la masse ont leurs grands axes parallèles à sa direction.

La schistosité se rattache en général aux mouvements qui ont ployé les couches. Cette structure spéciale, si fréquente dans les terrains anciens, a été déterminée par les efforts puissants de compression auxquels ils ont été soumis.

M. Daubrée a mis cette explication hors de doute par des expériences précises, analogues à celles de M. Tresca sur l'écoulement des métaux. On prend de l'argile amenée à un degré de consistance convenable par la dessiccation et on la place entre des parois verticales de formes cylindriques ou prismatiques ; puis on exerce à la partie supérieure une forte pression à l'aide d'un piston de manière à la forcer à passer à travers une ouverture de section moindre. On obtient ainsi, suivant les conditions de l'expérience, des pâtes fibreuses ou schisteuses, et les particules de matières étrangères, de mica par exemple, que l'on peut mêler à l'argile, se retrouvent alignées suivant le sens de l'écoulement.

178. Rapports de gisements des couches. — Dans les diverses positions que nous venons de décrire, les couches ont conservé à peu près leur parallélisme ; elles sont dites *en stratification concordante*.



Fig. 48. — Stratification discordante. — *b, c, d*, couches déposées horizontalement après le plissement des couches *a*.

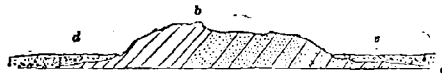


Fig. 49. — Autre exemple de stratification discordante. — Terrain *b* en couches inclinées dont la base est recouverte par un terrain plus récent en couches horizontales *d, e*.

Si, après avoir été redressées, les strates s'affaissent par suite d'un mouvement en sens contraire et sont de nouveau immergées, elles seront recouvertes par des dépôts qui s'étaleront au-dessus d'elles en couches horizontales et qui pourront à leur tour être dérangés de leur position primitive. Toutes les fois que des strates font ainsi entre elles un angle quelconque (fig. 48 et 49) on dit qu'elles sont *en stratification discordante*.

La stratification est *transgressive* lorsqu'une série de couches recouvre deux ou plusieurs dépôts différents de manière à passer de l'un sur l'autre.

179. Définition de l'allure d'une couche. — Il est rare que les couches géologiques aient conservé leur allure régulière et horizontale. On ne peut donc généralement pas se guider sur la topographie pour les suivre à la surface du sol et on ne peut étudier leur allure qu'en prenant leur direction et leur inclinaison en un certain nombre de points.

La direction est celle de l'horizontale menée dans le plan de la couche au point considéré, ou de la tangente à la courbe de niveau passant par ce point, si cette couche n'est pas plane.

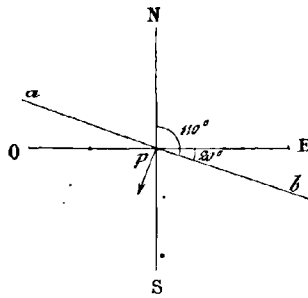


Fig. 50.

On la mesure avec la boussole en plaçant la ligne N.-S. parallèlement à l'horizontale ; on dira par exemple qu'une couche dont la trace horizontale est *ab* (fig. 50) a au point *p* la direction E 20° S. — O 20° N.

Au lieu de chercher à évaluer les angles dans chaque quadrant, il est plus simple de les compter de 0° à 360° dans le sens direct, c'est-à-dire celui de la marche des aiguilles d'une montre. Ainsi, pour le cas ci-dessus, la direction est de 110°.

Bien entendu, il ne faut pas oublier de faire la correction qui résulte de la valeur de la déclinaison magnétique au lieu où l'on se trouve.

L'inclinaison est celle de la ligne de plus grande pente. On la détermine simplement à l'aide d'un petit pendule adapté à la boussole même et qui se meut sur un demi-cercle gradué. A

l'indication de l'angle d'inclinaison, il faut ajouter celle du sens dans lequel se fait le plongement. La couche *ab*, par exemple, plongera de 30° vers le S. O.

Pour achever de définir une couche, il ne reste plus qu'à donner son *épaisseur* ou *puissance*, qui se mesure normalement aux surfaces limitant cette couche.

On appelle *affleurement* la portion d'une couche qui se montre à la surface du sol. L'*aval pendage*, par rapport à un point déterminé, est la partie qui s'étend au-dessous de la ligne horizontale passant par ce point ; l'*amont-pendage* est la partie qui s'étend au-dessus. Ces dernières expressions sont employées surtout par les mineurs.

180. Failles. — La continuité des couches sédimentaires peut être interrompue par des *failles*¹, c'est-à-dire par des cassures accompagnées de rejets qui mettent en contact immé-

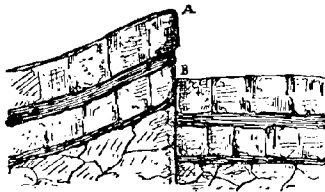


Fig. 31. — Faille dans le Jura. — A, tête de faille; B, pied de faille.

diat des strates d'âge différent. Les bords externes d'une faille en sont les *lèvres* ; quand le terrain n'a pas été nivelé par une érosion postérieure, le bord saillant, ou *tête de faille*, s'élève au-dessus de l'autre qu'on appelle le *pied de faille*.

Les lèvres sont le plus souvent en contact, mais elles peuvent s'écarter de plusieurs mètres l'une de l'autre et l'intervalle est comblé par des débris de roches ou de matériaux de transport. Parfois le froissement qui a suivi la formation de la cassure raye et même polit les surfaces, qu'on désigne alors sous le nom de *miroirs*. Les strates ne conservent généralement pas d'ailleurs leur direction normale et elles sont rele-

1. De l'allemand *fall*, chute, affaissement, parce que l'un des côtés de la faille est plus bas que l'autre.

vées ou abaissées sur les bords de la cassure ; ordinairement ce sont les têtes de bancs du pied de la faille qui se redressent le plus fortement.

Quand le sol a été nivelé, ce qui est le cas le plus ordinaire, les failles sont rarement visibles à la surface et elles peuvent être la cause de grandes erreurs d'observation. Ainsi, supposons qu'une formation composée d'assises alternatives d'argile et de calcaire soit traversée par une faille dont le rejet se fasse à droite, de telle sorte que l'assise argileuse 1 soit amenée au contact de l'assise argileuse 3' (fig. 52). Comme il est difficile

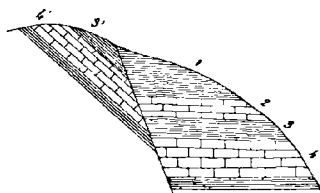


Fig. 52. — Faille nivelée.

d'apercevoir le parcours de cette faille au milieu de l'argile, on sera tenté d'assimiler les couches 4' aux couches 2, si d'autres caractères ne permettent de les différencier.

Les failles se prolongent généralement en ligne droite ; on en connaît cependant de brisées et même de sinueuses. Leur longueur varie de quelques centaines de mètres à 100 kilomètres et même davantage. Leur inclinaison oscille entre la verticale et l'angle de 45°. Quant au dénivèlement, c'est-à-dire à la distance verticale entre la tête et le pied, il présente également les plus grandes variations, depuis quelques millimètres jusqu'à 1.000 mètres et au-delà.

On doit admettre que les grandes failles traversent toute l'épaisseur de l'écorce solide ; il serait difficile d'expliquer autrement des dénivellations aussi considérables. Dans certains cas cependant, on peut se rendre compte de leur formation par des tassements, des comblements de vides intérieurs, comme il s'en est produit récemment dans l'effondrement des carrières de Chancelade, près de Périgueux.

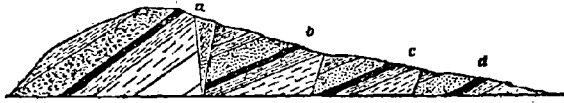


Fig. 53. — Succession de failles parallèles ramenant en *b, c, d* la couche de houille *a*.

Il est rare que les failles soient isolées. Elles se montrent souvent en grand nombre dans une même région, surtout dans les districts montagneux. Ces accidents se sont généralement formés en même temps quand ils sont à peu près parallèles ; ils sont d'époques différentes quand ils se coupent.

Dans le premier cas, les failles développent une disposition en échelons qui pourrait faire croire à une succession régulière de couches (fig. 53) et, quand il s'agit de matières exploitables, amener des erreurs funestes pour l'exploitant.

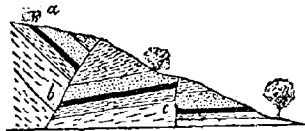


Fig. 54. — Couche disloquée par des failles

Dans le second cas, les failles disloquent tellement le terrain qu'elles traversent (fig. 54) que les couches occupent des positions *a, b, c*, très différentes les unes par rapport aux autres. Elles sont la source de difficultés très sérieuses

pour l'exploitation, parce qu'à leur contact la substance utile, la houille par exemple, semble disparaître brusquement et qu'il faut la rechercher soit au-dessus, soit au-dessous, sans que, la plupart du temps, on soit guidé par une règle précise sur le sens et l'importance du rejet.

181. Joints. — Il ne faut pas confondre avec les failles les cassures simples sans rejet, auxquelles on donne le nom de *joints* et qui sont si fréquentes dans les pays de plaine.

On remarque que le plus souvent les joints forment deux systèmes conjugués faisant entre eux un angle très voisin de l'angle droit. Il en résulte des dispositions pseudo-régulières simulant une cristallisation, qui se rencontrent dans des roches de nature variée, les grès quartzeux, la houille, le granite, où les parallélépipèdes sont fréquemment rectangulaires. Il n'est pas rare que les joints permettent de diviser la roche en

polyèdres très petits, de manière à rappeler ce qui se produit dans le clivage des cristaux proprement dits.

Ailleurs les joints se coupent sans régularité apparente ; mais ils sont si nombreux qu'on ne peut obtenir de cassure fraîche de la roche, lors même qu'on la divise en très petits fragments. Tel est le calcaire crétacé dans une partie de la chaîne des Corbières (Aude).

Dans beaucoup de circonstances, les joints se manifestent avec de grandes dimensions et, surtout quand ils ont été élargis par des actions superficielles, ils peuvent jouer un rôle dans le relief du sol. Ainsi les joints verticaux qui traversent le grès des Vosges ont donné lieu à des saillies très proéminentes, par suite de la disparition des parties voisines.

Ces joints sont souvent produits par un effet de retrait ou de contraction de la roche, à l'instar de ce qu'on observe pour l'amidon quand il se dessèche. C'est sans doute de cette manière que se sont formées, par exemple, les cassures de la craie blanche, qui apparaissent sur les falaises exposées à l'air, tandis qu'elles font défaut dans les masses exploitées souterrainement.

Mais, dans bien des cas, on doit en rechercher la cause dans des actions mécaniques puissantes qui ont amené des ruptures. Ces joints auraient ainsi la même origine que les failles.

§ II

TERRAINS IGNÉS.

182. Mode de formation. — Les *roches ignées* sont des roches d'origine interne, produites par le refroidissement de la masse fluide primitive ou arrivées au jour par voie d'éruption, comme les laves des volcans. Elles diffèrent des roches sédimentaires en ce qu'elles sont souvent cristallisées et ne renferment aucun des débris caractéristiques de ces dernières, sable, cailloux roulés ou fossiles, ni la moindre trace de ciment.

Il ne faut pas croire toutefois qu'elles sont dues uniquement

à l'action du feu, qu'elles résultent, en d'autres termes, de la *solidification de matières fondues par voie sèche*. En leur donnant le nom de roches ignées, nous entendons dire seulement que la chaleur a joué dans leur formation le rôle le plus important.

Mais elles portent toutes l'empreinte manifeste d'une action aqueuse. On sait que les laves, quand elles sortent des volcans, sont imprégnées d'eau et que, tant que leur refroidissement dure, elles dégagent de grandes quantités de vapeur d'eau. Il a dû en être de même pour les anciennes roches ignées, comme en témoignent les inclusions liquides que renferment leurs minéraux constitutifs et surtout le quartz. L'eau, à une haute température et sous une forte pression, s'est mêlée intimement à leur masse incandescente et ce n'est qu'après cette pénétration aqueuse qu'a commencé la solidification.

Aussi les substances cristallisées s'y trouvent dans un mode d'enchevêtrement différent de celui qu'indiqueraient leurs degrés respectifs de fusibilité. C'est grâce à la présence de l'eau qu'on peut expliquer que dans le granite, roche composée de feldspath, mica et quartz, les deux premiers minéraux, qui sont les plus fusibles, ont cristallisé en premier lieu et que le quartz, beaucoup moins fusible, les a ensuite enveloppés comme d'une pâte en se moulant sur leurs surfaces.

183. Allure des roches primitives. — Les roches ignées de la première écorce solide du globe ne sont pas seulement cristallines comme les roches franchement éruptives ; elles sont en même temps *stratiformes*.

On doit concevoir que la solidification ne s'est pas faite d'un seul coup et que les substances qui, en vertu d'une affinité mutuelle, ont commencé à cristalliser avant les autres, ont pu se séparer de la masse liquide et tendre, sous l'action de la pesanteur, à s'arranger sur des plans horizontaux, en prenant des apparences qui rappellent plus ou moins celles des couches stratifiées sous l'eau. Les remaniements chimiques et mécaniques auxquels étaient soumis les éléments de la croûte à peine consolidée concouraient aussi au même but, puisqu'ils s'opéraient dans un liquide essentiellement mobile.

C'est ainsi qu'on explique comment les roches primitives, telles que les gneiss, les micaschistes, présentent un mode d'arrangement tout spécial qui les distingue à la fois des masses éruptives et des terrains sédimentaires.

184. Allure des roches éruptives. — Les roches éruptives ne sont jamais stratifiées comme les roches sédimentaires et les roches primitives. Elles se montrent en masses irrégulières intercalées au milieu de terrains plus anciens. Cette intrusion est mise hors de doute dans bien des cas non seulement par le redressement des couches sédimentaires ou primitives qu'elles ont traversées, mais encore par la présence au milieu de la masse éruptive de fragments arrachés à ces couches ; ainsi le granite de Normandie, avec lequel on fait les dalles de trottoirs des rues de Paris, contient fréquemment des morceaux argileux de schiste noirâtre qui proviennent du terrain encaissant.

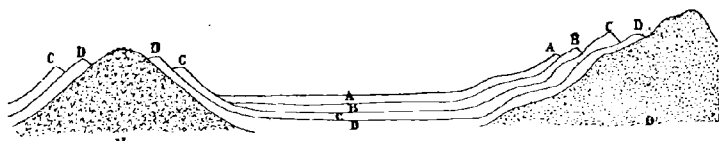


Fig. 55. — Couches sédimentaires A, B, C, D, redressées par des masses éruptives M, O.

Tantôt l'intrusion donne des massifs considérables occupant des espaces étendus et sur les flancs desquels reposent les couches stratifiées plus ou moins fortement redressées (fig. 55). Tantôt la roche éruptive, surtout quand elle était dans un grand état de fluidité, a coulé à la surface du sol en le recouvrant horizontalement ou sur une faible pente, et formant des nappes ou coulées à la manière des laves des volcans actuels. Tantôt elle s'est contentée de pénétrer dans les fentes d'un terrain disloqué et de les remplir ; l'une des formes les plus habituelles de cette sorte d'intrusion est le filon, sur lequel nous reviendrons tout-à-l'heure.

185. Structure des roches ignées. — Les roches ignées sont susceptibles, aussi bien que les roches sédimentaires, d'être

tre traversées par des fissures qui leur donnent une structure *pseudo-régulière*, ou de se diviser en feuillets, quoiqu'avec une moindre régularité, en prenant une structure *foliacée*. Mais le plus souvent ces roches, quand on cherche à les briser, n'affectent aucun sens particulier de division, en sorte qu'elles ont une structure *indéterminée* ou *massive*.

Dans les roches bien homogènes comme les basaltes, la con-

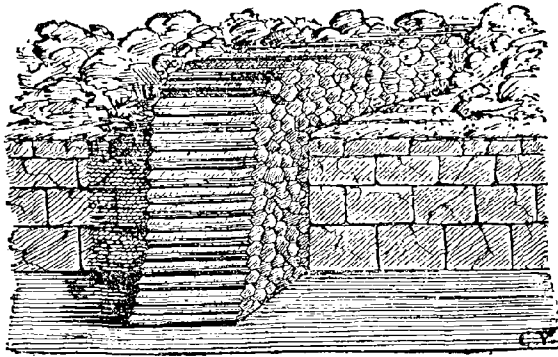


Fig. 56. — Filon de basalte prismatique.

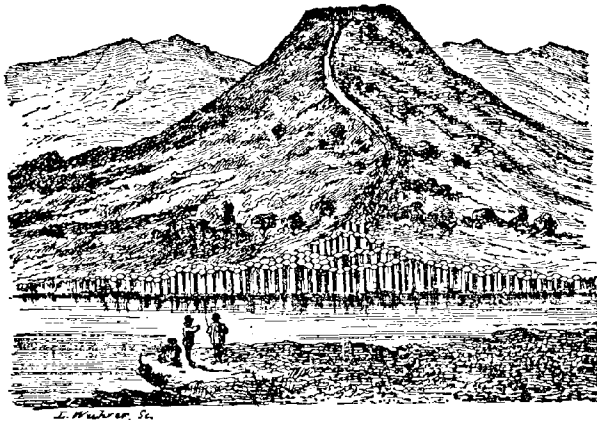


Fig. 57. — Volcan d'Aizac avec sa coulée prismatique.

traction résultant du refroidissement de la masse fondue a déterminé une division en prismes hexagonaux réguliers. L'effort de contraction nécessaire à la production de ce prisme

est moindre en effet que celui qui devrait être atteint pour la formation de prismes à base carrée ou à base triangulaire ; aussi, dès que la force de contraction est égale à la valeur de cet effort minimum, l'hexagone prend naissance. Les filons et surtout les coulées basaltiques, si abondantes dans les anciennes contrées volcaniques, offrent de nombreux exemples de cette structure (fig. 56 et 57).

§ III.

FILONS.

186. Définition des filons. — Un *filon* est une fente ou une cassure qui traverse l'écorce du globe sur toute son épaisseur et qui, mise en relation plus ou moins directe et facile d'une part avec les agents atmosphériques, d'autre part avec la masse fluide interne, s'est remplie de matières diverses. Il y a donc deux choses à considérer dans un filon : la *fente* et le *remplissage*.

La puissance de la fente, c'est-à-dire l'épaisseur mesurée normalement aux parois, peut varier depuis celle d'une feuille de papier, comme dans les filons de tellure natif d'Offenbanya en Transylvanie, jusqu'à celle de 60 mètres qu'atteignent les filons de galène de Clausthal dans le Harz. Elle varie aussi dans les différents points d'un même filon ; tantôt elle diminue avec la profondeur, tantôt, ce qui paraît être le cas le plus fréquent, elle augmente. On connaît aussi des filons *en chapelet*, qui consistent en une suite de dilatations et d'étranglements, souvent en relation avec la nature des terrains traversés.

Les filons ne s'écartent généralement pas beaucoup de la verticale. La paroi de la roche encaissante sur laquelle ils reposent s'appelle *mur*, tandis que l'autre est le *toit* ; ces deux parois sont désignées sous le nom commun d'*épontes*. Il arrive souvent que le corps du filon est séparé de ses épontes par une certaine épaisseur de matières argileuses ou désagrégées qu'on appelle une *salbande*. Les épontes peuvent offrir des *mi-roirs* semblables à ceux des failles et qui sont le résultat du

frottement mutuel des parois lors de la formation de la fente et du glissement du toit sur le mur.

Les filons viennent parfois se montrer à la surface du sol par une tranche supérieure qu'on appelle *tête*, qui est prolongée sur une plus ou moins grande longueur à travers des terrains dif-

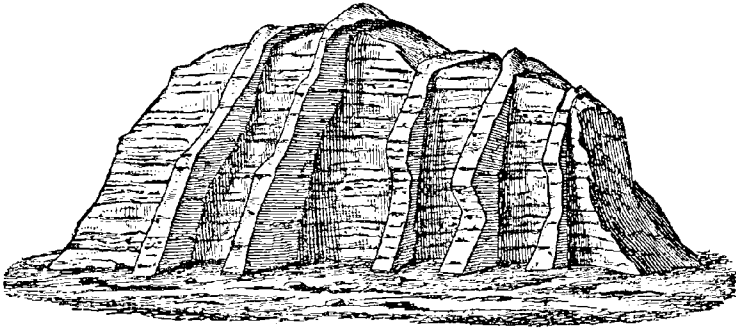


Fig. 58. — Dykes de lave dans le val del Bove (Etna).

férents. Dans quelques circonstances, cette tête, déchaussée par la décomposition et la dénudation de la roche encaissante, s'accuse en saillie comme un mur ou *dyke*¹.

De même que les couches sédimentaires, les filons ont une *direction* et une *inclinaison* sujettes à de grandes variations.

187. Champs de fractures. — Il est rare que les filons métallifères soient isolés. Presque toujours il se concentrent dans certaines régions en se réunissant par groupes dont chacun est composé de fentes à peu près parallèles. Ces régions privilégiées, qui constituent des réseaux de fentes auxquels on a donné le nom de *champs de fractures*, appartiennent surtout au terrain primitif ou aux schistes anciens, et il semble que c'est par un effort de torsion qu'elles se sont fracturées. C'est ce qu'on peut conclure des expériences de M. Daubrée qui, en tordant une longue plaque de verre épais, solidement encastree à une de ses extrémités, y a fait naître des fêlures (fig.

1. Mot écossais qui signifie mur de pierres.

59) qui reproduisent assez exactement l'aspect d'un plan de mine dans un district métallifère comme le Hartz, l'Erzgebirge, le Cornouailles, etc.



Fig. 59. — Effets de la torsion sur une plaque de verre épais (d'après M. Daubree).

188. Croisements de filons. — Quand deux filons se rencontrent, la direction peut être brusquement déviée ; le plus récent, ou *filon croiseur*, divise l'autre, ou *filon croisé*, en deux parties dont l'une est souvent rejetée et portée à une cer-

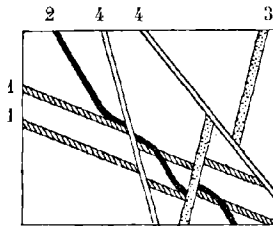


Fig. 60. — Croisement de filons. — Les filons les plus anciens 1, 1, sont rejetés par le filon 2 qui subit lui-même un rejet de la part du filon 3. Les filons 4 rejettent tous les autres.

taine distance (fig. 60). On a remarqué que ce rejet se fait le plus fréquemment dans un sens déterminé, comme si le toit du filon croiseur avait glissé sur le mur ; cette règle est connue dans l'art des mines sous le nom de *règle de Schmidt*. Il peut arriver que le filon croiseur s'arrête brusquement devant un autre sans le traverser ; il est *intercepté*.

189. Remplissage des filons. — Le remplissage des filons n'est pas toujours contemporain de la formation des fentes ; il peut ne s'être produit qu'après un assez long intervalle. En tout cas il est l'effet de causes très diverses.

Tantôt les matières fondues qui constituent le noyau central du globe se sont injectées dans les fentes en amenant par-

fois avec elles des substances métalliques qui, plus tard, s'en sont séparées ; tantôt elles ont émis des vapeurs qui sont venues se déposer, par voie de sublimation, sur les parois en les tapissant de cristaux. D'autre part, les eaux marines et terrestres devaient pénétrer plus ou moins profondément dans ces fissures et y déterminer des phénomènes variés, des dissolutions, des dépôts concrétionnés ou cristallisés, etc., en réagissant sur la roche encaissante elle-même.

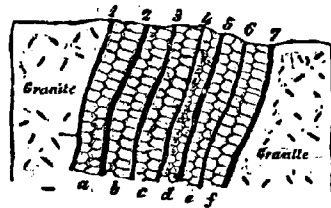


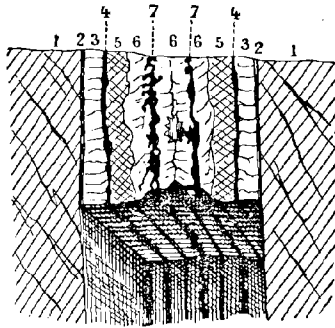
Fig. 61.— Filon de pyrite de cuivre qui s'est élargi à six époques successives, près de Redruth (Cornouailles). — *a, b, c, d, e, f*, bandes doubles de cristaux tournés vers leur côté interne ; 1, 7, anciennes parois formées par le granite ; 2, 3, 4, 5, 6, parois séparées par une veine très mince d'argile ocreuse (d'après de la Bèche).

Ces différentes actions ont eu lieu successivement pendant une longue période de temps. La nature des sublimes ou des dissolutions a nécessairement changé avec les époques, et il en est résulté des effets de double décomposition qui expliquent la présence actuelle dans les filons de matières fixes et insolubles, qui ne semblent pas avoir pu y arriver directement. D'ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que, sous l'influence du temps et des hautes pressions, les phénomènes chimiques ont pu être bien différents de ceux que nous observons dans les réactions relativement instantanées de nos laboratoires.

Ce qui vient encore compliquer l'étude des filons, c'est qu'après un premier remplissage, les cassures, qui constituent dans l'écorce des sections de moindre résistance, ont pu se rouvrir plusieurs fois. A chaque réouverture, les mêmes phénomènes pouvaient se reproduire, mais en donnant lieu à des réactions chimiques différentes. Ces réouvertures se manifestent avec évidence lorsque des fragments anguleux d'un filon

déjà consolidé se trouvent pris dans un autre remplissage, ou bien lorsque l'on observe, juxtaposées les unes aux autres, des bandes de minéraux implantés perpendiculairement aux parois ; dans ce dernier cas, chaque bande occupait originairement toute la largeur de la fente (fig. 61).

190. Diverses sortes de filons. — En laissant de côté les *filons pierreux* qui ne sont composés que de roches éruptives, on peut distinguer deux catégories principales de filons métallifères : les *filons injectés* et les *filons concrétionnés*. Cette distinction n'est d'ailleurs pas absolue, car il y a de nombreux passages d'une catégorie à l'autre.



Eig. 62. — Filon concrétionné en exploitation. — 1, 1. épontes ; 2, 2. salbandes ; 3, quartz ; 4, pyrite de fer ; 5, calcite ; 6, quartz et barytine ; 7, blende et galène.

Filons concrétionnés. — Les filons concrétionnés, qui sont les plus nombreux, occupent des fentes bien définies, assez régulières et dont l'épaisseur moyenne est de 3 à 4 mètres. Les substances qui les remplissent y sont généralement disposées par bandes ou zones parallèles aux parois, qui se reproduisent symétriquement des deux côtés à partir de la ligne médiane (fig. 62). Toutes ces substances, qui sont à l'état concrétionné et qui n'ont cristallisé que là où il subsiste, au centre du filon, des cavités béantes ou *druses*, se sont déposées lentement, par circulation d'eaux ou de vapeurs. Elles se divisent en deux classes, les *minerais métalliques* et les *gangues*, ou matières

stériles. Ces dernières, qui sont généralement dominantes, sont formées d'ordinaire de quartz, de calcaire spathique, de dolomie, de baryte sulfatée ou de spath fluor et de fragments arrachés aux roches voisines. Quant aux minerais, ce sont généralement des sulfures, tels que la *galène* ou sulfure de plomb, souvent argentifère, la *blende*, ou zinc sulfuré, la *pyrite de fer* et la *pyrite de cuivre*.

Filons injectés. — Les filons injectés sont intimement liés à l'émission d'une roche éruptive qui a déterminé le remplissage de la fente et de laquelle les substances métalliques, intimement mélangées à sa masse, ne se sont séparées qu'au moment où ses éléments ont cristallisé. Tantôt le minerai se trouve disséminé dans la roche en veinules nombreuses qui s'entrecroisent dans tous les sens ; c'est un gîte d'*émanation directe*, dont les gisements stannifères offrent le type. Tantôt le minerai s'est ultérieurement concentré en amas ; tel est le cas de certains gîtes cuprifères auxquels on donne le nom de *gîtes de départ*. Ces filons sont bien moins réguliers que les précédents dans leur allure.

§ IV.

MÉTAMORPHISME.

191. Définitions. — On désigne sous le nom de *métamorphisme* toute modification subie par les roches postérieurement à leur origine. Quand l'altération n'a lieu que dans une bande assez étroite, au voisinage immédiat des agents modificateurs, le métamorphisme est *restreint* ; il est *régional*, quand il affecte tout un ensemble de roches occupant une notable étendue de la surface du globe.

192. Métamorphisme restreint. — Le métamorphisme restreint, que l'on appelle aussi *métamorphisme d'influence*, est dû à des causes qui se rattachent à l'action éruptive et dont les

plus importantes sont la chaleur, l'eau liquide ou en vapeur, les réactions chimiques.

La chaleur ne produit guère qu'une modification physique qui affecte une zone peu étendue au contact de la roche éruptive. L'un des exemples les plus saisissants de ce genre de transformation est celui du changement de la craie en calcaire

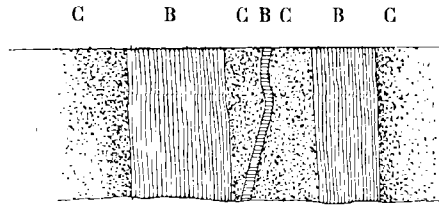


Fig. 63. — Craie C changée en calcaire cristallin au voisinage de filons de basalte B à Antrim (Irlande).

cristallin par l'influence de filons de basalte dans le comté d'Antrim, en Irlande (fig. 63); entre ces filons, la craie, naturellement terreuse et d'une couleur blanche qui contraste avec la teinte noire de la roche éruptive, devient grisâtre et prend une texture cristalline; il en est de même à l'extérieur des filons extrêmes, mais la cristallinité s'atténue de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne du foyer éruptif, pour disparaître à 3 ou 4 mètres de distance.

Dans l'Eifel, on signale des effets de vitrification exercés par des filons de trachyte sur des gneiss, dont les éléments ont été fondus par la chaleur que dégageait la roche trachytique. Dans certaines mines de houille, on a remarqué que le combustible minéral avait subi une véritable calcination et s'était changé en coke au contact de filons de trapp; en même temps les argiles qui séparent les couches de houille étaient cuites au point de ressembler à de la brique. Ailleurs, les roches se contentent de durcir quand elles ne sont pas susceptibles de décomposition par la chaleur, les grès prennent une structure prismatique ou bacillaire dans un sens perpendiculaire aux épontes.

Il est à remarquer que des effets tout à fait semblables se produisent de nos jours dans des circonstances analogues. Ainsi quand le feu se met dans une houillère, la houille se

transforme en coke et les argiles en *porcelanites* à couleurs variées, disposées par bandes qui les font ressembler à du jaspe. Dans des cheminées de fourneaux, on a vu le grès de la maçonnerie se diviser en petits prismes perpendiculaires aux parois, sous l'action d'un feu longtemps soutenu.

Il y a cependant un certain nombre d'observations particulières qui sembleraient infirmer, jusqu'à un certain point, l'efficacité de la chaleur dans les phénomènes métamorphiques. Ainsi en Irlande des basaltes se sont étendus sur des tufs sans leur faire subir de modification appréciable. D'après M. Fouqué, une coulée de lave a entouré un pin sur le flanc de l'Etna sans produire d'autre effet que de carboniser l'écorce et d'en prendre l'empreinte par le moulage. On peut expliquer ces anomalies par la vaporisation de l'eau qui existait dans les couches en contact avec la matière éruptive.

Les roches peuvent subir des modifications bien autrement profondes que celles qui sont dues à la simple action de la chaleur. On voit, dans le voisinage des roches éruptives, des terrains sédimentaires remaniés complètement dans leurs éléments constitutifs et pénétrés de substances cristallisées ; au contraire des précédents qui sont tout à fait localisés, ces effets s'étendent parfois jusqu'à plusieurs centaines de mètres du massif éruptif qui les a produits.

Les exemples à citer sont innombrables. Dans les Pyrénées et les Alpes, les calcaires se sont chargés de minéraux cristallisés et même de minerais métalliques par l'influence des roches d'éruption. Dans le Tyrol, le calcaire s'est transformé en dolomie, carbonate double de chaux et de magnésie, par l'action de sels magnésiens que des éruptions amenaient dans les mers anciennes. Des gaz sulfurés, exhalés de l'intérieur du globe, ont produit du gypse ou sulfate de chaux hydraté aux dépens du calcaire. Des émanations siliceuses ont souvent silicifié des schistes argileux.

Cette intrusion de substances nouvelles dans les roches sédimentaires ne doit pas étonner si l'on se rappelle que les volcans en éruption rejettent non seulement de la lave fluide, mais encore de la vapeur d'eau, des gaz chauds, qui donnent naissance à des minéraux variés, et que, comme l'a montré

M. Daubrée dans ses curieuses observations sur les sources de Plombières (n° 108), des eaux chaudes chargées de matières en dissolution sont des causes puissantes de décompositions et de réactions chimiques pour les roches dont elles pénètrent les pores.

Il peut aussi s'être produit dans bien des cas quelque chose d'analogue à la *céméntation*, phénomène encore mystérieux, dans lequel on voit le charbon en poussière pénétrer dans des barres de fer simplement distendues par une température relativement peu élevée, pour se glisser entre les molécules.

193. Métamorphisme régional. — Le métamorphisme se manifeste souvent sur de vastes contrées. Dans les Alpes, les assises fossilifères de certaines formations géologiques passent dans leur prolongement à des schistes cristallins et même à des gneiss. Quand on se dirige de la Côte-d'Or vers le Jura, on est frappé de voir les mêmes couches sédimentaires changer peu à peu de caractères et des calcaires amorphes devenir graduellement cristallins. En Bretagne, les schistes où se trouvent les *pierres de croix* si connues ne sont autre chose que des argiles modifiées, dans lesquelles on constate encore des coquilles reconnaissables. Les schistes ardoisiers des Ardennes, si remarquables par leur fissilité et par les minéraux cristallisés qui s'y sont développés, sont également des argiles transformées par le métamorphisme.

Mais l'action éruptive ne suffit pas, comme on l'a cru longtemps, à expliquer des effets aussi considérables, d'autant plus que dans bien des cas il n'existe aucun épanchement éruptif à l'influence duquel on pourrait les attribuer. Si l'on remarque qu'ils se constatent surtout dans les régions disloquées, on est conduit à les rattacher aux mouvements de l'écorce du globe.

Les couches, dans ces mouvements violents, sont en effet soumises à de très fortes pressions et, quand elles glissent les unes sur les autres, elles dégagent une chaleur intense qui, d'après quelques auteurs, peut s'élever jusqu'au point de fusion des roches. Comme cette chaleur est emprisonnée dans une masse d'où elle ne peut s'échapper aisément, et que tou-

tes les roches sont plus ou moins imprégnées d'eau, les conditions de la célèbre expérience de Hall, qui a transformé de la craie humide en marbre dans un tube bouché et fortement chauffé, se trouvent réalisées sur une immense échelle. Le métamorphisme régional, dont le trait caractéristique est de rendre cristallines des roches amorphes, se serait donc opéré par voie mécanique.

194. Métamorphisme primordial. — Plusieurs géologues pensent que le métamorphisme a joué un rôle encore bien plus considérable dans l'histoire du globe. Pour eux, il n'est rien resté de la croûte primordiale, qui, enfouie sous de grandes épaisseurs de terrains sédimentaires et ramenée ainsi dans la zone de la chaleur centrale, s'est refondue et a fourni la matière des roches éruptives. Ce sont ces couches sédimentaires qui, sous l'action de la pression considérable qu'elles subissaient et de la température élevée à laquelle elles étaient soumises, ont éprouvé un commencement de fusion ou tout au moins un ramollissement, par suite duquel elles se sont transformées en ces roches cristallisées stratiformes, gneiss, mica-schistes, etc., que nous rapportons au terrain primitif.

L'un des arguments les plus forts que l'on puisse opposer à cette théorie du *métamorphisme général* ou *primordial* est que, pendant que se déposaient les couches sédimentaires, l'écorce continuait à s'accroître par la base, en raison des progrès du refroidissement du globe, et que dès lors il est fort peu probable que, sauf dans des cas exceptionnels, les sédiments aient atteint une température assez élevée pour se ramollir et cristalliser.

La remarquable uniformité de composition du terrain primitif et la constance de l'ordre de succession des couches qui le constituent, partout où on l'observe, Plateau central de la France, Scandinavie, Bavière, Canada, démontrent encore qu'il doit son origine à une cause agissant partout de la même manière et qui ne peut être que la solidification d'une masse fluide à peu près homogène.

Enfin on ne comprendrait pas pourquoi, si ce terrain a été originellement sédimentaire, il ne renferme jamais ni cailloux roulés ni fossiles.

CHAPITRE V

MOUVEMENTS ANCIENS DE L'ÉCORCE TERRESTRE

§ I. Mouvements séculaires. — § II. Formation des montagnes. — § III. Formation des vallées. — § IV. Coordination systématique des accidents stratigraphiques.

195. — L'écorce du globe a subi, à diverses époques de son histoire, de nombreuses dislocations dont nous retrouvons les traces indiscutables dans les accidents stratigraphiques du sol, failles, discordances de stratification, plissements et renversements de couches, soulèvements de montagnes, affaissements de terrains, etc.

Les anciens mouvements de l'écorce, à côté desquels s'effacent ceux qui se produisent encore sous nos yeux, peuvent être classés en deux catégories : les *mouvements séculaires* qui se sont effectués lentement et les *mouvements orogéniques*¹ qui ont formé les *montagnes* et la plupart des *vallées*. Nous étudierons d'abord les manifestations de ces grands phénomènes : puis nous rechercherons s'il est possible d'en faire la *coordination systématique*.

1. De ὄρος, montagne ; γένεσις, naissance.

§ I

MOUVEMENTS SÉCULAIRES

196. — Les mouvements séculaires sont des mouvements oscillatoires qui ont eu pour conséquences de vastes ondulations de terrain et qui ont ainsi élevé certaines régions au-dessus du niveau des eaux, tandis que d'autres s'affaissaient.

Les couches qui ont été soumises à ces mouvements n'ont qu'une pente assez faible et on les voit affleurer sur de grandes étendues sans que leur continuité soit pour ainsi dire interrompue. Telle est l'allure qu'elles présentent dans les contrées où elles n'ont subi aucun bouleversement postérieur, comme dans le bassin de Paris où les affleurements dessinent des bandes courbes à peu près concentriques autour de la capitale, comme dans le centre de la Russie, comme aux États-Unis, etc. Il est facile de voir que là les dépressions occupées par les eaux se sont déplacées lentement ; tantôt un exhaussement s'est propagé dans une direction déterminée en refoulant peu à peu la mer ; tantôt il s'est opéré une succession de mouvements en sens contraire, affaissements et relèvements, qui ont, en quelque sorte, attiré puis repoussé les eaux.

La restitution des rivages des anciennes mers n'est pas toujours facile, car bien des formations littorales ont disparu, enlevées par de puissantes érosions, sans laisser aucune trace. Cependant des études patientes et attentives sont parvenues à résoudre ce problème dans quelques cas et ont permis de reconstituer, avec une assez grande exactitude, les mouvements qui ont animé l'écorce solide à diverses époques.

On a reconnu ainsi que dans le bassin parisien, limité par les massifs de l'Ardenne et des Vosges au N.-E et à l'E., le sol s'est progressivement élevé, à part quelques temps d'arrêt et quelques mouvements locaux en sens contraire, de telle sorte que les rivages qui, au début de l'ère secondaire, couraient au pied des Vosges, s'avançaient jusqu'au-delà de Laon,

Epernay et Montercau à la fin de la même ère. Puis des oscillations nombreuses en sens contraire se sont produites ; le bassin a achevé de se combler et la mer s'est retirée définitivement avec l'ère tertiaire.

Les mouvements séculaires ont largement contribué à séparer la terre des mers, à délimiter ces dernières pour leur donner leurs contours actuels, et à former les continents. Comme ils n'ont imprimé à l'écorce qu'une flexion de courbure assez faible pour que cette écorce la subisse sans éprouver de solution de continuité, au moins de quelque importance, ils n'ont guère fracturé ni disloqué le sol. Il n'en est pas pas de même des mouvements orogéniques qui vont maintenant nous occuper.

§ II

FORMATION DES MONTAGNES

197. Théorie d'Élie de Beaumont. — Le mode de formation des montagnes est un des problèmes les plus ardues qui se dressent en face du géologue. S'il est bien évident que c'est par suite de brusques mouvements du sol que les montagnes ont pris naissance, il s'en faut que nous soyons en possession d'un système qui rende compte de toutes les particularités dans tous leurs détails.

Des diverses théories qui ont été imaginées, c'est encore celle de notre illustre maître, Élie de Beaumont, qui explique le mieux dans ses grands traits le phénomène orogénique. Tous ses successeurs n'ont guère fait que s'approprier ses idées, en les développant, en donnant à certaines actions plus d'importance qu'il ne leur en attribuait, mais sans rien ajouter d'essentiel.

Cette théorie a son point de départ dans ce principe si fécond du refroidissement continu de la terre. Reportons-nous au moment de l'histoire du globe où l'équilibre s'est établi en-

tre la chaleur que recevait la croûte solide et celle qu'elle perdait et à partir duquel cette croûte, encore peu épaisse et traversée par de nombreuses fissures, s'est séparée du noyau fluide qui se contractait plus rapidement qu'elle. Elle ne pouvait se maintenir indéfiniment sans appui, d'autant plus qu'elle n'avait qu'une très faible courbure, et son poids tendait à l'appliquer constamment contre la masse fluide. Par suite de la diminution progressive du rayon de cette dernière, l'enveloppe était obligée de se bosseler légèrement; certaines de ses parties éprouvaient une compression, d'autres une extension. La contraction du noyau devenant de plus en plus forte sous l'influence toujours agissante du refroidissement, la déformation a continué à augmenter.

Cependant, l'écorce terrestre n'a pu se comporter toujours ainsi. Elle a fini par ne pouvoir résister aux forces qui la sollicitaient avec une intensité graduellement croissante et auxquelles il faut ajouter celles qui résultaient de la rotation du globe autour de son axe. Aussi, pour réduire son excès de dimension, elle s'est effondrée en se fracturant en grand et la matière fluide comprimée a pénétré dans ses crevasses.

Il s'est formé de cette manière, suivant l'expression d'Elie de Beaumont, un *rempli* qui a dû affecter la forme la plus simple en harmonie avec la figure de la sphère et en même temps celle qui exige pour se produire la moindre consommation de force vive. Or cette forme est précisément celle d'un fuseau sphérique comprimé latéralement ou, pour employer une comparaison vulgaire, d'une côte de melon.

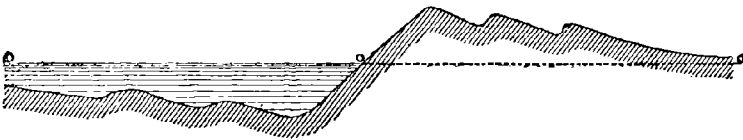


Fig. 64. — Diagramme d'un soulèvement.

On a ainsi un *soulèvement*, puisque certaines matières se sont éloignées du centre de la terre, dans lequel on distingue une saillie longue par une grande dépression du côté de la-

quelle on trouve le versant le plus abrupt, suivant le diagramme de la figure 64.

Ce trait caractéristique des premiers accidents qui ont présidé à la formation des montagnes s'est conservé jusqu'à nous, comme le prouve l'examen des grandes chaînes qui parcourent la surface du globe. L'inégalité de la pente des deux versants est une règle sans exception. Ainsi les Pyrénées sur le versant français s'élèvent d'un seul jet au-dessus de la grande dépression représentée par la plaine de Toulouse, tandis qu'en Espagne elles s'abaissent progressivement par une série de rides parallèles. Les Alpes ont des pentes escarpées vers la Lombardie et plus douces sur le côté opposé.

L'écorce du globe se serait donc comportée comme une lame flexible dont les deux extrémités sont forcées de se rapprocher par l'effet d'une compression latérale et qui se brise quand cette compression devient trop forte.

198. Rôle de l'action sédimentaire. — Telle est la première ébauche de la montagne. Ces saillies, bordées par la mer, étaient soumises à l'action destructive des vagues qui venaient les battre avec furie. Elles se détruisaient d'autant plus rapidement qu'elles formaient des plis synclinaux et anticlinaux dont les derniers, par suite de l'extension des couches, étaient disloqués à la clef de voûte. Les sédiments provenant de leur désagrégation s'accumulaient dans les dépressions longitudinales.

La pression latérale qui avait fait naître une saillie continuant à se faire sentir, les dépôts sédimentaires pouvaient être refoulés contre le rivage, qui marquait une zone d'autant plus résistante qu'elle était consolidée par la compression et que ses fentes étaient injectées de roches éruptives. Ces dépôts augmentaient la masse et la hauteur de la montagne, qui s'élevait sans doute aussi d'autre part en accentuant son ridement sous le même effort de compression latérale.

Il ne serait pas impossible en outre que les matériaux qui s'accumulaient en quantité considérable dans les dépressions ne les aient obligées, par leur poids, à s'affaisser de plus en plus, tandis que la crête à laquelle ces matériaux avaient été arra-

chés, se trouvant sur une partie moins épaisse de l'écorce terrestre, avait une tendance à se soulever. Il ne faut pas perdre de vue que cette écorce, quoique composée de roches dures et peu élastiques, est douée en grand d'une certaine souplesse, surtout sous l'influence de la pression, de la chaleur, de l'eau elle-même, qui imbibe plus ou moins fortement toutes les roches sans exception. S'il en était autrement, on ne comprendrait guère qu'elle ait pu se prêter à des plissements aussi accentués que ceux que nous observons.

199. Localisation des régions plissées. — Il résulte de ce qui précède que c'est surtout sur les bords des premiers massifs montagneux que les terrains sédimentaires doivent être plissés, puisque c'est là, contre les ridements de l'écorce, que les efforts de compression ont atteint la plus grande énergie. C'est en effet ce que l'on constate.

Le Jura, si remarquable par ses contournements de couches que les belles études de Thurmann ont rendus classiques, a pris cette allure par l'effet d'un refoulement contre les massifs primitifs des Vosges, de la Forêt Noire et du Plateau central de la France. C'est un grand plateau relativement peu tourmenté, compris entre deux bandes étroites de failles et de plissements.

Il résulte également de ce que nous venons de voir que les formations sédimentaires doivent avoir une plus grande épaisseur et une plus grande continuité dans les districts montagneux que dans les pays de plaines, puisque c'est dans les dépressions qui longeaient les premières saillies que l'apport des sédiments était le plus actif.

200. Effondrements. — Si le mécanisme que nous venons de décrire paraît bien être, dans la majorité des cas, celui qui a déterminé la formation des montagnes, il faudrait se garder de trop le généraliser. On ne peut avoir la prétention d'enfermer dans une formule unique le phénomène orogénique ; le problème est autrement complexe et l'observation attentive de régions montagneuses peu étudiées jusqu'à présent nous réserve probablement plus d'une surprise.

Ainsi on connaît des massifs, comme les Vosges, qui sont très peu plissés et où les principales dislocations se réduisent à des failles. Il semble dans ce cas qu'après le soulèvement il y ait eu effondrement, sur tout le pourtour, de paquets découpés par les fissures, de telle sorte que la partie centrale se soit isolée et que sa hauteur relative ait augmenté.

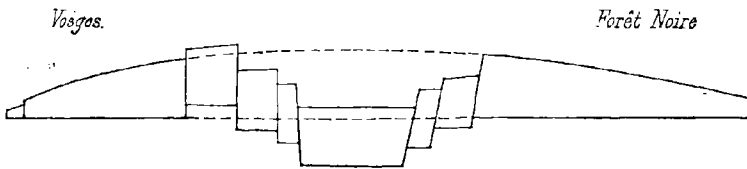


Fig. 65. — Diagramme du mode de formation de la plaine du Rhin (Elie de Beaumont).

C'est de cette manière, par soulèvement et écroulement combinés, que s'est formée la vallée du Rhin, en aval de Bâle. Les Vosges et la Forêt Noire étaient autrefois réunies en une seule proéminence légèrement bombée, dont la voûte, très surbaissée, s'inclinait d'un côté vers la Lorraine et de l'autre vers le Wurtemberg. La clef de cette voûte s'est un jour abîmée sur une grande longueur (fig. 65), laissant à sa place une immense fracture dans laquelle devait plus tard se précipiter le Rhin.

201. Rôle des éruptions. — On enseignait autrefois, sur l'autorité de Léopold de Buch, que c'était le phénomène éruptif qui avait donné naissance aux montagnes. On admettait que, par suite de l'expansion de vapeurs dégagées par la masse fluide, celle-ci avait été poussée à travers l'écorce en la crevant et refoulant sur les côtés la couverture de terrains stratifiés qu'elle supportait.

En réalité, ainsi qu'il est facile de le reconnaître quand on examine attentivement la structure des chaînes de montagnes, les noyaux granitiques qui se montrent dans leur axe ont apparu au jour longtemps après leur consolidation, poussés, comme les couches sédimentaires, par des actions latérales. Ces noyaux ne sont d'ailleurs pas des roches franchement

éruptives et on peut les rattacher à la première écorce solide du globe.

Il est remarquable que les massifs montagneux les plus puissants sont précisément les plus pauvres en roches cristallines et que leur masse est composée presque entièrement de terrains sédimentaires. Ainsi les roches granitiques qui apparaissent dans la chaîne centrale des Alpes appartiennent, par leurs caractères, au terrain primitif et il n'y a guère de roches nettement éruptives, en petit nombre encore, que sur le bord méridional du massif. Il en est de même pour les Pyrénées, quoique les terrains cristallins y soient déjà plus abondants.

Au contraire, les masses montagneuses plus anciennes du Plateau central, des Vosges, de l'Esterel, de l'Armorique, sont riches en granite franchement éruptif et autres roches cristallines diverses.

Quoi qu'il n'ait joué qu'un rôle effacé dans le soulèvement des montagnes, le phénomène éruptif est pourtant en rapport étroit avec le phénomène orogénique. Il est naturel en effet de penser que les roches éruptives se sont concentrées dans les régions de plissement où des fractures étaient préparées pour les recevoir, et c'est pour cela qu'on les trouve soit dans les massifs rigides d'ancienne consolidation, comme ceux que nous venons de citer, soit sur les bords des anciennes zones de dépression, comme dans les montagnes plus récentes des Alpes et des Pyrénées.

202. Principales époques de dislocations. — Tandis que les mouvements séculaires ont eu lieu d'une manière continue, les mouvements orogéniques ne se sont produits qu'à d'assez longs intervalles, mais aussi avec une amplitude et une énergie infiniment plus grandes. On peut citer surtout deux époques de dislocations qui ont eu un caractère marqué de généralité à la surface du globe.

La première a atteint son maximum un peu avant la fin de l'ère primaire, vers le milieu de la formation houillère. Elle a couvert le globe de rides nombreuses, relativement peu accentuées, ou du moins dont il ne reste plus que peu de chose.

La seconde a eu lieu vers le milieu de l'ère tertiaire, après

un long intervalle de repos relatif s'étendant au-delà de l'ère secondaire. C'est alors qu'ont été formées de nouvelles montagnes, les Pyrénées et les Apennins d'abord, puis les Alpes, le Jura, l'Himalaya, etc.

Ces dernières montagnes sont beaucoup plus hautes que celles de la première série. On a même érigé en principe que les reliefs du sol sont d'autant plus élevés qu'ils sont moins anciens. Il est en effet assez naturel de penser que, quand la croûte terrestre était encore mince, elle était fréquemment disloquée; mais d'une manière médiocre, et qu'à mesure qu'elle s'épaississait en gagnant en résistance, les soulèvements devenaient plus rares et que par contre la force qui les produisait devait être d'autant plus énergique pour agir sur une masse qui d'ailleurs, par sa plus grande puissance, était susceptible de donner un surcroît de relief. L'observation est d'accord avec cette manière de voir.

Toutefois, il ne faut pas oublier que les rides les plus anciennes sont celles qui ont eu le plus à souffrir des agents d'érosion et que cette cause a nécessairement diminué dans une forte proportion leur hauteur primitive.

On a cherché à se rendre compte de l'importance des dénudations de certains massifs en calculant le volume des dépôts formés par les débris qui leur ont été arrachés. C'est ainsi qu'on a évalué à plus de 1.000 mètres l'épaisseur des roches enlevées aux anciens massifs des Vosges, de l'Ardenne, du Plateau central. Mais ce qui vient compliquer le problème, c'est que le soulèvement a pu se continuer pendant que l'érosion marchait.

Anticipant un peu sur ce qui va suivre, nous ajouterons ici, pour montrer la concomitance du phénomène éruptif et du phénomène orogénique, que les éruptions, après avoir eu une grande importance jusqu'au début de l'ère secondaire, se sont interrompues pour ne reprendre qu'au commencement de l'ère tertiaire. Elles ont pour ainsi dire achevé de combler les fissures de la première série de ridements, et, dans la seconde série, elles ont rempli les crevasses qui précédaient la venue au jour des montagnes dont elles ont été comme les avant-coureurs.

203. Orientation des montagnes. — D'après la manière dont s'est produit le phénomène orogénique, les chaînes de montagnes, aussi bien que les filons, les failles, les plissements, doivent être alignées suivant des grands cercles de la sphère.

On ne peut effectivement parcourir un pays montagneux sans être frappé du parallélisme qu'affectent souvent les chaînes. La direction générale du massif est perpendiculaire à l'effort principal du refoulement qui a amené la dislocation ; on conçoit aisément qu'une pression latérale de l'écorce solide, un bombement à grand rayon, soit de nature à déterminer, dans le fuseau sphérique, une série de vides ou de fentes à peu près dirigés dans le même sens.

204. Age relatif des montagnes. — Lorsque des couches sédimentaires sont redressées ou plissées, il est certain qu'elles ont été affectées par des actions postérieures à leur dépôt. D'autre part, toutes les fois qu'on constate des discordances de stratification entre deux séries de couches dans un massif montagneux, on peut affirmer qu'il y a eu un soulèvement dans l'intervalle de temps qui a séparé la formation de ces deux séries. De même il est évident qu'une cassure est plus récente que les terrains qu'elle disloque.

Tels sont les principes à l'aide desquels on peut fixer l'époque relative du redressement d'une chaîne de montagnes. Mais si ces principes sont simples en théorie, rien n'est plus délicat que de les appliquer. A la rigueur, il est possible de déterminer avec quelque précision l'âge d'une dislocation élémentaire ; il n'en est pas de même quand il s'agit d'une grande ligne de relief.

Comme nous l'avons vu, une chaîne n'a pas surgi tout d'un coup. Quoique les efforts orogéniques, comparés aux mouvements séculaires, soient relativement brusques et saccadés, ils se sont répétés plusieurs fois dans une même région ; en sorte qu'un massif montagneux est le résultat d'actions multiples qui ont déterminé un nombre souvent considérable de soulèvements, de plissements, d'affaissements successifs, lesquels ne se sont produits ni de la même manière ni en même temps

dans les différentes parties du massif. Or, parmi ces divers mouvements, il est rarement facile de discerner celui qui a eu l'influence prépondérante en imprimant à tout l'ensemble son cachet particulier.

205. Systèmes de montagnes. — En se basant sur les considérations qui précèdent, Elie de Beaumont a voué une partie de sa vie à la classification chronologique des montagnes.

Ce grand géologue a d'abord posé comme règle que les chaînes du même âge sont généralement parallèles, tandis que les chaînes de direction différente appartiennent à des époques distinctes, sans que la réciproque soit exacte, des chaînes d'âge différent pouvant être parallèles ; ce qui prouverait simplement d'ailleurs que certains soulèvements se sont reproduits périodiquement dans la même direction. En étudiant avec le plus grand soin les diverses montagnes du globe, il est arrivé à les répartir, avec tous les autres accidents orographiques, dans 85 groupes, caractérisés par une direction unique, et dont chacun se rapporte à une ligne de démarcation dans l'échelle chronologique des terrains sédimentaires. C'est ce que l'on appelle les *systèmes de montagnes*.

La direction est celle du grand cercle de la sphère qui coïncide le mieux, en position et en orientation, avec la moyenne des accidents parallèles dont l'ensemble constitue le système. Ce grand cercle est défini en chaque point par la latitude du lieu et par l'angle qu'il fait en ce lieu avec le méridien. Toutes les directions sont rapportées à Paris, et pour cela on y transporte le grand cercle parallèlement à lui-même. On compte les angles de 0 à 180° dans le sens des aiguilles d'une montre.

Les Pyrénées, par exemple, dont la direction générale est sur place de 98° à 100°, appartiennent à un système défini par l'angle de 117° à Paris. Ce système se place entre la première et la deuxième période de l'ère tertiaire, parce que les couches qui se sont formées dans cette dernière période s'étendent horizontalement à leur pied.

Nous devons toutefois à la vérité de dire que, malgré le travail acharné auquel s'est livré Elie de Beaumont, ces détermi-

nations ne sont pas absolues. La direction d'une même chaîne est souvent susceptible de varier entre des limites assez étendues, tandis que des chaînes d'âge très différent peuvent affecter des directions identiques. Quant à l'âge relatif, il y a de telles difficultés à surmonter pour le fixer que, pour beaucoup de montagnes, on ne doit le considérer comme établi que d'une façon provisoire.

§ III.

FORMATION DES VALLÉES

206. Diverses sortes de vallées. — Une vallée est la contre-partie d'une montagne. D'une manière générale on peut dire que c'est une dépression de forme allongée, plus ou moins nettement délimitée par des saillies de terrain et ordinairement arrosée par un ou plusieurs cours d'eau.

On en distingue diverses sortes : les *vallées de déchirement* ou *de fracture*, les *vallées de ploïement* ou *de plissement* et les *vallées d'érosion*.

207. Vallées de déchirement. — La plupart des vallées et des gorges par lesquelles les eaux descendent des chaînes de montagnes sont des effets secondaires du mouvement orogénique. Il suffit de jeter les yeux sur la carte d'un massif montagneux pour reconnaître que le plus grand nombre de ces fractures ont une direction transversale ; mais il y a aussi, comme dans les Alpes, des fractures longitudinales. Elles présentent en général des escarpements rapides, sur les flancs desquels on aperçoit des traces bien manifestes de cassure et où les angles saillants d'un côté correspondent souvent à des angles rentrants de l'autre côté.

Les eaux n'ont guère fait autre chose que de façonner ces fractures, dont l'origine remonte à une date très ancienne. Cependant, quand elles agissaient sur des roches peu consistantes ou fissurées, des schistes par exemple, elles les affouil-

laient et donnaient naissance à des élargissements. C'est là un caractère de ces vallées, qui montrent ainsi des alternances de parties larges et de parties étroites.

C'est à cette catégorie qu'appartiennent les *cluses*, qui, dans le Jura, coupent transversalement les crêtes en plusieurs points et les *combes*, ou vallées anticlinales, si communes dans le même massif et qui se trouvent sur le sommet des plis (fig. 42). Pour ces dernières, les couches sédimentaires, distendues à la clef de voûte, se sont déchirées longitudinalement, et, une fois qu'elles ont été enlevées par les eaux, il est resté une dépression rectiligne dont les épaulements sont constitués par les reins de la voûte.

Les *cañones* et les *barrancos* encore plus grandioses de la Cordillère du Mexique doivent aussi leur origine première à la rupture et à l'écartement des couches ; ils ont presque toujours été élargis et ravinés par les cours d'eau.

Les vallées d'effondrement comme celle du Rhin (fig. 65), ou comme la grande dépression linéaire occupée par la Mer Rouge, se rattachent également à la catégorie des vallées de déchirement.

208. Vallées de ploiement. — Les vallées de ploiement sont des dépressions allongées comprises entre deux chaînes parallèles formées par les ondulations des mêmes couches de terrain. Dans le Jura, plusieurs vallées longitudinales présentent cette allure ; telles sont les vallées synclinales et isoclinales de la figure 45. En dehors de ce massif montagneux, où on les connaît sous le nom de *vals*, elles n'existent guère que dans les Alleghany en Amérique.

209. Vallées d'érosion. — Les vallées d'érosion, dues à l'action exclusive des eaux qui ont raviné le sol, ne se montrent guère que dans les pays de plaines recouverts de dépôts meubles ou de couches cohérentes faciles à entamer. Elles ont pour caractères à peu près constants d'être dirigées suivant la pente générale du sol, de se déranger de leur direction à l'approche des masses résistantes, pour les contourner et se maintenir dans les roches plus tendres, et d'aller en s'élargissant à

peu près progressivement à partir de leur point de départ. Quand elles sont entaillées dans des terrains stratifiés, on voit

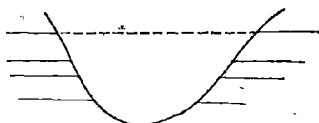


Fig. 66. — Vallée d'érosion dans un terrain sédimentaire.

les couches se correspondre sur les deux versants (fig. 66), ce qui montre bien qu'avant le creusement ces couches faisaient partie d'un même dépôt.

Telles sont les vallées qui sillonnent les grands dépôts de cailloux roulés qu'on trouve au pied des Alpes occidentales, dans la Bresse et le Bas-Dauphiné. Il en est ainsi également pour les vallées de la Seine et des rivières qui arrosent les environs de Paris.

Cependant l'examen attentif de beaucoup de soi-disant vallées d'érosion dévoile souvent l'existence de circonstances préexistantes qui ont déterminé leur tracé, en sorte que celles que l'on pourrait attribuer à la seule action érosive de l'eau seraient en réalité fort peu nombreuses. Ainsi le Rhône au-dessous de Lyon coule le long d'une faille qui ne peut être mise en doute et qui a dû influencer sur sa direction; il suit en même temps une arête montagneuse très prononcée qui a toujours posé une limite à son déplacement vers l'ouest, déplacement causé par les cônes de déjection gigantesques que déversent les torrents des Alpes.

210. Vallées mixtes. — Le sillon dans lequel coule un cours d'eau peut d'ailleurs consister en une succession de vallées géologiquement différentes, formées à des époques distinctes et par des causes diverses.

Il est rare qu'une rivière de quelque importance se tienne constamment dans une vallée appartenant à un type unique depuis son origine jusqu'à son embouchure. Ainsi la Meuse, au lieu de continuer à suivre la pente naturelle du sol où elle s'est creusée son lit et d'apporter ses eaux à la Seine, se jette

à Charleville dans le massif de l'Ardenne où elle trouve une fissure toute prête à la recevoir. Ainsi encore le Drujon et le Doubs suivent dans le Jura des vallées de plissement et traversent la chaîne par les cluses de Joux près de Pontarlier et de la Jougne à l'ouest d'Yverdon.

Les exemples de ce genre sont nombreux et ils montrent que bien souvent les cours d'eau prennent une direction différente de celle que semblerait leur imposer la topographie du pays qu'ils traversent. Cela vient à l'appui de ce que nous disions tout-à-l'heure du rôle prépondérant joué dans le tracé des rivières par des circonstances préexistantes.

§ IV

COORDINATION SYSTÉMATIQUE DES ACCIDENTS STRATIGRAPHIQUES.

211. Système pentagonal. — Elie de Beaumont ne s'est pas contenté de déterminer l'âge et l'alignement des différents groupes de montagnes. Il a cherché à relier ces alignements entre eux en les coordonnant autour d'un plan de symétrie et c'est ainsi qu'il a été amené à imaginer le système du *réseau pentagonal*, que nous allons exposer en quelques mots.

On sait que, pour diviser un plan en parties toutes égales entre elles, on ne peut se servir que de trois figures, le triangle équilatéral, le carré et l'hexagone. Cette dernière figure a sur les deux autres l'avantage de posséder le périmètre minimum pour une surface donnée. Par conséquent, si l'on suppose qu'une couche de matière fondue entièrement homogène se refroidisse, elle devra tendre, par suite de la contraction, à se résoudre en prismes hexagonaux réguliers. Le basalte, comme nous l'avons vu (n° 184), nous offre de beaux exemples de ce mode de division.

A cause de sa courbure, une surface sphérique ne peut pas se comporter de la même manière. Il n'est possible de la diviser en parties égales par des grands cercles qu'en formant soit

des triangles équilatéraux, soit des quadrilatères à angles de 120° , soit des pentagones réguliers. Le pentagone sur la sphère remplace donc l'hexagone sur le plan ; pour une surface déterminée, il a le contour minimum.

Cela posé, il est facile de comprendre qu'à l'aide de 15 grands cercles on peut partager la sphère en 12 pentagones réguliers.

Prenons un dodécaèdre pentagonal régulier, solide terminé par 12 pentagones équilatéraux et égaux entre eux (fig. 67) ¹ et inscrivons-le dans une sphère. Chacune des 12 faces ayant

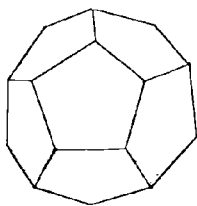


Fig. 67. — Dodécaèdre pentagonal régulier.

5 côtés, le dodécaèdre en a 60 ; mais, comme un côté est toujours commun à deux pentagones adjacents, ce nombre se réduit déjà à 30. D'autre part, ces 30 côtés se groupent deux à deux sur un même grand cercle, en sorte qu'on ne pourra faire passer par les arêtes que 15 grands cercles distincts. C'est au réseau déterminé à la surface de la sphère par ces 15 grands cer-

cles qu'on donne le nom de *réseau pentagonal*.

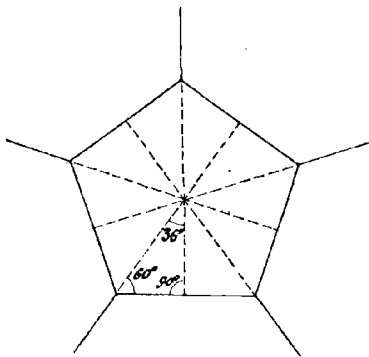


Fig. 68. — Perspective gnomonique d'un pentagone.

Les grands cercles du réseau forment en outre, par leurs in-

1. Il ne faut pas confondre cette figure avec le dodécaèdre pentagonal de la cristallographie, forme hémihédre dérivée du cube dont il sera question plus tard et dans laquelle les pentagones ne sont pas équilatéraux.

tersections dans chaque pentagone, 10 triangles sphériques rectangles dont les angles sont respectivement de 36° , 60° et 90° , comme le montre la figure 68 qui représente une perspective gnomonique de l'une des faces sur l'horizon de son centre. Il y a donc en tout sur la sphère 120 triangles sphériques.

On a ainsi un nombre déjà élevé d'éléments de symétrie. Mais on peut l'augmenter encore d'une manière pour ainsi dire indéfinie. Pour cela il suffit de faire passer des grands cercles par les milieux M et N de deux côtés consécutifs du pentagone (fig. 69), ou par le milieu M de l'un de ces côtés et le milieu P d'un autre non adjacent, ou

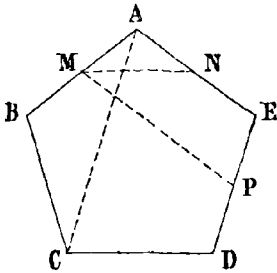


Fig. 69. — Cercles auxiliaires.

par les sommets A et C, etc. On obtient alors de nombreux grands cercles, dit *dérivés* ou *auxiliaires*, inférieurs comme degré de symétrie aux 15 grands cercles principaux qu'on appelle les *cercles primitifs*, et entre lesquels on a établi une hiérarchie.

Le globe se trouve en définitive enveloppé d'un réseau très compliqué, mais très régulier, dans lequel il y a non-seulement des directions d'importance très inégale, mais des *points principaux* de valeur différente, qui sont soit les centres des pentagones, soit les intersections de cercles de divers ordres.

212. Coïncidence du réseau avec les accidents du globe. — Dans la pensée d'Elie de Beaumont, tous les accidents stratigraphiques, c'est-à-dire, en outre des chaînes de montagnes, les failles, les filons, les plis, les vallées de fracture, les contours des continents, etc., doivent coïncider avec les lignes du réseau. Mais, avant d'examiner si le fait se vérifie, il convient d'installer le réseau sur le globe. Après quelques tâtonnements, voici à quel parti s'est arrêté Elie de Beaumont.

Ce savant considérait comme une ligne éruptive de premier ordre le grand cercle qui joint Ténériffe à l'Etna et aux îlots volcaniques de l'archipel grec et qui a été mentionné plus

haut (n° 125) sous le nom d'*axe volcanique méditerranéen*; cette ligne est d'autant plus importante qu'elle est parallèle à la chaîne des Alpes principales. D'autre part le grand cercle qui joint l'Etna au Vésuve et qui va ensuite passer par le grand volcan de Mauna-Loa (îles Sandwich) peut aussi être regardé comme une fracture volcanique de grande valeur. Or l'intersection de ces deux grands cercles donne un angle droit, à 8' près; on peut donc l'employer à l'orientation du réseau pentagonal.

On applique cette intersection sur un trait carré formé par la rencontre d'un cercle primitif (Etna au Mauna-Loa) et d'un cercle dérivé pour la ligne Ténériffe-Vésuve. Il se trouve que l'un des pentagones du réseau ainsi installé, dont le centre tombe au milieu de la Saxe, embrasse assez bien la totalité de l'Europe, d'où le nom de *pentagone européen* qu'il a reçu.

Mais la coïncidence laisse à désirer pour la plupart des grands accidents orographiques. Sur les 13 cercles primitifs, il n'y en a que deux qui concordent avec des alignements importants; les accidents du globe sont presque tous relevés par des cercles dérivés d'ordre inférieur. Or si l'on réfléchit qu'une direction orographique ne peut être déterminée qu'avec une approximation de 2 à 3 degrés, il n'est pas étonnant qu'on parvienne toujours à la faire coïncider avec l'un des nombreux cercles du réseau, dont les mailles sont très serrées.

A la vérité cette installation du réseau n'était donnée par Elie de Beaumont lui-même que comme provisoire; mais il est difficile de croire qu'une autre position cadrerait mieux avec les faits.

213. Objections théoriques. — Si, au point de vue géométrique, le système d'Elie de Beaumont est très ingénieux et d'une rigueur absolue, il s'en faut donc que le réseau pentagonal puisse être regardé comme l'expression d'une grande loi naturelle. Loïn que la surface terrestre soit divisée par les lignes naturelles comme un parquet de marqueterie, il faut bien reconnaître qu'il n'y a partout qu'irrégularité.

A la rigueur on comprendrait qu'un globe formé d'une matière homogène se fût divisé en pentagones, par un retrait ana-

logue à celui du basalte. Mais alors toutes les montagnes, tous les accidents stratigraphiques, seraient contemporains ou à peu près ; ce qui n'est pas.

De plus, il y a incompatibilité entre la figure du globe terrestre et celle du dodécaèdre pentagonal. Ce dernier solide est en effet centré ; ses faces, de même que ses sommets, se présentent deux à deux aux extrémités d'un même diamètre. Sur le globe c'est le contraire, puisque les saillies sont aux antipodes des dépressions.

214. Système tétraédrique. — M. de Lapparent a fait connaître, dans son *Traité de géologie*, un autre système ingénieux dû à M. Lowthian Green et dont il convient de dire également quelques mots.

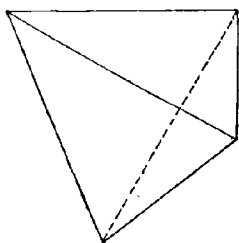


Fig. 70. — Tétraèdre régulier.

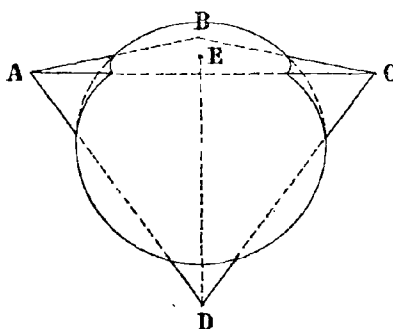


Fig. 71. — Tétraèdre enveloppé par une sphère.

Au lieu de prendre un dodécaèdre pentagonal pour représenter les traits principaux de la symétrie terrestre, M. Green s'est arrêté au choix d'une figure plus simple, le tétraèdre régulier (fig. 70). Supposons qu'on fasse coïncider le centre de gravité de ce solide avec celui d'une sphère (fig. 71), son axe ternaire ¹ DE avec l'axe des pôles, et que le rayon de la sphère soit tel que les quatre points A, B, C, D, se trouvent à une

1. C'est une ligne telle que si on la prend pour axe de rotation et qu'on fasse tourner le tétraèdre d'un tiers de révolution complète, ce solide ne paraîtra pas avoir changé de position dans l'espace.

certaine hauteur au-dessus de sa surface. On aura ainsi une sphère munie de quatre saillies.

Or le globe terrestre offre dans son ensemble une certaine ressemblance avec cette figure, les saillies représentant les continents et les surfaces courbes les océans. La protubérance D correspond au continent antarctique auquel est opposée, au pôle nord, une mer dont l'existence a été mise hors de doute. Les points A, B, C, représentent la terre ferme, concentrée dans l'hémisphère nord où elle se répartit en trois massifs, le massif américain, le massif européen avec l'Afrique pour prolongement et le massif asiatique terminé au sud par l'Australie. Il peut paraître singulier au premier abord de séparer ainsi l'Asie de l'Europe ; cette séparation se justifie si l'on remarque que le long du pied oriental de l'Oural s'allonge une grande dépression, très peu élevée au-dessus du niveau de l'océan, et qui unit l'Océan glacial avec la mer d'Aral et la mer Caspienne.

Ce n'est pas tout. Un des traits remarquables des masses continentales, c'est qu'elles se terminent en pointe vers le sud, et ce caractère se retrouve même dans la plupart des presqu'îles, la Californie, la Floride, l'Arabie, l'Inde, l'Indo-Chine, etc., tandis que les trois grandes dépressions marines, l'Océan Atlantique, le Pacifique, l'Océan Indien, se rétrécissent du sud au nord. Que l'on jette les yeux sur la figure 74, et l'on reconnaîtra qu'elle reproduit cette disposition.

Il y a cependant deux choses dont le système tétraédrique ne semble pas rendre compte. C'est d'abord l'existence de la grande dépression qui coupe transversalement les trois masses continentales : ainsi l'Europe est séparée de l'Afrique par la Méditerranée, l'Asie de l'Australie et de la Polynésie par l'Océan Indien, tandis qu'entre les deux Amériques il n'y a plus qu'une langue étroite qui sera bientôt tranchée. En second lieu la partie méridionale de chacune de ces trois masses est sensiblement déviée vers l'est relativement à la partie septentrionale ; la pointe australe de l'Afrique se trouve reportée vers l'Orient par rapport au centre de gravité du continent ; l'Amérique du Sud, au lieu de se trouver dans le prolongement de

l'Amérique du Nord, est fortement rejetée à l'est, et l'Australie ne correspond qu'à la partie orientale du massif asiatique.

Ces faits, qui paraissent en contradiction avec la symétrie tétraédrique, sont expliqués par M. Green à l'aide de la rotation de la terre. Prenons le globe à l'état pâteux et ayant encore par conséquent sa forme sphérique, et supposons qu'en se refroidissant il s'écrase de manière à faire naître la forme d'un tétraèdre régulier. Comme les différents points de sa surface ne seront plus tous à égale distance du centre, leurs vitesses de rotation ne seront plus concordantes, les pointes A, B, C, n'auront plus une vitesse aussi grande que celle des parties voisines de la pointe australe D; elles seront en retard, tandis que ces dernières seront en avance, et ainsi il devra se produire un mouvement de torsion qui déviara vers l'ouest les parties boréales et vers l'est les parties australes. Cette torsion a pu en outre déterminer une rupture d'où est résultée la zone transversale de dépression.

215. Arguments favorables au système tétraédrique. — Il nous reste à voir si l'on peut fournir quelque justification théorique ou expérimentale de cette théorie.

On a d'abord fait remarquer que, d'après les expériences de Fairbairn, quand on cherche à écraser un tube de section circulaire, cette section tend à prendre le plus souvent la forme d'un triangle équilatéral à bords concaves. En considérant une sphère comme formée par la juxtaposition d'une infinité d'anneaux cylindriques de diamètre décroissant, on peut donc admettre qu'elle se comporterait de même, en se rapprochant de la figure qui pour elle est l'équivalent du triangle équilatéral, c'est-à-dire du tétraèdre régulier.

On a fait remarquer en outre que le tétraèdre est le solide pour lequel le rapport de la surface au volume est maximum et qu'il n'y a rien d'absurde à supposer qu'une écorce sphérique mal soutenue tendra à prendre la forme qui lui assure le plus longtemps possible la conservation de sa superficie.

Ces arguments ne suffisent peut-être pas encore à emporter la conviction et il faudrait démontrer que la conception de M.

Green est bien d'accord avec les grands principes de mécanique et d'astronomie.

Quoi qu'il en soit, on ne peut méconnaître le côté séduisant de cette conception, qui a le mérite de faire rentrer dans une formule simple tout un ensemble de faits de géographie physique et, ne fût-ce qu'à ce titre, en dehors de toute idée de causalité, il n'était pas sans intérêt de l'exposer ici.

TROISIÈME SECTION

MINÉRAUX

CHAPITRE VI. Caractères géométriques des minéraux. — CHAPITRE VII. Caractères physiques et chimiques des minéraux. — CHAPITRE VIII. Description des principaux minéraux.

216. — La *minéralogie* a pour but l'étude des *minéraux* qui entrent dans la constitution de l'écorce du globe.

Toute substance inorganique n'est pas un minéral. Pour qu'elle mérite ce nom, il faut qu'elle ait une composition chimique déterminée, c'est-à-dire qu'elle soit formée par la combinaison de corps simples en proportions définies et que ses molécules soient toutes identiques.

Les nombreux minéraux que nous observons dans la nature peuvent se grouper en un certain nombre d'*espèces* qui présentent un ensemble de propriétés caractéristiques. On connaît actuellement environ 1.400 espèces minérales; avant d'aborder la description des principales d'entre elles, nous donnerons quelques notions sommaires sur leurs caractères généraux.

Ces caractères sont de quatre sortes. En outre des *caractères chimiques*, on distingue les *caractères géométriques*, qui se rapportent au mode d'arrangement des particules matérielles et à la forme extérieure qui en résulte, les *caractères physiques*, fondés sur les propriétés physiques des corps, et enfin les *caractères organoleptiques*, que l'on constate par les sensations

que les minéraux produisent sur les organes du goût, de l'odorat et du toucher.

Ces derniers caractères, qui ont une faible importance, ne nous arrêteront pas. Ils se définissent suffisamment d'eux-mêmes et nous aurons soin d'ailleurs de les indiquer, quand ils en vaudront la peine, pour chaque minéral en particulier. Les caractères géométriques exerçant une influence de premier ordre sur les propriétés physiques des minéraux, c'est par eux que nous commencerons. Leur étude constitue une branche de la minéralogie à laquelle on donne le nom de *crystallographie*.

CHAPITRE VI

CARACTÈRES GÉOMÉTRIQUES DES MINÉRAUX

§ I. Disposition réticulaire des minéraux cristallisés. — § II. Symétrie des cristaux. — § III. Dérivation des cristaux. — § IV. Groupement des cristaux. — § V. Dimorphisme. — § VI. Isomorphisme. — § VII. Particularités de la structure des cristaux.

217. État amorphe et état cristallisé. — Les corps solides se présentent dans la nature sous deux états qui sont en rapport avec le mode d'arrangement des molécules : l'*état amorphe* et l'*état cristallisé*. Tandis que dans le premier cas, ils ne revêtent aucune forme déterminée, ils prennent dans le second des formes géométriques, identiques dans les individus d'une même substance et auxquelles on donne le nom de *cristaux*.

Les corps amorphes sont beaucoup moins nombreux qu'on ne pourrait le croire au premier abord. Quand on examine attentivement, soit à la loupe, soit au microscope, la cassure de la plupart des substances réputées amorphes, on y constate des indices évidents d'une texture cristalline qui nous montrent qu'elles sont en réalité composées d'une infinité de petits cristaux.

Qu'un minéral soit amorphe ou cristallisé, il est en général *homogène*, c'est-à-dire qu'un fragment quelconque séparé de sa masse possédera toujours la même composition chimique, la même densité, les mêmes propriétés optiques. Mais le mode de répartition de la matière est bien différent dans les deux cas.

Tout le monde sait que pour un corps amorphe les propriétés physiques sont les mêmes dans toutes les directions. Prenons par exemple un morceau de verre ; sur une face plane étalons une mince couche de cire et plaçons au milieu une pointe métallique chaude. La cire fondra et la portion fondue sera limitée par un cercle ; ce qui prouve que la chaleur se propage dans tous les sens avec la même vitesse. Si l'on étudie sur cette masse de verre les modifications subies par un rayon lumineux, on remarquera de même que, quelle que soit la direction suivie, le rayon sera affecté de la même manière.

Prenons maintenant un cristal de quartz formé par un prisme hexagonal surmonté d'une pyramide à six faces (fig. 72). Reproduisons sur une des faces de ce prisme l'expérience

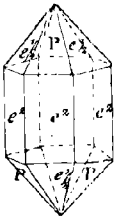


Fig. 72.— Cristal de quartz.

de la propagation de la chaleur ; nous constaterons que, la chaleur ne se transmettant plus dans tous les sens avec la même vitesse, l'espace occupé par la cire fondue sera circonscrit par une ellipse dont la pointe chaude occupera le centre. Mais cette ellipse conservera la même forme pour tous les points de la face où l'on appliquera la pointe et, pour une même température, elle aura les mêmes dimensions.

On obtiendrait des résultats analogues en étudiant d'autres propriétés physiques, la transmission de la lumière, l'élasticité, la dureté, la cohésion, etc. Toutes ces propriétés ne sont donc identiques que suivant une même direction et elles varient généralement suivant des directions différentes.

Ces phénomènes ne peuvent s'expliquer que par le mode de distribution de la matière et il faut en conclure que, au contraire des corps amorphes, les particules matérielles d'un cristal sont distribuées de la même manière sur des lignes parallèles et d'une manière différente en général suivant des directions différentes. En d'autres termes, il y a, dans tout milieu cristallin, une infinité de points autour desquels la matière est répartie de la même façon suivant les directions. Ces points sont dits *homologues*.

A l'aide de ces remarques très simples, nous pouvons nous faire une idée précise de la constitution interne d'un cristal.

§ I

DISPOSITION RÉTICULAIRE DES MILIEUX CRISTALLISÉS.

218. Assemblage réticulaire. — Soit A_0 (fig. 73) un point homologue quelconque, A_1 le plus voisin ; joignons A_0

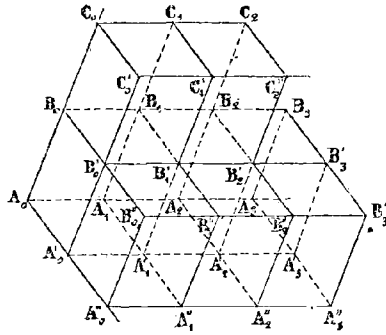


Fig. 73. — Assemblage réticulaire.

A_1 . Puisque, d'après le principe précédent, la matière est disposée relativement à A_1 comme elle l'est relativement à A_0 , il doit y avoir nécessairement, sur le prolongement de $A_0 A_1$, un point A_2 tel que $A_1 A_2 = A_0 A_1$, et la ligne $A_0 A_1$ prolongée est le lieu d'une infinité de points homologues séparés par une égale distance $A_0 A_1 = a$, que l'on appelle le *paramètre* propre à la droite considérée.

Prenons le point homologue A'_0 le plus voisin à la fois de la ligne $A_0 A_1$ et du point A_0 . Si par A'_0 on mène une droite parallèle à $A_0 A_1$, cette droite doit être une file d'homologues distribués comme ceux de la file $A_0 A_1$ et séparés les uns des autres par le même paramètre a .

En joignant les points $A_0 A'_0, A_1 A'_1$, etc., on obtient de nouvelles lignes qui, en vertu du principe fondamental, sont les lieux de points homologues séparés par une distance commune $A_0 A'_0$ ou paramètre b .

Le plan $A_0 A_1 A'_0$ contient ainsi une infinité de points homologues situés sur les sommets de parallélogrammes égaux et juxtaposés, dont l'ensemble constitue un réseau à mailles parallélogrammiques caractérisé par les grandeurs et les directions des deux paramètres a et b . Ce réseau plan prend le nom de *plan réticulaire* et les sommets des parallélogrammes sont des *nœuds*.

Considérons maintenant, parmi tous les homologues non employés, celui qui est à la fois le plus voisin du plan $A_0 A_1 A'_0$ et du point A_0 ; soit B_0 ce point. Il passe nécessairement par B_0 un plan réticulaire identique au précédent. Si l'on joint $A_0 B_0$, cette ligne prolongée formera une troisième direction de files contenant une infinité d'homologues, B_0, C_0 , etc., séparés par un paramètre c , et chacun d'eux sera encore le point de départ d'un plan réticulaire parallèle et identique à $A_0 A_1 A'_0$.

En joignant tous ces points d'un plan à l'autre par des lignes droites parallèles à $A_0 B_0$, on aura en définitive divisé l'espace en une infinité de parallélépipèdes égaux et régulièrement juxtaposés, dont chaque sommet représente un *nœud* ou point homologue. Cet ensemble s'appelle un *assemblage réticulaire* et chaque parallélépipède la *maille* du système.

En vertu de la construction même de cet assemblage, il ne peut y avoir d'autres *nœuds*. S'il en existait un en effet dans l'intérieur d'un parallélépipède, il se répéterait dans tous les autres et on n'aurait pas pris le *nœud* le plus rapproché de A_0 et du plan $A_0 A_1 A'_0$.

C'est sur les *nœuds* de cet assemblage que se disposent les molécules ou particules matérielles d'un milieu cristallin et elles sont séparées les unes des autres par des paramètres a, b, c , ayant une valeur finie, si petits qu'ils soient. Ce n'est pas là une pure hypothèse, car on sait, d'après les phénomènes d'élasticité et de dilatabilité, que la matière est discontinue.

219. Constance du volume de la maille parallélépipédique. — Mais ces *nœuds* sont susceptibles d'être distribués non seulement sur trois directions déterminées, mais sur

une infinité d'autres. Considérons en effet un réseau plan quelconque (fig. 74). Il est facile de comprendre que les sommets des parallélogrammes peuvent être joints deux à deux d'une foule de manières et que toute ligne telle que $A_0 A'_1$, $A_0 A'_2$, etc., menée par deux nœuds quelconques, est toujours une file de nœuds équidistants. En faisant passer des parallé-

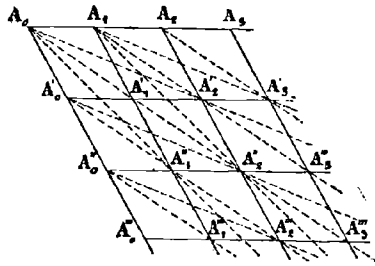


Fig. 74. — Assemblage réticulaire.

les à ces droites par les autres points homologues A_1, A_2 , etc., on voit que le réseau comportera une infinité de systèmes de mailles.

Seulement, pour qu'un de ces parallélogrammes soit une maille constitutive du réseau, il est nécessaire que tous les nœuds du plan soient relevés par les deux systèmes de rangées et qu'aucun d'eux ne reste à l'intérieur de la figure. Ainsi $A_0 A_1 A'_1 A'_2$ est une maille constitutive, comme $A_0 A_1 A'_2 A'_3$. Il n'en est pas de même de $A_0 A_1 A''_1 A''_2$ qui a A'_1 dans son intérieur.

De quelque manière qu'on divise le plan réticulaire en mailles, il y a un élément qui ne change pas, c'est la surface de la maille, puisque la base et la hauteur restent les mêmes. Le nombre des mailles est également invariable. De plus, si on prend une surface suffisamment grande, eu égard à la petitesse des divisions, pour que l'on puisse négliger les parties de parallélogrammes empiétant sur les bords, on voit que le nombre des mailles est égal au nombre des nœuds.

Si, au lieu de considérer un plan, on embrasse tout l'espace, on reconnaîtra aussi facilement que la division en parallépi-

pèdes est également arbitraire et que le volume de noyaux parallélépipédiques, ou parallélépipèdes ne contenant pas de nœud à l'intérieur, est constant.

220. Conséquences de la structure réticulaire.—

Nous allons déjà tirer de ces notions sur la disposition réticulaire des cristaux plusieurs conséquences pratiques importantes.

1^o *Limitation d'un cristal par des plans.*— On a vu que c'est seulement suivant des lignes droites ou suivant des plans qu'il y a identité de distribution de la matière, puisque les molécules sont à distances égales sur les files de nœuds et disposées en quinconce sur les réseaux plans. D'autre part, les surfaces extérieures d'un cristal comprennent des éléments pour lesquels les conditions de la cristallisation étaient identiques à un moment donné et qui se sont formés simultanément. Ces surfaces ne peuvent donc être que des plans réticulaires, et par suite un cristal est toujours limité par des plans dont l'intersection donne des arêtes rectilignes. Si certains cristaux, comme ceux de diamant, de tourmaline, de gypse, présentent parfois des surfaces qui paraissent courbes, cela tient à la juxtaposition de nombreuses facettes peu inclinées les unes sur les autres.

2^o *Défaut de régularité des cristaux.*— Tous les plans réticulaires parallèles étant identiques au double point de vue de la distribution de la matière et des propriétés physiques, il n'y a pas de raison d'ordre interne pour qu'une face cristalline se produise sur un point plutôt que sur un autre. Ce sont des causes secondaires extérieures, telles que la pression, la température, la composition du liquide dans lequel se fait la cristallisation, etc., qui détermineront l'emplacement de ce plan limite.

Il en résulte que les cristaux n'ont pas toujours la régularité de nos figures géométriques. Ainsi la forme type du quartz hyalin, qui est celle d'un prisme hexagonal sur les deux bases duquel s'élèvent des pyramides à six faces (fig. 75), se présente rarement dans la nature. Presque toujours un certain nombre de faces sont développées aux dépens des autres de manière à donner les cristaux représentés par les figures 76 et 77.

Au milieu de ces inégalités extérieures, il est souvent difficile de reconnaître la similitude de deux cristaux qui sont pourtant identiques sous le rapport du nombre et du parallé-

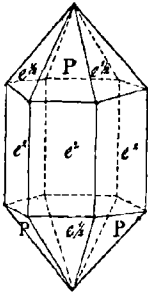


Fig. 75. — Cristal régulier de quartz.

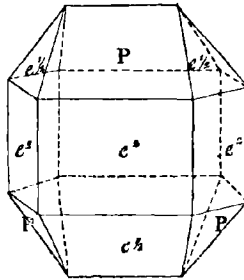


Fig. 76. — Cristal aplati.

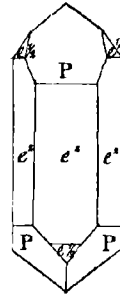


Fig. 77. — Cristal où les faces P sont dominantes.

lisme des faces, et ce n'est pas là une des moindres difficultés de la cristallographie. Il n'y a qu'une catégorie d'éléments qui reste constante, ce sont les directions respectives des faces. En d'autres termes, les angles dièdres que font entre elles les faces homologues sont invariables, ainsi que l'avait il y a longtemps reconnu Romé de l'Isle.

3° *Clivage*. — Dans un assemblage réticulaire, le volume du noyau parallélépipédique est constant. Or ce volume est égal au produit de la base du parallélépipède par sa hauteur. Donc plus la base sera petite, plus la hauteur sera grande, et par suite les plans réticulaires dont la maille est de faibles dimensions, c'est-à-dire ceux qui ont un grand nombre de nœuds dans l'unité de surface, sont également ceux qui sont les plus écartés les uns des autres et réciproquement.

On conçoit que, plus les plans réticulaires parallèles sont espacés, plus la force de cohésion qui les relie est faible et que, s'il y a une tendance au décollement des plans réticulaires empilés les uns sur les autres, c'est surtout suivant les plans chargés de nœuds que cette tendance se manifestera.

On explique ainsi parfaitement ce curieux phénomène du

*clivage*¹, si caractéristique pour les corps cristallisés. Un cristal clivable se divise par le choc suivant des surfaces planes et non pas courbes, parce que c'est sur de tels plans que les molécules tendent avec le plus de force à rester unies, tandis que c'est pour séparer ces plans qu'il faut déployer le moins d'effort.

Le clivage est connu depuis longtemps des lapidaires qui l'utilisent pour tailler les pierres précieuses. Ainsi le diamant se casse par le choc suivant quatre plans de direction différente; on en profite pour enlever par la cassure les parties défectueuses et abréger ainsi le travail de la taille.

Le spath d'Islande, ou chaux carbonatée cristallisée, présente trois sens de clivages aussi faciles l'un que l'autre, faisant entre eux des angles dièdres de $103^{\circ}3'$ et par l'effet desquels la substance se casse toujours en fragments de forme rhomboédrique.

Les différents clivages que possède un même minéral cristallisé ne sont pas toujours également faciles. Ainsi le gypse a aussi trois clivages; mais l'un deux est beaucoup plus facile que les autres. Aussi le cristal a une tendance à se diviser en lames minces, et c'est en cherchant à briser ces lames entre les doigts que l'on voit se manifester les deux autres clivages.

Quelques cristaux n'ont qu'un ou deux clivages, ou même n'en ont pas du tout. Quand les plans de clivage sont au nombre de trois, ce qui est le cas le plus fréquent, leur réunion constitue une forme géométrique qu'on appelle *solide de clivage*.

4^o *Nombre limité des formes cristallines*. — Il nous reste à tirer une dernière conclusion des considérations développées ci-dessus sur les assemblages réticulaires. Ainsi que l'a fait remarquer Bravais, pour qu'une face cristalline prenne naissance dans un milieu cristallisé, il faut que les particules matérielles aient quelque raison d'y demeurer unies. Parmi toutes les formes géométriquement possibles, on ne verra donc se produire que celles qui contiennent des nœuds assez serrés pour présenter une certaine cohésion moléculaire, qui ont, en

1. De l'anglais *to cleave*, fendre.

d'autres termes, une assez grande *densité réticulaire*. Le nombre des formes cristallines n'est donc pas infini ; il est limité.

321. Constitution interne des cristaux. — Les résultats auxquels nous sommes parvenu jusqu'à présent sont des déductions uniquement géométriques. Nous n'avons fait en effet aucune hypothèse ; nous nous sommes contenté d'admettre que la matière est discontinue, ce qui est un fait d'expérience. Pour aller plus loin, pour étudier d'une manière plus intime la constitution des corps cristallisés, il nous faut faire appel à de nouvelles considérations.

Cette constitution dépend de deux éléments tout à fait distincts l'un de l'autre :

1° Le système réticulaire ;

2° La loi de répartition de la matière autour de chaque nœud du système.

Le premier élément, nous le possédons quand nous connaissons la maille parallélépipédique du système. Quant au second, il nous échappe complètement, et c'est ici que nous entrons dans le domaine de la théorie. Tout nous autorise cependant à admettre que la *molécule cristalline*, c'est-à-dire cette portion de la matière groupée d'une manière identique autour de chaque nœud, est représentée par une polyèdre. Les phénomènes cristallographiques seraient en effet inexplicables avec une molécule supposée sphérique.

Si l'on accepte la théorie atomique, le polyèdre moléculaire aura pour sommets les atomes simples. Pour les personnes qui nient l'existence des atomes, la répartition de la matière dans l'espace occupé par la molécule peut se définir par la propriété spéciale que cette répartition impose temporairement à certains points de cet espace, et c'est alors l'ensemble de ces points, quelque nombreux qu'on les suppose, qui forme le polyèdre moléculaire.

Les centres de gravité de ces polyèdres sont au premier chef des points homologues. On voit donc déjà que, quand un corps cristallise, les polyèdres moléculaires viennent se placer les uns à côté des autres, de telle sorte que leurs centres de gravité occupent les nœuds d'un assemblage réticulaire.

D'autre part, du centre de gravité A_1 d'un de ces petits polyèdres, menons une ligne aboutissant à un sommet quelconque S_1 . Le principe fondamental d'égalité de distribution de la matière exige que tous les autres polyèdres possèdent respectivement des lignes $A_2 S_2, A_3 S_3, \text{etc.}$, égales et parallèles à $A_1 S_1$. Il en serait de même pour tous les sommets. Les molécules sont donc toutes orientées de la même façon.

Cette condition de l'orientation identique des molécules n'est pas seulement une nécessité géométrique. On peut ajouter qu'elle est obligatoire au point de vue mécanique ; car la stabilité de l'édifice cristallin atteint alors son maximum, puisque les actions mutuelles qui tendent à faire tourner les molécules autour de leurs centres de gravité se contrebalancent.

On arrive ainsi à se faire une idée très nette de l'état cristallisé. Un corps amorphe est un ensemble de molécules juxtaposées sans ordre, orientées dans toutes les directions, avec des distances mutuelles inégales, et qui n'est homogène que grâce au mélange intime de ces éléments. Un cristal au contraire est un corps dans lequel les molécules, orientées de même, sont placées sur les nœuds d'un réseau à mailles parallélépipédiques identiques et qui est limité par un plus ou moins grand nombre de faces qui ne peuvent être que des plans réticulaires. C'est cet arrangement régulier de la matière qui fait qu'une substance cristallisée a un plus grand poids spécifique que la même substance fondue.

§ II

SYMÉTRIE DES CRISTAUX.

222. Modes de symétrie du réseau. — Il résulte de ce qui précède que la forme extérieure d'un cristal est en relation intime avec son assemblage réticulaire. Ses faces, loin d'être disposées au hasard, présentent une symétrie que l'observation directe a d'ailleurs depuis longtemps mise en lumière et

on peut dire qu'autant il y a de modes de symétrie distincts dans un réseau, autant il y a de variétés dans la structure cristalline. Comme un réseau se caractérise par sa maille parallélépipédique, partout identique à elle-même, il suffit, pour arriver à trouver ces divers modes, d'analyser les conditions de la symétrie des parallélépipèdes.

223. Systèmes cristallins. — Cette étude nous entraînerait trop loin. Nous nous contenterons de dire que l'on peut ramener toutes les figures cristallines à six types de symétrie qui sont représentés par les solides suivants :

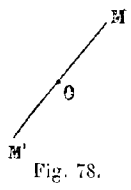
Prismes droits	{	Trois arêtes égales	Cube
		Deux arêtes égales et une inégale.	Prisme droit à base carrée
		Trois arêtes inégales	Prisme droit à base rectangle
Prismes obliques	{	Trois arêtes égales	Rhomboèdre
		Deux arêtes égales et une inégale.	Prisme oblique à base rhombe
		Trois arêtes inégales	Prisme oblique à base parallélogrammique.

Ces six formes, appelées *formes primitives*, déterminent six *système cristallins*, dans lesquels la symétrie présente de grandes différences. Pour le montrer rappelons quelques notions géométriques.

Un *centre de symétrie* est un point O (fig. 78) tel que, si on joint un point quelconque M à O et qu'on prolonge la ligne MO d'une longueur égale, on trouve un point M' dont toutes les propriétés sont identiques à celles de M.

Un *axe de symétrie* est une ligne telle que, si l'on fait tourner un corps d'un angle déterminé autour de cet axe, le corps ne paraît pas avoir changé de position dans l'espace et qu'il est, pour employer l'expression consacrée, *restitué*. L'axe est dit

d'ordre n quand l'angle de rotation est de $\frac{360^\circ}{n}$; ainsi une rotation de $\frac{360^\circ}{2} = 180^\circ$ détermine un axe *binnaire*, de $\frac{360^\circ}{3} = 120^\circ$; *ternaire*; de $\frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$, *quaternaire*; de $\frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$, *sénnaire*, etc.



Dans un prisme droit par exemple, la parallèle aux arêtes menée par le centre est un axe binaire si la section droite est un rectangle ; ternaire si cette section est un triangle équilatéral ; quaternaire, un carré ; sénaire, un hexagone régulier.

Cela posé, il est facile de voir qu'en dehors du centre, qui existe dans tous les parallélépipèdes, les six systèmes cristallins sont définis par les axes de symétrie suivants :

I. *Système cubique.* — Le cube possède trois espèces d'axes passant par le centre :

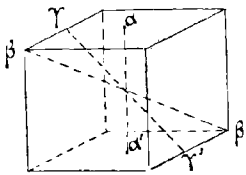


Fig. 79. — Cube.

1^o Trois axes quaternaires $\alpha\alpha'$ parallèles aux arêtes ;

2^o Quatre axes ternaires $\beta\beta'$ qui sont les diagonales du cube ;

3^o Six axes binaires $\gamma\gamma'$ qui sont les droites joignant les milieux des arêtes opposées.

On convient de désigner les axes par une lettre L affectée d'un exposant n qui indique le degré de symétrie. Ainsi les axes de symétrie du cube sont : $3L^4$, $4L^3$, $6L^2$.

II. *Système du prisme droit à base carrée.* — Ce prisme possède :

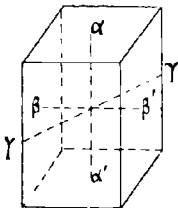


Fig. 80. — Prisme à base carrée.

1^o Un axe quaternaire L^4 qui n'est autre chose que l'axe $\alpha\alpha'$ du prisme ; c'est l'axe principal ;

2^o Quatre axes binaires L^2 , dont deux $\beta\beta'$ sont parallèles aux côtés de la section droite et les deux autres $\gamma\gamma'$ aux diagonales de cette section.

On désigne souvent ce système sous le nom de *système quadratique*.

III. *Système du prisme droit à base rectangulaire.* — Dans ce prisme nous ne trouvons plus que trois axes binaires, l'un $\alpha\alpha'$ parallèle aux arêtes du prisme ; le second $\beta\beta'$, parallèle au grand côté de la base ; le troisième $\gamma\gamma'$, parallèle au petit côté.

On appelle aussi ce système *orthorhombique*¹ parce que, au

¹ Du grec *ορθος*, droit ; *ρομβος*, losange.

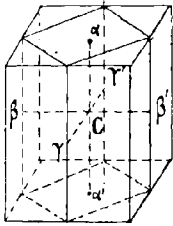


Fig. 81. — Prisme droit à base rectangulaire.

lieu d'un prisme droit à base rectangulaire, on peut prendre pour forme primitive un prisme droit à base rhombe inscrit dans le précédent (fig. 81). L'un des trois axes binaires est encore l'axe du prisme ; les deux autres sont parallèles aux diagonales du rhombe.

IV. *Système rhomboédrique.* — La maille a toutes ses arêtes égales entre elles et tous ses angles dièdres égaux ou supplémentaires ; toutes ses faces sont des rhombes égaux entre eux. Il y a, dans ce parallélépipède, deux sommets A, A', opposés par le centre, dont les angles plans sont égaux et tels que la ligne qui les joint est un axe ternaire ; il est clair en effet que si l'on fait tourner la figure de 120° autour de AA', les trois arêtes aboutissant à chaque sommet sont restituées, ce qui entraîne la restitution du rhomboèdre.

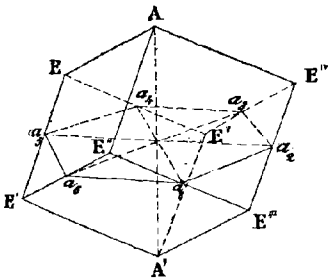


Fig. 82. — Rhomboèdre.

Les six angles solides E, E', E'', etc., qui ne sont pas situés sur l'axe ternaire, figurent une sorte d'hexagone en zigzag qui, quand l'axe ternaire est placé verticalement, a ses arêtes alternativement montantes et descendantes. Si l'on joint deux à deux les milieux de deux de ces arêtes opposées, on obtient trois droites $a_1 a_4$, $a_2 a_6$, $a_3 a_5$, qui font entre elles des angles égaux et dont les extrémités sont les sommets d'un hexagone régulier plan $a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6$ perpendiculaire à AA'.

Ces droites sont des axes de symétrie binaire du rhomboèdre. En effet, faisons tourner de 180° autour de $a_1 a_4$; A viendra en A', $a_5 a_6$ en $a_3 a_2$; la face AEE'E'' coïncidera par conséquent avec la face A'E'E''E''', ce qui implique la restitution du solide.

V. *Système du prisme rhomboïdal oblique.* — La maille de ce système n'est pas un prisme rhomboïdal oblique quelcon-

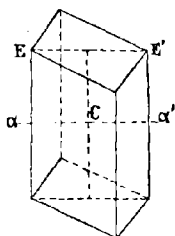


Fig. 83. — Prisme oblique à base rhombe.

que. C'est un prisme oblique dans lequel une des diagonales du rhombe EE' est perpendiculaire sur les deux arêtes du prisme auxquelles elle aboutit. Il n'y a plus qu'un seul axe de symétrie binaire qui est représenté par une ligne $\alpha\alpha'$ passant par le centre C et parallèle à la diagonale EE' .

Ce système s'appelle aussi *système clinorhombique*.¹

VI. *Système du prisme oblique à base parallélogrammique*. — Ce système n'a plus d'autre élément de symétrie qu'un centre. Aussi on lui donne les noms de *système asymétrique*, *triclinique* ou *anorthique*.²

En résumant ce qui précède, nous formerons le tableau suivant, dans lequel les systèmes cristallins sont rangés d'après l'ordre de symétrie décroissante :

Systèmes	Nombre des axes.		
	L^4	L^2	L^1
Cubique	3	4	6
Quadratique	1	»	4
Rhomboédrique	»	1	3
Orthorhombique	»	»	3
Clinorhombique	»	»	1
Asymétrique	»	»	»

224. Influence de la symétrie de la molécule. —

La constitution interne d'un cristal ne dépend pas seulement de sa disposition réticulaire ; le mode de répartition de la matière autour des nœuds du réseau, c'est-à-dire la forme de la molécule, joue aussi, comme nous l'avons dit plus haut, un rôle important.

Tout d'abord c'est cette forme qui est la cause déterminante du choix du système cristallin. Le petit polyèdre qui figure la molécule a en effet lui-même des éléments de symétrie, généralement plus nombreux que ceux de la maille parallélépipédi-

1. De κλίσις, j'incline.

2. α privatif ; ορθος, droit.

que. Il est donc permis de penser que, dans l'acte de la cristallisation, les molécules viendront se placer sur les nœuds d'un réseau avec lequel leur symétrie propre présentera le plus d'analogie. Ainsi une molécule rhomboédrique adoptera le système rhomboédrique ; une molécule sans axe de symétrie choisira le système asymétrique. C'est évidemment de cette manière que la symétrie de l'édifice cristallin sera le mieux satisfaite ; de plus la stabilité mécanique y gagnera, puisque les résultantes des actions mutuelles des molécules coïncideront avec les lignes qui joignent leurs centres de gravité et que nul couple ne tendra à les faire tourner.

La forme, ou plus exactement la symétrie de la molécule, exerce encore une influence d'un autre ordre. Si l'on compare les éléments de symétrie de la molécule à ceux de la maille parallélépipédique du système cristallin, on remarque que deux cas peuvent se présenter : 1^o la molécule possède tous les éléments de symétrie de la maille ; 2^o la molécule n'a qu'une partie des éléments de symétrie de la maille.

Considérons d'abord le premier cas. Admettons qu'une face se produise dans un milieu cristallin pourvu d'un axe ternaire. Faisons tourner cette face de 120° autour de l'axe ; elle viendra s'appliquer sur un plan réticulaire dont les molécules coïncideront exactement avec les siennes. Ce plan réticulaire étant ainsi identique à la face considérée devra donc être aussi un plan-limite. En d'autres termes, s'il y a dans un cristal un élément de symétrie, toutes les faces qui, en vertu de la symétrie, doivent être considérées comme identiques, coexisteront forcément.

Il n'en est pas de même dans le second cas. Supposons que le polyèdre moléculaire ne possède pas l'axe ternaire de l'assemblage réticulaire ; après une rotation de 120° la restitution ne sera pas complète, puisque les nœuds seuls viendront se superposer et que les molécules ne coïncideront plus ; il n'y aura donc pas de raison pour que ce plan réticulaire devienne une face de cristal.

On distingue ainsi deux grandes catégories de formes cristallines : 1^o les *formes complètes* ou *formes holoédriques*,¹ dans

1. ολος, complet ; εδρα, face.

lesquelles on observe toutes les faces exigées par la symétrie de leur système cristallin ; 2° les *formes partielles* ou *formes méridriques*,¹ qui ne possèdent plus qu'une partie de ces faces. Le premier cas est de beaucoup le plus fréquent.

§ III

DÉRIVATION DES CRISTAUX.

225. — Les cristaux sont des polyèdres, parfois fort compliqués, dont les faces sont symétriquement ordonnées par rapport à un ou plusieurs axes, ou simplement par rapport à un centre. Toutes les formes si variées que nous présente la nature peuvent être déduites des six types primitifs. Avant de montrer comment se fait cette dérivation, nous allons exposer les principes sur lesquels elle repose et indiquer quel est le mode de notation adopté pour les divers éléments des cristaux.

226. Loi des troncatures rationnelles. — Les faces qui limitent un cristal peuvent être définies par les longueurs

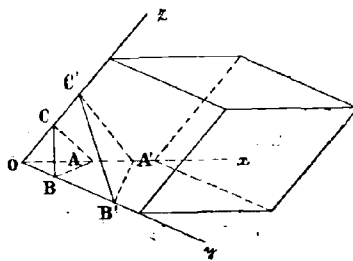


Fig. 84.

qu'elles interceptent sur trois axes coordonnés. Prenons pour axes les trois arêtes de la maille parallélépipédique constitu-

1. *μερίσιμη*, partie.

tive du système auquel appartient ce cristal, ou, ce qui revient au même, trois arêtes de la forme primitive finie qui est semblable à cette maille. La position de la face ABC (fig. 84) par exemple sera fixée par les longueurs OA , OB , OC , et on dira que cette face est une *modification* ou une *troncature* de l'angle O de la forme primitive sur lequel elle est placée. Si la longueur OC est infinie, ou, en d'autres termes, si la face ABC devient parallèle à OC , c'est cette arête OC qui est tronquée.

Une autre face $A'B'C'$, non parallèle à la première, sera définie à son tour par les trois longueurs OA' , OB' , OC' .

L'illustre fondateur de la cristallographie, Haüy, avait reconnu expérimentalement que les rapports $\frac{OA'}{OA}$, $\frac{OB'}{OB}$, $\frac{OC'}{OC}$ sont toujours rationnels et généralement exprimés par des nombres simples. Cette loi, dite *des troncatures rationnelles*, est une conséquence directe du principe des réseaux, comme il est facile de le faire voir.

La face ABC est nécessairement un plan réticulaire passant par des nœuds A , B , C . On peut donc écrire :

$$OA = ma \quad OB = nb \quad OC = pc$$

a , b , c , étant les paramètres propres aux axes considérés ; m , n , p , indiquant les nombres de fois que ces paramètres sont contenus dans OA , OB , OC .

De même la face $A'B'C'$ sera définie par les longueurs

$$OA' = m'a \quad OB' = n'b \quad OC' = p'c$$

m' , n' , p' , étant également des nombres entiers.

Il est évident que les rapports

$$\frac{OA'}{OA} = \frac{m'}{m} \quad \frac{OB'}{OB} = \frac{b'}{b} \quad \frac{OC'}{OC} = \frac{c'}{c}$$

seront *rationnels* puisque les deux termes de ces fractions sont formés par des nombres entiers.

D'autre part, si on calcule la surface de la maille du plan ré-

1. Nous renverrons pour ce calcul au *Traité de Cristallographie* de M. Mallard, p. 22.

tulaire ABC en fonction de m, n, p ,¹ on remarque que cette surface est d'autant plus petite que les valeurs relatives de m, n, p , sont elles-mêmes plus petites ; ce qui se conçoit d'ailleurs *a priori*. Comme les faces les plus aptes à se produire sont celles qui sont le plus chargées de nœuds, c'est-à-dire dont la maille a les plus faibles dimensions, il en résulte que les rapports $\frac{m'}{m}, \frac{n'}{n}, \frac{p'}{p}$, sont *simples*.

227. Notation des éléments des cristaux. — Le parallélépipède fondamental de tout système cristallin comprend 6 faces, 8 angles et 12 arêtes. Parmi ces éléments divers, les uns sont identiques entre eux, c'est-à-dire qu'en vertu de la symétrie propre du solide, ils ne peuvent être distingués les uns des autres ; on les désignera par les mêmes lettres, tandis qu'on donnera des lettres différentes aux éléments non identiques.

Ainsi le prisme oblique à base parallélogrammique (fig. 85), le moins symétrique de tous puisque les éléments opposés par le centre sont seuls identiques, renferme trois espèces de faces, quatre espèces d'angles, six espèces d'arêtes. On désigne les faces par les trois lettres P, M, T, du mot *PrIMITif* ; les angles par les voyelles A, E, I, O et les arêtes par les consonnes B, C, D, F pour celles de la base, G et

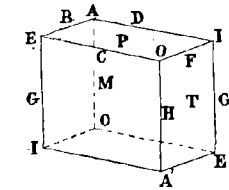


Fig. 85. — Prisme oblique à base parallélogrammique.

H pour celles du prisme.

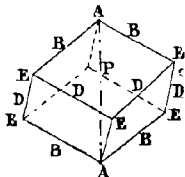


Fig. 86. — Rhomboèdre.

Le cube, qui est au contraire le solide le plus symétrique, n'a qu'une seule espèce de face P, d'angle A, d'arête G.

Le rhomboèdre (fig. 86) a également une seule espèce de face P, mais deux espèces d'angles A et E, et deux espèces d'arêtes, les *arêtes culminantes* B et les *arêtes en zigzag* D.

Passons maintenant aux troncatures. Une face modifiante de l'angle O, telle que ABC (fig. 84) s'exprime par le symbole.

$$O (ma, nb, pc)$$

Mais si l'on admet que l'on inscrive toujours les paramètres dans le même ordre, il suffira d'écrire

$$O (m, n, p)$$

Les nombres m, n, p , sont appelés les *coefficients de dérivation* ou les *indices* de la face. On peut les mettre sous forme de diviseurs en les multipliant par $\frac{1}{mnp}$, ce qui ne change rien au résultat puisqu'il ne s'agit que de longueurs relatives :

$$O \left(\frac{1}{np}, \frac{1}{mp}, \frac{1}{mn} \right)$$

ou, en posant

$$np = q \quad mp = r \quad mn = s$$

$$O \left(\frac{1}{q}, \frac{1}{r}, \frac{1}{s} \right)$$

que l'on écrit aussi

$$O (q, r, s)$$

en se rappelant alors que les nombres q, r, s , doivent être pris en dénominateurs. Cela revient à dire que, le parallélépipède primitif étant considéré comme une maille constitutive du réseau, dont les arêtes seraient égales aux paramètres a, b, c , les longueurs interceptées sur ces arêtes sont, à un facteur commun près,

$$\frac{1}{q} a, \frac{1}{r} b, \frac{1}{s} c.$$

Cette dernière notation est la plus généralement adoptée, à cause des simplifications qu'elle apporte dans les calculs.

228. Exemples de dérivation. — Forcé de nous renfermer dans un cadre étroit, nous n'étudierons pas dans chaque système cristallin toutes les formes que l'on peut faire dériver du parallélépipède fondamental. Nous nous contenterons de donner quelques exemples.

Octaèdre régulier. — Supposons une troncature produite sur un des angles A d'un cube et interceptant des longueurs égales

sur les trois arêtes qui y aboutissent (fig. 87). D'après les lois de la symétrie, tous les angles, étant identiques, doivent se trouver modifiés simultanément et de la même manière. Si l'on

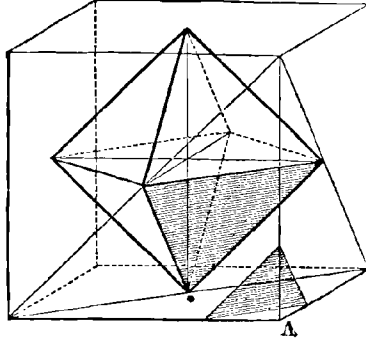


Fig. 87. — Dérivation de l'octaèdre régulier.

prolonge ces huit plans dans l'espace jusqu'à ce qu'ils se rencontrent, ou, ce qui revient au même, si on les transporte parallèlement à eux-mêmes jusqu'à faire coïncider leurs traces sur les faces avec les diagonales de ces faces, on aura un *octaèdre régulier*.

Entre le cube et l'octaèdre, il existe des cristaux intermédiaires qui peuvent se rapporter soit au cube, si les troncatures sont peu développées, soit à l'octaèdre si elles le sont beaucoup. Ce sont des *formes composées* pourvues de faces appar-

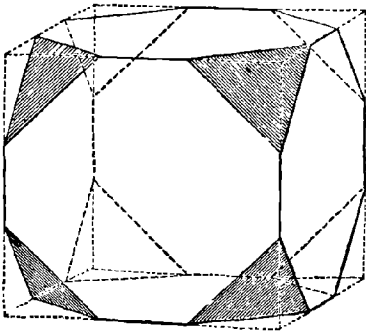


Fig. 88. — Cubo octaèdre.

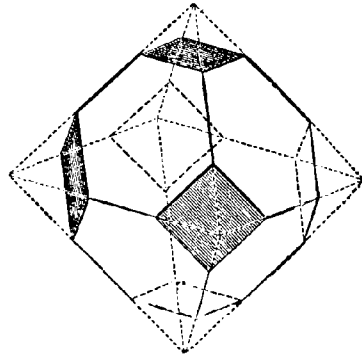


Fig. 89. — Octaèdre régulier tronqué sur les angles par les faces du cube.

tenant à deux *formes simples*. Ainsi le *cubo-octaèdre* (fig. 88) est un cube symétriquement épointé dans lequel le cube est la *forme dominante*. Au contraire, dans le cristal de la figure 89 la forme dominante est celle de l'octaèdre.

La notation symbolique de la face de l'octaèdre régulier est $a(1, 1, 1)$ ou plus simplement a' .

Trapézoèdre. — Si les longueurs interceptées par une troncature sur les trois arêtes d'un cube ne sont plus égales que

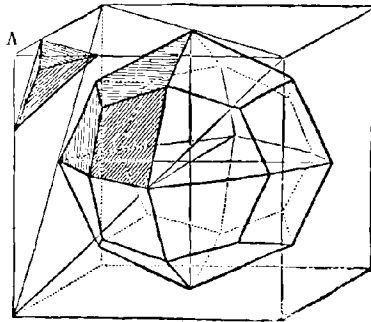


Fig. 90. — Dérivation du trapézoèdre.

pour deux d'entre elles, il devra se produire deux autres troncatures pour rétablir la symétrie et l'angle A sera remplacé par un pointement de trois faces, qui affectera également les sept autres angles (fig. 90). En prolongeant ces huit pointements, on obtiendra un solide à 24 faces auquel on donne le nom de *trapézoèdre*, parce que ses faces, composées de deux arêtes courtes et de deux longues, ont l'apparence de trapèzes.

Mais ici, il n'y a pas, comme pour l'octaèdre, une forme unique. Il peut exister plusieurs trapézoèdres suivant que les pointements sont plus ou moins aigus ou surbaissés. Le plus fréquent est celui dans lequel les inverses des longueurs interceptées sont respectivement 1, 2 et 2 ; il a pour notation $a(1, 2, 2)$ ou, en écrivant comme exposant le rapport des longueurs numériques et mettant au numérateur celle de ces longueurs qui se répète deux fois, a^2_1 ou a^2 .

Dodécaèdre rhomboïdal régulier. — Cette figure dérive du cube par des troncatures *tangentes* aux arêtes B, c'est-à-dire

également inclinées sur les faces adjacentes (fig. 91). Ses douze faces sont des rhombes égaux et sa notation ρ' .

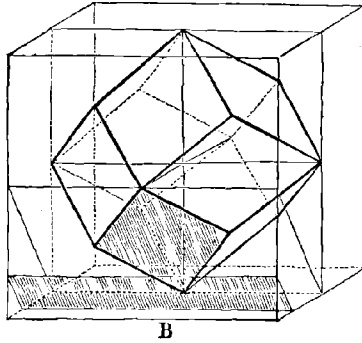


Fig. 91. — Dérivation du dodécaèdre rhomboïdal régulier.

Prisme hexagonal régulier. — Supposons que sur une arête latérale d'un rhomboèdre on fasse une modification tangente d' . Cette modification se répétera nécessairement sur

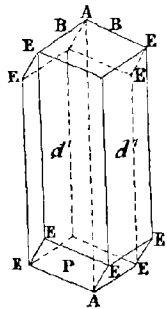


Fig. 92. — Prisme Pd' .

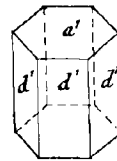


Fig. 93. — Prisme $a'd'$.

les cinq autres arêtes en zigzag et on aura six plans parallèles à l'axe ternaire formant des angles de 120° et déterminant un *prisme hexagonal régulier*. Ce prisme pourra se terminer aux deux extrémités par les trois plans P formant l'angle trièdre A du rhomboèdre primitif, ainsi que l'indique la figure 92. Quelquefois il sera terminé par des bases horizontales a' qui sont des troncatures tangentes aux angles culminants A (fig. 93).

La notation du premier prisme est $P d'$; celle du second est $a' d'$.

Le prisme hexagonal régulier peut aussi dériver du rhomboèdre par des troncatures sur les six angles latéraux E.

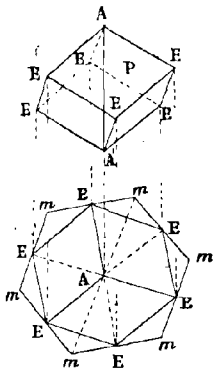


Fig. 94.

boèdre par des troncatures sur les six angles latéraux E. Pour nous rendre compte de ce mode de formation, imaginons que le rhomboèdre soit projeté sur un plan perpendiculaire à l'axe ternaire (fig. 94). Les points E étant à égale distance de cet axe et les projections de toutes les arêtes culminantes ayant des longueurs égales, on aura un hexagone régulier EEEEEE. Si maintenant on mène par chaque angle E du rhomboèdre un plan parallèle à l'axe et également incliné sur les arêtes qui se rencontrent en ce point, la projection de ce plan sera une ligne mm perpendiculaire à celle AE de l'arête culminante AE. La réunion de ces lignes mm donnera un polygone hexagonal régulier, qui ne sera autre chose que la projection du nouveau cristal obtenu par les plans modifiants des angles. Chaque face verticale interceptera sur l'arête culminante aboutissant en E une longueur qui sera la moitié de celle qu'elle intercepte sur chacune des deux arêtes en zigzag D, en sorte qu'elle aura pour notation e (2, 2, 1) ou e^2 .

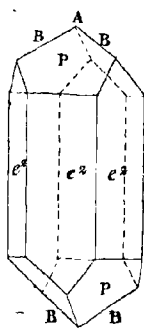


Fig. 95. — Prisme Pe^3 .

Ce solide sera ainsi un prisme hexagonal Pe^3 circonscrit au rhomboèdre (fig. 95) et qui est placé par rapport au précédent Pd' de telle manière que ses angles correspondent aux milieux des arêtes de celui-ci. La terminaison des deux prismes est également très différente : dans le premier chaque face de pointement est une des faces du rhomboèdre, en sorte qu'il conserve sa forme rhomboïdale ; dans le second les faces du pointement sont des pentagones qui, par leur intersection avec les faces du prisme, donnent des lignes horizontales.

Plusieurs minéralogistes font du prisme

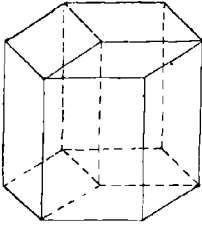


Fig. 96. — Prisme hexagonal formé par trois prismes rhombiques.

hexagonal $a' d'$ le type d'un septième système cristallin caractérisé par un axe sénaire joignant les centres des deux bases, et six axes de symétrie binaire, dont trois sont parallèles aux rayons et les autres aux apothèmes des bases. On considère alors ce prisme comme formé par la juxtaposition de trois prismes rhombiques de 120° , c'est-à-dire de trois mailles du réseau (fig. 96).

Formes dérivées du prisme asymétrique. — L'absence de symétrie est telle dans le dernier système cristallin que les solides dérivés conservent toujours leurs caractères distinctifs. Une seule

modification sur une arête H par exemple ne se reproduira que sur l'arête opposée, en sorte que l'on aura un prisme tronqué sur deux arêtes (fig. 97).

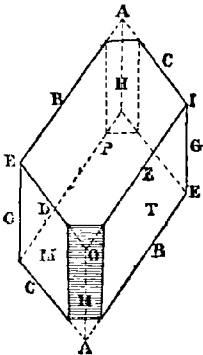


Fig. 97. — Prisme asymétrique tronqué sur les arêtes H.

Tétraèdre régulier. — Les formes que nous venons de décrire sont toutes des formes complètes, déterminées dans un milieu cristallin dont la molécule possède tous les éléments de symétrie de la maille parallélépipédique.

Supposons que nous ayons affaire à un cristal appartenant au système cubique, mais dans lequel le polyèdre moléculaire n'a plus de centre. Les axes quaternaires deviendront alors de simples axes binaires et une modification a' , qui naîtra sur un angle A à l'extrémité d'une diagonale, ne se produira plus nécessairement sur l'angle opposé A' (fig. 98); il en sera de même des deux angles du cube appartenant à la même face et venant en coïncidence par une rotation de 90° autour de l'axe normal à cette face. Au contraire, les angles qui se superposent par une rotation de 180° autour de cet axe, c'est-à-dire ceux qui sont aux extrémités de la diagonale d'une face, seront modifiés à la fois. Il y a donc la moitié des places modifiant-

tes supprimées, et, au lieu d'un octaèdre, on obtient un solide à quatre faces, appelé *tétraèdre*, qui est pour ainsi dire un demi-cristal ou *forme hémédrique*¹.

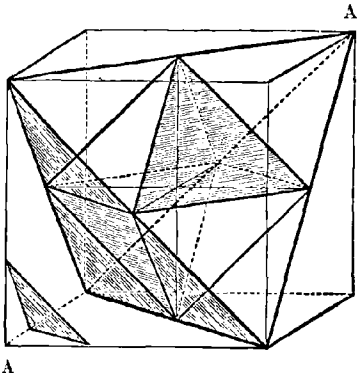


Fig. 98 — Dérivation du tétraèdre à gauche.

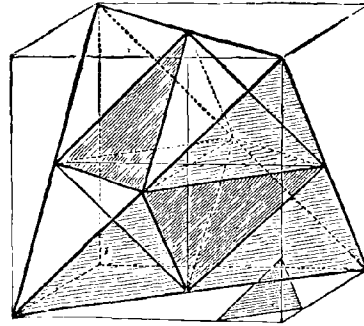


Fig. 99. — Dérivation du tétraèdre à droite.

Nous avons pris comme point de départ de ce tétraèdre l'angle inférieur à gauche du tube. Si nous partons de l'angle inférieur à droite nous formerons un second tétraèdre (fig. 99) identique au premier, mais qui s'en distingue par sa position.

Dodécaèdre pentagonal. — Le dodécaèdre pentagonal est en-

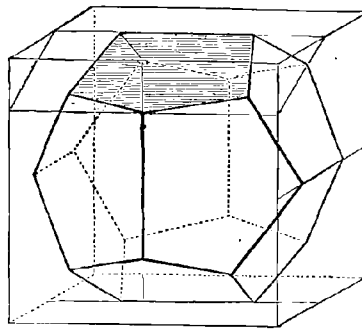


Fig. 100. — Dérivation du dodécaèdre pentagonal symétrique.

core une forme hémédrique. On le construit en tronquant les

¹ De $\tau\mu\epsilon\upsilon\varsigma$, demi.

arêtes du cube par un plan inégalement incliné sur les faces adjacentes (fig. 100) et non par deux plans comme l'exige la symétrie dans les formes holoédriques. Chaque face nouvelle est alors un pentagone dans lequel une arête, plus longue que les autres, vient s'appuyer sur la ligne qui partage en deux la face du cube. On a ainsi douze faces nouvelles dont la réunion constitue un solide *symétrique*, mais *non régulier*.

§ IV

GROUPEMENTS DES CRISTAUX.

229. Groupements réguliers. — Il arrive souvent que les cristaux qui se forment simultanément s'accroissent et même se pénètrent mutuellement. Tandis que pour plusieurs espèces minérales, comme le quartz, ce groupement n'obéit à aucune loi, il se fait toujours, dans d'autres espèces, suivant des dispositions régulières et constantes.

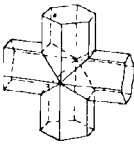


Fig. 101. —
Staurotide.

Tel est le cas de la staurotide, silicate d'alumine anhydre, qui cristallise en prismes hexagonaux aplatis et qui se présente sous la forme d'une croix résultant de la pénétration de deux prismes (fig. 101). C'est à cause de cette circonstance qu'on a donné le nom de *Pierre de croix*¹ à cette substance, qui abonde dans certaines roches schisteuses de la Bretagne. Plus rarement le croisement de la staurotide se fait sous un angle de 60 degrés.

Les groupements qui se présentent dans ces conditions de régularité portent le nom général de *mâcles*. Ils témoignent de l'influence que les parties d'un corps en voie de cristallisation ont exercée les unes sur les autres dans leur voisinage.

¹ σταυρος, croix.

230. Hémitropie. — On peut définir dans la majorité des cas la situation mutuelle de deux cristaux ainsi accolés en supposant que tous deux étant orientés de la même manière, l'un a exécuté autour d'un axe une demi-rotation, qu'on appelle une *hémitropie*.¹ Bien entendu, ce n'est là qu'une conception géométrique qui n'a d'autre but que de rendre compte de la relation des deux cristaux, car en réalité il n'y a pas eu de rotation.

L'hémitropie peut se faire de deux manières, soit autour d'un axe perpendiculaire à la face de jonction des deux cristaux, qui est un plan réticulaire commun à tous les deux, soit autour d'un axe parallèle à cette face.

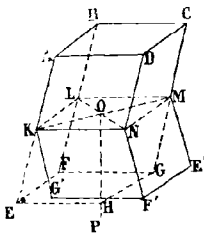


Fig. 402. — Hémitropie normale.

Imaginons qu'un cristal prismatique ABCDEFGH (fig. 402), soit coupé en son milieu par un plan KLMN parallèle aux bases et faisons tourner la moitié inférieure de 180° autour d'un axe OP perpendiculaire à ce plan. Le parallélogramme KLMN sera restitué après la rotation et se retrouvera identiquement dans la même position; mais si le prisme est oblique, les arêtes de la moitié inférieure ne se trouveront plus dans le prolongement de celles de la moitié supérieure, et cette première prendra la position KLMNG'H'E'F' symétrique de l'autre par rapport au plan de jonction. Si le prisme est droit, rien ne révélera l'hémitropie dans la forme extérieure du cristal et il faudra pour la constater recourir à des caractères optiques. C'est ainsi que se produit l'hémitropie normale.

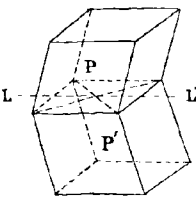


Fig. 403. — Hémitropie parallèle.

Dans l'hémitropie parallèle, la demi-rotation a lieu autour d'un axe placé dans le plan de jonction et qui doit être un axe binaire du réseau de ce plan. Soit LL' un tel axe (fig. 403); après une rotation de 180°, le parallélépipède P prendra la position P' et on aura ainsi une macle produite par l'accroissement

¹ ημισυς, demi; τροπή, tour.

de P et P' et qui ne sera plus symétrique, comme la précédente, par rapport au plan de jonction. Cette hémitropie peut cependant se produire, dans quelques cas, autour d'une ligne qui n'est qu'*approximativement* un axe de symétrie du réseau du plan d'assemblage.

231. Exemples d'hémitropie. — L'hémitropie normale est de beaucoup la plus fréquente. Le gypse nous en offre un bel exemple ; elle se fait autour d'un axe normal au plan mené

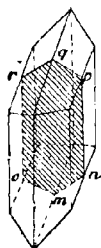


Fig. 104. — Cristal trapézien de gypse.

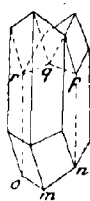


Fig. 105. — Cristal hémitrope de gypse. — *omnpqr*, plan d'hémitropie.

perpendiculairement aux faces g^1 dans le milieu du cristal représenté par la figure 104 ; d'où résulte une forme à angle rentrant (fig. 105) analogue à celle qui est connue sous le nom de *fer de lance*.

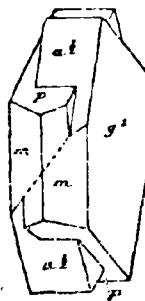


Fig. 106. — Mâcle de Carlsbad.

L'hémitropie parallèle se constate sur des cristaux d'orthose connus sous le nom de *mâcle de Carlsbad* (fig. 106). L'un des cristaux a tourné, par rapport à l'autre, de 180° autour d'une droite parallèle aux arêtes verticales du prisme, qui n'est qu'*approximativement* un axe de symétrie du plan d'assemblage g^1 . Dans cette mâcle, les deux cristaux, au lieu d'être séparés nettement par le plan d'assemblage, se pénètrent plus ou moins.

§ V.

DIMORPHISME.

232. — On a cru pendant longtemps qu'une substance déterminée ne pouvait cristalliser que dans un système unique. Il n'en est pas ainsi et il existe quelques corps, une vingtaine environ, qui, en cristallisant dans des conditions différentes, prennent des formes appartenant à des types cristallins différents. Parmi les minéraux abondants, on ne peut guère citer que la chaux carbonatée et le fer sulfuré qui présentent ce phénomène, auquel on donne le nom de *dimorphisme*.

La chaux carbonatée cristallise ordinairement dans le système rhomboédrique ; mais on la trouve aussi sous la forme de prismes droits à base rhombe. De même le fer sulfuré, ou pyrite de fer, qui cristallise le plus souvent dans le système cubique, se rencontre dans certaines circonstances en prismes droits rhomboïdaux.

Les propriétés physiques de deux formes cristallines d'une substance dimorphe sont légèrement différentes ; la dureté, la densité ne sont pas tout à fait les mêmes. On a remarqué également que la résistance aux agents chimiques, ou ce qu'on pourrait appeler la *stabilité chimique*, atteint généralement son maximum pour la forme la plus symétrique ; ainsi la pyrite de fer prismatique se décompose plus facilement et se laisse mieux attaquer par les acides que la pyrite cubique.

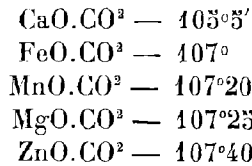
§ VI.

ISOMORPHISME.

233. Substances isomorphes. — Les substances qui présentent des compositions chimiques semblables affectent sou-

vent des formes cristallines, non pas absolument identiques, mais offrant une telle ressemblance extérieure que l'on ne parvient à les distinguer que par une mesure très-exacte de leurs angles.

Ainsi les carbonates de chaux, de magnésie, de fer, de manganèse et de zinc cristallisent tous en rhomboédres dont les angles sont les suivants :



Or ces angles sont trop rapprochés pour qu'il soit possible de les distinguer au premier aspect.

De plus, ces substances ont la propriété de se substituer l'une à l'autre dans des proportions quelconques quand elles cristallisent dans le même milieu. On trouve dans la nature des cristaux très nets contenant deux ou un plus grand nombre de ces carbonates. Le rhomboèdre a alors un angle intermédiaire entre ceux qui sont propres aux carbonates simples, et cet angle se rapproche le plus de celui du rhomboèdre dont la substance domine dans le cristal. Ainsi la dolomie, carbonate double de chaux et de magnésie à équivalents égaux, cristallise en rhomboédres de $106^{\circ}15'$, moyenne exacte des angles du carbonate de chaux et du carbonate de magnésie.

La propriété en vertu de laquelle des molécules, non identiques par leur nature, peuvent coexister dans un même cristal, a reçu de Mitscherlich le nom d'*isomorphisme*.

234. Importance de l'isomorphisme. — L'isomorphisme est très fréquent dans la nature. Il a joué dans le développement de la chimie un rôle considérable, car il a guidé souvent dans le choix de la formule qu'il convient de donner à certains composés et par conséquent dans le choix à faire, entre tous les multiples d'un même nombre, pour le poids atomique ou pour l'équivalent d'un corps simple.

Ainsi le seul oxyde que forme l'aluminium s'écrit Al^3O^3 parce qu'il est isomorphe avec Fe^3O^3 .

Il y a cependant des cas d'isomorphisme qu'il n'est pas toujours facile de comprendre au premier abord. Tel est celui du carbonate de chaux $\text{CaO} \cdot \text{CO}^2$ et de l'azotate de soude $\text{NaO} \cdot \text{AzO}^3$. Mais si l'on écrit ces formules avec les atomistes CaCO^3 et $\text{Na}^2\text{Az}^2\text{O}^6$ ou NaAzO^3 (les poids atomiques du sodium et de l'azote étant la moitié de leurs équivalents) on voit que le groupement CaC équivaut au point de vue cristallin au groupement NaAz . On pourrait trouver là un argument contre les formules dualistiques.

§ VII

PARTICULARITÉS DE LA STRUCTURE DES CRISTAUX.

235. Cristallites, microlithes, squelettes de cristaux. — Nous avons dit plus haut que l'on distingue deux états de la matière : l'état cristallin et l'état amorphe. Les études microscopiques ont montré que ces deux états ne sont pas toujours nettement caractérisés et qu'ils se rattachent l'un à l'autre par une série ininterrompue de gradations. Les inter-

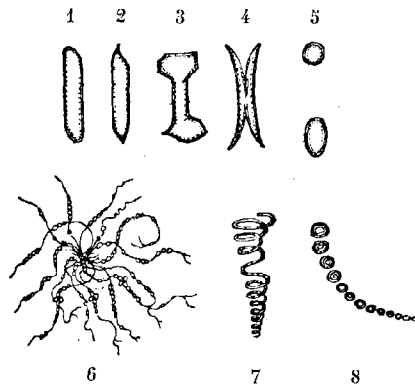


Fig. 107. — Cristallites. — 1, 2, 3, 4, Jongulites ; 5, globulites ; 6, 7, trichites ; 8, globulites disposés en trichites.

médiaires sont les cristallites, les microlithes et les squelettes cristallins qui amènent aux cristaux proprement dits.

Les *crystallites* sont des sortes de corpuscules qui se présentent sous la forme d'aiguilles, de globules, d'arborisations microscopiques (fig. 407). Ce sont pour ainsi dire des essais de cristaux et on les observe dans des minéraux de nature vitreuse, franchement amorphes, tels que l'obsidienne ou verre naturel.

Les *microlithes* sont des cristaux microscopiques, mais déjà spécifiés, dont on peut souvent déterminer la forme. Tantôt ils sont distribués très irrégulièrement, tantôt ils sont tellement nombreux et si serrés les uns contre les autres, qu'ils forment par leur agrégation un cristal présentant plus ou moins les contours de l'espèce minérale (fig. 408). Ils peuvent aussi s'arranger symétriquement en dessinant des figures régulières sur les faces des cristaux qui les englobent.



Fig. 408. — Cristal d'hornblende formé de microlithes.

Certains cristaux, tels que les octaèdres de cuivre oxydé, sont réduits à leurs arêtes et à leurs plans principaux, de sorte que les faces sont creusées en forme d'entonnoirs. D'autres, comme les gros dodécaèdres de grenat, ne consistent qu'en une enveloppe dodécaédrique dont l'intérieur est rempli de matières étrangères. Ce sont des *squelettes de cristaux* dans lesquels la matière cristallisable s'est portée en des points privilégiés.

C'est sans doute à un phénomène du même genre qu'il faut attribuer ce que l'on appelle le *grès cristallisé* de la forêt de Fontainebleau, constitué par de gros rhomboèdres de chaux carbonatée, qui empâtent des grains de sable dans la proportion de plus de 50 0/0. Il semble que le calcaire ait cherché à cristalliser sous la plus grande dimension possible en se contentant, pour remplir l'intérieur, du sable quartzeux qu'il servait à agglutiner.

236. Inclusions. — En dehors des cristallites et des microlithes, les cristaux contiennent souvent des matières étrangères, vitreuses, gazeuses ou liquides, auxquelles on donne le nom d'*inclusions*.

Les inclusions vitreuses sont les restes de la matière amorphe au sein de laquelle les cristaux ont pris naissance. Leur forme est généralement ovoïde ou globuleuse (fig. 109) ; mais il n'est pas rare de les voir dentelées ou irrégulièrement cunéiformes ; elles renferment fréquemment

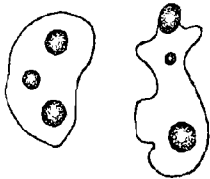


Fig. 109. — Inclusions vitreuses avec bulles.

à leur intérieur des bulles qui ont dû être entraînées avec la pâte vitreuse. La répartition des inclusions vitreuses peut être complètement irrégulière, ce qui est le cas ordinaire, ou bien montrer une certaine régularité comme pour les microlithes.

Les inclusions gazeuses, le plus souvent arrondies, occupent quelquefois des cavités polyédriques dont la forme est en rapport avec celle du cristal englobant. Le gaz est de l'azote, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'acide carbonique ou un carbure d'hydrogène.

Les inclusions liquides sont connues depuis longtemps, parce qu'elles ont généralement des dimensions moins faibles que les précédentes et qu'on peut fréquemment les observer à la loupe ou même à l'œil nu. De tous les minéraux, le quartz est celui qui en est le plus abondamment pourvu.

Les plus petites sont d'ordinaire rondes ou ovales ; elles peuvent aussi posséder la forme des cristaux qui les enferment. Les plus grandes, dont le diamètre dépasse rarement 0,06 millimètre, sont irrégulièrement ramifiées. Le liquide inclus est de l'eau pure, ou une dissolution de chlorure de sodium, ou de l'acide carbonique liquide, etc.

La plupart des inclusions liquides renferment une bulle gazeuse ou *libelle*, qui, toutes les fois que sa dimension est inférieure à 0,002 millimètre, se montre animée d'un mouvement de trépidation constant. L'explication la plus rationnelle de ce phénomène est la suivante qui a été proposée par MM. Carbonnelle et Thirion. Par suite de l'échange incessant qui, à la surface de contact du liquide et de la vapeur, se fait entre les molécules qui reprennent l'état liquide et celles qui se résolvent en vapeur, il y a une variation continuelle des dimensions

relatives des deux portions de l'inclusion ; si la libelle est grande, ces variations se compensent et échappent aux regards ; mais quand la dimension devient comparable à celle des espaces intermoléculaires, elles peuvent être sensibles à l'observation.

Les inclusions liquides ont dû être emprisonnées dans le minéral lors de sa formation et non par une infiltration postérieure. Tantôt elles sont réparties sans ordre ; tantôt elles s'alignent en traînées plus ou moins tortueuses.

237. Pseudomorphoses. — Les *pseudomorphoses* ou *épigénies* consistent dans la substitution complète ou partielle d'une substance à une autre qui était cristallisée, de telle sorte que la première peut présenter une apparence de cristallisation anormale. Ainsi la pyrite de fer, en se décomposant, donne de l'oxyde de fer hydraté qui se montrera par suite en cubes ou en octaèdres, tandis que sa forme cristalline est celle du prisme droit rhomboïdal. Ainsi encore l'argent et le cuivre natifs, qui cristallisent en cubes, se sont substitués moléculairement dans certains gîtes à des cristaux rhomboédriques de chaux carbonatée. Les pseudomorphes ne sont donc en réalité autre chose que des moulages qui n'ont rien à faire avec les lois de la cristallographie.



CHAPITRE VII

CARACTÈRES PHYSIQUES & CHIMIQUES DES MINÉRAUX

§ I. Propriétés optiques. — § II. Propriétés physiques diverses. —
§ III. Caractères chimiques.

§ I.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES.

De toutes les propriétés physiques des minéraux, celles qui sont basées sur les phénomènes lumineux sont les plus importantes à considérer. Elles constituent toute une branche de la Physique, l'Optique des cristaux, que nous ne pouvons qu'effleurer ici, en rappelant les faits les plus essentiels.

238. Double réfraction. — Quand un rayon d'une couleur quelconque passe au travers d'un prisme de verre, il sort dévié, conformément à la loi de Descartes, mais il reste simple. Il en est de même pour tous les corps amorphes, ainsi que pour les cristaux du système cubique qui possèdent trois axes quaternaires identiques.

Dans les cinq autres systèmes cristallins, où il n'y a jamais trois directions rectangulaires qui soient identiques, la réfraction n'est pas simple. Chaque rayon incident donne deux rayons réfractés qui cheminent dans le milieu avec des vitesses différentes; mais en général la différence des angles

que ces deux derniers rayons font avec le rayon incident est très faible et il n'y a guère que la chaux carbonatée, la tourmaline et un petit nombre d'autres substances, dans lesquelles la double réfraction soit visible à l'œil nu.

Les substances qui n'ont que la simple réfraction sont dites *monoréfringentes*; celles qui jouissent de la double réfraction sont *biréfringentes*. Des deux rayons réfractés par les milieux biréfringents, l'un, assujéti aux règles de la réfraction ordinaire, est le *rayon ordinaire*; l'autre, qui a un indice de réfraction variable entre deux limites, est le *rayon extraordinaire*. Tantôt, comme dans la chaux carbonatée, le rayon extraordinaire s'écarte plus de la normale que le rayon ordinaire; la double réfraction est dite alors *répulsive* ou *négative*. Tantôt c'est l'inverse qui a lieu, comme dans le quartz, et la double réfraction est *attractive* ou *positive*.

239. Polarisation. — Ce n'est pas tout; les deux rayons réfractés ont perdu en outre plusieurs de leurs anciens caractères et ont acquis des propriétés nouvelles. Tandis que les vibrations du milieu élastique ou éther qui produisent la lumière naturelle s'effectuent dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation, mais avec une orientation variant d'un moment à l'autre, d'une manière désordonnée pour ainsi dire, dans ces rayons au contraire les vibrations sont régularisées et orientées d'une façon déterminée. On dit qu'ils sont *polarisés* et on appelle *plan de polarisation* le plan perpendiculaire à la direction suivant laquelle se font les vibrations. De plus les vibrations de ces deux rayons sont perpendiculaires; ils sont donc *polarisés à angle droit*.

La lumière polarisée diffère de la lumière naturelle en ce qu'elle est devenue incapable de se réfléchir ou de se réfracter comme le fait cette dernière, sauf en des circonstances bien définies. Elle ne possède en d'autres termes ces propriétés que pour certains points seulement, qu'on appelle des *pôles*, par comparaison à ce qui a lieu dans les aimants.

240. Axes optiques. — Nous avons dit plus haut que les cristaux des cinq systèmes cristallins autres que le système

cubique sont biréfringents. Il y a cependant des circonstances dans lesquelles le rayon incident ne se partage pas en deux ; c'est lorsqu'il arrive parallèlement à certains axes cristallographiques qu'on appelle *axes optiques*.

Ainsi, dans les cristaux des systèmes rhomboédrique et quadratique qui possèdent un axe principal ternaire ou quaternaire, autour duquel toutes les faces sont symétriquement ordonnées, il y a une direction exceptionnelle de monoréfringence qui coïncide précisément avec cet axe. Ce sont des *cristaux à un axe optique* ou *uniaxes*.

Pour les trois autres systèmes cristallisés, moins symétriques, il y a deux directions de monoréfringence qui ne sont plus nécessairement des axes cristallographiques, mais qui conservent toujours avec eux, quand ils existent, certaines relations. Les cristaux de ces trois systèmes sont des *cristaux à deux axes optiques* ou *biaxes*.

241. Pince à tourmaline. — La tourmaline, minéral du système rhomboédrique jouissant de la double réfraction à un haut degré, peut servir à reconnaître si une substance possède la simple ou la double réfraction.

C'est un cristal négatif dans lequel les vibrations ordinaires sont plus retardées, et par suite plus fortement absorbées que les vibrations extraordinaires. Aussi, avec une plaque de 4 millim. $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, on peut arrêter totalement les premières et cet effet est le mieux marqué quand la plaque est taillée parallèlement à l'axe optique, c'est-à-dire à l'axe cristallographique ternaire.

Si maintenant l'on reçoit ce rayon extraordinaire sur une seconde plaque de tourmaline taillée comme la première parallèlement à l'axe optique, on observe des phénomènes différents suivant la disposition de ces deux plaques l'une par rapport à l'autre. Quand les deux axes des plaques sont parallèles, la deuxième est traversée par la lumière sans modification ; quand au contraire ils sont perpendiculaires, le rayon est inapte à traverser cette dernière plaque qui l'éteint complètement, de sorte qu'il y a obscurité dans la région où elles se recouvrent. Entre ces deux limites, l'éclaircissement du champ de

vision varie depuis un maximum jusqu'à l'obscurité complète, suivant que l'angle des deux axes est plus rapproché de 90 degrés.

C'est sur ce principe qu'est fondé l'emploi de la pince à tourmaline (fig. 110). Deux lames de ce minéral sont enchâssées dans des disques de liège et ceux-ci dans des anneaux de laiton entourés à frottement doux par les extrémités d'un fil métallique formant pince.

On prend un fragment de la substance à examiner et on la place entre les deux lames, mises en regard l'une de l'autre, et dont on fait tourner les montures de manière à rendre leurs



Fig. 110. — Pince à tourmaline.

axes optiques perpendiculaires l'un à l'autre. Si la substance essayée ne possède que la réfraction simple, l'obscurité persiste ; si elle possède la double réfraction, la place correspondant au croisement s'éclaircit, car

alors le rayon polarisé par la première tourmaline se partage en deux dont l'un, polarisé en sens inverse du premier, peut traverser la seconde tourmaline.

Avec un cristal biréfringent placé perpendiculairement à son axe optique, il y a également extinction ; mais pour lever cette difficulté, il suffit de l'incliner de façon que les rayons le traversent dans une direction différente de celle de cet axe.

242. Nicol. — La pince à tourmaline est un instrument très simple, peu coûteux et d'un maniement facile ; mais la tourmaline a l'inconvénient, à cause de sa couleur assez foncée, d'affaiblir notablement l'intensité des images et de jeter sa propre coloration sur les corps observés.

Aussi on préfère souvent employer des prismes de spath d'Islande blanc et limpide. A l'aide d'un artifice convenable, on peut les disposer de telle sorte que l'un des deux rayons réfractés, le rayon ordinaire soit éliminé et que le rayon extraordinaire seul les traverse. Un prisme de ce genre s'appelle *prisme de Nicol*, du nom de son inventeur, ou simplement *nicol*.

Quand le rayon qui a traversé un nicol est reçu sur un au-

tre, les choses se passent comme dans la pince à tourmaline, et il y a obscurité ou rétablissement de la lumière suivant la disposition relative des axes optiques des deux prismes.

Le premier nicol prend le nom de *polariseur*, le second celui d'*analyseur*. Nous verrons tout-à-l'heure comment on a appliqué leurs propriétés à la construction du microscope polarisant; nous allons auparavant examiner quelques autres phénomènes optiques.

243. Interférences. — Les plaques de tourmaline et surtout les nicols permettent d'observer une autre fait intéressant, c'est celui des *anneaux colorés*, que l'on explique par des *interférences*, c'est-à-dire par des phénomènes d'addition et de suppression de lumière.

Supposons qu'entre deux nicols croisés à angle droit on interpose une plaque d'un cristal rhomboédrique ou quadratique taillé perpendiculairement à son axe optique, on apercevra des anneaux circulaires et concentriques, irisés comme l'arc-en-ciel et traversés par une croix noire dont les deux bras sont

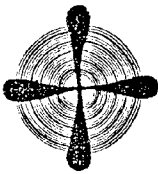


Fig. 411. — Figure d'interférence sur un cristal uniaxe.

parallèles aux deux axes des nicols (fig. 411). Si, au lieu d'être croisés, les nicols sont parallèles les anneaux irisés se montreront encore, mais avec des couleurs complémentaires de celles des précédentes, de telle sorte que la croix noire sera remplacée par une croix blanche, le vert par du rose, etc.

Pour les cristaux des systèmes orthorhombique, clinorhombique et asymétrique, qui sont biaxes, les phénomènes d'interférence se manifestent également quand ils sont taillés perpendiculairement à l'un des axes, mais ils sont surtout remarquables lorsque la face de la lame taillée est perpendiculaire à la bissectrice de l'angle aigu de ces deux axes. On observe alors deux systèmes d'anneaux qui empiètent l'un sur l'autre de manière à donner des courbes en forme de lemniscate (fig. 412).

On entrevoit donc ainsi le moyen de distinguer les cristaux à un axe optique de ceux à deux axes. De plus la figure d'in-

terférence est en relation avec la nature des substances. Plus un cristal est biréfringent, plus les anneaux sont serrés ; telle est la calcite, dont les anneaux sont extrêmement rapprochés, pourvu toutefois qu'elle ne soit pas taillée en plaque par trop mince. Avec les cristaux biaxes la forme de la figure d'interférence dépend surtout de l'écartement des axes optiques.

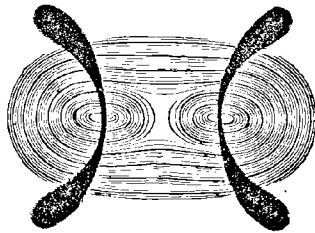


Fig. 112. — Figure d'interférence sur un cristal biaxe.

La position des couleurs, rouge, bleue ou violette, par rapport au point de croisement des deux lignes noires, varie aussi avec les espèces minérales. Ainsi pour le péridot, le rouge est plus près, le bleu plus loin du centre, tandis que pour la topeze le bleu est en dedans et le rouge en dehors.

211. Polarisation chromatique.¹—Lorsqu'au lieu d'avoir une épaisseur de plus de 1 millimètre, comme pour l'observation des phénomènes précédents, les plaques sont très minces et ne dépassent pas 3 à 4 centièmes de millimètre, certaines des radiations qui composent un rayon lumineux blanc s'affaiblissent de préférence aux autres et le rayon émergent est coloré. Cette coloration, qu'on appelle *teinte de polarisation*, varie avec la nature de la substance, avec l'épaisseur de la lame et avec l'orientation de cette lame par rapport aux éléments cristallographiques du minéral.

Il ne faut pas que les plaques soient par trop minces, car elles ne retarderaient pas sensiblement les radiations et elles resteraient noires entre les nicols croisés.

Pour une épaisseur déterminée de plaque, les colorations

1. De *χρωμα*, couleur.

sont caractéristiques de diverses matières cristallisés. Ainsi avec une épaisseur de 4 à 5 centièmes de millimètre, l'orthose donne une teinte blanche ou faiblement colorée, le quartz jaune rougeâtre, la tourmaline rouge, etc.

245. Microscope polarisant. — Les nicols peuvent être adaptés à des microscopes à l'aide desquels on observe, sous les plus forts grossissements, les phénomènes optiques que nous venons de décrire. On a là un moyen précieux de détermination des éléments minéralogiques des roches, surtout quand ils ne sont pas discernables à l'œil nu ou à la loupe. Cette étude a fait, depuis une trentaine d'années, de très grands progrès, entre les mains habiles de M. Sorby en Angleterre, de M. Zirkel en Allemagne et de MM. Fouqué et Michel Lévy en France ; et c'est ce qui justifie les quelques détails dans lesquels nous sommes entré.

On fait les observations microscopiques soit en lumière parallèle soit en lumière convergente.

Lumière parallèle. — Le microscope le plus généralement adopté est celui que construit M. Nacet (fig. 413). C'est un microscope ordinaire auquel sont ajoutés des appareils de polarisation et dans lequel le faisceau de lumière introduit est parallèle à l'axe de l'instrument. Le nicol polariseur T est placé au-dessous du porte-objet et reçoit la lumière naturelle au moyen d'un réflecteur ; le nicol analyseur A est dans une boîte métallique montée sur une articulation, de sorte qu'on peut faire instantanément l'observation dans la lumière polarisée en relevant ce prisme à la partie inférieure du tube contenant l'oculaire et l'objectif. Le porte-objet est mobile autour de l'axe de l'appareil, à l'aide de vis ; un limbe divisé permet de mesurer exactement la grandeur de la rotation.

L'observation microscopique exige des lames suffisamment transparentes pour pouvoir être éclairées par transmission. Quand elles ne peuvent être fournies directement par le clivage, on les prépare de la manière suivante.

On détache à l'aide du marteau un petit fragment convenablement choisi du minéral ou de la roche à examiner. Si le corps est dur, on l'use à l'émeri de manière à y faire naître une

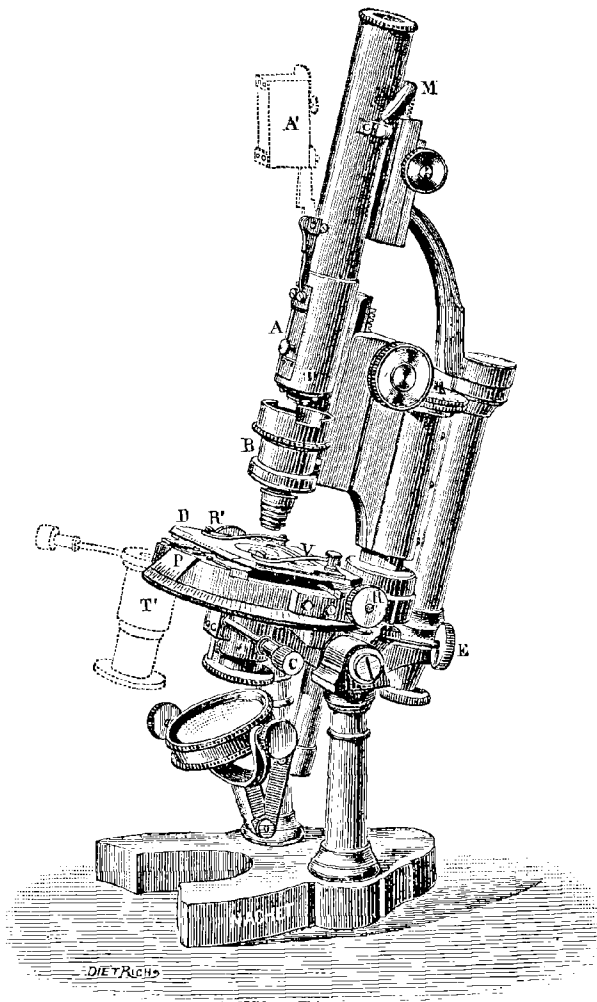


Fig. 443. — Microscope polarisant pour les études minéralogiques et pétrographiques.

face plane, on le polit avec du rouge d'Angleterre ou de la potée d'étain, puis on l'applique sur un bloc de verre et on l'use comme précédemment de l'autre côté pour produire une seconde face parallèle à la première. Quand la plaque n'a plus que 2 à 5 centièmes de millimètre, on la colle avec du baume du Canada entre deux lames de verre et elle est dès lors prête à subir l'examen microscopique. Pour les substances tendres, on les taille grossièrement avec un canif et on achève de les façonner sur du verre dépoli.

Ces lames, fixées par des pinces sur le porte-objet, sont propres à donner entre les nicols croisés les apparences chromatiques qui servent à distinguer les divers minéraux. Une plaque de roche, d'un granite par exemple, montrera de brillantes colorations séparées par des parties blanches et des parties obscures (planche ci-contre).¹ Les parties obscures correspondent à des substances amorphes ou du système cubique, ou bien encore, accidentellement à des minéraux uniaxes dont l'axe optique se trouve perpendiculaire au plan de la plaque. Quel que soit la position que l'on donne à cette plaque en la tournant sur elle-même, l'obscurité persiste, mais elle disparaît pour les substances uniaxes pour peu qu'on l'incline. Les cristaux biréfringents ont des colorations variées qui, outre qu'elles sont caractéristiques, servent à délimiter très nettement leurs contours.

L'oligoclase, feldspath du système asymétrique composé, comme nous le verrons plus tard, de lamelles hémitropes très minces dont chacune a tourné de 180° par rapport à celle qui lui est immédiatement superposée, présente des couleurs alternantes bien tranchées, tandis que l'orthose conserve une seule teinte dans tout le champ du microscope.

On peut aussi employer le microscope pour mesurer l'angle de deux lignes droites sur un cristal, par exemple de deux côtés de son contour. Cette mesure s'opère au moyen du cercle divisé que porte l'appareil. On dispose la plaque sur le porte-

1. Plaque mince de granite des Settons (Nièvre) vue entre les nicols croisés (d'après MM. Fouqué et Michel Lévy). — Grossissement, 64 diamètres. — 1, quartz riche en inclusions liquides à bulles mobiles; 3, orthose; 4, oligoclase; 13, apatite; 19, mica noir; 21, actinote; 33, épidote.

objet de telle sorte que le sommet de l'angle des deux lignes se trouve exactement en face du point de croisement d'un réticule de deux fils perpendiculaires placés au foyer de l'oculaire, et il suffit de faire tourner le porte-objet pour mesurer cet angle.

Nous citerons un dernier exemple qui montre quels services des observations de ce genre peuvent rendre à la minéralogie et surtout à la cristallographie.

On a remarqué depuis longtemps que certaines substances qui se présentent sous des formes du système cubique éclairent le champ obscur de l'appareil de polarisation. M. Mallard a expliqué cette anomalie en montrant que ces cristaux ne sont pas réellement cubiques, mais résultent du groupement régulier de particules appartenant à un autre type cristallin ; tel est le cas pour quelques variétés de grenat. Les cristaux auraient ainsi, dans certaines circonstances, une tendance à s'élever à un degré de symétrie plus élevé que ne semblerait le comporter leur structure élémentaire.

Lumière convergente. — Le microscope à lumière parallèle, qui est le plus employé, sert surtout à l'étude des plaques minces. Quand on veut examiner les phénomènes d'interférence, il est nécessaire de recourir à la lumière convergente. M. E. Bertrand a imaginé dans ce but une modification heureuse qui permet d'utiliser le microscope que nous venons de décrire ; il emploie une lentille achromatique de 3 centimètres environ de foyer, qu'on introduit à volonté dans l'axe de l'instrument en B, à une distance convenable au-dessus de l'objectif, et deux lentilles à très court foyer que l'on met au-dessus du nicol inférieur, de manière à transformer la lumière parallèle en un faisceau de rayons lumineux polarisés très convergents.

On peut ainsi étudier individuellement les petits grains provenant de la pulvérisation d'une roche, et, si l'orientation des faces est convenable, on aperçoit des figures d'interférence caractéristiques. Ce microscope permet aussi de mesurer, à l'aide de dispositions ingénieuses, les angles que font entre elles les faces des cristaux microscopiques.

246. Coloration des minéraux. — Un grand nombre

de minéraux ont une coloration propre qui suffit parfois à les faire reconnaître. La malachite est verte, le lapis-lazuli est d'un beau bleu, le cinabre est rouge vermillon, l'orpiment jaune vif.

Mais la couleur n'est pas toujours une conséquence nécessaire de la composition du minéral et elle peut être déterminée par des substances étrangères, telles que des oxydes métalliques en très petites proportions ou des hydrocarbures volatils. Quelquefois même elle est due à l'interposition visible de matières colorées; ainsi l'hyacinthe de Compostelle est du quartz hyalin contenant dans sa masse des particules, distinctes à l'œil nu, d'oxyde de fer qui la colorent en rouge.

La coloration des cristaux présente encore quelques particularités intéressantes. Certaines substances sont *dichroïques* ou même *polychroïques*, c'est-à-dire qu'elles ont deux ou plusieurs couleurs différentes suivant la direction sous laquelle on les regarde. Cette propriété, observée pour la première fois sur un minéral rare de Ceylan appelé *cordièrite*, est en relation avec les phénomènes de réfraction.

Les minéraux sont dits *irisés* quand ils offrent des jeux de lumière rappelant l'arc-en-ciel; *chatoyants*, lorsqu'ils ont des reflets nacrés ou soyeux, plus ou moins colorés; *aventurinés*, quand ils montrent dans leur intérieur des petits points étincelants. Toutes ces apparences peuvent s'expliquer par l'existence de fissures intérieures, de vacuoles ou de petits cristaux interposés dans la masse.

§ II

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DIVERSES.

247. Densité. — La densité des minéraux varie dans de larges limites, de 0,7 pour le pétrole à 23 pour l'iridium. A l'aide de ce simple caractère, on peut parfois distinguer un corps d'un autre qui lui ressemble beaucoup par son aspect extérieur; ainsi la baryte sulfatée, qui a une densité de 4,50,

est plus lourde que tous les autres minéraux pierreux et on lui a donné, à cause de cette circonstance, le nom de *spath pesant*.

218. Dureté. — La dureté est la résistance qu'offre un minéral à l'effort qu'on fait pour le rayer avec un autre corps. On mesure la dureté à l'aide d'une échelle de comparaison dans laquelle dix minéraux, pris comme types, sont rangés depuis le plus dur jusqu'au plus tendre, en sorte que chacun d'eux est rayé par celui qui le précède et raye celui qui le suit. Voici quelle est cette échelle :

10. Diamant (carbone cristallisé).
9. Corindon (alumine pure cristallisée).
8. Topaze (fluosilicate d'alumine cristallisé).
7. Quartz hyalin (silice cristallisée).
6. Orthose (silicate d'alumine et de potasse cristallisé).
5. Apatite (phosphate de chaux cristallisé).
4. Spath fluor (fluorure de calcium cristallisé).
3. Spath calcaire (carbonate de chaux cristallisé).
2. Gypse (sulfate de chaux hydraté cristallisé).
1. Talc lamelleux (silicate de magnésie hydraté).

Les numéros 1 et 2 sont rayés avec l'ongle ; les quatre premiers par le verre à vitre, les cinq premiers par le canif. L'émeraude par exemple raie le quartz, mais elle est rayée par la topaze ; on dira que sa dureté est de 7,5. Le sel marin raye le talc et il est rayé par l'ongle sans être rayé par le gypse ; sa dureté est donc exactement égale à 2.

La dureté est jusqu'à un certain point en rapport avec la composition des minéraux. Elle est augmentée par la présence de l'oxygène et des autres métalloïdes ; ainsi le peroxyde de fer est plus dur que le fer métallique ; la galène ou sulfure de plomb, beaucoup plus que le plomb. L'eau présente la propriété inverse ; elle diminue la dureté des corps dans lesquels elle entre en combinaison : le gypse, sulfate de chaux hydraté, est plus tendre que l'anhydrite ou sulfate de chaux anhydre ; les zéolithes, silicates hydratés, sont également moins durs que les silicates anhydres.

La dureté, prise au point de vue minéralogique, n'est pas

une propriété absolue qui s'offre toujours au même degré dans la même substance. Elle varie suivant les directions dans les corps cristallisés clivables ; et non seulement elle n'est pas la même sur les diverses faces d'un cristal, mais encore elle peut présenter des différences sur une ligne déterminée d'une face, suivant qu'on cherche à rayer celle-ci dans un sens ou dans l'autre. Ainsi, si l'on prend une face de clivage P d'un rhomboëdre de chaux carbonatée (fig. 114), on remarquera qu'il faut déployer beaucoup plus de force pour la rayer avec un canif en allant diagonalement de l'angle A vers l'angle E opposé que dans le sens contraire.

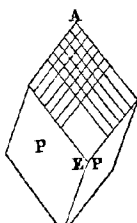


Fig. 114.

C'est dans la structure interne du cristal qu'il faut chercher l'explication de ce fait. Remarquons que les divers plans de clivage de la chaux carbonatée, parallèles aux deux autres faces culminantes P, viennent dessiner sur la face en question un réseau de lignes dont l'entrecroisement produit des losanges. Si nous substituons par la pensée à la face plane les affleurements d'une infinité de lamelles parallèles à ces deux directions, on verra que pour rayer le plan de A en E avec un canif il faut descendre l'espèce d'escalier formé par la superposition de ces lamelles, tandis que dans le sens de E en A la pointe prend pour ainsi dire à rebrousse-poil et profite de la tendance au décollement.

249. Cassure. — La *cassure* est la surface produite par un choc. Quand un minéral a des faces de clivage, il se brise presque toujours suivant ces plans, avec une cassure *laminaires* si les faces sont très étendues, *lamellaire* si elles le sont peu. On dit que la cassure est *vitreuse*, lorsque la surface donnée par le choc est inégale ; *conchoïde*, quand la surface est courbe et ressemble à la forme extérieure d'une coquille ; *esquilleuse*, lorsque cette surface présente des esquilles ou des sortes d'écaillés en retrait les unes sur les autres, etc.

§ III

CARACTÈRES CHIMIQUES.

250. État des substances minérales dans la nature.

— Parmi les 63 corps simples connus il n'en est que 15 qui se présentent à l'état natif et encore, pour la plupart d'entre eux, n'est-ce qu'exceptionnellement. Ces 15 corps comprennent quatre métalloïdes, l'oxygène, l'azote, le soufre et le carbone; trois métaux cassants, l'arsenic, l'antimoine et le bismuth; huit métaux lourds, l'or, l'argent, le mercure, le cuivre, le fer, le platine, l'iridium et le palladium.

On peut donc dire que presque toutes les espèces minérales résultent de la combinaison de deux ou plusieurs éléments simples. Il est à remarquer que les métaux légers, c'est-à-dire les métaux alcalins, terreux ou alcalino-terreux, sont le plus souvent unis à l'oxygène ou à des corps haloïdes, tandis que les métaux lourds se montrent de préférence combinés au soufre, au sélénium et au tellure.

Ce n'est qu'au moyen d'une analyse complète qu'on peut arriver à connaître la composition exacte d'un minéral formé de plusieurs éléments. Cette opération est du domaine de la chimie et le minéralogiste se borne généralement à faire de simples essais qualificatifs, d'une exécution facile et rapide, qui permettent presque toujours de déterminer un minéral quand les caractères cristallographiques et physiques sont insuffisants. On se sert surtout dans ce but des acides et du chalumeau.

251. Essais par les acides. — On peut employer en premier lieu l'acide chlorhydrique, dont on essaie l'action sur la manière finement pulvérisée. Les carbonates sont attaqués avec effervescence; d'après la grosseur des bulles et la plus ou moins grande rapidité de leur formation, on peut reconnaître la nature de la base; ainsi la chaux carbonatée donne une vive effervescence, tandis que la dolomie, carbonate double de chaux et de magnésie, se laisse attaquer plus lentement. Un grand

nombre de minéraux communs, le quartz, l'orthose, la baryte sulfatée, sont complètement inattaquables; d'autres, comme le labrador, ne sont attaqués qu'à la suite d'une digestion prolongée et abandonnent de la silice gélatineuse. Quelques sulfures dégagent, dans ces conditions, de l'hydrogène sulfuré; divers composés du manganèse mettent du chlore en liberté.

L'acide azotique donne des vapeurs rutilantes avec les métaux natifs, les sulfures, les arséniures. L'acide sulfurique permet de reconnaître les fluorures en dégageant de l'acide fluorhydrique qui dépolit le verre. L'acide fluorhydrique lui-même peut être employé pour reconnaître la silice et les silicates.

L'emploi de l'acide hydrofluosilicique est à recommander pour la détermination des diverses espèces de feldspaths, qui jouent un si grand rôle dans la constitution des roches cristallines. Ce réactif attaque la plupart des silicates en donnant des hydrofluosilicates qui, par l'action d'une chaleur douce, cristallisent sous des formes différentes suivant que la base est de la potasse, de la soude ou de la chaux.

Tous ces essais peuvent se faire non-seulement sur des minéraux isolés, mais encore sur des plaques minces que l'on soumet à l'examen microscopique avant et après la réaction.

252. Essais au chalumeau. — Le chalumeau se prête à plusieurs sortes d'opérations. En soumettant à l'action du bord bleu de la flamme un fragment tenu à l'aide d'une pince de platine ou porté par la boucle d'un fil de platine, on se rend facilement compte du degré de fusibilité de la substance. Certains corps, comme le quartz, sont complètement infusibles et le fragment conserve alors ses arêtes vives; d'autres, difficilement fusibles, tels que les feldspaths, se ramollissent un peu sur les bords minces et leurs arêtes s'émoussent; d'autres enfin, facilement fusibles, fondent en globules, comme le pyroxène et l'amphibole.

Ces essais se font souvent avec addition de réactifs dont les plus employés sont le borax et le sel de phosphore. On prend un fil de platine que l'on recourbe en boucle à une de ses extrémités; on fait rougir cette boucle à la flamme du chalumeau, puis on la plonge immédiatement dans le borax. On fait fondre

le borax adhérent au fil de manière à lui faire perdre son eau de cristallisation et à le transformer en une perle limpide que l'on applique, encore chaude, sur la poudre de la matière à essayer, dont on ne doit enlever que quelques parcelles. On soumet de nouveau à l'action du chalumeau et on obtient une coloration caractéristique pour certaines substances; ainsi l'oxyde de manganèse colore la perle en violet intense, l'oxyde de cobalt en bleu, l'oxyde de cuivre en vert pâle.

Le sel de phosphore s'emploie de la même manière que le borax; il donne des colorations plus vives, mais qui s'affaiblissent davantage par le refroidissement.

On obtient parfois des indications utiles en plaçant un fragment de la substance à examiner au fond d'un petit tube de verre de 5 à 6 millimètres de diamètre fermé à une extrémité et chauffant, suivant les cas, avec le chalumeau ou sans son intervention. On observe si la substance décrépète, comme l'aragonite et les azotates; si elle se carbonise, comme les matières d'origine végétale; si elle se décolore, comme la tourmaline rouge, l'hyacinthe; si elle donne de l'eau, comme les hydrates; si elle produit des anneaux de *sublimé* dans la partie froide du tube, comme le soufre et l'arsenic, etc.

On peut encore faire des essais de réductibilité sur le charbon. A la surface d'un morceau de charbon de bois, on creuse une petite cavité de quelques millimètres de largeur dans laquelle on introduit la matière à essayer. On projette sur cette matière la flamme du chalumeau, en la tenant plongée dans la partie réductrice du dard; on ajoute quelquefois un peu de carbonate de soude pour faciliter l'opération. Avec la plupart des minerais oxydés ou carbonatés, on obtient ainsi un bouton métallique. On observe également s'il se produit des *auréoles*, c'est-à-dire des enduits sur le charbon à peu de distance de la matière d'essai, car leur coloration est souvent caractéristique. Quand on a affaire à un minerai sulfuré, il faut d'abord le griller au feu d'oxydation de la flamme, puis le soumettre à la réduction sur le charbon.

Nous mentionnerons enfin, parmi les procédés de nature à dévoiler la composition des minéraux, celui qui est basé sur la coloration que certaines substances communiquent à la flamme.

253. Formules minéralogiques. — En chimie, on représente la composition des corps par des formules dans lesquelles chaque élément est désigné par ses initiales. On procède de même en minéralogie, sauf que, pour les minéraux oxygénés, on supprime la notation directe de l'oxygène et on indique que les éléments sont oxygénés en se servant de majuscules italiques. L'eau est représentée par les lettres *Aq.* Quand un corps simple présente plusieurs degrés d'oxydation, on emploie de grandes lettres pour le degré supérieur et de petites lettres pour l'inférieur ; ainsi le peroxyde de fer $\text{Fe}^2 \text{O}^3$ sera désigné par *Fe*, le protoxyde FeO par *fe* ; de même pour les oxydes de manganèse, *Mn*, *mn*.

Le gypse, ou sulfate de chaux hydraté, par exemple, dont la formule chimique est $\text{CaO} \cdot \text{SO}^3 + 2 \text{HO}$, a pour formule minéralogique $\text{CaS}^3 + 2 \text{Aq}$.

Le feldspath orthose, silicate double d'alumine et de potasse a pour formule chimique $\text{Al}^2 \text{O}^3 \cdot 3 \text{SiO}^3 + \text{KO} \cdot \text{SiO}^3$ et pour formule minéralogique $3 \text{Al Si}^3 + \text{K Si}^3$.

Quand deux ou plusieurs substances simples sont susceptibles de se substituer isomorphiquement, on les indique entre parenthèses. Tel est le cas du grenat, silicate complexe de plusieurs bases, alumine, oxydes de fer, oxyde de manganèse, chaux, que l'on écrit : $(\text{Al}, \text{Fe}) \text{Si} + (\text{Ca}, \text{mn}, \text{fe}) \text{Si}$.

La notation minéralogique a, comme on voit, sur la notation chimique, l'avantage de la simplicité. Rien n'est d'ailleurs plus facile que de passer de l'une à l'autre.

Dans quelques traités on indique l'oxygène par des points placés au dessus du symbole du corps oxygéné : $\overset{\cdot}{\text{Ca}}$ pour CaO , $\overset{\cdot\cdot}{\text{Si}}$ pour SiO^3 . Les points peuvent se combiner avec des barres : $\overline{\overset{\cdot\cdot}{\text{Al}}}$ pour $\text{Al}^2 \text{O}^3$. On représente le soufre par des virgules, placées au-dessus du signe du métal ; $\overset{,}{\text{Pb}}$, $\overset{,}{\text{Fe}}$ signifient PbS , FeS^2 .

Il y a actuellement une tendance marquée, en minéralogie comme en chimie, à adopter la méthode des atomistes pour qui la formule de l'orthose devrait s'écrire $\text{Al}^2 \text{K Si}^4 \text{O}^{16}$; ou plus exactement $\text{Al}^2 \text{K}^2 \text{Si}^4 \text{O}^{16}$, le poids atomique du potassium étant la moitié de son équivalent. Il est en effet plus rationnel

d'indiquer les éléments constituant d'un minéral les uns à la suite des autres, sans rien préjuger sur leur mode de groupement que nous ne connaissons pas. Cependant nous conserverons l'ancienne méthode, qui a de grands avantages pratiques et qui a en tout cas le mérite de graver beaucoup mieux dans l'esprit la composition des espèces minérales.

CHAPITRE VIII

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX MINÉRAUX

254. Classification des minéraux. — On peut répartir les espèces minérales, d'après leurs caractères extérieurs et leur composition chimique, en trois grandes catégories : les *minéraux pierreux* à base alcaline, alcalino-terreuse ou terreuse, les *minéraux métalliques*, qui comprennent les minerais des métaux connus, et les *minéraux combustibles*, composés principalement de carbone.

La première catégorie est la plus riche en espèces. Parmi celles-ci, les silicates présentent une importance toute spéciale; aussi il est nécessaire d'en faire un groupe distinct.

Nous classerons ainsi les minéraux en quatre groupes :

- 1° Minéraux pierreux silicatés ;
- 2° Minéraux pierreux non silicatés ;
- 3° Minerais métalliques ;
- 4° Combustibles minéraux.

Cette classification correspond assez bien au mode de formation des minéraux et à leurs applications pratiques.

Les minéraux pierreux silicatés sont surtout des *produits de scorification* qui se sont formés par le refroidissement de la masse fluide. Ils entrent dans la constitution de l'écorce primitive du globe et des roches éruptives ; quelques uns d'entre eux se trouvent également dans les roches métamorphiques. Ce sont ces minéraux qui donnent les meilleurs matériaux de construction.

Les minéraux pierreux non silicatés sont des *oxydes*, des *sels oxygénés*, carbonates, sulfates, phosphates, etc., et des

sels haloïdes, chlorures, fluorures, etc. Ils résultent pour la plupart d'une précipitation ou d'une séparation chimique et entrent principalement dans la composition des roches sédimentaires. Ils nous fournissent encore des matériaux pour la construction, mais surtout des substances propres aux arts chimiques.

Le groupe des minerais métalliques renferme les matières premières des arts métallurgiques. Ce sont, pour la majeure partie, des *minéraux d'émanation*, venus de l'intérieur du globe et déposés dans des filons ou formant quelquefois des amas intercalés au milieu des couches sédimentaires.

Enfin le dernier groupe comprend les *combustibles* si nécessaires à l'industrie et qui proviennent de substances végétales. Il établit ainsi la transition entre le règne minéral et le règne végétal.

PREMIER GROUPE

MINÉRAUX PIERREUX SILICATÉS

Nous diviserons ce groupe en sept familles : la *silice*, les *silicates d'alumine*, les *feldspaths*, les *phyllites*, les *pyroxènes* et *amphiboles*, les *gemmes* et les *zéolithes*.

1. SILICE.

La silice forme deux espèces minérales, suivant qu'elle est anhydre ou hydratée : le *quartz* et l'*opale*.

255. Quartz. — Le *quartz*,¹ quand il est pur, est uniquement composé de silice. Il se présente à l'état cristallisé, et, plus fréquemment, à l'état amorphe. Sa densité est en moyenne de 2,65. Sa dureté est de 7 ; il n'est rayé que par le diamant et la plupart des gemmes ; il raye le verre et tous les miné-

1. Du nom d'une localité allemande.

raux communs. C'est là son caractère le plus saillant et il communique cette propriété à toutes les roches qui en contiennent une certaine quantité.

Le quartz est infusible au chalumeau ordinaire et n'éprouve aucune altération par l'effet de la chaleur. On n'a pu le fondre qu'au chalumeau à gaz ; il donne alors un liquide visqueux qu'on peut mouler et étirer en fils ; sa dureté est plus faible et sa densité n'est plus que de 2,2.

Il fait feu au briquet. Il devient phosphorescent et électrique par le frottement. Son éclat est généralement vitreux, quelquefois gras sur la cassure.

Il est inattaquable par les acides, sauf par l'acide fluorhydrique. Il se combine avec les alcalis sous l'action de la chaleur.

Le quartz présente un très grand nombre de variétés que l'on peut grouper en trois sous-espèces : le *quartz hyalin*, ou quartz cristallisé ; la *calcédoine*, mélange intime de quartz cristallisé et de quartz amorphe, et le *silex*, quartz entièrement amorphe.

256. Quartz hyalin. — Le quartz cristallise dans le système rhomboédrique. Ses cristaux ne présentent pas de clivages ; cependant il en existe des indications qui semblent déterminer des faces parallèles à celles du solide primitif. On peut les rendre plus sensibles en faisant rougir un cristal de quartz et le plongeant brusquement dans un bain de mercure.

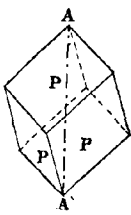


Fig. 115,

Le rhomboèdre primitif (fig. 115), dont l'angle dièdre est de $94^{\circ}15'$, est très rare. Les formes que l'on rencontre le plus fréquemment sont le dodécaèdre hexagonal et surtout le prisme hexagonal pyramidé.

Le dodécaèdre hexagonal dérive du rhomboèdre par des modifications $e^{\frac{1}{2}}$ sur les six angles E (fig. 116). Les faces P sont conservées, en sorte qu'il présente des faces de deux sortes $e^{\frac{1}{2}}$ et P, ces dernières ordinairement plus brillantes que les autres (fig. 117).

Si aux modifications $e^{\frac{1}{2}}$ se joignent d'autres modifications e^2 parallèles à l'axe ternaire, on obtient le prisme hexagonal pyramidé, forme très fréquente du quartz (fig. 119).

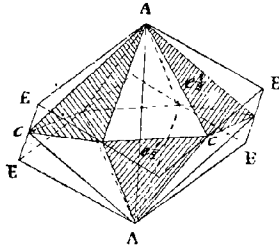


Fig. 116.

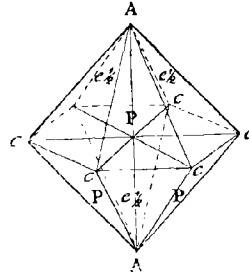


Fig. 117.

Il est rare que les cristaux de quartz offrent la régularité géométrique des formes précédentes. Les faces P du rhomboédre primitif ont généralement une grande tendance à se développer de manière à amoindrir les faces $e^{\frac{1}{2}}$ qui se réduisent à de petites faces triangulaires (fig. 118) et peuvent même disparaître tout-à-fait, ou bien à donner au cristal une forme aplatie (fig. 119). Parfois l'accroissement de deux faces e^2 s'est

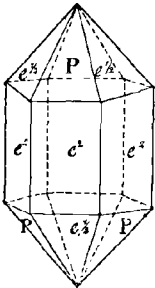


Fig. 118.

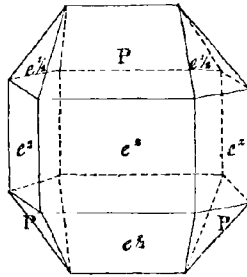


Fig. 119.

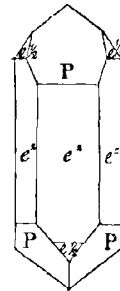


Fig. 120.

fait obliquement de manière à donner des cristaux de forme

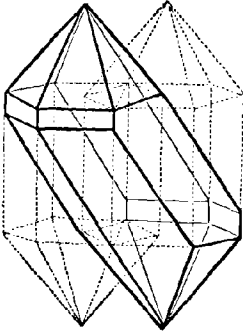


Fig. 121.

problématique qui semblent comme étirés (fig. 121). On peut considérer cette forme comme résultant de la réunion de deux prismes juxtaposés raccordés par deux faces obliques.

Les faces du prisme sont toujours traversées par des stries parallèles aux arêtes hexagonales des bases. Plus ces faces paraissent inégales et déformées, plus les stries sont apparentes.

Quand on regarde ces stries à la loupe, on reconnaît qu'elles résultent de l'intersection des faces e^2 du prisme avec des faces e^1 appartenant aux pyramides de base (fig. 122).



Fig. 122.



Fig. 123.

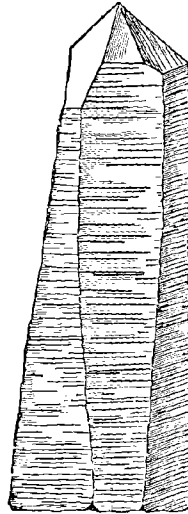


Fig. 124.

Si ces dernières faces, au lieu d'être alternées, sont dans le même sens (fig. 123) elles peuvent donner lieu à des faces obliques et il en résulte une déformation du cristal qui s'explique ainsi tout naturellement (fig. 124).

Le quartz hyalin a des couleurs variées. Incolore et limpide, c'est du *crystal de roche* ; avec une teinte blanchâtre, du *quartz laiteux* ; avec une nuance gris fumée qui disparaît par la calcination, du *quartz enfumé*. Quand il a une couleur jaune, on lui donne le nom de *fausse topaze* ou *topaze de Bohême* ; rouge sang, d'*hyacinthe de Compostelle* ; violette, d'*améthyste*.¹ Ces colorations sont dues à des oxydes métalliques ou à des composés du carbone en petite quantité. Le *caillou du Rhin* n'est autre chose que du cristal de roche roulé.

Le quartz est parfois pénétré de petites lamelles de mica jaune qui réfléchissent la lumière dans tous les sens. Aussi quand cette pierre est taillée en plaques ou sous une forme arrondie, sa surface est brillantée par une multitude de petits points scintillants à reflets dorés ; on lui donne le nom d'*aventurine*. On trouve aussi dans les environs de Nantes des aventurines qui doivent leur scintillation à une texture granuleuse du quartz. Les aventurines du commerce sont pour la plupart artificielles ; elles sont formées par de petits cristaux tétraédriques de cuivre disséminés dans un verre de couleur variable.

Le quartz est généralement riche en inclusions et c'est à leur grand nombre que doit être attribué l'aspect trouble et laiteux sous lequel il se montre souvent, surtout dans les granites. Ces inclusions sont parfois assez grosses pour être visibles à l'œil nu ; elles contiennent alors un liquide avec bulle mobile.

Les gisements les plus importants de cristal de roche sont dans les Alpes, en Sibérie, à Madagascar, où il forme des géodes ou des filons parfois métallifères. Le quartz de Madagascar notamment est d'une admirable limpidité et se trouve souvent en cristaux de plus d'un mètre de tour.

Pendant longtemps, on s'est servi du cristal de roche pour la fabrication de vases de luxe, dont on peut voir une magnifique collection au Musée du Louvre. Mais comme il est très dur, que la taille en coûte cher et qu'il est en outre fréquemment traversé par des glaces qui voilent les surfaces, on lui pré-

1. Du grec *αμεθυστη*, formé de *α* privatif, et *μεθη*, ivresse, parce que les anciens attribuaient à cette pierre la propriété de préserver de l'ivresse.

fière actuellement le cristal artificiel auquel on peut d'ailleurs donner toutes les nuances du quartz.

On ne se sert plus guère du cristal de roche que pour la confection des lentilles et des verres d'optique.

Le quartz hyalin coloré est employé dans la bijouterie. Par une calcination ménagée, on peut parfois modifier avantageusement sa teinte.

257. Calcédoine.¹ — La *calcédoine* n'est pas entièrement amorphe, comme on l'a cru longtemps. C'est un mélange intime de quartz cristallisé et de silice amorphe, qui forme des rognons ou nodules concrétionnés, quelquefois même des filons, dans certaines roches. Quand ces nodules sont creux, ils sont tapissés intérieurement par les pyramides saillantes du quartz ou par d'autres substances.

La calcédoine est transparente ou translucide, surtout en éclats minces ou taillée en plaques; sa cassure est unie. On lui donne le nom de *cornaline*², quand elle est rouge, de *sar-doine*³, quand elle est brune, de *chrysoprase*⁴, quand elle est verte, de *saphirine*, quand elle est bleu clair.

La calcédoine est parfois divisée en zones concentriques de colorations diverses. C'est alors de l'*agate*⁵ ou de l'*onyx*.⁶

Ce minéral, en raison de sa dureté et de la facilité avec laquelle il peut prendre un beau poli, est très apprécié comme pierre d'ornement. On en fait des camées, des vases, des socles, des cachets, des porphyrisateurs pour broyer les substances dures; etc.

Les plus belles agates viennent de l'Inde. On y observe parfois des *dendrites*⁷ produites par des infiltrations d'oxyde de fer et de manganèse et rappelant la forme de certaines plan-

1. Du nom de la ville de Chalcédoine en Bithynie, près de laquelle les premières calcédoines ont été trouvées.

2. De l'italien *cornalina*.

3. Du grec *σαρδοουξ*.

4. De *χρυσος*, or, et *πρασος*, vert.

5. De la rivière Achatés en Sicile.

6. Du grec *ονυξ*, ongle; parce que les zones de colorations variées donnent à cette pierre une certaine ressemblance avec l'ongle.

7. Du grec *δενδρον*, arbre.

tes marines ; ce qui leur a fait donner le nom d'*agates herborisées*.

La plupart des agates du commerce proviennent d'Oberstein, dans le Palatinat. On sait modifier ou aviver leur coloration par des moyens chimiques.

258. Silex. — Le *silex*¹ est du quartz amorphe, qui paraît avoir été formé par voie de concrétion, et qui est tantôt compact, tantôt caverneux ou carié. Il a une cassure conchoïdale et une légère translucidité sur les bords. Sa couleur est blanchâtre, jaunâtre ou noirâtre.

Le silex compact est connu sous le nom de *Pierre à fusil* ou *silex pyromaque*.² On le trouve en rognons, en tubercules irréguliers, disposés par lits dans un grand nombre de formations géologiques, notamment dans la craie. On l'utilise pour l'empierrement des routes.

Le silex caverneux est aussi en rognons ; mais il forme souvent des couches plus ou moins régulières. Telle est la *meulière*, qui fournit les meules estimées de la Ferté-sous-Jouarre et qui est employée dans les constructions.

Le *jaspe*³ est du silex impur, mélangé de matières argilo-ferrugineuses et qui a pour caractère distinctif une opacité complète. Il se trouve dans les mêmes conditions de gisement que l'agate et présente des colorations aussi variées, mais généralement plus vives. On en fait des objets d'ornement et on recherche surtout le jaspé *sanguin*, de couleur rouge ; *héliotrope*, vert parsemé de rouge ; *zonné*, ou rubanné de rouge, jaune, vert, etc. Ces diverses variétés entrent avec d'autres pierres dans la confection des mosaïques de Florence.

La *Pierre de touche*, ou *quartz lydien*, n'est autre chose qu'un jaspé dont la couleur noir foncé est due à du carbone et dont la cassure présente une infinité de petites aspérités qui produisent l'effet d'une lime sur les métaux. Aussi quand on frotte un objet en or sur sa surface, il y reste une trace dont

1. Mot latin qui signifie *caillou*.

2. *πυρ*, feu ; *μαχη*, combat.

3. Du grec *ἴσπινος*.

on peut étudier la nature. L'or étant inattaquable par l'acide nitrique, la tache ne doit pas disparaître par l'action de cet acide ; si l'or est allié, elle blanchit.

Le quartz lydien provient de l'Anatolie, ancienne Lydie. On en trouve aussi en Bohême, en Saxe et en Silésie.

259. Tridymite. — Quelques minéralogistes élèvent au rang d'espèce minérale la *tridymite*, composée, comme le quartz, de silice anhydre, mais qui cristallise en tables hexagonales maêlées par deux ou par trois ; d'où son nom (τρίδυμος, à trois jumeaux). Sa densité n'est que de 2,2, c'est-à-dire celle du quartz fondu, et on ne la trouve guère que dans des roches volcaniques, surtout des trachytes.

260. Opale. — L'*opale*¹ est de la silice hydratée, avec une proportion d'eau de 3 à 12 0/0 suivant les variétés. Elle ne cristallise pas ; elle est moins dure que le quartz, rayable par l'acier, très fragile, et a une cassure conchoïdale et vitreuse. Sa couleur habituelle est blanc laiteux ; quand elle contient des matières étrangères, elle peut être colorée en grisâtre ou jaunâtre.

L'*opale noble*, qui vient de Hongrie, est remarquable par ses reflets irisés dus à des fentes de retrait qui traversent la pierre et qui décomposent et réfléchissent la lumière dans des directions différentes. C'est la seule pierre précieuse que l'on puisse considérer comme inimitable ; elle atteint des prix très élevés.

Les *silix résinites* sont des opales communes, impures, opaques, colorées, avec un éclat gras et résineux, qui doivent leur coloration à des matières hydrocarbonées ou à l'oxyde de fer. Tels sont l'*hydrophane*², blanc laiteux, qui a la propriété singulière de devenir transparente en s'imbibant d'eau ; la *ménilite*, opale que l'on trouve en rognons au milieu des marnes du gypse, notamment à Montmartre et à Ménilmontant, d'où lui vient son nom ; le *silix nectique*, silice pulvérulente à peine

1. Du latin *opalus*.

2. De ὕδωρ, eau ; φέζω, je brille.

agrégée dont la densité est si faible qu'elle flotte sur l'eau ; certaines variétés hydratées de *bois silicifié*.

Les geysers, sources thermales jaillissantes dont nous avons parlé plus haut (n° 132), déposent autour de leur orifice d'éruption des concrétions de silice hydratée, contenant quelquefois des plantes silicifiées, à laquelle on a donné le nom de *geyserite*. Des dépôts analogues sont formés par d'autres sources thermales, notamment par celles du Mont-Dore.

En Bohême et dans le Hanovre, on exploite des couches de silice pulvérulente dont l'épaisseur atteint 5 à 6 mètres et qu'on appelle *tripoli*¹. Cette matière, dont on se sert pour polir et nettoyer les métaux, est constituée en grande partie par des débris de carapaces de diatomées.

Le *kieselguhr*² ou *farine siliceuse* est une substance analogue qui se trouve en amas considérables dans le Hanovre et qu'on emploie, en raison de sa porosité, pour la fabrication de la dynamite ; elle peut absorber un poids presque égal au sien de nitroglycérine. Les carapaces de diatomées y sont tellement résistantes qu'elles ne sont pas détruites par le broyage et le liquide explosif y reste emprisonné comme dans des cellules élastiques.

On rencontre aussi la farine siliceuse aux environs de Randan (Puy-de-Dôme) où on l'exploite sous le nom de *randanite*.

En la mêlant à $\frac{1}{20}$ d'argile blanche réfractaire on en a fait des briques remarquables par leur légèreté.

2. SILICATES D'ALUMINE.

261. — Cette famille comprend des silicates d'alumine dans lesquels d'autres bases, notamment de l'oxyde de fer, peuvent s'introduire, mais toujours en faible proportion et de telle sorte que l'alumine reste la base essentielle et caractéristique.

On distingue les *silicates anhydres* et les *silicates hydratés*

1. De la ville de *Tripoli*, d'où on le tirait originairement.

2. De l'allemand *kiesel*, silice et *guhr*, farine.

Les premiers sont cristallisés; ce sont des minéraux de métamorphisme, comme le *disthène*, l'*andalousite*, la *staurotide*, ou de décomposition, comme la *pinite*, qui se sont développés sous l'influence d'actions postérieures à la formation des roches dans lesquelles on les observe. Les silicates alumineux hydratés sont représentés par l'*argile* et quelques autres minéraux rares.

262. Silicates alumineux anhydres. — Le *disthène*¹, Al^2Si^3 , se présente à l'état de cristaux allongés et lamelleux

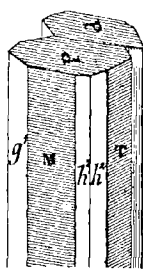


Fig. 125.

du système asymétrique, presque toujours modifiés sur les arêtes II et maclés (fig. 125). Il est transparent ou translucide et ordinairement teinté de bleu clair; il est polychroïque et raie difficilement le verre. Ce minéral, tout-à-fait accidentel, se rencontre dans des schistes cristallins, notamment dans les micaschistes du Saint Gothard où il accompagne la staurotide.

L'*andalousite*², $AlSi^3$, cristallise en prismes droits rhomboïdaux opaques, d'un aspect pierreux, grisâtres ou jaunâtres, dont la dureté est légèrement supérieure à celle du quartz. Dans certains schistes argileux ou micaschistes, notamment en Bretagne, on trouve souvent des cristaux rudimentaires à cassure inégale, qui semblent s'être formés aux dépens de la roche elle-même. C'est une variété d'andalousite, connue sous le nom de *maçle*³, qui a entraîné dans sa cristallisation une partie du mica ou de l'oxyde de fer de cette roche. Ces matières se rassemblent parfois vers les axes ou les faces des prismes

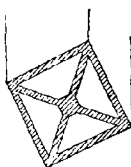


Fig. 126.

en formant des dessins réguliers (fig. 126).

La *staurotide*, $(AlFe)^3 Si$, rappelle beaucoup l'andalousite

1. Du grec *δισ*, deux fois et *σθενος*, fort, par allusion à la dureté inégale des faces et des clivages.

2. De la province d'*Andalousie* en Espagne.

3. De *macula*, tache.

par son aspect pierreux. Elle a la même dureté, mais elle a une coloration un peu plus rougeâtre, et ses cristaux sont des prismes rhomboïdaux légèrement modifiés sur les arêtes G. Ses formes les plus fréquentes sont des mâcles résultant de la pénétration de deux prismes hexagonaux sous des angles de 90 ou de 60 degrés (n^o 229). Ces mâcles abondent dans des schistes cristallins ou des micaschistes de Bretagne et du Saint-Gothard.

La *pinite*¹ est un minéral opaque qui se trouve en cristaux isolés, souvent cylindroïdes, ou en grains amorphes, dans certaines roches granitiques ou porphyriques et qui paraît être un produit d'altération. Les variations considérables que donnent les analyses faites sur des pinites d'Auvergne et de Saxe font penser que le silicate d'alumine Al^2Si est le seul élément essentiel et que les autres bases seraient plutôt à l'état de mélange qu'à l'état de combinaison, sauf le peroxyde de fer qui se substitue isomorphiquement à l'alumine.

263. Argile. — On désigne sous le nom d'*argile*², dans le langage vulgaire, des substances terreuses, en général onctueuses, se délayant dans l'eau et faisant pâte avec elle, susceptibles de durcir au feu, happant à la langue et dégageant par l'expiration une odeur spéciale désignée sous le nom d'*odeur argileuse*.

Toutes ces substances sont constituées par un silicate d'alumine hydraté pur ou, plus fréquemment, mêlé à des substances diverses telles que le sable quartzeux, le carbonate de chaux, le carbonate de magnésie, l'oxyde de fer, des matières organiques, etc. Les argiles impures constituent souvent des masses considérables qui en font de véritables roches; aussi nous les étudierons dans la section consacrée à la pétrographie. Nous n'examinerons ici que l'argile pure qui, suivant les proportions relatives de silice, d'alumine et d'eau, donne un assez grand nombre d'espèces.

Toutes ces espèces gravitent pour ainsi dire autour de deux

1. Ainsi nommée parce qu'on l'a observée pour la première fois dans la mine appelée *Pini*, à Schneeberg (Saxe).

2. Du latin *argilla*.

types, l'*argile plastique* et l'*argile smectique*, qui se distinguent l'une de l'autre par leur état d'hydratation, par le mode d'action des acides et par la manière dont ils se comportent en présence de l'eau.

L'*argile plastique*, ainsi nommée à cause de sa grande plasticité, contient de 50 à 65 0/0 de silice et de 12 à 14 0/0 d'eau. Elle est infusible, ou, pour employer l'expression technique, entièrement réfractaire, quand elle est pure. Elle n'est que partiellement attaquable par les acides ; une calcination modérée la rend plus facile à attaquer.

Elle n'abandonne complètement son eau qu'à une température incandescente, et elle perd en même temps sa plasticité que le broyage le plus complet ne peut lui rendre.

Le *kaolin*¹ peut être regardé comme l'argile type. Il se compose en moyenne de 46 0/0 de silice et 14 0/0 d'eau, en sorte que sa formule est $AlSi + 2Aq$. C'est une substance blanche, onctueuse, très plastique, dont on se sert pour la fabrication de la porcelaine.

L'*argile smectique*², ou *terre à foulon*, est une substance généralement opaque, gris verdâtre, qui happe peu ou point à la langue et qui tombe en fragments quand on la met dans l'eau. Elle se compose de 45 à 50 0/0 de silice, avec 18 à 25 d'alumine et 21 à 35 d'eau ; elle est attaquable en entier par les acides. Comme elle a la propriété de se combiner aux graisses, avec lesquelles elle forme une sorte de savon terreux, on s'en sert pour le foulage des draps.

3. FELDSPATHS.

261. — Les *feldspaths*³ constituent une famille naturelle d'une grande importance minéralogique tant par le rôle capital qu'ils jouent dans la constitution des roches d'origine interne que par la diversité de leurs formes cristallines. Ce sont des silicates d'alumine et d'autres bases, potasse, soude, lithine ou chaux, qui ont pour caractères communs une coloration géné-

1. Du mot chinois *Kauling*, nom d'une localité où on l'exploite.

2. De *σμηκτις*, servant à dégraisser.

3. Mot allemand formé de *feld*, champ, et *spath*, pierre.

ralement faible, une densité de 2,50 à 2,75, une dureté inférieure à celle du quartz, mais supérieure à celle du verre et de tous les autres minéraux communs, un ou deux clivages qui les rendent tous lamelleux et les distinguent ainsi du quartz, enfin leur fusibilité à une température élevée.

On peut diviser cette famille en deux catégories : les feldspaths proprement dits ou *feldspathides* et les *feldspathoïdes*. Nous décrivons d'abord les feldspaths proprement dits qui sont au nombre de cinq : l'*orthose*, l'*albite*, l'*oligoclase*, le *labrador* et l'*anorthite*.

265. Feldspathides.— *Orthose*.— L'*orthose* est un silicate d'alumine et de potasse $3AlSi^3 + KSi^3$ dans lequel un peu de soude peut se substituer à la potasse. Sa coloration est généralement claire ; il est blanc, rose, rouge chair, jaunâtre ou

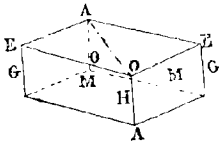


Fig. 127.

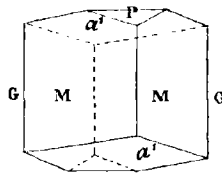


Fig. 128.

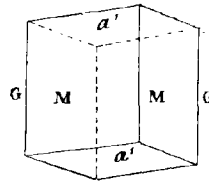


Fig. 129.

brun, tantôt complètement transparent, tantôt opaque, avec tous les intermédiaires possibles. Sa cassure est lamelleuse ; sa dureté, un peu plus grande que celle du verre, est exprimée par le nombre 6. Il est fusible au chalumeau sur le bord des éclats minces et inattaquable par les acides.

L'*orthose* cristallise dans le système clinorhombique. Ses formes cristallines sont l'expression la plus complète des lois de la cristallographie appliquées à ce système.

La forme primitive (fig. 127), définie par les angles $P/M = 112^\circ$ et $M/M = 120^\circ$, se rencontre rarement dans la nature ; presque toujours l'angle A est remplacé par une troncature α' qui réduit la face P (fig. 128) ou arrive même à la faire disparaître complètement en produisant un prisme (fig. 129) qui ne se distingue de la forme primitive que parce qu'il n'est pas clivable suivant α' tandis que P est un plan de clivage. On observe

ces cristaux dans les Alpes, notamment au Saint-Gothard et dans le Dauphiné ; on leur donne le nom d'*adulaires*¹.

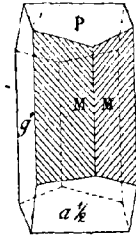


Fig. 130.

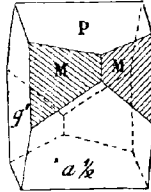


Fig. 131.

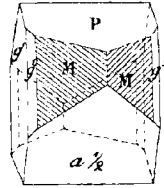


Fig. 132.

La plupart des cristaux d'orthose se rapportent aux deux formes dominantes (fig. 130 et 131), qui représentent des prismes hexagonaux formés par les faces *M* et *g*¹ et surmontés par un biseau composé des faces *P* et *a*^{1/2}. Quelquefois le cristal se complique par l'adjonction de petites facettes (fig. 132).

Ces cristaux montrent très nettement les quatre clivages de l'orthose, dont deux éminemment faciles sont parallèles à *P* et *g*¹ et par suite perpendiculaires entre eux ; c'est à cette circonstance que ce minéral doit son nom (ορθος, droit). Les autres clivages, beaucoup moins faciles, sont parallèles aux faces *M*. Il en résulte que l'orthose présente une cassure très lamelleuse, parallèlement aux faces *P* et *g*¹, et que sa cassure en travers est esquilleuse.

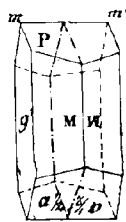


Fig. 133.

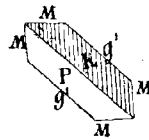


Fig. 134.

1. Du mont Adule (Saint-Gothard).

L'orthose a une grande tendance à former des mâcles. La plus fréquente est l'hémitropie perpendiculaire à la face g^1 ; le plan diagonal qui passe par les arêtes H (fig. 133) coupe le cristal en deux parties égales disposées de telle sorte que, si l'on fait tourner l'une d'elles d'une demi-circonférence, elle s'applique contre l'autre sans que la forme générale du cristal soit changée. Mais si l'on vient à briser le cristal, la disposition du clivage indique l'inversion; l'une des moitiés est brillante, tandis que la cassure de l'autre est esquilleuse et terne (fig. 134).

La mâcle de Carlsbad, que nous avons décrite plus haut (n^o 231) est une mâcle par hémitropie parallèle.

L'orthose n'est pas toujours en cristaux. Il existe souvent à l'état cristallin, formant des masses lamelleuses où il est facile de déterminer les clivages caractéristiques à angle droit par le simple choc du marteau. Souvent il affecte l'état compact; il est alors impur; sa cassure est écailleuse ou cireuse. Cette variété, à laquelle on donne le nom de *petrosilex*, offre une grande ressemblance avec le silex proprement dit; on l'en distingue facilement par un essai au chalumeau.

L'orthose fait partie intégrante d'un grand nombre de roches éruptives, granites, porphyres, trachytes. Dans ces dernières roches, ses cristaux ont un aspect vitreux et sont souvent fendillés dans les sens de clivage, comme une substance vitreuse qui aurait été refroidie brusquement après avoir été portée à une température élevée. Cette variété d'orthose porte le nom de *sanidine*.

Le *microcline*¹ est un feldspath de composition identique avec l'orthose, mais dans lequel l'angle P/g^1 , au lieu d'être exactement droit, est de $90^{\circ}16'$. Il forme pour ainsi dire la transition de l'orthose au groupe des autres feldspaths qui cristallisent dans le système asymétrique. Il abonde dans certaines roches granitoïdes connues sous le nom de pegmatites.

La propriété du feldspath orthose d'être dur et fusible a donné lieu à de précieuses applications dans les arts cérami-

1. De *μικρον*, peu, *κλινω*, j'incline, parce que les deux faces P et g^1 sont peu obliques l'une sur l'autre.

ques. La principale est son emploi comme couverte ou émail pour les porcelaines.

L'orthose limpide du mont Saint-Gothard est susceptible de recevoir un aussi beau poli que le quartz, et on le taille quelquefois en brillants. On fait aussi des bijoux avec la *Pierre de lune*, variété d'orthose ainsi nommée parce qu'elle est nacrée, chatoyante, à reflets blanchâtres ou légèrement bleuâtres, la *Pierre de soleil*, variété aventurinée, la *Pierre des amazones*, autre variété laminaire, remarquable par sa belle couleur verte.

Le petrosilex est d'une dureté assez grande pour servir chez les Esquimaux à la fabrication d'instruments.

266. Albite. — L'*albite* a la même formule que l'orthose, mais elle est à base de soude, $3 Al Si^3 + Na Si^3$. Les premiers cristaux examinés étaient d'un blanc mat; d'où lui est venu son nom (*albus*, blanc); mais on a reconnu depuis que ce caractère n'a rien d'absolu. Son éclat est vitreux et un peu nacré; sa cassure est lamelleuse, quelquefois conchoïdale et grenue; sa dureté est la même que celle de l'orthose.

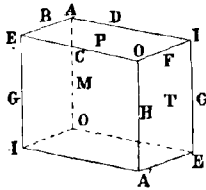


Fig. 135.

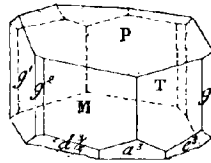


Fig. 136.

L'albite cristallise dans le système asymétrique (fig. 135). Beaucoup de ses cristaux offrent la forme représentée par la fig. 136 dans laquelle on remarque les faces dominantes M, T, P et g^1 , puis les faces g^2 et g^3 , dont l'une g^2 fait avec la face M un angle différent de celui qui mesure l'inclinaison de g^1 sur la face primitive T; les facettes e^3 et $d^{3/2}$ ont également des inclinaisons différentes. La symétrie qu'offre au premier abord ce cristal assez compliqué est donc plus apparente que réelle.

Les cristaux d'albite sont le plus souvent hémitropes. Une macle très fréquente est celle que reproduit la figure 137, et dans laquelle l'hémitropie est normale à g^1 . Comme, au contraire de l'orthose, l'angle P/g^1 n'est pas droit, la base est remplacée par deux faces P et d faisant entre elles un angle rentrant.

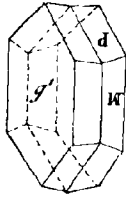


Fig. 137.

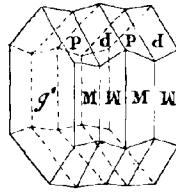


Fig. 138.

Ces cristaux, étant fort plats, peuvent même se superposer; on voit alors sur leurs bases une série de gouttières très rapprochées ou de stries (fig. 138).

L'albite est bien moins répandue que l'orthose. Elle est rare comme élément de la pâte même des roches et se trouve surtout en petits cristaux dans quelques porphyres et dans certaines diorites. Elle constitue aussi des masses lamelleuses ou compactes qu'il est très difficile de distinguer de l'orthose par les caractères extérieurs; il faut alors recourir à l'analyse chimique.

267. Oligoclase. — L'*oligoclase* a été longtemps confondu avec l'albite. Il cristallise en effet dans le même système, mais sa composition est différente. Il contient moins de silice et il est à base de soude, de potasse et de chaux; il a pour formule $3AlSi^2 + (Na, K, Ca)Si^3$. Sa couleur est ordinairement le gris clair, le gris laiteux ou verdâtre, quelquefois le rougeâtre ou le rosé. Le plus souvent, il est translucide; son éclat est vitreux sur les faces de clivage et gras sur les cassures inégales.

Les cristaux bien déterminés sont très rares. Généralement ils sont mâclés et présentent la même gouttière que l'albite, ou des stries très fines dues à la succession de nombreuses gouttières.

L'*oligoclase* a deux clivages: le premier très facile et paral-

lèle à P; le second, parallèle à g^1 , n'est qu'indiqué; d'où il résulte que la cassure s'opère presque toujours dans le sens de P et qu'elle est esquilleuse suivant g^1 . C'est l'existence de ce seul clivage facile qui a valu à l'oligoclase son nom.¹

Signalé d'abord dans les granites de Suède et de Norvège, l'oligoclase a été retrouvé depuis dans un grand nombre de roches cristallines anciennes d'autres contrées. On a reconnu que le second feldspath qui s'y trouve souvent associé à l'orthose, et qu'on prenait pour de l'albite, présente la composition et les caractères de l'oligoclase. Ce minéral est également le feldspath essentiel de plusieurs roches amphiboliques telles que les diorites.

268. Labrador. — Le *labrador*, ainsi nommé parce qu'il a été découvert sur la côte du Labrador, est un feldspath plus basique que les précédents, dans lequel la base dominante est la chaux, et qui a pour formule $3 Al Si + (Ca, Na) Si^3$. Il appartient au système asymétrique, mais ses cristaux sont très rarement assez nets pour être déterminés; presque toujours ils sont hémitropes et accouplés par leurs faces g^1 . Des trois clivages du labrador, le plus facile est suivant P; aussi la cassure se fait presque toujours dans ce sens et elle montre dans les cristaux mâclés les mêmes gouttières que l'albite et l'oligoclase.

Le labrador a un éclat vitreux et une coloration généralement grisâtre. Certaines masses cristallines, comme celles de l'île St-Paul (Labrador), offrent sur g^1 de magnifiques reflets chatoyants bleus, verts, jaunes et rouges, causés sans doute par des phénomènes de réflexion et d'absorption de la lumière, liés à la présence d'inclusions étrangères.

Le labrador entre comme élément constituant dans la composition des roches basiques, telles que les basaltes, les mélaophyres, les euphotides. On le trouve quelquefois à l'état compact et doué d'une ténacité remarquable qui a fait donner à cette variété le nom de *jade feldspathique*².

1. ολίγος, peu; κλάω, je brise.

2. Le véritable jade, auquel les anciens attribuaient des propriétés merveilleuses, est une amphibole.

269. Anorthite. — L'anorthite¹ est par excellence le feldspath basique et calcaire ; elle est en effet moins siliceuse et plus riche en chaux que le labrador, et elle a pour formule $3AlSi + (Ca, Mg) Si$. Elle se trouve en cristaux vitreux et limpides, presque toujours bien formés et analogues à ceux de l'albite, dans des laves de volcans, dans des roches métamorphiques, etc.

270. Feldspathoïdes. — Les feldspathoïdes jouent dans certaines roches éruptives, et surtout dans les roches modernes, un rôle tout à fait semblable à celui des feldspathides dans les roches anciennes. Ils s'en faut toutefois qu'ils aient une aussi grande importance. Les principaux sont la *leucite* et la *néphéline*.

La *leucite*², $3AlSi^2 + KSi^2$, est presque toujours en cristaux blancs faciles à reconnaître, qui ont la forme de trapézoèdres a^3 dérivés du cube (fig. 90). Ce minéral, auquel on donne quelquefois le nom impropre d'*amphigène*³, appartient essentiellement aux roches volcaniques ; il abonde dans certaines laves du Vésuve telles que les leucitophyres.

La *néphéline*, $3AlSi + (Na, K) Si$, a la même formule que l'anorthite, mais elle est surtout sodique. Elle cristallise dans le système rhomboédrique, en prismes hexagonaux réguliers ayant à peu près les mêmes dimensions dans tous les sens. Elle est blanche ou grisâtre, son éclat est vitreux, elle est fragile et elle raie difficilement le verre. Un fragment de néphéline, placé dans l'acide nitrique, est attaqué et devient nébuleux ; c'est à cette circonstance que ce minéral doit son nom⁴. Les plus beaux cristaux se trouvent dans les roches métamorphiques de la Somma (Vésuve).

Nous rattacherons aux feldspathoïdes deux silicates lithinifères qui se présentent en masses laminaires clivables, assez analogues aux feldspaths, dans plusieurs roches granitoïdes. Ce

1. De α privatif, $\sigma\rho\theta\omicron\varsigma$, droit.

2. De $\lambda\epsilon\upsilon\kappa\omicron\varsigma$, blanc.

3. $\alpha\mu\phi\iota$, double ; $\gamma\epsilon\nu\epsilon\alpha$, origine.

4. $\nu\epsilon\phi\acute{\epsilon}\lambda\eta$, nuage.

sont le *triphane*¹ $3AlSi^2 + LiSi^3$ et le *pétalite*² $3AlSi^4 + LiSi^3$. Tous deux appartiennent au système clinorhombique, comme l'orthose.

271. Résumé sur les feldspaths. — Au point de vue chimique, on voit que les feldspaths se distinguent les uns des autres par la nature et la proportion des bases dominantes, ainsi que par la quantité de silice qu'ils contiennent. En les classant d'après les proportions relatives d'oxygène, on forme le tableau suivant :

ESPÈCES	FORMULES	Base dominante MO	Rapports d'oxygène conten. dans		
			MO	Al ² O ³	SiO ³
Pétalite	$3AlSi^4 + LiSi^3$	LiO	1	3	15
Orthose	$3AlSi^3 + KSi^3$	KO	1	3	12
Albite	$3AlSi^3 + (NaK) Si^3$	NaO	1	3	12
Oligoclase . . .	$3AlSi^2 + (NaKCa) Si^3$	NaO	1	3	9
Triphane	$3AlSi^3 + LiSi^3$	LiO	1	3	9
Leucite	$3AlSi^2 + KSi^3$	KO	1	3	8
Labrador	$3AlSi + (CaNa) Si^3$	CaO	1	3	6
Anorthite	$3AlSi + (CaMg) Si$	CaO	1	3	4
Néphéline . . .	$3AlSi + (NaK) Si$	NaO	1	3	4

A mesure qu'on descend dans la série, les feldspaths deviennent plus fusibles et plus facilement attaquables par les acides ; ce qui tient à la moins forte proportion de silice.

Si on laisse de côté les feldspathoïdes, on constate que l'orthose est le seul feldspath qui cristallise dans le système clinorhombique et qui ait ses deux clivages P et g^1 perpendiculaires ; les quatre autres feldspaths appartiennent au système asymétrique et leurs clivages sont obliques l'un sur l'autre ; ce qui justifie le nom de *plagioclases*³ qui leur a été donné par Breithaupt.

1. De τριπλωνης, qui semble triple, à cause de ses clivages.
2. Mot tiré de pétale, à cause de la disposition foliacée des clivages.
3. πλαγιος, oblique.

Grâce à ces clivages et à la forme des macles, si fréquentes dans les roches, l'orthose se distingue assez facilement des plagioclases. Pour distinguer ces derniers entre eux, il faut faire appel à d'autres caractères ; ainsi le labrador et l'anorthite sont seuls attaquables par l'acide chlorhydrique, le labrador ne se rencontre que dans des roches privées de quartz, etc.

4. PHYLLITES.

272. — Les *phyllites*¹ sont des minéraux qui se présentent souvent à l'état feuilleté, qui n'ont qu'une faible dureté et qui sont doux et onctueux au toucher, surtout quand ils sont décomposés. On peut les diviser en trois catégories : les phyllites flexibles et élastiques, ou *micas* ; les phyllites flexibles mais non élastiques, qui comprennent les *chlorites* et le *talc*, et les phyllites cassantes ou *clintonites*.

Nous laisserons de côté les clintonites² qui ne se trouvent qu'en paillettes disséminées dans certaines roches métamorphiques, analogues à celles des micas et des chlorites avec lesquelles on les a souvent confondues. L'une des plus communes est l'*ottrélite*³ des schistes des Ardennes.

273. Mica. — Le *mica*, qui fait partie intégrante d'un grand nombre de roches d'origine interne et notamment des granites et des micaschistes, est caractérisé par sa structure éminemment lamelleuse et par un éclat demi-métallique très vif ; c'est à cette dernière propriété qu'il doit son nom⁴.

Au point de vue chimique, on peut distinguer deux sortes de micas : 1^o ceux qui contiennent la magnésie en assez forte proportion, 16 à 25 0/0 ; peu d'alumine, 11 à 16 0/0, et de 8 à 10 0/0 de potasse ; 2^o ceux qui ne contiennent pas ou presque

1. De *φύλλον*, feuille.
2. Dédiées à M. Clinton.
3. D'*Ottrez*, en Belgique.
4. De *micare*, briller.

pas de magnésie, mais qui sont riches en alumine, 21 à 27 0/0, la proportion de potasse restant à peu près la même. Cela revient à diviser les micas en deux classes : les *micas magnésiens* et les *micas non magnésiens*.

Mais il y a encore d'autres différences ; le protoxyde de fer par exemple varie de 5 à 20 0/0. Enfin tous les micas contiennent un peu d'eau, de 1 à 4 0/0, et de 0,1 à 8 0/0 de fluor.

La composition chimique du mica est donc très variable ; aussi les minéralogistes n'ont pas encore pu trouver une formule simple pour la représenter. Il n'y a qu'une chose qui paraisse constante, c'est que l'oxygène de la silice est égal à la somme de celui des peroxydes et des protoxydes qui servent de bases, suivant l'expression $(M, m) Si$.

Cependant, malgré cette diversité de composition, les caractères minéralogiques sont tellement nets que le mica se constate immédiatement dans les roches où il existe. C'est un des minéraux les plus faciles à reconnaître.

Le mica a des couleurs très variées, blanche, grise, verdâtre, noire ou violacée ; mais il conserve toujours son éclat demi-métallique. Les variétés les plus répandues sont la *muscovite*¹, mica blanc non magnésien, et la *biotite*², mica magnésien de couleur vert foncé passant au noir. La *lépidolite*³ est une autre variété non magnésienne, blanc d'argent ou rose lilas, remarquable par sa teneur en lithine (5 à 6 0/0) et en fluor (5 à 8 0/0).

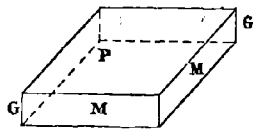


Fig. 139.

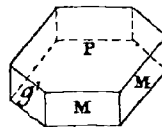


Fig. 140.

Le mica cristallise sous la forme d'un prisme hexagonal (fig. 139) dérivé du prisme rhomboïdal droit (fig. 140) par troncutures g' sur les arêtes G. Il a un clivage très facile parallèle à la

1. Ou *verre de Muscovie*.
2. Dédicée à Biot.
3. De *λεπίς*, écaille, et *λίθος*, pierre.

base P ; aussi on peut en détacher des lames très minces non-seulement avec la pointe d'un canif, mais même avec l'ongle. Dans les roches, le mica se présente souvent ainsi en paillettes hexagonales ou arrondies qui s'empilent les unes sur les autres; on l'y trouve aussi en paillettes très petites, sans aucun caractère cristallin, qui proviennent de la trituration de cristaux plus considérables. Il est rare que les dépôts sédimentaires de sable quartzeux ne renferment pas de ces petites paillettes, qui se distinguent par leur éclat argenté ou doré et que le vulgaire a prises souvent pour de l'argent ou de l'or.

Les lames de mica sont flexibles et élastiques ; elle peuvent être fortement pliées sans se rompre. En outre elles sont presque toujours entièrement diaphanes. Aussi on s'en sert comme verre à vitres ou pour garnir les lanternes et les hublots des navires ; mais si elles sont moins fragiles que le verre, elles ont l'inconvénient de se rayer facilement, de se tacher et de retenir la poussière. Les plus belles lames viennent de Sibérie ; on en trouve au milieu des pegmatites qui ont plus d'un mètre carré.

On observe toujours dans le mica la double réfraction, tantôt à un axe, tantôt à deux axes. Les micas magnésiens n'ont qu'un axe optique ; les autres, qui sont les plus abondants, ont deux axes. Certaines variétés présentent en outre un dichroïsme assez prononcé.

274. Chlorite. — La série des *chlorites*¹ comprend, comme celle des micas, plusieurs espèces distinctes, mais dont les caractères minéralogiques sont encore plus uniformes que pour ces derniers minéraux et que, pour cette raison, il ne nous paraît pas utile de faire connaître. Ce sont des silicates hydratés d'alumine, de magnésie et de fer, dans lesquels la silice et la magnésie diminuent à mesure que l'oxyde de fer augmente, en sorte que l'on peut distinguer les *chlorites magnésiennes* et les *chlorites ferrugineuses*.

Les chlorites cristallisent dans le système rhomboédrique en tables hexagonales ou en prismes hexagonaux ; elles ont un

1. De *χλωρος*, vert.

clivage très facile et les lames produites par ce clivage sont flexibles, mais non élastiques. Elles se présentent souvent sous forme d'écaillés ou de petits grains et forment l'un des éléments constituants des chloritoschistes et de la protogine. Leur coloration est vert foncé et leur dureté est intermédiaire entre celle du spath calcaire et celle du gypse.

La *glauconie*¹ se rattache à la série des chlorites. C'est un silicate hydraté de fer, potasse, alumine et magnésie, qui forme de petits grains verts, très abondants dans certaines roches sédimentaires, notamment dans les sables verts du terrain crétacé et dans la craie glauconieuse de Normandie.

275. Talc. — On donnait autrefois le nom de *talc*, du persan *talcq*, à plusieurs minéraux de nature différente, n'ayant de commun que la propriété de se diviser en lamelles brillantes, comme le talc proprement dit, le mica, le gypse, le disthène, etc., de même qu'on appelait généralement *spaths* ceux qui offraient un clivage facile au moins dans un sens. Maintenant ce mot est exclusivement réservé à des silicates magnésiens onctueux et tendres.

Le talc proprement dit se présente en général sous une forme feuilletée ou écailleuse. Il est gras au toucher, flexible, mais non élastique, infusible, et se laisse rayer par l'ongle avec la plus grande facilité ; sa couleur est blanc verdâtre, vert clair ou vert foncé ; il a un éclat nacré. Il se compose essentiellement de silice et de magnésie, avec un peu de protoxyde de fer et d'eau, et il a pour formule $3 Mg^2 Si^3 + 2 Aq$. Il n'a pas de formes cristallines ; cependant quelques lames translucides avec indices de clivage paraissent indiquer un prisme droit rhomboïdal de 120°.

Le talc se trouve en lames disséminées dans les chloritoschistes, les diorites, certains calcaires cristallins, etc.

Le talc est plus répandu à l'état compact que sous la forme lamelleuse. Il prend alors le nom de *stéatite*.² Sa couleur est grise, verdâtre, jaune ou rougeâtre ; il est savonneux au toucher, et il a à peu près les mêmes caractères de densité et de

1. De γλαυκος, vert.

2. De στεαρ, στεατος, suif.

dureté et la même composition chimique que le talc ; les analyses semblent cependant y indiquer une proportion un peu plus forte de silice. La *craille de Briançon* est une stéatite écaillée blanche dont on fait des crayons pour tracer les coupes sur le drap ; on l'emploie également pour confectionner certains fards, pour falsifier les savons, pour diminuer le frottement des organes des machines, pour préparer la poudre à gants ou à bottes. Les Chinois se servent d'une variété appelée *Pierre de lard*, parce qu'elle offre à sa surface des taches blanches, roses et rouges, pour y tailler de petites figurines.

La *Pierre ollaire*,¹ talc compact mélangé de chlorite, de mica et d'asbeste, qui forme des couches puissantes dans les terrains anciens, sert depuis un temps immémorial à la fabrication de vases propres à cuire les aliments. Ces vases sont complètement infusibles et il suffit de les faire rougir au feu pour les nettoyer. C'est surtout à Chiavenna, en Piémont, qu'on exploite la pierre ollaire.

Magnésite. — On peut rattacher au talc la *magnésite* $Mg Si^3 + 2Aq$, ou *écume de mer*, substance compacte, opaque, terne, blanche, happant à la langue, qui vient principalement des côtes de Crimée et d'Asie-Mineure et qu'on utilise pour la fabrication des pipes. En Styrie, il existe une magnésite impure exploitée comme matière réfractaire pour la construction des fourneaux métallurgiques.

Serpentine. — La *serpentine* est un silicate de magnésie contenant une assez forte proportion d'eau et du protoxyde de fer, mais dont la composition est trop variable pour qu'on puisse la représenter par une formule. Elle a une coloration présentant souvent diverses nuances de vert qui la font ressembler à la peau d'un serpent, d'où lui est venu son nom. Elle est douce au toucher, sans être savonneuse comme le talc ; elle est aussi moins tendre que ce dernier minéral, bien qu'elle se laisse facilement rayer et couper au couteau. Quelques variétés fibreuses semblent seulement indiquer une tendance à cristalliser.

La serpentine ainsi définie est ce que l'on appelle la *serpentine noble* ; elle s'isole en rognons ou en veines dans des ser-

1. De l'italien *olla*, marmite.

pentines moins pures, qui forment des roches massives et très développées.

5. PYROXÈNES ET AMPHIBOLES.

276. — Les minéraux que nous réunissons dans cette famille forment l'élément principal ou au moins caractéristique de ces roches vertes ou noires désignées sous le nom de *trapps*; ils ont en effet une prédilection marquée pour ces deux couleurs. Aussi on les appelle quelquefois *silicates trap-péens*.

Les *pyroxènes* ont été ainsi nommés par Παῦγ, (de πυρ, feu, et de ξενος, étranger), parce que, sous l'empire d'une idée erronée, il les regardait comme des étrangers dans le domaine des roches ignées. Quant aux *amphiboles*, leur nom a été emprunté au grec ἀμφίβηλος, douteux, à cause de la facilité avec laquelle on peut les confondre avec les pyroxènes.

Ces minéraux ont une texture lamelleuse avec tendance à la texture fibreuse et ils ont des formes cristallines très analogues, dérivées du prisme rhomboïdal oblique. Leur densité est d'environ 3 et leur dureté est rarement assez considérable pour leur permettre de résister à l'action d'une pointe d'acier. Enfin ils sont composés de silice unie à trois bases isomorphes, la chaux, la magnésie et le protoxyde de fer.

Mais les pyroxènes et les amphiboles ont des conditions de gisement tout à fait différentes. Les premiers, qui sont les moins riches en silice, s'unissent de préférence aux feldspaths basiques, le labrador et l'amphigène, pour former des roches; ils ne se trouvent associés ni au quartz ni aux feldspaths les plus silicatés. Les amphiboles au contraire, plus riches en silice, s'unissent au quartz et aux feldspaths les plus silicatés dans les roches granitoïdes.

277. Pyroxène. — Le *pyroxène* a pour formule générale $Ca Si^2 + (Mg, Fe) Si^2$. La chaux y est en proportion supérieure à celle de la magnésie, et celle-ci peut être remplacée en partie ou presque entièrement par du protoxyde de fer. On en

distingue deux espèces principales, le *diopside*¹ et l'*augite*.²

Le *pyroxène diopside* est ordinairement d'un vert clair, transparent ou translucide ; il raye l'apatite et il est fusible au chalumeau. Ses cristaux dérivent du prisme rhomboïdal oblique (fig. 141) ; ils sont généralement fort compliqués (fig. 142 et 143), les éléments du prisme et des sommets étant modifiés simultanément. Il y a quatre clivages dont deux faciles parallèles aux faces M.

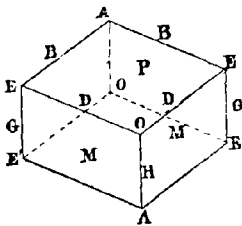


Fig. 141.

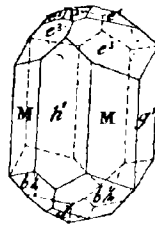


Fig. 142.



Fig. 143.

L'*augite* $Ca Si^2 + (Fe, Mg) Si^2$ est vert noirâtre ou noir ; il a les mêmes caractères de dureté et de fusibilité que le diop-

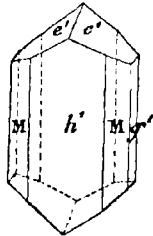


Fig. 144.

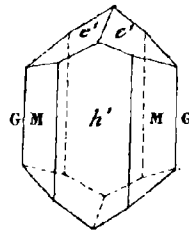


Fig. 145.

side ; mais sa composition en diffère en ce qu'il est bien plus riche en fer et qu'il contient un peu d'alumine. Ses cristaux sont ordinairement des prismes à six faces, aplatis par l'élargissement des modifications h' et surmontés par un biseau (fig. 144 et 145).

L'*augite* est l'élément constituant et souvent dominant des

1. De $\delta\iota\alpha$, au travers, et $\sigma\psi\iota\varsigma$, vue, à cause de sa transparence.
2. De $\alpha\upsilon\gamma\eta$, éclat.

basaltes. Les laves des volcans actuels sont en général noires et très augitiques.

Nous rattacherons aux pyroxènes le *diallage*, $(Mg, Ca, fe)Si^2$, minéral de couleur vert bronzé ou vert noirâtre, en masses laminaires du système clinorhombique avec un clivage très facile h^1 et un autre difficile h^2 , qui se trouve en petites lamelles dans certaines roches de serpentine, et qui, associé au labrador, constitue ces belles roches connues sous le nom d'*euphotides*; et l'*hypersthène*² $(Mg, fe)Si^2$, pyroxène sans chaux, noir bronzé, à reflets quelquefois chatoyants, rayant le verre, en masses laminaires conduisant également par leurs clivages au prisme rhomboïdal oblique, qui, avec le labrador, constitue des roches, peu importantes d'ailleurs, appelées *hypérites*.

278. Amphibole. — L'amphibole admet plusieurs variétés: l'amphibole blanche ou *trémolite*, l'amphibole verte ou *actinote* et l'amphibole vert foncé ou *hornblende*. Sa formule générale est $Ca Si^3 + 3(Mg, fe)Si^2$; elle est, comme on voit, un peu plus acide que le pyroxène. Elle est fusible et elle raye le spath calcaire.

La *trémolite* est exclusivement à base de chaux et de magnésie, $Ca Si^3 + 3Mg Si^2$.

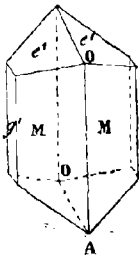


Fig. 146.

Ses cristaux, composés de six faces M et g^1 (fig. 146), sont rarement terminés. C'est la moins commune des amphiboles; on ne la trouve guère que dans des calcaires ou des dolomies métamorphiques ou dans des schistes talqueux, notamment à Tremola, dans le massif du Saint-Gothard, d'où lui est venu son nom.

La trémolite a une tendance prononcée à prendre la texture fibreuse et certaines variétés se présentent même sous cette forme, avec des fibres parfois tellement fines et déliées qu'elles sont

1. D'où son nom, de *διαλλογι*, différence.
 2. De *υπερ*, au-dessus, *σθενος*, force, à cause de sa dureté supérieure à celle des autres pyroxènes.

flexibles. D'après certains minéralogistes, ce serait là un résultat de l'altération et de l'hydratation de la trémolite.

Ces variétés fibreuses portent le nom d'*asbeste*¹ ou, quand elles sont très fines et soyeuses, d'*amiante*²; elles forment dans les terrains métamorphiques de petites veines aux parois desquelles leurs fibres sont perpendiculaires. Les anciens tissaient avec l'amiante une toile destinée à envelopper les corps qu'on livrait au bûcher et ils en fabriquaient les mèches des lampes perpétuelles destinées à leurs temples. De nos jours, on l'utilise pour la préparation du carton feutre, des tresses, des tissus caoutchoutés et des mastics pour joints de machines à vapeur, des filtres pour les acides, des papiers et des toiles incombustibles, etc.

L'amiante se trouve en Tarentaise, où certains échantillons ont jusqu'à 30 centimètres de longueur; en Corse, où elle abonde; dans le Dauphiné, en Sibérie, au Canada, etc. C'est surtout du Canada que vient l'amiante employée dans l'industrie.

Parfois les fibres se trouvent naturellement feutrées et tressées, de manière à présenter des parties de roches flexibles et élastiques, dites *liège*, *cuir* ou *carton de montagne*.

L'*actinote* est colorée en vert par 6 à 7 0/0 de protoxyde de fer. Elle est en cristaux bacillaires, allongés, semblables à ceux de la trémolite, mais généralement sans aucune terminaison; souvent elle est rayonnée, ce qui lui a fait donner son nom³. Elle abonde dans certaines roches granitoïdes, notamment dans les diorites.

La *hornblende*⁴, $CaSi^3 + 3(fe, Mg)Si^3$, est plus chargée de fer que l'actinote; aussi sa coloration est-elle d'un vert plus foncé qui passe même au noir. Mais la transition d'un minéral à l'autre se fait par degrés si bien ménagés qu'il n'est guère possible d'établir entre eux une ligne de démarcation. La hornblende peut contenir jusqu'à 14 0/0 d'alumine qui paraît jouer le même rôle que la silice.

1. ασβεστος, inextinguible.
2. αμιαντος, incorruptible.
3. ακτις, rayon.
4. Ancien nom allemand.

Les cristaux de hornblende ont la même coloration foncée que ceux d'augite ; ils s'en distinguent par leur mode de terminaison (fig. 147 et 148) et surtout par la constance de deux clivages faciles parallèles aux faces M, se coupant sous un angle de 124° . Ils sont quelquefois mâclés.

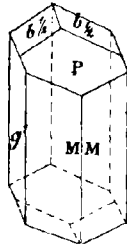


Fig. 147.

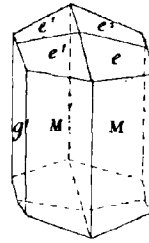


Fig. 148.

La hornblende existe souvent aussi en masses laminaires tenaces, dont la cassure offre fréquemment ces mêmes faces de clivage, très brillantes.

La hornblende ou l'actinote constituent à elles seules des roches subordonnées désignées sous le nom d'*amphibolites*. Elles constituent l'élément principal des diorites et des syénites et de certaines sortes de trapps ; on les trouve aussi dans plusieurs roches volcaniques.

6. GEMMES.

279. — Les *gemmes* sont des pierres qui ne se présentent qu'à l'état cristallin. Leur éclat généralement vif, leurs couleurs variées et agréables, leur dureté supérieure à celle des autres pierres, les font rechercher pour la joaillerie. Si l'on en excepte le péridot et le grenat, les gemmes n'entrent pas dans la constitution des roches et ne se trouvent qu'à l'état accidentel.

Le diamant, qui est du carbone pur, et le corindon, ou alumine cristallisée, sont les gemmes par excellence. Mais nous ne décrirons ici que les gemmes silicatées, les seules qui rentrent dans le premier des quatre grands groupes de minéraux.

Parmi celles-ci, l'émeraude, la topaze, le grenat et le périclote sont des types autour desquels viennent se grouper des espèces moins bien caractérisées.

280. Émeraude. — L'*émeraude*, dont le nom est dérivé de *smaragdus*, est un silicate d'alumine et de glucyne, $AlSi^2 + Gl Si^2$. Elle cristallise en prismes hexagonaux réguliers du système rhomboédrique. Elle est incolore ou colorée en vert, et elle raye le quartz.

On réserve généralement le nom d'émeraude aux variétés vert foncé employées dans la bijouterie ; on appelle *aigue-marine*¹ les cristaux vert bleuâtre, moins estimés, et *béryl*² les variétés incolores ou opaques. La couleur de l'émeraude paraît devoir être attribuée à un hydrocarbure, car la calcination au rouge sombre rend ce minéral blanc et opaque.

Les plus belles émeraudes viennent de la Nouvelle-Grenade, où elles existent en cristaux isolés dans un calcaire spathique ; on les exploite par de véritables travaux de mine. Dans les environs de Limoges, on trouve des prismes hexagonaux cannelés de béryl opaque et lithoïde qui ont souvent plus d'un décimètre de diamètre ; c'est dans cette émeraude que Vauquelin a découvert la glucyne en 1797. Dans le New-Hampshire, il existe même des cristaux gigantesques de béryl pierreux pesant jusqu'à 4.500 kilogr.

281. Topaze. — La *topaze*³ est un fluosilicate d'alumine, $3 Al Si + Al^2 Fl$. Elle cristallise en prismes droits rhomboïdaux, ordinairement terminés par des biseaux et souvent modifiés sur les arêtes. Elle a un éclat vitreux, une couleur habituellement jaune et une dureté plus grande que celle du quartz.

La topaze du Brésil, qui a une belle couleur jaune, est la plus recherchée. Quand on la chauffe au rouge, elle devient d'un rose un peu violacé et constitue ce qu'on appelle la *topaze brûlée*. La topaze de Saxe a une couleur jaune paille. Les cris-

1. D'*aqua marina*, eau de mer.

2. Du grec βερύλλος.

3. De Τοπαζος, île de la mer Rouge.

taux les plus volumineux viennent de Sibérie ; ils sont d'un blanc bleuâtre ou verdâtre et quelquefois incolores.

Les topazes sont assez abondantes dans les gîtes d'étain, avec le quartz et la tourmaline et en compagnie des pegmatites.

282. Epidote. — L'*épidote*¹, $2 AlSi + (Ca, fe) Si$, est généralement vert foncé. Sa dureté est égale à celle du quartz et elle cristallise en prismes bacillaires avec sommets ordinairement dièdres, dans le système asymétrique. Quelquefois elle est en filaments extrêmement ténus ressemblant à l'amiante. Elle peut aussi se trouver à l'état compact en mélange avec le quartz ou former de petits rognons disséminés dans les roches.

On la connaît en un grand nombre de points, dans les roches métamorphiques du bourg d'Oisans (Dauphiné), dans les mines de fer de Suède et de Norvège, etc.

283. Grenat. — Les minéraux réunis sous le nom de *grenat*² présentent une des plus belles applications de la loi de l'isomorphisme. Il répondent tous à la formule $R Si + r Si$, dans laquelle $R = Al, Fe, Cr$, et $r = Ca, Mg, fe, mn, cr$, les éléments isomorphes des deux groupes pouvant se remplacer en proportions très diverses, et ils cristallisent dans le système cubique en dodécaèdres rhomboïdaux (fig. 91) ou en trapézoèdres (fig. 90).

La prédominance de chacune des bases modifie les conditions de couleur, de densité et de dureté des grenats. Trois variétés principales se distinguent par leur couleur : le grenat alumino-ferreux, $Al Si + fe Si$, ou *almandin*³, qui est rouge ; le grenat alumino-calcaireux, $Al Si + Ca Si$, ou *grossulaire*⁴, de coloration jaunâtre, et le grenat ferro-calcaireux, $(Al, Fe) Si + (mn, fe, Ca) Si$ appelé *mélanite*⁵, à cause de sa couleur noire.

1. De *επιδοσις*, accroissement, parce que, comparée à la base d'un prisme rhomboïdal, celle de ce minéral offre dans un sens un excès de longueur.

2. De l'italien *granato*.

3. *Alabandicus*, nom de Pline, tiré d'une ville de l'Asie Mineure où on polissait ce grenat.

4. De *grossularia*, groseille à maquereau, à cause de sa couleur.

5. De *μῆλας*, noir.

L'almandin est le plus répandu et le mieux caractérisé de tous les grenats, et c'est le seul qui se trouve en cristaux vitreux et translucides, signe d'une composition bien définie ; il raye légèrement le quartz et il a une cassure vitreuse. Les plus beaux, que l'on nomme des *grenats nobles*, sont taillés en brillants ; les plus communs reçoivent la forme de cabochons.

L'almandin se rencontre dans les gneiss, les micaschistes, quelquefois dans les calcaires et les serpentines. Ses cristaux venant à s'oblitérer forment des nodules arrondis, surtout dans les micaschistes.

284. Tourmaline. — La *tourmaline* a une composition très complexe et variable. C'est un silicate à bases multiples, contenant en outre de 3 à 9 0/0 d'acide borique et un peu de fluor, qui peut être représenté approximativement par la formule $(Al, Fe, Ca, Mg, Li, K, Na) Si_3 Bo$. Elle est ordinairement



Fig. 149.

verte ou noire, à éclat vitreux, translucide ou opaque ; elle raye facilement le quartz. Elle cristallise dans le système rhomboédrique en prismes à 6, 9 ou 12 faces (fig. 149) dont la section a souvent l'apparence d'un triangle sphérique parce que les faces e^2 font des angles très obtus avec les faces d^1 .

La tourmaline s'électrise par la chaleur. Quand elle est transparente, des plaques taillées parallèlement à l'axe ont la propriété d'éteindre la lumière polarisée ; aussi on en fait usage dans les expériences relatives à la

double réfraction.

La tourmaline noire est abondante dans les roches anciennes notamment dans les gneiss, les granites, les micaschistes. C'est de l'un de ses gisements, celui de Turamali, dans l'île de Ceylan, que vient son nom.

285. Péridot. — Le *péridot*, $(Mg, fe) Si$, est disséminé en abondance dans la plupart des basaltes et sa présence fournit un caractère précieux pour reconnaître ces roches, sur le fond noir desquelles il se détache par sa couleur vert bouteille ou

vert olive, qui lui a fait donner le nom d'*olivine*. Sa cassure est conchoïde et éclatante ; il est transparent ou fortement translucide et a l'éclat vitreux.

Les cristaux bien caractérisés ne sont pas communs ; on les trouve surtout dans les roches volcaniques du Vésuve et du Puy-en-Velay. Ils dérivent du prisme rhomboïdal droit et sont souvent fort compliqués (fig. 150 et 151).

Presque toujours, dans les basaltes, le péridot est granu-
liforme et constitue des nodules de grosseurs très variables,

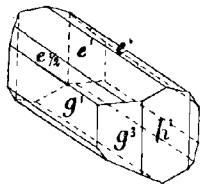


Fig. 150.

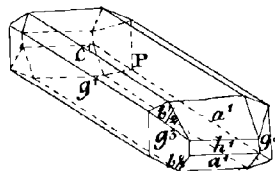


Fig. 151.

depuis 2 millimètres jusqu'à 20 centim. Souvent ces grains se décomposent et deviennent irisés ; quand ils sont tout à fait décomposés, ils sont rouges et opaques.

Le péridot ne se rencontre pas seulement dans les basaltes. Les laves des volcans actuellement en activité en contiennent aussi ; celles de l'île Bourbon en sont même tellement chargées que les sables provenant de leur désagrégation par les cours d'eau et la mer sont presque entièrement formés de grains de péridot.

Les péridots qui viennent de l'Inde sont transparents et d'un très beau vert. On en fait usage en joaillerie à cause de leur couleur, qui est très agréable lorsqu'elle est avivée par la taille et le poli ; mais c'est une pierre qui n'a jamais une grande valeur.

286. Lazulite. — La *lazulite*, ou *lapis lazuli*, est caractérisée par une belle nuance bleue, dite *d'outremer*. Elle est souvent mélangée de spath calcaire et de pyrites de fer cristallines qui, se dessinant en jaune d'or sur le fond bleu, produisent un assez bel effet. Ce minéral a une composition indéci-

mais les éléments qu'y décèle l'analyse, c'est-à-dire la silice, l'alumine, l'acide sulfurique, le soufre, la soude et la chaux, paraissent essentiels à sa constitution. Sa coloration semble due à une combinaison du soufre avec le sodium et le fer ou à un sulfure d'aluminium ; c'est du reste en cherchant à réaliser la composition du lapis lazuli qu'on est arrivé à fabriquer le bleu d'outremer artificiel.

Le lapis, presque toujours à l'état compact, appartient aux terrains granitiques. Les plus belles variétés viennent des environs du lac Baïkal, en Sibérie ; on le trouve aussi au Thibet, en Chine, au Chili. On l'emploie dans la joaillerie et dans l'ornementation ; les variétés les plus mélangées de spath calcaire sont broyées et lavées pour la fabrication de l'outremer naturel, couleur d'un prix élevé dont on s'est beaucoup servi autrefois pour la peinture.

L'haüyne,¹ qui se présente en cristaux ou en petits grains cristallins bleus dans un grand nombre de roches volcaniques, peut être considérée comme une variété de lazulite.

287. Zircon. — Le *zircon*, $Zr Si$, ou silicate de zircon, se trouve en abondance dans certaines syénites de Norvège, où il cristallise en prismes carrés (fig. 132) très allongés terminés par les faces de l'octaèdre. On en trouve aussi de petits cristaux dans des roches basaltiques près du Puy-en-Velay, à Espaly ; dans les roches métamorphiques de la Somma, au Vésuve, etc. Il a une couleur brun rougeâtre ou orangé ; sa dureté est supérieure à celle du quartz.

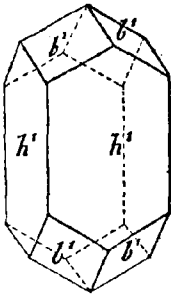


Fig. 132.

7. ZÉOLITES.

288. — Les *zéolites* constituent une famille naturelle de silicates hydratés, hyalins ou translucides, de couleurs claires, caractérisés par leur peu de dureté et leur faible densité. Elles

1. Dédiée à Haüy.

sont toutes solubles dans les acides et donnent de l'eau en se gonflant sous l'action du chalumeau. ¹

Les zéolites sont toujours accidentelles et ne font pas partie de la pâte des roches. Elles se présentent en beaux cristaux disséminés dans les roches trappéennes ou volcaniques et dans les fissures et les géodes de quelques autres roches.

La plupart de ces minéraux sont alumineux ; les autres bases sont la potasse, la soude, la chaux, la baryte. Nous décrirons seulement les zéolites les plus communes.

289. — La *chabasie*, $3 AlSi^2 + (Ca, K, Na) Si^3 + 6 Aq$, est une des zéolites les plus répandues. Elle a un éclat vitreux, et elle est incolore, rose ou rougeâtre. Ses formes cristallines dérivent d'un rhomboèdre, dont les faces restent en général dominantes. Elle tapisse d'ordinaire des fentes ou des cavités dans les roches volcaniques et dans la syénite aux îles Feroë, en Bohême, dans le Tyrol, etc.

L'*analcime*, $3 AlSi^2 + NaSi^3 + 2 Aq$, est à base de soude et de chaux. C'est la seule zéolite appartenant au système cubique ; elle se présente en cubes triépointés ou en trapézoèdres qui peuvent atteindre jusqu'à 6 à 8 centimètres de diamètre. Elle abonde surtout dans les laves des îles Cyclopes, dont les géodes sont tapissées par ses cristaux à faces éclatantes. Sa coloration est tantôt blanche, tantôt rougeâtre. Son nom vient de *αναλις*, impuissant, parce qu'elle est peu susceptible de s'électriser par frottement.

La *mésotype*, $3 AlSi + (Na, Ca) Si^3 + 3 Aq$, est une zéolite à base de soude, cristallisant en petits prismes, hyalins ou blanc laiteux, du système rhombique, ou en petits nodules fibreux et radiés ; ce qui lui a fait donner le nom de *zéolite radiée*. On en trouve de très belles cristallisations dans les roches volcaniques du Puy-Marmant, entre Clermont et Issoire, dans les basaltes de Rochemaure, sur les bords du Rhône, etc. Haüy a donné à ce minéral le nom de *mésotype* parce qu'il considérait ses formes comme intermédiaires (*μεσος*) entre celles de deux autres zéolithes.

¹. C'est à cette circonstance qu'elles doivent leur nom emprunté au grec *ζεω*, je bouillonne, et *λιθος*, pierre.

DEUXIÈME GROUPE

MINÉRAUX PIERREUX NON SILICATÉS

Les minéraux de ce groupe peuvent se répartir en huit familles : les *oxydes*, les *nitrate*s, les *borate*s, les *carbonate*s, les *sulfate*s, les *phosphate*s, les *chlorure*s et les *fluorure*s.

1. OXYDES.

290. Acide borique. — L'acide borique se rencontre rarement à l'état de liberté. Le plus souvent il est combiné à la soude, à la magnésie ou à la chaux : il entre aussi dans la constitution de quelques minéraux comme la tourmaline.

Il existe en petits cristaux pailletés dans les cratères des volcans ou dans les fissures de certaines roches traversées par des émanations volcaniques. Mais il se présente surtout dans ces jets de gaz et de vapeur connus sous le nom de *suffioni* (n° 433) en Toscane, au Thibet, en Californie.

L'acide borique trouve ses principales applications dans les industries de la céramique et de la cristallerie.

291. Titane oxydé. — La nature nous offre un exemple remarquable d'isomérisie dans le *titane oxydé* ou *acide titanique*, qui constitue trois espèces minérales distinctes par leurs propriétés physiques et leurs formes cristallographiques, le *rutile*, l'*anatase* et la *brookite*.

Le *titane rutile*, dont le nom vient de sa couleur, habituellement brun rougeâtre, est l'espèce la plus répandue. Il a un éclat légèrement résineux, il raye le verre et il cristallise en prismes droits modifiés sur les arêtes et les bases. C'est une substance accidentelle qu'on trouve dans des roches granitoïdes et dans quelques filons de fer oxydulé.

L'*anatase*, moins dur que le rutile, se présente en petits octaèdres aigus à base carrée¹, translucides, bruns ou brun

1. C'est l'allongement extraordinaire de l'octaèdre qui a suggéré à Haüy le nom de ce minéral (*ανατασις*, extension).

bleuâtre, qui accompagnent les cristaux d'albite dans les roches métamorphiques du Dauphiné.

La *brookite*¹, minéral brun rougeâtre sans éclat métallique, se trouve encore dans le Dauphiné. Tandis que les deux espèces précédentes cristallisent dans le système quadratique, ses formes dérivent du prisme droit rhomboïdal.

Ces minéraux sont assez rares, mais le titane oxydé abonde dans certains minerais de fer oxydé où sa proportion est de 5 à 20 0/0.

292. Corindon. — Le *corindon*² est de l'alumine à peu près pure ou mélangée d'un peu d'oxyde de fer, de chaux et de silice et même d'eau. Quand il est translucide, il est blanc limpide ou diversement coloré; dans les variétés opaques, il est gris ou brun. Sa densité est de 4 et sa dureté ne le cède qu'à celle du diamant. Il devient très électrique par le frottement. Il est infusible au chalumeau et inattaquable par les acides.

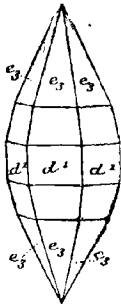


Fig. 433.

Le corindon cristallise dans le système rhomboédrique, généralement en prismes hexagonaux portant des pyramides ou des modifications du rhomboèdre (fig. 433). Ces cristaux

sont souvent striés.

Le corindon constitue toutes les pierres précieuses dites *orientales*, dont la valeur est parfois supérieure à celle du diamant; suivant qu'il est coloré en bleu, en rouge, en vert ou en jaune, on lui donne le nom de *saphir*, *rubis*, *émeraude* ou *topaze orientale*. Il peut même présenter des nuances intermédiaires; ainsi il existe des corindons qui sont bleu saphir aux deux extrémités avec une coloration jaune topaze au milieu.

On trouve surtout le corindon dans les granites, les basaltes, les sables diamantifères, etc. Les plus belles pierres viennent de Ceylan, de Sibérie, de Chine; on connaît aussi le co-

1. Dédiée au minéralogiste Brooke.
2. Du mot indien *Korund*.

rindon dans le ruisseau d'Espaly, près du Puy-en-Velay, où il provient des dépôts volcaniques de la contrée.

Emeri.—L'*émeri*¹ est du corindon à texture grenue ou compacte, très impur puisqu'il peut contenir plus de 40 0/0 d'oxyde de fer et de silice. A cause de sa grande dureté, il est utilisé dans l'industrie pour polir les corps durs, tels que les glaces, les cristaux, les marbres, les métaux. A cet effet, on le réduit en poudre fine sous des meules d'acier et on délaye ensuite cette poudre dans l'eau, qu'on décante à plusieurs reprises pour avoir des grains de plus en plus fins.

En agglutinant les grains d'émeri, on fabrique des meules artificielles, très répandues aujourd'hui dans les ateliers de construction pour le travail des métaux. On se sert notamment comme substance agglutinante du ciment magnésien Sorel, obtenu par le gâchage de la magnésie avec une solution de chlorure de magnésium.

L'émeri se trouve en grains irréguliers ou en veines dans des roches anciennes à l'île de Naxos, qui en produit annuellement 2.200 tonnes valant sur place environ 200 fr. la tonne. Le commerce en tire aussi de Ceylan sous forme de cailloux roulés.

293. Bauxite.— On peut rattacher au corindon la *bauxite*, alumine hydratée dans laquelle le fer remplace l'alumine comme élément isomorphe et qui a la composition suivante :

50 à 60	0/0	d'alumine.
24 à 25		d'oxyde de fer.
3 à 5		de silice, chaux, magnésie, etc.
10 à 15		d'eau.

Cette curieuse substance, signalée pour la première fois par Berthier, est en gisements presque inépuisables dans le sud de la France, où elle remplit des fentes ou des poches du calcaire crétacé et du terrain jurassique. Elle est exploitée principalement aux Baux près d'Arles (d'où lui est venu son nom), à Allauch et à Revest dans le Var, ainsi que dans le Gard, la Lozère, les Calabres, etc.

1. Du grec *αμυρίς*.

La bauxite, quoique ce soit une alumine impure, peut servir à défaut d'alumine pure, matière très rare dans la nature, pour fabriquer des produits réfractaires destinés aux fours métallurgiques soumis à une très haute température. Tout en étant aussi infusible que la silice, elle a sur elle l'avantage de ne pas se combiner avec les bases, ou au moins de former avec elles des aluminates bien moins fusibles que les silicates. On l'emploie aussi pour la fabrication de l'alun, du sulfate d'alumine, des aluminates alcalins et même de l'aluminium (Salyn-dres, dans le Gard).

On a fait encore de la bauxite une application intéressante en l'utilisant pour la production artificielle de l'émeri, à Villeveyrac. Il suffit pour cela de la soumettre à une forte calcination suivie de broyages convenables.

La production annuelle de la bauxite en France est d'environ 10.000 tonnes valant en moyenne 14 francs.

294. Spinelle. — Le *spinelle*, $Mg Al^2$,¹ est essentiellement constitué par une combinaison de l'alumine et de la magnésie. Mais la magnésie peut être remplacée par du protoxyde de fer et de la chaux, tandis que le sesquioxyde de fer peut se substituer à l'alumine. Le chrome, le zinc, le manganèse, in-

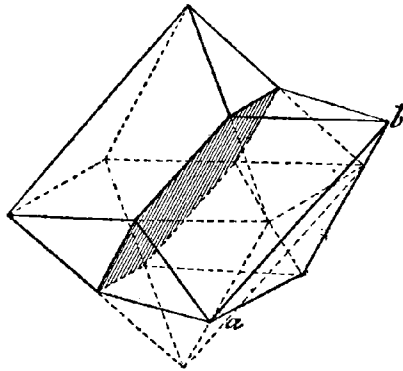


Fig. 154.

1. Nom d'origine inconnue, emprunté à Werner, célèbre minéralogiste allemand.

terviennent même, mais plus rarement, dans la composition de ce minéral qui présente ainsi un grand nombre de variétés.

Les spinelles magnésiens sont toujours cristallisés en octaèdres dérivés du cube, fréquemment mâclés. La forme représentée ci-dessus (fig. 154), et qui est si commune qu'on l'appelle *mâcle des spinelles*, se compose de deux parties accolées qu'on peut considérer comme ayant appartenu à un même octaèdre, la partie *a b* étant supposée avoir fait un sixième de tour dans le plan ombré.

Les colorations du spinelle sont très variables. Les variétés magnésiennes rouges vitreuses sont employées en joaillerie sous le nom de *rubis spinelle*, ou de *rubis balais*, suivant que la couleur est rouge foncé ou rose. Elles sont rares, tandis que les variétés noires et opaques sont assez communes.

Le spinelle est moins dur que le corindon, mais il raye le quartz.

2. NITRATES.

295. Nitre. — Le *nitre*¹ ou *salpêtre*² est du nitrate de potasse qui se trouve en efflorescences sur les murailles, dans certaines excavations des coteaux crayeux des bords de la Seine, sur les parois de cavernes creusées dans les calcaires à Ceylan, etc. Il est aussi le résultat de la nitrification des couches superficielles de sols très riches en matières organiques; c'est ainsi qu'il s'est formé dans l'Inde, au Bengale, en Hongrie.

Le nitre sert surtout à la fabrication de la poudre. On en extrait aussi l'acide azotique.

296. Nitratine. — La *nitratine*, ou *nitrate de soude*, dont les propriétés sont assez analogues à celles du minéral précédent et qu'on appelle aussi *salpêtre du Chili*, forme au Pérou et en Bolivie des dépôts de 0^m,25 à 1^m,50 d'épaisseur, recouverts par une faible couche d'argile, et qui dans la seule province de Tarapaca occupent une étendue de plus de 100.000

1. De *natron*, nom donné en Egypte au carbonate de soude avec lequel le nitre était confondu.

2. Du latin *sal petræ*, sel de pierre.

hectares. On l'utilise pour la fabrication de l'acide azotique, du nitre et des engrais artificiels. L'exportation de ce sel est d'environ 50.000 tonnes par an.

3. BORATES.

297. Borax. — Le *borax*¹ ou *biborate de soude*, $Na Bo^6 + 10Aq$, est un sel incolore, cristallisant en prismes hexagonaux aplatis du système clinorhombique, le plus souvent effleuris. Il existe dans certains lacs de la Perse et de l'Inde, d'où il arrivait autrefois en petits cristaux agglomérés, d'un jaune verdâtre, recouverts d'un enduit terreux et d'une matière grasse qui leur donne un toucher onctueux; on le trouve aussi en dissolution dans les lacs des contrées volcaniques de la Toscane, de la Californie, dans les eaux de la mer, mais surtout en efflorescences à la surface du sol au Thibet, à Ceylan, au Pérou.

Le commerce de ce minéral a beaucoup perdu de son importance depuis qu'on le produit artificiellement à l'aide du *borate de chaux*, qui forme des dépôts considérables au sud de la mer de Marmara, dans la province de Brousse.

La production annuelle du borax est de 5 000 à 6 000 tonnes, dont 2.000 sont fournies par la Toscane, à 700 fr. la tonne. On s'en sert pour une foule d'usages : faïencerie, émaillage, blanchissage, toiles incombustibles, savons, soudure, bougies, conservation des denrées alimentaires, fonte du cuivre, siccatifs, etc.

4. CARBONATES.

298. — Les *carbonates*, qui se reconnaissent facilement à la propriété qu'ils possèdent tous de se dissoudre dans les acides avec une effervescence plus ou moins prononcée, constituent une des familles les plus naturelles de la minéralogie.

D'après le mode de cristallisation, on peut y introduire deux divisions. La première comprend les *carbonates rhombiques*, dont les formes dérivent d'un prisme rhomboïdal droit à angle voisin de 120° et où les bases sont la baryte (*withérite*), la

1. De l'arabe *bourach*.

strontiane (*strontianite*) et la chaux (*aragonite*). La seconde renferme les *carbonates rhomboédriques* à angle compris entre $105^{\circ} 5'$ et $107^{\circ} 23'$; ce sont un second carbonate de chaux bien plus fréquent que le précédent ou *calcite*, le carbonate de magnésie ou *giobertite* et le carbonate double de chaux et de magnésie ou *dolomie*.

299. Witherite. — La *withérite*¹ ou *baryte carbonatée*, $Ba C^2$, se rencontre à deux états, en cristaux ou en rognons arrondis à texture fibreuse et rayonnée, dans des filons de galène, dans les terrains anciens ou dans des roches cristallines. Elle est toujours blanche et sa densité est de 4,25. Le carbonate en masses cristallines ou en rognons est au contraire rarement pur.

La baryte carbonatée est exploitée en grand à Fallowfield près Hexham, dans le Northumberland, pour les fabriques de produits chimiques et les manufactures de glaces. En Écosse on utilise ses propriétés vénéneuses pour la destruction des rongeurs; c'est ce qui lui a fait donner le nom de *Pierre contre les rats*.

300. Strontianite. — La *strontiane carbonatée*, $Sr C^2$, ou *strontianite*, est une substance de filon, qui accompagne surtout la galène, la pyrite ou la blende. Elle est complètement isomorphe de l'aragonite et cristallise en prismes à six faces dérivant du prisme rhomboïdal droit; mais ses formes sont rarement appréciables. Elle est quelquefois tout à fait incolore, plus souvent d'un bleu très éclatant et parfois colorée en vert plus ou moins foncé.

301. Calcite. — Il est peu de corps qui se présentent dans la nature minérale avec autant d'abondance et sous des aspects aussi variés que la *chaux carbonatée* ou *calcite*. Toutefois ses nombreuses variétés peuvent, d'après leur texture, se classer en quatre grandes divisions, la *calcite cristallisée* ou *cristalline*, la *calcite fibreuse*, la *calcite saccharoïde* et la *calcite amorphe*.

1. De Withering qui l'a découverte.

La chaux carbonatée est aussi très répandue dans les règnes animal et végétal. Elle compose presque entièrement le corail, le test des mollusques, les coquilles des œufs d'oiseaux, les carapaces des crustacés ; les os de l'homme et des animaux en contiennent près de 40 0/0. Elle existe dans tous les végétaux et elle se montre quelquefois en concrétions remplissant un tissu spécial, notamment dans les feuilles du mûrier, du houblon, etc.

Dans ces diverses circonstances, la chaux carbonatée est assez fréquemment cristallisée ; quelquefois même il y a association des deux formes cristallines. Ainsi certaines coquilles offrent une couche extérieure de calcite et une couche intérieure nacrée d'aragonite ; il en est de même des œufs vivants d'autruche et des œufs fossiles du casoar, d'après M. Descloizeaux.

La calcite affecte des formes cristallines extrêmement variées ; on en a décrit plus de 1.000, dont 170 sont des formes simples. Elle est caractérisée par un clivage triple, également facile dans tous les sens, qui conduit à un rhomboèdre dont l'angle est de $105^{\circ}5'$. Sa dureté est de 3 ; elle raye le gypse et elle est facilement rayée par l'acier. Sa densité est de 2,72.

Le *spath d'Islande*, complètement hyalin, constitue la variété la plus pure et contient exactement 54 0/0 de chaux pour 46 d'acide carbonique ; mais le plus souvent la calcite est translucide et d'un blanc laiteux. La chaux peut quelquefois être remplacée par des bases isomorphes, comme la magnésie, le protoxyde de fer, le protoxyde de manganèse, le protoxyde de zinc, etc.

La calcite possède la double réfraction à un haut degré et prend par le frottement l'électricité résineuse.

302. Formes cristallines de la calcite. — La calcite est, de toutes les espèces minérales, celle qui a le plus influé sur le développement de la cristallographie. Il est intéressant d'examiner avec quelques détails le mode de dérivation de ses cristaux, qui se divisent en trois séries : des rhomboèdres, des prismes hexagonaux et des scalénoèdres.

1° *Rhomboèdres.* — Supposons que par les sommets A du rhomboèdre primitif (fig. 135) on mène six plans tangents aux

arêtes B. Ces plans feront avec l'axe ternaire le même angle que les arêtes font avec cette ligne et ils donneront par leurs intersections un solide qui sera encore un rhomboèdre b' , mais plus obtus que le premier auquel il est circonscrit. On lui a donné le nom de *rhomboèdre équiaxe* (fig. 156).

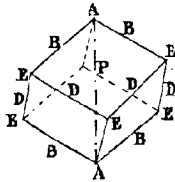


Fig. 155.

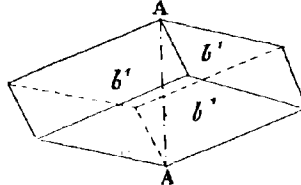


Fig. 156.

Si, au lieu de circonscrire un rhomboèdre au primitif, on en inscrit un, de telle sorte que toutes les faces du primitif soient tangentes aux arêtes du rhomboèdre inscrit, on aura encore mené par chaque sommet trois plans également inclinés entre eux et également inclinés à l'axe. On obtiendra ainsi un *rhomboèdre inverse* c' plus aigu que le primitif.

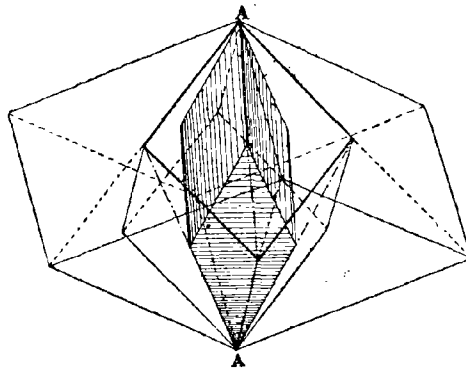


Fig. 157.

La fig. 157 montre quelles sont les relations des trois rhomboèdres primitif, équiaxe et inverse.

On peut circonscrire un nouveau rhomboèdre encore plus obtus à l'équiaxe, en inscrire un encore plus aigu dans l'inverse, et l'on aura une série de rhomboèdres depuis les plus aigus jusqu'aux plus obtus.

Théoriquement le nombre de ces solides est donc illimité. La nature en offre plus de 45 différents, parmi lesquels ceux que nous venons de décrire sont les plus connus.

Le rhomboèdre primitif est assez rare, même en combinaison. Il ne se produit que par l'évaporation des dissolutions de carbonate de chaux très pur dans l'eau chargée d'acide carbonique.

Le rhomboèdre équiaxe est au contraire très répandu. Le rhomboèdre inverse est moins fréquent ; c'est cette forme qu'affectent les cristaux de chaux carbonatée qui se sont développés dans les grès de Fontainebleau.

2° *Prismes hexagonaux.* — Nous avons montré plus haut (n° 220) comment ces prismes dérivent du rhomboèdre.

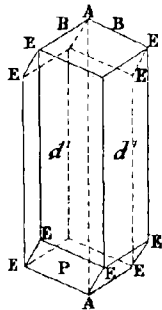


Fig. 158.

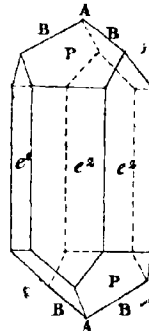


Fig. 159.

Les prismes hexagonaux abondent dans les géodes cristallines que fournissent certains filons. Le plus répandu est Pd^1 (fig. 158), qui résulte de troncatures sur les six arêtes en zigzag D du rhomboèdre primitif. Le prisme Pe^2 est moins commun (fig. 159).

3° *Scalénoèdres.* — Si les plans modifiant les arêtes D ne sont plus tangents à ces arêtes comme dans le prisme précédent Pd^1 , chacune d'elles sera remplacée par deux faces qui iront couper l'axe en deux points (fig. 160) également distants du centre du rhomboèdre ; les arêtes D étant d'ailleurs disposées d'une manière symétrique par rapport à l'axe, il en résultera que toutes les faces iront se rencontrer les unes au-dessus du centre, les

autres au-dessous, et le solide résultant de leur intersection sera un *dodécaèdre triangulaire scalène* ou *scalénoèdre*. Il est aussi facile de voir que les deux pointements à six faces qui composent ce solide se rencontrent suivant les arêtes disposées

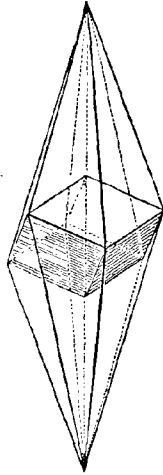


Fig. 160.

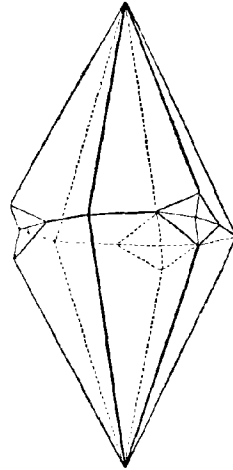


Fig. 161.

en zigzag autour de l'axe du rhomboèdre, qui est alors inscrit dans ce solide.

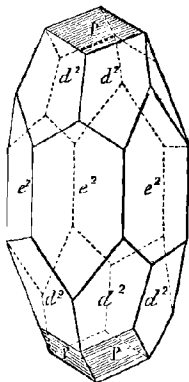


Fig. 162.

Les scalénoèdres sont aussi nombreux que les rhomboèdres; le plus fréquent a pour face d^2 . Souvent les scalénoèdres présentent une hémitropie normale avec a^1 pour face de jonction et une rotation de 60° autour de l'axe ternaire (la rotation de 120° ne faisant que substituer les sommets); on a ainsi une sorte d'isocéloèdre à angles rentrants (fig. 162).

Les faces du scalénoèdre peuvent se combiner avec celles des prismes hexagonaux et des rhomboèdres de manière à former des cristaux composés. Tel est celui de la figure 161, dans lequel on voit à la fois les faces P

du rhomboèdre primitif, les faces d^2 du scalénoèdre et les faces e^3 du prisme hexagonal régulier.

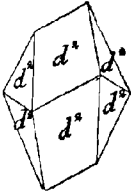


Fig. 163.

Dans les scalénoèdres naturels, on ne voit le plus souvent que la moitié des faces. Il peut arriver également que deux faces opposées se dilatent de manière à remplacer le sommet par une arête plus ou moins longue (fig. 163).

Ces déformations de cristaux sont d'ailleurs fréquentes dans la chaux carbonatée. Elles se produisent non-seulement par le développement inégal des faces, mais encore par les convexités que déterminent des facettes se coupant sous des angles très obtus. En général on distingue sur les faces de ces cristaux des glaces et des stries qui accusent le sens des clivages et qui indiquent nettement le mode de dérivation.

Calcite spathique. — Quand la chaux carbonatée, au lieu de se trouver en cristaux, est à l'état cristallin ou spathique, elle se reconnaît encore aisément à ses trois clivages. Elle est généralement pure et d'un blanc laitieux ; mais elle peut contenir une certaine quantité de carbonates isomorphes ou des substances qui sont mélangées mécaniquement avec elle. Le carbonate de manganèse la colore en rose, celui de fer en jaune ou en brun, le carbone en gris ou noir, etc.

Ces variétés spathiques se rencontrent surtout dans les terrains métamorphiques et dans les filons où elles servent souvent de gangues aux minerais. Celle qui contient du carbonate de fer est la plus répandue ; on la connaît sous le nom de *spath brun*, ou *braunspath*¹.

303. *Calcite fibreuse et saccharoïde.* — La variété fibreuse comprend les calcites composées de petits cristaux prismatiques accolés, dont la réunion donne une texture fibreuse à la substance. Quand les fibres sont un peu grossières, on aperçoit nettement les trois clivages qui se croisent au sommet de chacune d'elles, en sorte qu'on peut les regarder comme des prismes hexagonaux à pointements rhomboédriques, accolés par leurs faces verticales. Dans la majorité des cas, les fibres sont très

1. De l'allemand *braun*, brun.

déliées ; la calcite a alors un éclat nacré et un aspect soyeux.

Lorsqu'elle est pure, la calcite fibreuse a une couleur blanc laiteux. Mais elle est souvent colorée par de l'oxyde de fer ou des matières organiques. Elle peut arriver à constituer des couches suffisamment étendues, présentant des zones diversement colorées, que l'on exploite sous le nom d'*albâtre calcaire*¹ ou d'*albâtre antique*.

La calcite fibreuse forme également des filons dans lesquels les fibres sont placées perpendiculairement aux parois, tandis que les zones de colorations diverses sont dans le sens de la longueur du filon.

La chaux carbonatée qui constitue les *stalactites* et les *stalagmites*² des grottes (n°62) est le plus souvent à l'état fibreuse. Quelquefois elle est en cristaux rhomboédriques ou lamelleuse.

Les incrustations calcaires de plusieurs sources minérales (Saint-Alyre, près Clermont Ferrand ; Carlsbad, en Bohême ; San-Filippo, en Toscane, etc.) et les dépôts des tuyaux de conduite d'eaux calcarifères ont aussi la texture fibreuse. Les fibres sont toujours perpendiculaires à la surface sur laquelle le dépôt s'est effectué.

Le *corail* est une calcite fibreuse produite par la sécrétion de coraux et généralement colorée en rouge par une matière organique. On le trouve dans la Méditerranée près des côtes et dans quelques parties de l'Océan ; on en fait des bijoux, des colliers, etc.

La *calcite saccharoïde* est composée de petites lames accolées et entrecroisées ; sa cassure offre, comme celle du sucre, une multitude de petits points brillants, ce qui lui a valu son nom.

Cette variété, qui fournit la plupart des marbres employés dans la statuaire, constitue une véritable roche, de même que les diverses sortes de *calcaire amorphe*. Aussi nous renverrons leur étude au chapitre consacré à la description des roches.

304. Aragonite. — L'*aragonite*, ainsi nommée parce qu'on

1. Du grec *αλαβαστρος*.

2. Du grec *σταλακτής, σταλαγμίας*, qui tombe goutte à goutte.

l'a observée pour la première fois dans des marnes salifères de l'Aragon, a exactement la même composition chimique que la calcite. Comme nous l'avons déjà dit (n° 298) elle cristallise dans le système du prisme droit rhomboïdal. Elle n'a pas de clivage ; elle est blanc limpide ou mat, quelquefois légèrement colorée en jaune clair, rougeâtre ou violacé. Elle est un peu plus dure que la calcite ; quand on la chauffe au chalumeau, elle décrépité et se disperse en petits fragments de forme rhomboédrique.

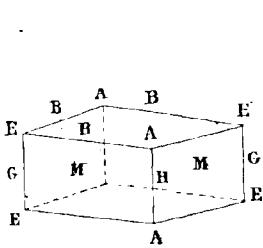


Fig. 164.

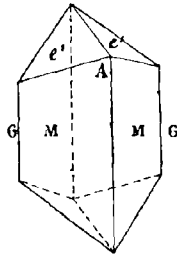


Fig. 165.

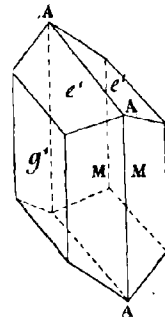


Fig. 166.

La forme primitive de l'aragonite est un prisme droit à base rhomboïdale dont les faces font entre elles un angle de $116^{\circ}16'$ (fig. 164). Elle offre des cristaux dans lesquels la base est remplacée par un biseau de faces e' placées sur les angles E (fig. 165) ; d'autres cristaux possèdent en outre des faces g' tangentes aux arêtes G (fig. 166).

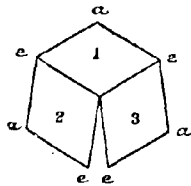


Fig. 167.

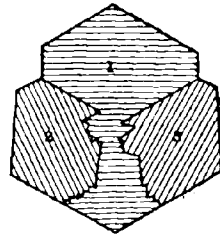


Fig. 168.

L'aragonite est souvent mâclée. L'une des mâcles les plus fréquentes résulte de l'accolement de trois prismes (fig. 167) laissant entre eux un vide de $11^{\circ}12'$, généralement rempli, comme dans la figure 168, par la matière de l'un des prismes. On a ainsi des prismes pseudo-hexagonaux avec angles rentrants.

L'aragonite ne joue qu'un rôle fort secondaire dans la nature. Elle n'est jamais en grandes masses ; on la trouve souvent en agrégations fibreuses ou stalactitiformes, quelquefois en grains comme à Carlsbad en Bohême.

Le dépôt du carbonate de chaux sous cette forme paraît dû à la haute température des eaux qui le tenaient en dissolution. C'est ce qui expliquerait pourquoi l'aragonite, qui n'est d'ailleurs qu'un minéral accidentel, se rencontre de préférence dans les terrains volcaniques qui, plus souvent que les autres, ont été traversés par des sources thermales.

305. Giobertite. — La *magnésie carbonatée* $Mg C^2$, ou *giobertite*¹, peut être facilement confondue avec la dolomie. Ses cristaux, fort rares d'ailleurs, appartiennent au système rhomboédrique. Elle est plus commune à l'état terreux, en veines ou en nodules dans les terrains serpentineux ; c'est une substance blanche, légère, happant à la langue.

On l'exploite surtout dans l'île d'Eubée, qui en fournit environ 3.600 tonnes par an. On s'en sert pour la fabrication du sulfate de magnésie et pour l'épuration préalable des eaux des générateurs à vapeur.

306. Dolomie. — La *dolomie*² a pour formule $Ca C^2 + Mg C^2$. Elle cristallise, comme la chaux carbonatée, sous un grand nombre de formes dérivées d'un rhomboèdre dont l'angle est de $105^{\circ}15'$, c'est-à-dire la moyenne exacte entre l'angle de $106^{\circ}53'$ qui correspond à la chaux carbonatée et celui de $107^{\circ}25'$ qui correspond à la magnésie carbonatée. Mais autant le rhomboèdre est rare pour la calcite, autant celui de la dolomie est fréquent. Elle a trois clivages égaux P.

1. Du nom de Giobert.

2. Dédiée au minéralogiste Dolomieu.

La densité de la dolomie varie de 2,85 à 2,92 ; elle est supérieure à celle de la calcite. Cette substance est habituellement d'un blanc laiteux, d'un gris de perle qui lui a fait donner le nom de *spath perlé*, ou d'un gris jaunâtre. Elle raye la calcite ; elle est attaquable par les acides, mais avec une effervescence lente.

Les cristaux se trouvent à peu près exclusivement dans des filons, dans les Alpes, le Piémont, en Cornouailles, etc.

Comme roche la dolomie a une assez grande importance, tant par la puissance des masses qu'elle constitue que par les circonstances toute particulières de son gisement. Elle existe à l'état saccharoïde et à l'état amorphe.

5. SULFATES.

307. — La *chaux sulfatée hydratée*, ou *gypse*, est le sulfate le plus répandu dans la nature. Viennent ensuite la *chaux sulfatée anhydre*, la *baryte sulfatée*, l'*alunite*, la *strontiane sulfatée*, le *sulfate de soude*. Nous ne mentionnerons que pour mémoire le *sulfate d'ammoniaque* qui, avec le sel ammoniac, se trouve en efflorescences sur les laves des volcans et le *sulfate de magnésie*, qui forme quelques rares filons et existe en dissolution dans plusieurs sources minérales.

308. Sulfate de soude. — Le sulfate de soude, $NaS^3 + 10Ag$, s'extrait des eaux mères des salins du Midi par le procédé Balard. Dans les terrains gypseux de la vallée de l'Ebre, aux environs de Lodosa, on a trouvé des couches de sulfate de soude pur et cristallisé, dont l'une atteint une épaisseur de 5 à 6 mètres. Ce gisement est exploité, et des fabriques importantes ont été établies près des mines pour en utiliser les produits.

309. Barytine. — La *barytine* ou *baryte sulfatée*, BaS^3 , est quelquefois en masses assez considérables pour être considérée comme une roche. Elle forme des filons dans lesquels elle est la seule matière de remplissage, et plus souvent elle accompa-

gne la galène ou d'autres minerais métalliques, tels que ceux de cuivre, d'argent, d'antimoine, de mercure ; on la trouve aussi disséminée irrégulièrement dans des terrains stratifiés.

Elle est rarement en cristaux parfaitement nets et bien transparents possédant trois clivages faciles qui déterminent un prisme droit rhomboïdal de $101^{\circ} 40'$. Généralement elle est blanc opaque ou blanc grisâtre, en masses cristallines, fibreuses, saccharoïdes, compactes ou terreuses. Elle a une grande densité, en moyenne 4,5 ; ce qui lui a valu le nom de *spath pesant*.

La baryte sulfatée est employée comme fondant dans les usines à cuivre, pour la fabrication de certains verres, pour allonger la céruse, pour l'apprêt des calicots, et enfin pour la préparation de la baryte et des autres sels de baryte dans les laboratoires.

Comme cette substance, en masses compactes, résiste à l'action des divers agents corrosifs, on l'utilise dans quelques fabriques de produits chimiques pour construire économiquement les bassins destinés à contenir ces divers agents. Pour cela, on double le fond et les parois de ces récipients, construits en bois ou en pierre, avec des lames bien dressées de barytine, et on remplit les joints avec un mastic composé de la même substance pulvérisée et d'une dissolution épaisse de caoutchouc dans l'essence de térébentine.

310. Célestine. — La *strontiane sulfatée*, SrS^3 , se présente avec les mêmes variétés de texture que la baryte sulfatée. On la trouve rarement en filons ; elle est plus ordinairement en veines, en veinules ou en rognons dans les bancs et les assises de gypse et de sel gemme, ou bien dans les marnes qui les accompagnent.

Ce minéral donne de beaux cristaux prismatiques appartenant au système du prisme droit rhomboïdal, transparents et vitreux, dans les terrains gypseux de la Sicile, où il est toujours accompagné de soufre.

La variété fibreuse est ordinairement d'un bleu clair, ce qui lui a valu le nom de *célestine*.

311. Anhydrite. — *L'anhydrite* est du sulfate de chaux anhydre CaS^3 . Elle est caractérisée par trois clivages rectangulaires faciles, à l'aide desquels on peut obtenir la forme primitive qui est un prisme droit à base rectangulaire. Ses cristaux sont très rares ; ceux que l'on connaît sont des prismes modifiés sur les angles.

Elle est un peu plus dure que la calcite. A l'air elle s'altère facilement en absorbant de l'eau et passe en partie à l'état de gypse, tout en conservant ses clivages rectangulaires. Ses couleurs sont le blanc laiteux, souvent violacé, et quelquefois le bleuâtre ; elle est toujours translucide et rarement diaphane ; elle possède la double réfraction d'une manière très prononcée.

L'anhydrite peut se trouver à l'état saccharoïde ; elle constitue alors un marbre qui se distingue du marbre calcaire par sa plus grande dureté et parce qu'il ne fait pas effervescence avec les acides. Elle existe aussi à l'état compact.

312. Gypse. — Le *gypse*¹ $CaS^3 + 2Aq$, plus connu sous le nom de *Pierre à plâtre*, est une substance très tendre, qui se laisse facilement rayer par l'ongle et qui ne fait aucune effervescence avec les acides, caractères qui ne permettent pas de le confondre avec le calcaire. Soumis à l'action du chalumeau, le gypse s'exfolie et tombe ensuite en poussière ; il donne de l'eau par la calcination ; sa densité varie de 2,26 à 2,30.

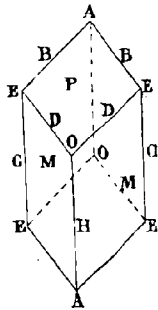


Fig. 169.

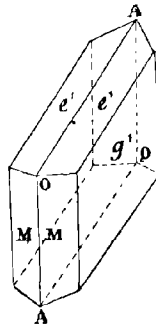


Fig. 170.



Fig. 171.

1. Du grec γυψος, qu'on dérive lui-même de γη, terre et πειω, je cuis.

Le gypse cristallise dans le système clinorhombique; il présente trois clivages dont un, parallèle au plan diagonal AO ou g' (fig. 169) est extrêmement facile. La forme primitive est très rare; le plus ordinairement on rencontre la forme dite *trapézienne* (fig. 170) dans laquelle la base P est remplacée par un biseau $e' e'$ et qui offre en outre le plan g' de facile clivage.

Le gypse présente un exemple remarquable d'hémitropie. Celle-ci a lieu dans le cristal trapézien parallèlement au plan diagonal qui passe par les arêtes G, d'où résulte cette forme à angles rentrants (fig. 171), connue sous le nom de *fer de lance*.

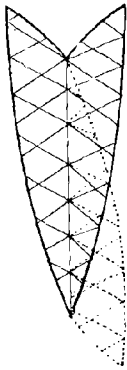


Fig. 172.

Les cristaux de gypse présentent souvent des faces courbes par l'effet de modifications multipliées qui se croisent sous des angles très obtus. Si l'hémitropie que nous venons de décrire se produit sur un cristal trapézien à faces très courbes, elle donne la forme dont la figure 172 indique la disposition et qui est plus commune encore que la précédente dans les environs de Paris. Cette figure est représentée sur le plan g' de clivage facile; la ligne verticale est la trace du plan perpendiculaire h' parallèlement auquel a lieu l'hémitropie; les lignes entrecroisées indiquent les deux autres clivages moins faciles, qui se manifestent quand on cherche à ployer

ces cristaux, généralement très aplatis.

Le gypse est ordinairement d'un blanc grisâtre, quelquefois jaunâtre ou incolore. Il est diaphane et jouit de la double réfraction. Il est flexible, mais non élastique.

Les cristaux de gypse se trouvent disséminés dans des argiles ou des marnes des terrains sédimentaires où ils se sont formés par une double décomposition; les pyrites de fer que contiennent ces roches se sont oxydées et l'acide sulfurique, réagissant sur la chaux, a donné du sulfate de chaux. Le gypse est d'ailleurs une des substances qui cristallisent le plus facilement, souvent même sous nos yeux; c'est ainsi que dans des mines de pyrite de cuivre de Toscane, abandonnées depuis longtemps, on a vu des excavations recouvertes de cristaux

prismatiques et trapéziens, dont quelques-uns avaient 0^m20 de longueur et qui provenaient de la réaction d'eaux d'infiltration chargées de matières calcaires sur les pyrites de cuivre.

De même que le calcaire, le gypse existe encore à l'état *fibreux*, dans de petites fentes des terrains où se trouvent les gisements gypseux ; à l'état *saccharoïde*, formant l'*albâtre gypseux* qu'il se faut se garder de confondre avec l'albâtre calcaire, qui est plus dur, et à l'état *compact*.

Sous ces deux derniers états il constitue de véritables roches, employées dans les constructions et que nous étudierons dans la section consacrée à la lithologie.

313. Alunites. — Les *alunites* sont des substances de composition mal définie. Ce sont en réalité des roches qui ont la propriété de fournir de l'alun par calcination et lessivage. On les exploite au Mont-Dore en France, en Hongrie, en Italie, etc. Dans les alunites de la Tolfa en Italie, il existe des géodes cristallines, tapissées de petits rhomboédres présentant la composition représentée par la formule $KS^3 + 9 AlS^3 + 6 Aq$ et qu'on a pris pour le type de l'espèce.

Il ne faut pas confondre ces alunites avec certains schistes argileux pénétrés de pyrite de fer et qui, après avoir été calcinés, donnent de l'alun par suite de la réaction du sulfate de fer acide sur l'argile.

6. PHOSPHATES.

314. Chaux phosphatée. — *Historique de sa découverte.*
— La découverte de dépôts importants de phosphate de chaux dans les terrains stratifiés et leur utilisation par l'agriculture peuvent compter parmi les progrès les plus considérables qu'ait réalisés la science agricole dans ces dernières années. La présence du phosphore dans le règne minéral était à la vérité connue depuis la fin du siècle dernier, mais seulement dans un petit nombre d'espèces minérales, et ce n'est que bien plus tard, avec le perfectionnement des méthodes d'analyse chimique, qu'on le découvrit successivement dans une

foule de roches, soit ignées, soit sédimentaires. Le phosphate de chaux à l'état amorphe, qui est son état le plus habituel, n'a rien en effet qui le décèle, même à l'œil d'un minéralogiste exercé, et il ne peut être souvent reconnu que par un essai chimique. Aussi on conçoit sans peine qu'il ait pu rester long temps inaperçu dans un grand nombre de gisements et être pris pour de l'argile, du calcaire, de la glauconie, etc.

Berthier signala le premier, en 1820, le phosphate de chaux en quantité notable dans les terrains stratifiés ; il montra que les nodules disséminés au milieu des sables verdâtres crétacés du cap la Hève, près du Havre, étaient en grande partie formés par cette substance.

A peu près à la même époque, de nombreux débris d'animaux, riches en phosphate, étaient reconnus par Buckland en plusieurs points de l'Angleterre, dans diverses formations géologiques ; puis des rognons de phosphorite en couches régulières étaient découverts dans le terrain crétacé du même pays, et le docteur Fitton montrait la continuité de ces couches sur des points assez distants dans les comtés de Kent et de Surrey.

C'est surtout en 1847, lorsque l'on songea sérieusement à employer les phosphates fossiles au lieu des os pour la fabrication des engrais, que l'attention se porta sur la recherche des gisements de chaux phosphatée qui jusque-là n'avaient guère présenté qu'un intérêt scientifique.

Frappé de la grande analogie que présentent les couches de la base du terrain crétacé des deux côtés de la Manche, M. Mengy, ingénieur en chef des mines, étudia avec soin ce terrain dans le nord et l'est de la France. Il reconnut en 1852 que les rognons des sables verts, connus depuis longtemps dans les Ardennes par les habitants du pays qui leur donnaient le nom de *coquins* ou *crottes du diable*, mais dont la composition véritable n'était pas soupçonnée, renferment en réalité du phosphate de chaux en proportion notable. Peu de temps après, cette substance se montra aux explorateurs à d'autres niveaux du terrain crétacé.

En 1855 les premières tentatives d'exploitation de ces produits furent faites dans les départements des Ardennes et de

la Meuse. Le mérite de cette initiative revient à MM. de Molon et Desailly, qui ont tant fait pour développer l'industrie des phosphates.

A partir de cette époque, les explorations furent poussées avec ardeur dans tous les pays et les découvertes se multiplièrent. On ne tarda pas à reconnaître que le phosphate de chaux n'est pas l'apanage exclusif d'un nombre restreint de formations géologiques, telles que le terrain crétacé, et qu'il existe souvent en abondance dans bien d'autres formations, le terrain houiller de Westphalie, le lias de l'Auxois et des Vosges, les terrains tertiaires du Lot, etc. On peut même dire maintenant qu'on le trouve partout, soit concentré dans des couches ou des rognons à divers niveaux géologiques, soit en filons, soit plus ou moins uniformément disséminé dans les masses minérales.

Quand, dans la seconde partie de cet ouvrage, nous étudierons les diverses formations géologiques, nous aurons soin de signaler les principaux gisements de cette précieuse substance, qui est devenue aussi nécessaire à l'agriculture que la houille l'est à l'industrie. Nous nous contenterons de donner ici les caractères minéralogiques de ses deux variétés, l'*apatite* et la *phosphorite*, dont la première se présente à l'état cristallisé et la seconde à l'état amorphe.

315. Apatite. — La chaux phosphatée cristallisée, ou *apatite*,¹ n'est pas uniquement composée de chaux et d'acide phosphorique. Elle contient toujours, en outre, du chlore et du fluor unis au calcium, en sorte qu'on peut la considérer comme une combinaison de phosphate tricalcique avec du fluorure et du chlorure de calcium suivant la formule $3CaPh^2 + Ca(Cl, Fl)^2$.

Les proportions relatives de chlore et de fluor peuvent varier; voici par exemple quelle est la composition d'un échantillon d'apatite de Snarum (Scanie), dans lequel le chlore et le fluor sont à équivalents égaux :

1. Απαταω, je trompe, à cause des erreurs commises par les anciens minéralogistes qui l'avaient confondue avec différentes espèces minérales.

Chaux.....	49,65
Acide phosphorique...	41,48
Chlore.....	2,71
Fluor.....	2,21
Calcium.....	3,95
	100 >

Les cristaux sont toujours des prismes hexagonaux réguliers dérivés du rhomboèdre et qui ne diffèrent les uns des autres que par les modifications des sommets. Ces prismes sont ordinairement terminés par des pyramides hexagonales, tantôt complètes, tantôt tronquées.

L'apatite est la plus dure des substances calcaires ; elle raye très légèrement le verre blanc et elle est rayée par l'orthose. Sa pesanteur spécifique varie de 3,166 à 3,285. Ses couleurs sont très variables ; toutefois on peut les grouper en quatre : le vert d'eau très clair, qui appartient aux cristaux hyalins analogues au béryl, le vert foncé, le vert jaunâtre et le violet. Les cristaux hyalins sont assez rares ; cependant ceux des Alpes sont d'une limpidité parfaite ou légèrement laiteux.

L'apatite se trouve à peu près exclusivement dans les terrains cristallisés et dans les roches métallifères où elle se présente en cristaux ou en masses cristallines parfois considérables.

Ainsi elle accompagne les cipolins associés aux roches primitives du Canada ; elle est abondante dans le terrain volcanique de la province de Murcie ; elle forme des filons enclavés dans le terrain primitif de Kragerø et d'Arendal en Norvège, de Cacères en Espagne, de l'Estramadure portugaise, etc.

316. *Phosphorite.* — Le phosphate de chaux amorphe, ou *phosphorite*, n'est pas aussi facilement reconnaissable que l'apatite. Il n'a pas de caractère spécial et il est tantôt compact, tantôt terreux, tantôt concrétionné ; aussi il a passé longtemps inaperçu dans un grand nombre de gisements.

Il n'est presque jamais pur et il est mélangé de matières étrangères parmi lesquelles les plus fréquentes sont la silice, l'argile, le carbonate de chaux, l'oxyde de fer, la glauconie,

des substances organiques. Le fluor l'accompagne souvent à l'état de fluorure de calcium, parfois même en proportion aussi élevée que dans la chaux phosphatée cristallisée; ce qui a conduit quelques minéralogistes à en faire, dans ce cas, des espèces minérales particulières; cependant cette proportion est loin d'être constante et il semble y avoir plutôt un mélange qu'une combinaison véritable de phosphate de chaux et de chaux fluatée. Parfois on trouve dans la phosphorite du chlore, du brome et de l'iode. Souvent aussi les matières organiques qui entrent dans sa constitution sont particulièrement riches en azote et même en sels ammoniacaux.



Fig. 173.— Coprolithes.

Une forme remarquable sous laquelle se montre quelquefois la phosphorite est celle des *coprolithes*¹ (fig. 173), résidus de la digestion de divers animaux, notamment de poissons et de sauriens, dans lesquels on retrouve encore de petits fragments d'os, des dents, des écailles, etc.

Tandis que l'apatite appartient surtout aux roches cristallisées, la phosphorite est principalement concentrée au milieu des terrains sédimentaires dans lesquels elle forme des lits de rognons plus ou moins réguliers ou des couches continues.

317. *Phosphate de chaux disséminé dans la nature.* — Mais le phosphate de chaux n'existe pas seulement à cet état de concentration; on le trouve encore disséminé intimement dans toutes les roches, jusque dans celles qui paraissent les plus simples, telles que les sables quartzeux, les quartzites, le silex lui-même. Il n'est guère de roches qui ne le contiennent en proportions appréciables et il est permis d'affirmer que celles où l'on n'en constate que des traces constituent de rares exceptions.

Les argiles et surtout les calcaires en accusent des proportions notables; les roches cristallisées sont encore plus ri-

¹ Du grec *κοπρος*, excrément, et *λίθος*, pierre.

ches ; mais ce sont surtout les minerais de fer qui sont pourvus d'acide phosphorique, et c'est même un fait remarquable dont M. Daubrée a fait ressortir l'importance que cette association fréquente du fer et du phosphore.

Les eaux de la mer renferment du phosphate de chaux ; cela est mis hors de doute, soit par l'analyse chimique de ces eaux, soit par la composition des produits marins. Il en est de même des eaux terrestres ; depuis que Berzélius, dans son analyse des sources de Carlsbad, a signalé l'acide phosphorique dans la proportion de $\frac{1}{4.500.000}$, on l'a constaté, toutes les fois qu'on s'est donné la peine de la chercher, dans un grand nombre de sources. Il existe en Espagne, dans la province de Cacérés, une source très remarquable sous ce rapport ; c'est celle de Montemayor, qui sort du granite à une température de 42° et qui, par l'évaporation, abandonne un résidu ne contenant pas moins de 9,70 0/0 d'acide phosphorique.

Les phosphates existent dans les poussières de l'atmosphère, en proportions faibles il est vrai, mais qui ne sont nullement négligeables pour l'agriculture. M. Barral a pu doser en effet 5 à 9 centièmes de milligramme d'acide phosphorique par litre dans les eaux pluviales recueillies dans le bassin de Paris.

Enfin, ainsi que l'a reconnu Berzélius, les météorites renferment du phosphore, généralement à l'état de phosphure de fer et de nickel. C'est peut-être à des débris impalpables de météorites que les poussières atmosphériques doivent une partie de leur teneur en acide phosphorique.

Ainsi tout concourt à démontrer l'extrême diffusion du phosphore dans la nature inorganique. C'est une conclusion à laquelle on serait arrivé plus tôt par voie indirecte, si des idées fausses n'avaient régné chez les agriculteurs sur le rôle des matières minérales dans la nutrition des plantes. La végétation, si chétive qu'elle soit, peut en effet s'établir sur presque tous les sols et il faut bien qu'elle y trouve du phosphore, l'une des substance qui lui est le plus indispensable. Pour les sols arides eux-mêmes, leur stérilité est souvent due plutôt à des

circonstances physiques défavorables qu'à une composition chimique défectueuse.

Les animaux, auxquels le phosphore n'est pas moins nécessaire, le prennent aux plantes ou à la mer, puis le restituent après leur mort à la nature minérale, et ainsi s'effectuent de continuelles migrations de cette substance.

318. Origine du phosphate de chaux. — L'apatite provient certainement de l'intérieur de la terre, de même que les roches cristallisées qu'elle accompagne; elle a dû être amenée à la surface soit en même temps que ces roches, soit postérieurement par des sources minérales ou des émanations. D'après M. Daubrée, le phosphore existerait à l'état de phosphore dans les grandes profondeurs du globe, de même que dans les météorites; c'est ce que tend à démontrer la grande ressemblance des roches extra-terrestres avec celles de l'intérieur de notre globe.

Quant au phosphate de chaux amorphe, la présence de la matière organique azotée qui lui est souvent mêlée a fait supposer qu'il avait passé par la vie animale. Le fait peut être considéré comme certain pour la variété coprolithique; il acquiert un grand caractère de probabilité pour les autres phosphorites, si l'on réfléchit que les amas de matières phosphatées sont particulièrement abondants dans les formations qui se signalent par un grand développement de la vie. Il aurait été ainsi emprunté à des dépôts d'animaux, et les eaux chargées de phosphate, pénétrant les terrains sédimentaires, y auraient formé par voie de concrétion des produits dans lesquels on retrouve les éléments de ces terrains, ou auraient pseudomorphosé des corps divers, de préférence des fossiles.

Mais, en dernière analyse, ce phosphate de chaux lui-même vient aussi des profondeurs du globe. Les animaux dont les dépouilles ont été dissoutes ne pouvaient en effet, ainsi que nous l'avons déjà dit, puiser le phosphore nécessaire à leur alimentation que dans les eaux de la mer, ou, par l'intermédiaire des plantes, dans les couches terrestres.

319. Alumine phosphatée. — L'alumine phosphatée.

donne plusieurs espèces accidentelles et rares, dont la composition n'est pas encore bien établie à cause du peu de concordance des analyses. Telles sont la *wavellite*¹, phosphate d'alumine hydraté, quelquefois avec fluor, qui se présente en concrétions radiées, blanches, jaunâtres ou verdâtres; la *klaprothine*², phosphate d'alumine et de magnésie, qui se trouve en veines amorphes d'un beau bleu foncé dans quelques roches cristallines; la *turquoise*,³ phosphate d'alumine hydraté avec un peu de cuivre, qui forme de petits rognons disséminés dans une argile en Perse et qui a une couleur bleue.

La turquoise est une pierre employée en joaillerie et qui atteint des prix assez élevés quand elle est d'un bleu clair et pur; la variété bleu verdâtre est moins estimée. En raison de sa faible dureté, qui n'est guère supérieure à celle de l'apatite, elle est facile à falsifier. On l'imité notamment avec des dents de mammifères fossiles, colorées par le phosphate de fer, et qu'on trouve par exemple à Simorre en Gascogne. Cette fausse turquoise s'appelle *odontolite*⁴ ou *turquoise de nouvelle roche*.

7. CHLORURES.

320. Sel gemme. — Le chlorure de sodium, NaCl, ou *sel gemme*, est blanc limpide ou laiteux, souvent coloré en gris ou en rouge, accidentellement en bleu; sa densité est de 2,25 et il raye le gypse. Il a une saveur salée caractéristique et se dissout dans trois fois son poids d'eau. Il a une cassure lamelleuse; il présente trois clivages égaux et rectangulaires qui conduisent au cube.

Le sel gemme constitue dans certaines formations sédimentaires des masses considérables dont la pureté est très variable. Il contient parfois plus de 10 0/0 de sulfate de chaux, de sulfate de soude, de peroxyde de fer et de matières bitumineuses; mais on n'y constate en général ni sels de potasse, ni brome, ni iode. On l'exploite dans plusieurs régions de France, notamment en Lorraine.

1. Dédicée à Wavel, qui l'a découverte.

2. Dédicée au chimiste Klapproth.

3. Ainsi nommée parce qu'elle a été introduite en Europe par la Turquie.

4. De *οδους, οδοστος*, dent, et *λιθος*, pierre.

Le célèbre gisement salifère de Stassfurt, près de Magdebourg, est remarquable par les chlorures variés qu'il contient et qui, outre le chlorure de sodium, sont le chlorure de potassium KCl ou *sylvine*¹; la *carnallite*², chlorure double de potassium et de magnésium, $KCl + 2 MgCl + 12 HO$; la *tachydrite*³, chlorure double de calcium et de magnésium, $CaCl + 2 MgCl + 12 HO$; la *stassfurtite*, sel double de borate de soude et de chlorure de magnésium. Ces sels sont traités industriellement dans d'importantes usines.

Les eaux de la mer, qui renferment environ 30 gr. de chlorure de sodium par litre, constituent également une véritable mine de sel. On les traite dans les marais salants situés principalement sur le littoral de l'ouest et du midi de la France.

La production totale annuelle du monde entier en sel gemme et sel marin est de 8.182.000 tonnes. La part de la France dans cette production est de 312.000 tonnes de sel gemme brut ou raffiné et de 428.000 tonnes de sel marin brut, soit en tout 740.000 tonnes d'une valeur de 25.744.000 fr.

8. FLUORURES.

321. Fluorine. — Le fluorure de calcium, Ca Fl, auquel les minéralogistes donnent les noms de *fluorine*, *chaux fluatée* ou *spath fluor*, est presque toujours cristallisé en cubes légèrement modifiés ou avec la texture cristalline; rarement il est en masses concrétionnées ou compactes (Hartz). Ce n'est qu'exceptionnellement qu'il est incolore; ses teintes les plus ordinaires sont le jaune, le verdâtre ou le violet. Sa dureté est un peu supérieure à celle de la chaux carbonatée; sa densité est de 3,1. Sous l'action de la chaleur, il devient phosphorescent.

Le spath fluor est rarement pur. Les cristaux les mieux formés contiennent souvent en mélange intime du quartz, de l'ar-

1. C'est le *sal digestivus sylvii* des anciens chimistes, d'où Beudant a tiré le nom de sylvine.

2. Dédicée à M. von Karnall.

3. De *ταχυς*, rapide, *υδρο*, eau; parce qu'elle tombe rapidement en déliquescence.

gile, du carbonate de chaux, du sulfate de baryte, etc., matières qui se trouvent encore en plus fortes proportions dans les variétés concrétionnées et compactes.

Le spath fluor se présente exclusivement en filons ; il est souvent associé à des minerais métalliques, de plomb, zinc ou étain. Il se rencontre aussi dans plusieurs eaux minérales (Carlsbad, Bourbonne-les-Bains) et forme quelques millièmes de la partie minérale des os et surtout de l'émail des dents.

Il sert à la préparation de l'acide fluorhydrique. On l'utilise en métallurgie comme fondant et notamment pour le traitement des minerais de cuivre. Comme il présente souvent de belles teintes variées, on en fait aussi des objets d'art, tels que des coupes, des vases, etc.

322. Cryolite. — La *cryolite*¹ est un fluorure double d'aluminium et de sodium, $2 \text{Al Fl}^3 + 3 \text{Na Fl}^3$, blanc de neige, parfois jaune ou noirâtre, fusible au simple contact de la flamme d'une bougie, ce qui lui a fait donner le nom de *Pierre de glace*. Elle n'a pas de forme cristalline, mais elle possède trois clivages à peu près égaux, à surfaces inégales, qui paraissent conduire à un prisme asymétrique.

Elle se trouve au Groenland en filons dans le gneiss, le plus souvent avec accompagnement de diverses substances métallifères, pyrite, galène, wolfram, etc., auxquelles elle sert de gangue. Ces gîtes sont exploités et on en expédie les produits en Europe pour la fabrication de l'aluminium, du sulfate d'alumine et du carbonate de soude.

TROISIÈME GROUPE

MINÉRAIS MÉTALLIQUES

323. — Sauf pour un petit nombre d'entre eux, les métaux ne se rencontrent qu'exceptionnellement à l'état natif. Leurs

1. De *κρυος*, glace ; *λίθος*, pierre.

minerais se présentent presque toujours sous forme de combinaison du métal avec des métalloïdes, comme l'oxygène, le chlore, le fluor, le soufre, le sélénium, le tellure, l'arsenic, ou avec des métaux acidifiables tels que l'antimoine, le molybdène, le vanadium, le chrome, le tungstène et le manganèse. A cause du rôle qu'ils jouent dans ces associations chimiques, on a donné à ces corps le nom générique de *minéralisateurs*.

Avant d'aborder l'étude des minerais métalliques, nous examinerons ceux des minéralisateurs de la classe des métalloïdes qui existent dans la nature à l'état solide.

1. MINÉRALISATEURS.

324. Soufre. — Le soufre est caractérisé par sa couleur jaune clair, sa faible dureté, à peine supérieure à celle du gypse, sa fragilité, sa cassure vitreuse avec éclat gras. Il cristallise en octaèdres, souvent modifiés sur les angles et les arêtes, dérivés d'un prisme droit rhomboïdal. Sa densité est de 2,07. Il s'électrise négativement par le frottement.

Au simple contact de la flamme d'une bougie, il s'allume et brûle avec une flamme bleuâtre en répandant une forte odeur d'acide sulfureux.

Les gîtes de soufre sont nombreux ; on peut les rapporter à deux types. Le premier est celui des solfatares, dans lesquelles le soufre, cristallin ou pulvérulent, imprègne les roches volcaniques de manière à les transformer en véritables minerais et provient de la décomposition de vapeurs d'hydrogène sulfuré au contact de l'air.

Mais ces gisements sont peu abondants et ne donnent qu'une faible quantité de soufre. Il n'en est pas de même de ceux du second type, qui présentent le soufre en veines, en petits amas, en géodes cristallines, intercalés dans des marnes ou des calcaires de certaines formations sédimentaires.

Les dépôts sulfureux de la Sicile appartiennent à cette catégorie et fournissent annuellement plus de 200.000 tonnes de soufre, c'est-à-dire les 9/10 de ce que consomme l'industrie ;

les plus riches se trouvent aux environs de Caltanissetta et de Girgenti. Le soufre y est associé au gypse, au sel gemme et à du bitume ; le rendement est en moyenne de 25 0/0 et peut s'élever jusqu'à 80 0/0. Au-dessous d'une teneur de 8 0/0, le traitement n'est plus avantageux.

Il y a également du soufre compact dans les marnes gypseuses et salifères de la Catalogne, de la Pologne, des Basses-Pyrénées, etc.

On croit généralement que le soufre de ces gisements s'est formé de la même manière que celui des solfatares. Cependant son association avec le gypse et des matières bitumineuses pourrait faire supposer qu'il est le résultat de la décomposition du gypse par le bitume qui se serait oxydé. Cette supposition est d'accord avec l'observation, car il n'est pas rare de trouver des cristaux de soufre dans les terres noirâtres gypseuses où s'infiltré le gaz à Paris.

Le soufre sert à la préparation de l'acide sulfureux et de l'acide sulfurique, à la fabrication de la poudre, au scellement du fer dans la pierre, à la vulcanisation du caoutchouc, au traitement des vignes attaquées par l'*oidium*, etc.

325. Sélénium, tellure. — Le sélénium natif n'a encore été signalé qu'à Culebras (Mexique).

Le tellure natif, métal à éclat métallique, d'un blanc d'étain, très fusible, se rencontre ordinairement en petites masses grenues au milieu des gangues quartzieuses des filons d'or de Transylvanie ; il est souvent accompagné par la galène, la blende, la pyrite.

326. Arsenic. — L'arsenic est un corps d'un gris blanc, assez éclatant dans les parties fraîchement coupées, mais se ternissant à l'air pour devenir d'un noir terne. Sa densité est de 5,80, sa dureté de 3 1/2. Ses cristaux, du système rhomboédrique, sont très rares ; il est ordinairement en concrétions *testacées*, c'est-à-dire à zones courbes et peu saillantes, quelquefois en nodules ou veines finement grenues. Il est fusible et volatil au chalumeau, avec fumées blanches et odeur alliée caractéristique.

L'arsenic natif accompagne généralement les minerais arsenifères. Il est très abondant dans certains filons, notamment dans les filons argentifères et plombifères du Hartz et dans les filons antimonifères de la Hongrie. En France on le trouve à Allemont (Isère).

Le véritable minéral de l'arsenic est le *mispickel* ou sulfarséniure de fer, que nous décrirons plus loin (n° 336).

L'arsenic n'a d'ailleurs que des emplois très bornés; son principal usage est pour l'agriculture à l'état d'acide arsénieux. La fabrication des couleurs vertes, qui en consommait autrefois de grandes quantités, se sert maintenant d'autres substances, au grand profit de la santé publique.

Sulfures d'arsenic. — L'arsenic forme deux combinaisons avec le soufre : un sulfure rouge, ou *réalgar*, et un sulfure jaune, ou *orpiment*.

Le réalgar AsS (d'un mot anciennement employé par les alchimistes) a une belle couleur rouge aurore ou rouge cochenille; il cristallise en prismes rhomboïdaux obliques très nets que l'on trouve dans les filons de la Transylvanie. Les vapeurs volcaniques du Vésuve en ont déposé de petits cristaux sur les parois des fissures. Il se présente aussi en masses amorphes grenues.

L'orpiment AsS^3 (*auri pigmentum*, couleur d'or), d'une couleur jaune citron très vif, rarement cristallisé, ordinairement en masses lamellaires flexibles, se trouve accidentellement, comme le réalgar, dans des filons métalliques.

Acide arsénieux. — L'acide arsénieux recouvre souvent la surface des minéraux arséniurés. C'est un produit secondaire et accidentel résultant de l'oxydation de ces minerais.

2. MINÉRAIS DE MANGANÈSE.

327. — Le manganèse forme deux séries de minéraux : des sulfures et des minéraux oxydés. Les premiers, qui sont rares, n'ont aucun intérêt industriel; c'est parmi les derniers seulement qu'on trouve des minerais propres à l'extraction du métal.

Les minerais oxydés sont assez variés. On connaît des oxydes anhydres, des oxydes hydratés et des combinaisons d'oxyde avec l'acide carbonique, l'acide phosphorique, le fluor et la silice.

En 1884, on a extrait en tout dans le monde entier environ 75.000 tonnes de minerais de manganèse, dont la valeur est de 28 à 50 fr. la tonne sur place, suivant teneur. La France n'a produit que 4.500 tonnes, dont la moitié provient des mines de Romanèche et de Grand-Filon (Saône-et-Loire). Depuis quelques années, l'exploitation de ces minerais est en décroissance continue dans notre pays, par suite de la baisse qu'a amenée l'importation des minerais du Caucase.

En dehors de son emploi dans les industries chimiques, on sait que le minerai de manganèse sert à la fabrication de fontes à acier et du ferro-manganèse.

328. Oxydes anhydres de manganèse. — Les oxydes anhydres désignés sous les noms de *hausmannite* et de *braunite*, des noms de deux minéralogistes allemands, sont tout à fait accidentels et trop peu abondants pour être utilisables.

La *pyrolusite* MnO^2 , ou peroxyde de manganèse, est le minerai le plus répandu et le plus recherché pour la fabrication du chlore. Elle est souvent associée aux minerais de fer; mais elle s'isole dans des gîtes spéciaux en masses fibreuses et radiées, quelquefois en masses terreuses dont on apprécie la valeur en cherchant la quantité d'oxygène dégagée par la calcination. Ses cristaux, assez mal formés, dérivent d'un prisme droit rhomboïdal. Elle a une coloration gris noirâtre et elle est semi-métallique.

Depuis longtemps on utilise les propriétés oxydantes de la pyrolusite pour faire disparaître les teintes grises et brunes du verre. Aussi on lui donne dans l'industrie le nom de *savon des verriers* et c'est à cette circonstance qu'elle doit sa dénomination minéralogique. ¹

En France, on la trouve surtout à Romanèche, près de Mâcon, et dans la Dordogne.

1. Πυρ, feu; λωω, je lave.

329. Oxydes de manganèse hydratés. — L'*acerdèse*¹ ou *manganite* est un oxyde hydraté. C'est l'espèce la plus commune après la pyrolusite, qu'elle accompagne souvent et à laquelle elle ressemble ; on l'en distingue par sa dureté un peu plus grande et par l'eau qu'elle donne sous l'action de la chaleur. Elle forme des gîtes considérables dans les terrains anciens ou les filons. Elle accompagne souvent aussi le minerai de fer.

La *psilomélane* est ainsi nommée² parce que, tout en ayant la couleur noire des autres oxydes, elle ne se présente jamais comme eux sous la forme fibreuse, mais au contraire en masses concrétionnées dont la cassure offre souvent un aspect analogue à celui des feuilles de fougère. C'est un mélange de divers oxydes de manganèse et de baryte. Elle est abondante à Romanèche.

330. Carbonate et silicate de manganèse. — Le *manganèse carbonaté*, $Mn C^2$, est rose ou rougeâtre, de la dureté de la fluorine ; il cristallise en rhomboèdres. Il est assez rare à l'état de pureté absolue. Dans quelques filons de Hongrie, il existe une variété saccharoïde connue sous le nom de *dialogite*³, que l'on utilise pour l'ornementation à cause de sa couleur rose, peu commune parmi les minéraux.

Le manganèse carbonaté se mélange souvent avec la chaux carbonatée, à laquelle il communique sa coloration. Il y a en outre des carbonates mixtes de chaux, fer et manganèse (n° 302).

Le *manganèse silicaté*, $Mn Si^6$, caractérisé par la même couleur rose, mais bien plus dur, rayant le verre et faisant feu avec l'acier, se trouve dans les gîtes de manganèse carbonaté. En Silésie, il y a une variété compacte dont on fait des objets d'ornement, des boîtes, des coffrets, etc.

1. De *ακερδης*, non profitable, à cause de son infériorité industrielle relativement à la pyrolusite, qui contient plus d'oxygène.

2. De *ψιδος*, glabre ; *μαλας*, noir.

3. De *διαλογη*, séparation, parce que ce minéral diffère par sa couleur des minerais communs de manganèse.

3. MINÉRAIS DE FER.

331. — De tous les métaux lourds, il n'en est pas de plus commun dans la nature que le fer. Aussi c'est celui qui a les usages les plus répandus et on en produit plus que de tous les autres réunis.

Le fer se trouve dans la nature à l'état natif ; il forme en outre des oxydes anhydres ou hydratés, un carbonate, des sulfures et quelques autres minerais oxydés tels que le silicate et le phosphate. Ce sont surtout les oxydes qui sont exploités comme minerais ; le carbonate et le silicate ont beaucoup moins d'importance ; quant aux autres minéraux, on ne les traite pas dans la métallurgie.

L'extraction s'est élevée en France, pendant l'année 1884, à 2.977.000 tonnes de minerais propres à la fusion, représentant une valeur de 12.828.000 francs, d'où ressort un prix moyen de 4 fr. 30 par tonne. Le département de Meurthe-et-Moselle, à lui seul, a fourni les deux tiers de cette production.

Les minerais indigènes, dont le rendement moyen en fer est de 34 0/0, ne suffisent pas à alimenter nos hauts-fourneaux, qui en consomment en outre 1.413.000 tonnes de provenance étrangère.

Pour le monde entier, la production totale des minerais de fer atteint 46.931.000 tonnes par an. Voici quelles sont les quantités de tonnes de fonte, de fer et d'acier obtenues avec ces minerais.

Pays producteurs	Fonte	Fer	Acier
France	1.872.000	877.000	503.000
Grande-Bretagne..	7.937.000	2.273.000	1.985.000
Empire allemand..	3.228.000	1.471.000	1.063.900
Luxembourg.....	366.000	»	»
Belgique	751.000	471.000	154.000
Autriche-Hongrie..	650.000	327.000	270.000
Italie.....	25.000	90.600	3.450
Russie	482.000	323.000	222.000
Suède et Norvège..	423.740	303.400	66.270
Espagne.....	140.000	58.700	410
États-Unis.....	4.163.000	2.130.000	1.540.000
Australie.....	3.500	»	»
Japon.....	1.100	»	»
Totaux..	<u>20.024.340</u>	<u>8.324.700</u>	<u>5.808.030</u>

En 1884, les prix moyens de la fonte, du fer et de l'acier ont atteint respectivement les chiffres de 75, 197 et 253 francs en France. Depuis cette époque ils ont considérablement baissé.

332. Fer natif. — Le fer natif a été signalé pour la première fois dans les météorites. Quelques-unes même en sont entièrement composées ; telles sont celles qui sont tombées en 1751 à Braunau en Bohême et en 1847 à Agram en Croatie. Le fer y est allié à divers métaux, parmi lesquels le nickel est le plus constant et peut former 17 0/0 de la masse ; elles contiennent en outre des sulfures de fer.

Dans les météorites pierreuses, le fer se trouve disséminé en grenailles ou forme une sorte d'éponge englobant les parties pierreuses. Les météorites charbonneuses, entièrement dépourvues de fer métallique, sont les plus rares.

Tous ces corps sont des fragments planétaires parvenus à la surface de la terre. M. Daubrée a démontré leur assimilation aux roches terrestres et a tiré de leur étude des conclusions fort importantes sur l'origine de ces roches.

Plusieurs roches éruptives terrestres renferment également du fer libre. Pendant longtemps on ne l'a connu qu'à l'état de traces difficiles à constater, comme dans les basaltes et autres roches volcaniques. En 1871 on a trouvé des blocs métalliques enchâssés dans le basalte du Groenland à Ovivak ; on les avait d'abord considérés comme des météorites dont la chute avait eu lieu à la surface de la roche encore pâteuse ; mais leur forme lenticulaire contredit cette origine et il faut admettre que, de même que les particules intimement disséminés dans la masse, ils proviennent des profondeurs du globe.

Il est inutile d'ajouter que le fer natif ne peut servir de minéral.

333. Fers oxydés anhydres. — Il y a deux espèces de fer oxydé anhydre : le *fer oxydulé* et le *fer oligiste*.

Fer oxydulé, Fe. — Ce minéral est noir métallique ; il est rayé par le quartz et fait feu au briquet ; sa poussière est noire. Il est fortement magnétique ; accidentellement il est doué du magnétisme polaire et constitue alors l'*aimant naturel* ou

Pierre d'aimant. Il cristallise dans le système cubique, surtout en octaèdres réguliers.

En Suède et en Norvège, où le fer oxydulé forme au milieu des roches anciennes des amas très considérables qui arrivent à constituer de véritables montagnes, il est cristallin ou compact, à cassure finement grenue et même conchoïdale. On le trouve aussi, assez abondant pour être exploité, à l'île d'Elbe, à Mokta-el-Hadid dans les environs de Bône, au Brésil, etc. En France il existe à Diélette près de Cherbourg.

Ce minerai, qui contient 74 à 78 0/0 de fer, est remarquable par sa pureté; aussi il donne des fers d'excellente qualité.

Le fer oxydulé se trouve aussi en petits grains, souvent cristallisés, disséminés dans certaines roches volcaniques et principalement les basaltes, dans les schistes ardoisiers des Ardennes, etc.

Fer oligiste. — Le fer oligiste *Fe* est ainsi nommé¹ parce qu'il contient un peu moins de fer que le fer oxydulé, 70 0/0 au lieu de 74, 78. Il a également une couleur noire métallique comme ce dernier oxyde, quand il est cristallisé, mais il est plus dur que lui, il n'agit pas sur l'aiguille aimantée et sa poussière est rouge. Ses cristaux, assez complexes, dérivent du rhomboèdre.

Il peut prendre la texture cristalline. C'est sous cet état qu'on l'exploite de temps immémorial dans l'île d'Elbe, où il forme des masses puissantes qui se dressent à l'extrémité N.-E. de cette île, et qu'on l'a longtemps exploité à Framont dans les Vosges. On le trouve aussi avec le fer oxydulé dans les mines de Suède.

Le plus fréquemment le fer oligiste se présente à l'état compact ou à l'état fibreux. Il a alors une coloration rouge sombre, devenant rouge clair par la pulvérisation. C'est à cause de cette circonstance qu'on lui donne le nom d'*hématite*². Quelquefois pourtant il est noir.

L'hématite fibreuse est très souvent concrétionnée sous forme de sphéroïdes à texture radiée; elle semble avoir un

1. De *ολιγος*, peu.

2. De *αιμα*, sang.

état cristallin différent de celui du fer oligiste proprement dit et se rattachant à un système prismatique. Elle existe dans beaucoup de localités, mais surtout dans le Cumberland où elle est la base d'une fabrication de fontes de qualité exceptionnelle, dites *fontes d'hématite*. Les parties les plus fibreuses et les plus denses des blocs sont susceptibles d'un beau poli et on en fait des brunissoirs pour le polissage des métaux.

L'hématite compacte n'est pas tout à fait aussi pure que la variété fibreuse, mais elle fournit encore des minerais estimés. Elle est plus commune ; on la trouve dans l'Ardèche, où elle est intercalée dans des couches sédimentaires ; en Westphalie, où elle alimente principalement les usines métallurgiques de la Ruhr ; dans les environs de Namur en Belgique, etc.

L'hématite forme encore une variété terreuse résultant de son mélange avec l'argile ; elle prend alors une coloration d'un rouge encore plus vif et plus franc et constitue l'*ocre rouge*, dont on se sert comme couleur.

L'oligiste contient quelquefois de l'acide titanique. Quand la proportion augmente, elle passe au *fer titané*, qui peut renfermer des parties égales des deux oxydes et qui est assez fréquent dans les roches volcaniques.

334. Fer oxydé hydraté, $Fe^2 + Aq$. — C'est à cette espèce minérale, appelée aussi *limonite*³ ou *hématite brune*, qu'appartiennent les minerais de fer les plus répandus. Elle a une coloration brune ou brun noirâtre et une poussière d'un jaune brun, ce qui la distingue de l'oligiste dont la poussière est rouge et du fer oxydulé qui a une poussière noire. Quand elle est pure, elle contient 44 à 45 0/0 d'eau et 85 à 86 de peroxyde, soit au maximum 60 0/0 de fer.

Mais elle n'est presque jamais dans cet état de pureté absolue. La limonite la plus riche en fer, qui est la *limonite*

1. Du grec *ωχρρα*, terre jaune.

2. Parce qu'elle a la même composition que les minerais limoneux qui se déposent dans certains marais (n° 87).

fibreuse, contient le plus souvent un peu d'argile mélangée ; elle existe dans un grand nombre de gîtes, soit en masses concrétionnées et radiées, ou en stalactites à surface noire, luisante, quelquefois très nettement irisée, soit en masses compactes, brun foncé, à cassure unie. A mesure que la proportion d'argile augmente, on passe à la *limonite terreuse*, tendre et tachant les doigts, puis à l'*ocre jaune*, qui en contient jusqu'à 50 0/0 et qui, trop peu riche pour subir un traitement métallurgique, est employée comme couleur commune.

La limonite se présente dans beaucoup de gîtes en globules sphéroïdaux, formés de couches concentriques, souvent vides à l'intérieur ; c'est le *minérai en grains* ou *minérai pisolithique*¹. Quand les grains sont de la grosseur d'une tête d'épingle, on a le *minérai oolithique*² ; ils sont ordinairement soudés et constituent des bancs puissants au milieu des terrains stratifiés, tandis que les précédents sont plutôt isolés dans des argiles ou des marnes dont on les sépare par le lavage.

Le minérai oolithique est exploité sur une vaste échelle dans le département de Meurthe-et-Moselle ; son importance s'est encore accrue depuis que, par le procédé Thomas Gilchrist, on est parvenu à déphosphorer les fontes qu'il donne au haut-fourneau et à en obtenir des aciers de bonne qualité.

On trouve parfois, dans des conditions analogues, des limonites en plaquettes ou même en *géodes*, sortes de nodules creux susceptibles de renfermer des substances étrangères, grès, sable, etc.

335. Fer carbonaté. — Le *fer carbonaté* FeC^2 cristallise en rhomboèdres de 107° ; il a une coloration jaune chamois ou jaune brun et rougit à l'air en se peroxydant. Il est un peu plus dur que la calcite.

Ce minérai, qui se trouve le plus fréquemment en filons, est assez répandu, mais rarement en masses considérables. Les gîtes les plus célèbres sont ceux de la Styrie, de la Westphalie, d'Alleverd (Isère), du Canigou (Pyrénées-Orientales). Il

1. De *πίσος*, pois, *λίθος*, pierre.

2. De *ωον*, œuf, parce que les grains ressemblent à des œufs de poisson.

contient presque toujours du manganèse et il est d'autant plus recherché que ce métal y entre en plus forte proportion.

Le fer carbonaté cristallisé, appelé aussi *fer spathique*, est un minéral essentiellement propre à la fabrication de l'acier. Il donne en Styrie les aciers naturels utilisés dans la taillanderie ; il sert dans le pays de Siegen (Stalberg) à la fabrication de ces fontes miroitantes manganésées, à grandes facettes blanches, connues en métallurgie sous le nom de *spiegeleisen*¹.

Le *fer carbonaté lithoïde* est une variété compacte dont les conditions de gisement et de composition sont toute différentes. Il est intercalé dans les argiles schisteuses du terrain houiller, en couches ou en rognons ; il est généralement assez impur et renferme notamment du phosphate de fer. En France il n'existe guère que dans les bassins de la Loire et de l'Aveyron ; en Angleterre il est au contraire très fréquent.

336. Autres minéraux oxydés. — Les *silicates de fer* sont abondants dans certaines roches qu'ils colorent en vert. La *chamoisite*, de la montagne de Chamoison en Valais, est un silicate contenant jusqu'à 60 0/0 de protoxyde de fer, qui se trouve en grains oolithiques vert foncé et qu'on a exploité comme minéral de fer. Un minéral semblable existe dans le Morbihan.

Le *fer phosphaté*, mélangé à beaucoup de minerais dont il altère la pureté, est rarement isolé. Il y en a plusieurs variétés dont la coloration est bleue ou verte.

337. Sulfures de fer. — Le fer forme avec le soufre plusieurs combinaisons. La plus commune est le bisulfure FeS^2 , substance dimorphe constituant deux espèces distinctes par leurs caractères minéralogiques, la *pyrite² jaune* et la *pyrite blanche*. Viennent ensuite une autre combinaison, la *pyrite magnétique*, $\text{FeS}^2 + 6 \text{FeS}$, et un arsenio-sulfure ou *fer arsenical*, $\text{FeS}^2 + \text{FeAs}^2$.

1. De l'allemand *spiegel*, miroir, et *eisen*, fer.

2. Les anciens désignaient sous le nom générique de *πυρίτης* différentes substances faisant feu au briquet, le silex pyromaque, la pyrite de fer, la pyrite de cuivre.

Pyrite jaune. — La pyrite jaune cristallise en cubes ou sous des formes dérivées ; elle a une couleur jaune bronze avec un éclat métallique très vif ; elle fait feu au briquet en dégageant une odeur sulfureuse. Elle est presque toujours cristalline et souvent cristallisée. C'est une substance très répandue dans les filons métallifères ; on la trouve aussi disséminée dans une foule de roches éruptives et sédimentaires, où elle résulte parfois de la réduction des sulfates.

On ne peut s'en servir comme minerai de fer. Mais comme elle contient une forte proportion de soufre, (54 0/0), c'est un véritable minerai de soufre.

La production totale du monde entier en pyrite de fer est de 560.000 tonnes pour l'année 1885. La France donne plus du quart de cette production, soit 165.000 tonnes, dont la majeure partie, qui provient de la mine de Sain-Bel (Rhône), est employée pour la fabrication de l'acide sulfurique. En Saxe et en Bohême, on calcine la pyrite en vase clos pour obtenir du soufre.

Pyrite blanche. — Ce minéral est d'un blanc jaunâtre et a un éclat métallique moins vif que le précédent. Il en diffère surtout par ses formes cristallines qui appartiennent au système du prisme droit rhomboïdal. On lui donne souvent le nom de *marcasite*, mot d'origine arabe.

La pyrite blanche a la propriété de s'effleurir et de se décomposer à l'air humide en se transformant en sulfate. On l'emploie pour la fabrication du sulfate de fer ou *couperose verte*¹.

Elle ne se trouve pas dans les mêmes gisements que la pyrite jaune. Elle est rare dans les filons et abonde surtout dans les terrains sédimentaires ; dans la craie par exemple, elle forme ces masses arrondies à structure fibreuse et radiée que l'on a prises quelquefois à tort pour des météorites ou des fulgurites.

Pyrite magnétique. — Cette substance, d'une coloration brun bronzé, à éclat métallique faible, est bien plus rare que les précédentes. Elle agit faiblement sur l'aiguille aimantée.

Fer arsenical. — Le fer arsenical, ou *mispickel*,² est un mi-

1. Du latin *cupri ros*, rosée ou eau de cuivre.

2. Du temps d'Agricola, minéralogiste allemand du XVI^e siècle, ce minéral s'appelait *mispuckel*.

néral d'un blanc d'étain, à éclat métallique vif, qui cristallise en prismes droits rhomboïdaux. Il se présente à l'état cristallin ou fibreux, plus souvent à l'état compact avec une texture finement grenue comme l'acier. Il est quelquefois mélangé aux pyrites de fer et sa présence est décelée par la couleur pâle que prend le mélange ainsi que par les vapeurs arsenicales que donne le choc du briquet.

Cette substance est assez fréquente dans certains filons, mais elle est rarement en masses considérables. Elle contient jusqu'à 44 0/0 d'arsenic ; c'est en réalité un minerai d'arsenic. On l'exploite surtout en Silésie, à Reichenstein.

4. MINERAI DE CHROME.

338. Fer chromé. — Le seul minerai de chrome est le *fer chromé*¹, combinaison d'acide chromique et de protoxyde de fer avec un peu d'alumine et de magnésie. Il est noir, à éclat semi-métallique, plus dur que le verre et cristallise en octaèdres réguliers. A sa surface se montrent parfois des enduits terreux verdâtres d'oxyde de chrome impur.

Le fer chromé se trouve à la Nouvelle-Calédonie, où on en a extrait, en 1884, 3.300 tonnes d'une teneur moyenne d'environ 50 0/0. Les minerais de fer associés aux serpentines, qui existent en divers points de cette colonie, contiennent une notable proportion de chrome (2 à 5 0/0). Les Etats-Unis produisent annuellement près de 2.000 tonnes de fer chromé à 90 francs.

Ce minerai est employé pour la préparation des chromates et pour la fabrication des aciers chromés, remarquables par la finesse de leur grain et leur résistance.

5. MINERAIS DE COBALT.

339. — Les minerais de cobalt consistent en arséniures et arséniosulfures, métalliques, éclatants, avec des caractères

¹ De *χρῶμα*, à cause des riches couleurs offertes par les oxydes de chrome.

spéciaux faciles à reconnaître, qui se décomposent fréquemment en cobalt arséniaté rose $Co^3 As^5 + 8 Ag$, dont la présence est souvent le meilleur indice pour signaler, dans certaines gangues ou certains minerais, la présence du métal, fût-il en très petite proportion.

Ces minerais ne sont pas abondants ; ils sont très recherchés pour la préparation des couleurs employées en céramique et atteignent des prix élevés. Le *smalt*¹ ou *bleu d'azur*, que l'on fabrique en Suède, en Saxe, en Prusse, est un silicate de potasse, de cobalt et d'alumine qui, suivant sa nuance, vaut de 0 fr. 60 à 4 fr. le kilogramme.

Pendant longtemps, les gîtes de Tunaberg en Suède et de Schneeberg en Saxe ont seuls fourni les minerais de cobalt ; mais depuis une quarantaine d'années ceux de Siegen et de Riechelsdorf, et plus récemment ceux de la Nouvelle-Calédonie, ont pris rang dans la production.

340. Arséniure et arséniosulfure de cobalt. — Le *cobalt arsenical* $CoAs^2$, ou *smaltine*, se montre en cristaux cubiques ou en masses cristallines compactes d'un gris d'acier ou d'un blanc d'étain. C'est une substance accidentelle dans quelques gîtes métallifères et notamment dans ceux de cuivre pyriteux et d'argent sulfuré.

Le *cobalt gris* ou *cobaltine*, $CoAs^2 + CoS^2$, est un arséniosulfure qui se présente également en cristaux du système cubique ou en masses compactes, mais qui se distingue du cobalt arsenical par son vif éclat et la netteté des arêtes de ses cristaux. Quand il est compact, il est souvent mélangé de fer arsenical.

C'est surtout à Tunaberg qu'on exploite ce minerai, qui fournit aux principales consommations. Il y forme des filons ou de petits amas dans le gneiss.

6. MINÉRAIS DE NICKEL.

341. — Les minerais de nickel sont souvent réunis avec

1. De l'italien *smalto*, émail.

ceux de cobalt dans les mêmes gîtes ; toutefois ils sont plus abondants et ont moins de valeur. Ils ne se trouvent pas seulement comme eux à l'état d'arséniure et d'arséniosulfure, mais aussi de sulfure et surtout d'hydrosilicate.

L'exploitation de ces minerais s'est développée notablement depuis plusieurs années en raison de l'emploi de plus en plus considérable que l'on fait du nickel pour la préparation de divers alliages, pour la fabrication de la monnaie de billon en Allemagne, en Belgique, en Suisse, pour le nickelage, etc. En 1884, on a produit environ 1.000 tonnes de nickel, d'une valeur de 8 à 10 fr. le kilogramme ; la plus grande partie a été fabriquée à l'aide de minerais de la Nouvelle-Calédonie.

342. Arséniure et sulfure de nickel.—Le *nickel arsenical* $NiAs$ se présente presque toujours en masses compactes d'un rouge de cuivre, d'où le nom de *kupfernickel* ou *nickel cuivreux* qu'on lui a donné. Il est fréquemment associé aux minerais de cobalt ; quelques variétés sont mélangées de sulfure de fer ou de sulfure d'antimoine. On le rencontre en France à Allemont, en Saxe, dans le Cornouailles.

Le *nickel sulfuré* NiS , d'une couleur jaune bronze, et le *nickel gris* ou arséniosulfure $NiSAs$, d'une couleur gris d'acier tirant quelquefois sur le blanc d'étain avec l'éclat métallique, sont plus rares que le précédent.

A la surface des minerais arséniurés de nickel, on observe très souvent un enduit pulvérulent, d'une couleur vert pomme caractéristique, qui devient un indice de leur nature. C'est du *nickel arséniaté* $NiAs^5 + 8Aq$.

La *pyrite nickelifère* est de la pyrite ordinaire contenant une certaine proportion de nickel (de 1 à 11 0/0) en même temps qu'un peu de cobalt. C'est un des minerais les plus importants ; on l'exploite surtout dans le Piémont, en Suède, en Styrie.

343. Hydrosilicate de nickel.—Notre colonie de la Nouvelle-Calédonie renferme des masses importantes d'un hydrosilicate de nickel et de magnésie, auquel on a donné le nom

de *garniérîte*¹ ; c'est une substance onctueuse au toucher, très tendre, d'un vert émeraude ou vert pomme plus ou moins foncé, qui est associée à la serpentine. Sa composition est très variable, car elle peut contenir de 1 à 32 0/0 de nickel. La découverte de ce minerai a profondément modifié la métallurgie du nickel.

7. MINÉRAIS DE ZINC.

344. — La Prusse et la Belgique fournissent ensemble près des deux tiers de la production totale du zinc qui est annuellement de 314.000 tonnes, représentant une valeur d'environ 13.250.000 fr. à raison de 39 fr. la tonne. En France, on ne fabrique pas plus de 16.900 tonnes de ce métal.

345. Calamine. — Le principal minerai est la *calamine*², carbonate de zinc $Zn C^2$, de couleur blanc grisâtre, jaunâtre ou verdâtre, à aspect pierreux, qui cristallise en rhomboèdres dont les angles sont souvent émoussés et arrondis et qui a trois clivages parallèles aux faces du rhomboèdre primitif.

On l'exploite dans des amas ou des filons en un grand nombre de points et notamment à la Vieille-Montagne (Belgique), dans la Prusse rhénane, en Silésie et dans la province de Santander (Espagne). Dans ces gîtes elle se présente à l'état compact, concrétionné, terreux ; elle y est souvent mélangée d'oxydes de fer. On ne traite pas les calamines contenant moins de 20 0/0 de zinc.

La calamine, surtout celle de Silésie, contient quelquefois un peu d'oxyde de cadmium.

Zinc silicaté. — Ce minéral, dont la formule est $2 Zn Si + 2 Ag$, est quelquefois mélangé à la calamine. Quand il est cristallisé ou cristallin, comme sa forme dérive du prisme droit rhomboidal, il s'en distingue aisément ; mais il n'en est plus de même quand il est concrétionné ou compact. La distinction est cependant importante, car, comme il ne se réduit pas dans

1. Du nom de M. Garnier, qui l'a signalé le premier.

2. *Lapis calaminaria* d'Agricola.

les cornues des fours, il n'a aucune valeur. Il faut alors recourir à un petit essai chimique, d'ailleurs très simple.

346. Blende. — La *blende*¹, ou *zinc sulfuré* $Zn S$, est le minéral le plus important après la calamine, mais il est bien moins estimé que ce dernier. Jusqu'en 1840, on le négligeait, à cause des difficultés du traitement métallurgique, et on le rejetait dans les déblais des exploitations de galène où il se trouve presque constamment. Actuellement il joue un rôle très appréciable dans la production du zinc. On l'extrait surtout en Belgique, dans la Prusse rhénane, en Angleterre, en Suède. En France on l'exploite dans l'Ille-et-Vilaine, l'Ariège, le Gard.

La blende, quand elle est pure, est jaune de miel, jaune clair ou jaune rougeâtre, transparente; quand elle est mélangée à d'autres sulfures, elle prend une coloration plus foncée. Elle raye la calcite; elle cristallise dans le système cubique et elle a six clivages qui conduisent au dodécaèdre rhomboïdal. Elle est infusible au chalumeau; elle se grille et se réduit difficilement. Elle renferme presque toujours du sulfure de fer dont la proportion peut atteindre 20 0/0. Elle est rarement bien cristallisée; les variétés les plus communes sont lamellaires et grenues. On la trouve aussi à l'état compact et concrétionné.

8. MINÉRAI DE TUNGSTÈNE.

347. Wolfram. — Le tungstène forme avec le fer et le manganèse un tungstate ($Fe Mn$) W^3 connu sous le nom de *wolfram*². Ce minéral est noir métallique, à éclat faible; sa densité est de 7,20; il est rayé par l'orthose. Il se présente le plus fréquemment en masses lamelleuses, miroitantes; mais aussi en cristaux du système clinorhombique.

Il accompagne souvent le minéral d'étain. On l'exploite à Puy-les-Vignes (Haute-Vienne) et en 1884 on en a extrait

1. D'un vieux mot allemand qui signifie *trompeur*, parce qu'on la confondait souvent autrefois avec la galène.

2. Mot allemand qui signifie *écume de loup*.

une dizaine de tonnes, d'une valeur totale de 12.000 francs. C'est dans l'Erzgebirge qu'on trouve le minerai le plus pur.

L'addition de 1 à 4 0/0 de wolfram à la fonte et à l'acier augmente notablement leur dureté et leur résistance à la rupture.

9. MINÉRAIS DE MOLYBDÈNE.

348. Molybdénite. — Le seul minerai de molybdène est la *molybdénite*, ou *molybdène sulfuré*, Mo S_2 , substance d'un gris de plomb, à éclat métallique faible, dont la dureté est celle du gypse et qui laisse sur le papier une trace d'un gris métallique et sur la porcelaine une trace gris verdâtre; ce qui permet de la distinguer de celle du graphite qui reste gris de plomb. Elle est presque toujours à l'état lamelleux; les lames sont quelquefois assez régulières et peuvent prendre la forme de tables hexagonales.

La molybdénite se trouve en paillettes dans le quartz ou en petits nodules dans des filons quartzeux, notamment au Mont-Blanc. Elle est quelquefois accompagnée d'*acide molybdique* sous forme d'une poussière jaunâtre provenant évidemment de l'oxydation du sulfure.

10. MINÉRAI D'ÉTAIN.

349. — L'étain est l'un des métaux les plus usuels et c'est celui dont le prix s'est le mieux maintenu; il vaut encore actuellement plus de 2.400 fr. la tonne et on n'en produit pas annuellement plus de 37.000 tonnes, dont la plus grande partie provient de minerais des Indes. Il sert à la soudure, à l'étamage, à la fabrication des bronzes, des fers blancs, de la poterie, etc., et si son prix n'était pas aussi élevé, il aurait des débouchés encore plus nombreux.

350. Etain oxydé. — Il n'y a qu'un seul minerai d'étain, l'*étain oxydé*, appelé aussi *cassitérite*¹. Il est brun, d'aspect un

1. Du nom grec de ce métal, *κασσίτερος*.

peu résineux, d'une dureté égale à celle du quartz ; il cristallise en prismes carrés pyramidés, ordinairement mâclés suivant les faces des pyramides, d'où résultent deux sortes d'angles rentrants qu'on désigne sous la dénomination de *becs* ou *genoux* d'étain. Il existe aussi en concrétions arrondies, quelquefois fibreuses, d'un aspect ligneux, qu'on appelle *étain de bois*.

Dans les Cornouailles et en Bohême, la cassitérite se trouve dans des filons où elle est mélangée de pyrites et surtout de mispickel. En France, elle a été reconnue à Pyriac près de Nantes et à la Villeder dans le Morbihan, mais avec moins d'abondance.

Dans les Indes, à Malacca et à Banca, l'oxyde d'étain est disséminé dans des sables provenant de la désagrégation de filons stannifères. Le métal qu'on en extrait porte le nom d'*étain d'alluvion* ; il est beaucoup plus pur que l'étain des filons ou *étain de roche*, parce que l'action des eaux a isolé la cassitérite de tout minéral étranger et notamment de tout sulfure métallique.

41. MINÉRAIS D'ANTIMOINE.

351. — L'antimoine est un métal blanc d'étain, aigre, cassant, tantôt lamelleux, tantôt plus ou moins grenu, qui ne se rencontre qu'accidentellement dans plusieurs mines, notamment à Allemont en Dauphiné.

Le principal emploi de l'antimoine est la fabrication des caractères d'imprimerie et la préparation de certains alliages d'étain qu'il rend plus brillants et plus durs. Ce métal vaut de 700 à 1.000 fr. la tonne et on n'en produit pas annuellement plus de 820 tonnes, dont une centaine en France.

352. Antimoine sulfuré. — Le minéral d'antimoine le plus répandu est l'*antimoine sulfuré* Sb^2S^3 , minéral gris bleuâtre, à éclat métallique vif, se ternissant par une longue exposition à l'air, qui se présente en masses bacillaires ou en longs cristaux prismatiques striés du système orthorhombique. Il est fusible à la flamme d'une bougie et se grille facile-

ment au chalumeau en émettant des vapeurs jaunes d'oxyde.

L'antimoine sulfuré existe à l'état compact ou grenu. On pourrait alors le confondre avec la galène s'il n'était moins dur et s'il n'avait une couleur plus bleuâtre.

Les filons antimonifères sont en général des filons spéciaux dans lesquels on ne trouve guère que ce minerai. On y rencontre quelques substances accidentelles consistant en sulfure d'antimoine combiné avec des sulfures de plomb et de fer, ou en oxydes jaunâtres qui paraissent résulter de la décomposition des sulfures. Dans la province de Constantine, on a découvert des gites considérables d'*antimoine oxydé* que l'on exploite actuellement comme minerai.

L'*antimoine sulfuré* est exploité en Corse, dans le Cantal, la Haute-Loire, en Hongrie, en Toscane, en Australie.

12. MINÉRAIS DE CUIVRE.

353. — Les espèces minérales à base de cuivre sont nombreuses, et bien que plusieurs d'entre elles ne soient que des substances accidentelles, il n'y a pas de métal dont les minerais soient aussi variés.

Les minerais les plus importants sont les sulfures et notamment la *pyrite de cuivre* qui, à elle seule, fournit plus des deux tiers du métal fabriqué. Viennent ensuite le cuivre natif, les minerais oxydés et le chlorure de cuivre.

Voici comment on peut évaluer la production du cuivre, en nombres ronds, pour l'année 1884 :

États-Unis.....	65,800 tonnes
Angleterre.....	58,700 —
Chili.....	37,200 —
Espagne.....	32,200 —
Prusse.....	17,000 —
Australie.....	12,500 —
Autres pays....	34,600 —
Total...	258,000 tonnes

Le prix du cuivre a beaucoup baissé dans ces dernières années; il n'est pas actuellement de plus de 1.000 francs la tonne.

354. Cuivre natif. — Le cuivre natif est rouge, très ductile, malléable, et a une densité de 8,60. Il cristallise accidentellement en petits cristaux du système cubique, qui se groupent en concrétions ou en masses ramuleuses ; il forme aussi des lames d'épaisseur variable. On le rencontre sous ces divers aspects dans presque tous les gîtes cuivreux d'une certaine richesse, surtout dans les parties rapprochées de la surface où les minerais sulfurés se sont décomposés.

Pendant longtemps on l'a considéré comme une substance relativement rare. La découverte des gisements célèbres du Lac Supérieur (Canada) a montré que cette espèce minérale est bien plus abondante dans la nature qu'on ne le croyait. Là il remplit dans des roches trappéennes des cavités ou des fissures irrégulières, dont les points de départ paraissent être de véritables filons qui traversent des terrains stratifiés. On a d'ailleurs retrouvé quelques-uns de ces filons, où le cuivre est accidentellement argentifère et acquiert ainsi une valeur plus considérable.

En Bolivie, il existe aussi du cuivre natif disséminé dans des grès qui, après avoir subi une préparation mécanique, donnent le minerai sableux vendu sous le nom de *minerai de Corocoro*, du nom du gisement principal. La teneur de ce minerai varie de 60 à 90 0/0.

355. Minerais sulfurés. — Les minerais sulfurés sont parfois assez complexes ; nous ne décrivons que les principaux.

Cuivre sulfuré, Cu^2S . — Ce sulfure, d'un noir violacé, assez tendre pour se laisser couper au couteau, est fusible à la flamme d'une bougie. Il est le plus souvent amorphe et mélangé à des sulfures de fer ; il cristallise quelquefois en prismes hexagonaux réguliers. C'est une substance accidentelle des gîtes de cuivre pyriteux ; cependant dans les mines de l'Oural il donne lieu à des exploitations particulières.

Cuivre panaché, $2\text{Cu}^2\text{S} + \text{FeS}$, ou *phillipsite*¹. — Ce minéral se distingue du précédent par sa couleur violacée, quelquefois irisée, par son éclat semi-métallique et par sa nature

1. Du nom du minéralogiste anglais Phillips.

aigre et cassante. C'est un sulfure double de cuivre et de fer contenant en moyenne 38 0/0 de cuivre. Il ne se trouve avec une certaine abondance qu'à Monte-Catini (Toscane), dans un filon à gangue de stéatite, et en Sibérie, où il a l'importance d'un véritable minerai.

Cuivre pyriteux $\text{Cu S} + \text{Fe S}$ ou *chalkopyrite* ¹. — C'est le minerai le plus répandu ; il est d'un jaune d'or foncé, à reflets parfois verdâtres, très souvent irisés. Il cristallise en tétraèdres dérivés du prisme droit à base carrée, fréquemment maclés, mais on le rencontre surtout à l'état concrétionné ou en grandes masses compactes. On ne pourrait le confondre qu'avec la pyrite de fer, qui a à peu près la même couleur, mais qui s'en distingue parce qu'elle est plus dure et qu'elle fait feu au briquet.

Le cuivre pyriteux contient environ 30 0/0 de cuivre. Il se trouve dans un grand nombre de filons et de gîtes irréguliers, associé à des gangues très diverses dont les plus ordinaires sont le quartz et la calcite, au milieu desquelles il est disséminé en particules, veinules, nodules ou amas. Presque toujours il est mélangé intimement de pyrite de fer qui diminue notablement sa valeur.

Les minerais pyriteux, tels qu'ils sortent de la mine, sont en général accompagnés d'une forte proportion de gangue. Ainsi dans le Cornouailles, ils ne renferment pas plus de 1 à 2 0/0 de cuivre ; par le triage et le lavage on les amène au titre de 7 à 8 0/0, mais ce sont néanmoins encore des minerais pauvres. On dit qu'ils ont une teneur moyenne, quand la proportion de cuivre s'élève à 10 ou 12 0/0 et qu'ils sont riches, quand cette proportion atteint 25 à 30 0/0.

En France les gîtes de cuivre pyriteux sont assez nombreux, mais malheureusement à peu près inexploitable. C'est en Norvège (Röraas, Kaaford), en Suède (Fahlun, Aatvidaberg), en Allemagne (Hartz, Freyberg), en Espagne (Rio-Tinto, Huelva) que sont les gîtes les plus considérables d'Europe; il en existe également de très importants dans les États-Unis, le Mexique, la Colombie et surtout le Chili. Dans presque tous ces gise-

1. De χαλκος, cuivre.

ments, le cuivre pyriteux est accompagné d'autres sulfures de cuivre.

Cuivres gris. — Les cuivres gris, ainsi nommés à cause de leur couleur gris d'acier, ont une composition très variable. Ce sont des sulfures de cuivre, de fer, d'antimoine, d'arsenic, d'argent et même de zinc, dans lesquels ces métaux peuvent se substituer isomorphiquement les uns aux autres. Ils cristallisent en tétraèdres ; ils sont aigres et assez fragiles.

Les cuivres gris sont assez fréquents, mais rarement assez abondants pour constituer des gîtes exploitables. Au cap Mouzaïa (Algérie), il y a cependant un groupe de filons ne contenant que du cuivre gris comme minéral.

Ces minerais sont d'un traitement métallurgique difficile et on ne les traite guère que quand ils contiennent une proportion notable d'argent.

356. Minerais oxydés. — *Oxydule de cuivre* Cu_2^1 . — De petits cristaux de ce minéral, de couleur rouge brun foncé, étaient autrefois très abondants dans la mine de Chessy, près de Lyon. On trouve cette substance en veines ou en petits amas peu importants dans plusieurs gisements de cuivre. En Sibérie et au Lac Supérieur elle forme des masses assez considérables qui donnent du métal d'excellente qualité.

Cuivres carbonatés. — Le cuivre uni à l'acide carbonique forme deux combinaisons : l'*azurite*, ou *cuivre carbonaté bleu*, $2 \text{Cu C}^2 + \text{Cu Aq}$, et la *malachite*,¹ ou *cuivre carbonaté vert*, $2 \text{Cu C} + \text{Aq}$.

Le premier, qui se trouve surtout à l'état concrétionné, plus rarement en cristaux, est subordonné aux filons renfermant d'autres minerais de cuivre.

Le second, beaucoup plus fréquent, est remarquable par sa couleur vert émeraude, présentant souvent dans le même échantillon des nuances diverses ; il est également concrétionné et subordonné aux autres minerais. Les plus beaux morceaux de malachite viennent des monts Ourals ; on les recherche pour en faire des objets d'ornement, tables, vases, socles, etc.

1. De *μαλαχνη*, mauve.

Les morceaux sont généralement petits; ceux qui sont assez volumineux pour être taillés en plaques d'une certaine dimension sont relativement rares, ce qui leur donne un prix élevé.

Comme minerais exploitables, on trouve les carbonates en Sibérie, en Californie, dans l'Amérique du Sud, sur les côtes d'Afrique.

Cuivre hydrosilicaté, $Cu Si^3 + Aq$. — L'hydrosilicate de cuivre, de coloration vert bleuâtre ou vert jaunâtre, est le plus souvent mélangé à d'autres minerais de cuivre de manière à former des masses concrétionnées, amorphes, à cassure résineuse. On les rencontre dans beaucoup de gisements de l'Oural, du Chili, du Lac Supérieur. Il est facile de les distinguer de la malachite, parce qu'ils se dissolvent sans effervescence dans l'acide nitrique en laissant un résidu siliceux.

Citons encore le *cuivre phosphaté*, $Cu^i Ph^3 + Aq$, substance vert foncé, concrétionnée, qui ne s'est trouvée en quantité considérable que dans un filon à Rheinbreitbach, sur la rive gauche du Rhin, où on l'a exploitée, et le *cuivre arséniaté*, dont on distingue jusqu'à cinq espèces, distinctes par leur cristallisation, leur composition et leur coloration d'un vert différent.

357. Cuivre chloruré $CuCl + 3Cu + 4Aq$. — Le cuivre chloruré figure parmi les minerais verts expédiés de la côte du Chili. Sa couleur pourrait le faire confondre avec la malachite, s'il n'avait une tendance marquée à prendre la structure radiale; un essai à l'acide léverait d'ailleurs toute incertitude.

13. MINÉRAIS DE PLOMB.

358. — Les minéraux à base de plomb sont assez variés. Les plus importants sont des minerais sulfurés, tels que le sulfure de plomb, ou *galène*, et la *bourbonite*, sulfure triple de plomb, de cuivre et d'antimoine; puis, parmi les minéraux oxydés, le plomb carbonaté, le plomb sulfaté, le plomb phosphaté, le plomb chromaté, le plomb molybdaté. Ajoutons que le plomb a été rencontré à l'état natif au Mexique et en Suède; mais il est très rare.

De tous ces minéraux, la galène est de beaucoup le plus fréquent et c'est surtout celui qu'on traite dans la métallurgie. Le plomb carbonaté ne peut être avantageusement exploité que dans un petit nombre de gîtes; les plombs sulfaté et phosphaté ne servent de minerais que dans des cas exceptionnels.

La production du plomb en 1884 a atteint 452.000 tonnes d'une valeur moyenne de 280 fr. C'est en Espagne, aux États-Unis et en Prusse qu'elle est la plus forte. En France, elle n'est que de 6.400 tonnes.

359. Galène. — La *galène*¹ PbS a une couleur gris bleuâtre éclatante, celle du plomb fraîchement coupé; sa densité est de 7,5, sa dureté de 2 1/2. Elle fond au chalumeau après un grillage qui donne des vapeurs sulfureuses et laisse un bouton métallique de plomb.

Elle cristallise dans le système cubique en cubes, octaèdres ou cubo-octaèdres et présente trois clivages égaux rectangulaires. Ces cristaux, qui se trouvent dans les géodes des filons, sont à peu près chimiquement purs; ils contiennent 85 à 86 0/0 de plomb, 13 de soufre, avec une petite quantité de fer, de zinc, d'antimoine, parfois de sélénium et d'argent. Les galènes non cristallisées, mais à clivages nets et éclatants, sont à peu près aussi pures.

Il est à remarquer que lorsque les clivages sont ondulés et comme chagrinés, ce qui est fréquent, la substance perd de sa pureté et se charge d'une assez forte proportion des matières étrangères ci-dessus énumérées. A mesure que les clivages deviennent de plus en plus courts et entrecroisés, cette proportion augmente; de telle sorte que, quand la galène devient grenue, sans clivages, moins éclatante, qu'elle prend une texture dite *grain d'acier*, ces matières étrangères sont assez abondantes pour que la teneur en plomb ne soit plus que de 60 et même 50 0/0.

Les galènes sont toujours argentifères; la proportion d'argent y varie de 0,01 à 1 0/0. Elles sont riches quand elles en contiennent plus de 0,1; pauvres à 0,02; au-dessous de ce chiffre on ne les traite pas pour argent.

1. *Galena*, nom usité dans Pline.

Les galènes grenues étant les moins pures, plusieurs personnes croient qu'une galène est d'autant plus riche en argent qu'elle est plus grenue. Cela est vrai dans bien des cas, mais il y a de nombreuses exceptions, et le seul moyen de constater la richesse est de faire un dosage sommaire en attaquant la substance par l'acide nitrique et précipitant le métal précieux à l'état de chlorure d'argent.

Outre son emploi dans la métallurgie, la galène pure à grands clivages se vend sous le nom d'*alquifoux*¹ pour le vernissage des poteries.

Gisements de galène. — La galène forme des filons réguliers auxquels on a donné en géologie le nom de *filons plombifères*. Ils sont généralement bien réglés, c'est-à-dire qu'ils se poursuivent en ligne droite, conservant une puissance assez constante sur des étendues considérables, avec une structure rubannée ; ils sont formés de bandes alternatives de galène et de gangues pierreuses de calcaire, quartz, barytine, fluorine, etc. La blende se rencontre très souvent associée à la galène dans ces filons qui, pour la plupart, traversent des terrains schisteux.

On trouve également la galène en rameaux irréguliers pénétrant les roches cristallines, ou bien en nodules, ou encore à l'état de dissémination dans des grès et des calcaires.

Les gîtes de galène sont fréquents en France, mais ils ne sont exploités qu'en un assez petit nombre de points, à Pontgibaud (Puy-de-Dôme), à Vienne en Dauphiné, à Villefort et Vialas (Lozère), à Poullaouen et Huelgoat (Finistère). Ils sont abondants dans une foule d'autres pays, l'Angleterre, la Belgique, la Prusse, le Hartz, la Bohême, la Hongrie, l'Espagne, la Sardaigne, les Etats-Unis d'Amérique, etc.

360. Bournonite. — La galène, en se chargeant de quantités croissantes d'autres sulfures, passe à d'autres espèces minérales, parmi lesquelles la *bournonite*² est seule bien définie et a pour formule $PbS + CuS + SbS$. C'est un minéral

1. Mot d'origine arabe.

2. Dédiée au minéralogiste de Bournon.

gris noirâtre, un peu plus dur que la galène et qui cristallise en prismes droits rhomboïdaux sans clivages. La netteté de ses cristaux lui donne de l'intérêt au point de vue minéralogique.

On trouve la bournonite dans les gisements de galène ; mais elle constitue aussi des gîtes et des filons spéciaux. On peut l'employer comme minerai de plomb et de cuivre ; toutefois la difficulté de son traitement métallurgique diminue beaucoup sa valeur industrielle.

361. Minerais oxydés. — Le *plomb carbonaté* $PbCO_2$, ou *plomb blanc*, est une substance fragile, blanche, qui se montre comme minéral accidentel sur les affleurements des filons de galène, mais qui forme aussi quelques gîtes spéciaux exploités en Espagne et aux Etats-Unis.

Les autres minerais oxydés, *plomb sulfaté* $PbSO_4$, *plomb phosphaté* $3 Pb^3 Pb^3$, *plomb chromaté* $PbCrO_3$, *plomb molybdaté* $PbMoO_3$, ne sont pas très communs.

14. MINÉRAIS DE BISMUTH.

362. — Le bismuth se rencontre généralement à l'état natif. C'est un métal aigre et cassant, blanc d'étain, lamelleux, dont la densité, quand il est pur, est de 9. Il cristallise sous la forme d'un rhomboèdre dont l'angle, très-voisin de 90° , le fait ressembler au cube. Il est remarquablement thermo-électrique, ce qui l'a fait employer dans la construction des piles. Il est fusible à la flamme d'une bougie ; aussi, à cause de cette grande fusibilité, on l'utilise pour la fabrication de certains alliages.

Le bismuth natif est presque toujours combiné à une plus ou moins forte proportion d'arsenic. Le bismuth du commerce en conserve toujours un peu et on ne peut l'en débarrasser complètement que par des grillages prolongés.

Il se trouve comme substance annexe dans des gîtes d'autres métaux, notamment de cobalt, de nickel, de plomb, en Saxe, en Bohême, en Suède. A Schneeberg il est en veines dans un jaspe rouge qu'on polit pour plaques d'ornement.

Le bismuth est plus rarement à l'état de sulfure, mélangé à d'autres sulfures métalliques. A Meymac (Corrèze), M. Carnot a découvert en 1873 un gisement de *bismuth hydrocarbonaté* mélangé de bismuth natif, de wolfram, de plomb carbonaté, de mispickel, etc.

15. MINÉRAIS D'URANE.

363. — Les minéraux de l'urane, qui ne se présentent qu'accidentellement dans certains gîtes, n'ont qu'une importance très secondaire. Ils ne servent guère qu'à la fabrication des sels d'urane, dont on a besoin dans les laboratoires ou dans l'industrie pour la coloration des verres et la peinture sur porcelaine.

Le minéral le moins rare est l'*urane oxydulé* ou *pechblende*¹, minéral noir, à éclat plutôt résineux que métallique, qu'on trouve principalement en Saxe et en Bohême. L'*urane phosphaté* ou *uranite*, remarquable par sa belle couleur jaune clair ou jaune verdâtre et ses beaux cristaux dérivés du cube, est beaucoup plus rare.

16. MINÉRAIS DE MERCURE.

364. Cinabre. — Le seul minéral de mercure assez abondant pour être exploité est le *cinabre*², sulfure de mercure HgS, d'une densité égale à 8, d'une couleur rouge cochenille ou rouge écarlate, facile à entamer au couteau. Il se présente habituellement à l'état saccharoïde ou compact ; ses cristaux, de forme rhomboédrique ou hexagonale, sont rares.

Les exploitations les plus importantes d'Europe sont celle d'Almaden en Espagne, qui produit annuellement 1.670 tonnes de mercure et celle d'Idria en Carniole, qui en donne 500 tonnes. Dans le premier gisement, le cinabre imprègne des cou-

1. Ce mot fait allusion à la coloration noir de poix (*pech* en allemand) du minéral et à sa ressemblance avec la blende.

2. *Κινναβρις*, nom usité déjà du temps de Théophraste, auteur d'un traité des *Pierres*.

ches de quartzite intercalées dans des schistes anciens, en proportions très variables qui correspondent en moyenne à 10 ou 12 0/0 de mercure. A Idria, il est disséminé dans des argiles bitumineuses de l'ère secondaire. En raison du prix élevé du métal, on peut traiter avec profit des minerais ne contenant pas plus de 2 0/0.

On exploite également le cinabre dans d'autres régions, mais ce n'est qu'en Californie qu'on a trouvé un gisement comparable à celui d'Almaden, qui est unique en Europe sous le rapport de la richesse. La production annuelle de la Californie est de 1.100 tonnes de mercure.

Le cinabre est employé comme couleur sous le nom de *vermillon*. Le mercure qu'on en retire sert au traitement métallurgique des minerais d'or et d'argent et à l'étamage des glaces. Chaque kilogramme d'argent obtenu par amalgamation détermine une perte d'environ un kilogramme de mercure, de sorte que la production des deux métaux est solidaire et que le prix du dernier réagit d'une manière sensible sur la production de l'autre. Actuellement le mercure vaut en moyenne 4 fr. 40 le kilogramme; l'année 1884 en a donné 3.430 tonnes.

Mercure natif. — Dans presque tous les gîtes de cinabre on a trouvé du mercure natif en gouttelettes. Souvent, quand on perce des trous de mine, ces gouttelettes se rassemblent au fond et on peut en recueillir des quantités notables.

17. MINÉRAIS D'ARGENT.

365. — Les minerais d'argent forment une série assez complexe dans laquelle on peut introduire trois divisions :

1° Les minerais, généralement blancs, qui ont pour base l'argent natif, pur, ou allié à d'autres métaux, arsenic, antimoine, mercure ;

2° Les minerais sulfurés, d'apparence métallique, de coloration foncée, auxquels on donne dans l'Amérique du Sud le nom de minerais noirs, *negros* ;

3° Les minerais jaunes ou rougeâtres, composés essentiellement de chlorure, bromure ou iodure d'argent imprégnant des oxydes de fer et qu'on appelle *pacos* ou *colorados*.

A cette série il convient d'ajouter des minerais d'autres métaux dans lesquels l'argent se trouve accessoirement en assez forte proportion pour en être avantageusement extrait par un traitement métallurgique spécial. Tels sont la galène quand elle contient plus de 20 0/0 de plomb et plus de 100 gr. d'argent par tonne ; la pyrite de cuivre, lorsque sa teneur en cuivre dépasse 1 0/0 et sa teneur en argent 500 gr. par tonne ; la blende argentifère à plus de 25 0/0 de zinc ; la pyrite de fer argentifère à plus de 25 0/0 de soufre ; les minerais complexes, mélanges des précédents, etc.

La production de l'argent est en quelque sorte un monopole de l'Amérique qui en a fourni en 1884 les quantités suivantes :

Etats-Unis.....	1.173.800	kilog.
Mexique.....	711.300	—
Amérique du Sud.....	541.400	—
	<hr/>	
	2.426.500	kilog.

Les mines du continent européen ne produisent guère que 487.000 kilogrammes, dont plus de la moitié est obtenue par le traitement des plombs argentifères. La part de la France dans ce chiffre est de 52.680 kilogrammes.

Si l'on ajoute à ces quantités celles qui sont produites par l'Autriche, la Nouvelle-Zélande, le Japon, on arrive à un total pour le monde entier de 2.916.000 kilogrammes, représentant une valeur de 614.900.000 francs.

366. Argent natif ou allié. — L'*argent natif*, généralement terni à la surface, a pris une couleur gris jaunâtre ou noirâtre, mais dans les coupures fraîches on reconnaît la couleur blanche et l'éclat caractéristiques du métal. Sa dureté est de 2 1/2 ; sa densité est de 10,5. Il cristallise dans le système cubique en octaèdres ou en cubes ; ses cristaux ont une tendance à se grouper en rameaux ou *dendrites*,¹ et il est sous cette forme d'une pureté à peu près absolue.

L'argent natif se trouve également en filaments contournés

1. Du grec *δενδρον*, arbre.

et étirés, en plaques, en morceaux informes dont le poids peut dépasser plusieurs kilogrammes. Il est alors moins pur et renferme de 5 à 10 0/0 d'antimoine, arsenic et fer.

Ce minéral forme rarement à lui seul des gîtes indépendants; il accompagne les autres minerais, notamment le chlorure et le sulfure, et paraît résulter de leur décomposition. Les filons de Kongsberg en Norvège et de la Cordillère du Chili sont ceux qui le fournissent avec le plus d'abondance; il a comme gangues la calcite et la barytine.

L'argent amalgamé, Ag Hg, est assez abondant à Arqueros (Chili) pour être exploité; il diffère peu de l'argent natif dont il a toutes les apparences.

L'argent antimonial a une composition variable, la proportion d'argent y oscillant entre 72 et 84 0/0; sa composition moyenne se rapproche de la formule Ag^3Sb . Il est blanc, lamelleux. Assez rare à l'état de pureté, il est souvent mélangé aux minerais d'argent natif.

L'argent arsenical est presque toujours mélangé d'une forte proportion de pyrite de fer; aussi il contient rarement plus de 12 à 14 0/0 d'argent. On le trouve en assez grande abondance dans les filons de Guadalcanal en Espagne.

367. Sulfures d'argent. — *L'argent noir* Ag_2S , qui a une coloration généralement noire, est un des minerais les plus répandus après la pyrite de cuivre. Il se coupe facilement au couteau et fond à la flamme d'une bougie. Il cristallise en cubes ou octaèdres réguliers; mais il se présente plus souvent en morceaux amorphes et quelquefois en masses lamelleuses. On le trouve dans des filons en Saxe, Bohême, Hongrie, au Mexique, au Pérou, au Chili, etc. Il est fréquemment mélangé de sulfures de fer, d'antimoine, de cuivre; de ces mélanges se dégagent quelquefois des sulfures à proportions définies.

L'argent rouge, ou *argent antimonie sulfuré*, $3\text{Ag}_2\text{S} + \text{Sb}_2\text{S}_3$, est une substance noire avec reflets rougeâtres, rouge sombre dans quelques variétés. Sa poussière est dans tous les cas d'un rouge sanguin caractéristique. C'est le minéral normal d'un assez grand nombre de filons, notamment à Andreasberg (Hartz) et à Freyberg (Saxe), mais surtout aux environs de

Guanaxuato au Mexique, où il se trouve en petites veines présentant des cristaux du système rhomboédrique. L'antimoine y est quelquefois remplacé par l'arsenic ; sa couleur est alors plus rouge.

368. Argent chloruré, brômuré, ioduré. — L'*argent chloruré* Ag Cl^2 est un minéral d'un aspect cireux et le plus souvent d'un gris de perle, qui se laisse couper au couteau comme de la cire et qui fond à la flamme d'une bougie ; on l'appelle aussi *argent corné*. Cette substance, qu'on regardait autrefois comme très rare, forme un des minerais les plus riches du Chili, du Pérou et du Mexique, où il est associé avec l'argent natif. Il abonde surtout dans les minerais de fer hydratés et c'est au milieu de ces minerais qu'il a été rencontré à la mine de plomb argentifère d'Huelgoat en Bretagne.

L'*argent brômuré* Ag Br et l'*argent ioduré* $\text{Ag}^2 \text{I}$ sont assez souvent associés au chlorure. Ils ont des caractères peu différents de ceux de ce dernier, à l'exception de la couleur qui est vert clair pour le premier et jaune de soufre ou jaune citron pour le second.

48. MINÉRAIS DE PLATINE.

369. Platine natif. — Le platine, dont le nom signifie *petit argent*¹, est un métal d'un gris d'acier tirant sur le blanc d'argent, qui est rayé par le fer, mais raye tous les autres métaux natifs. Il est malléable, ductile, très tenace et ne fond qu'au feu du chalumeau oxydrique.

Il se rencontre en grains ou en pépites disséminés dans des alluvions analogues à celles qui fournissent l'or. Son gisement paraît être la serpentine ; c'est au moins dans cette roche qu'il a été signalé dans l'Oural, région qui est son centre à peu unique d'exploitation.

Le platine naturel est rarement pur ; il contient au plus 86 0/0 de ce métal allié au fer, à l'iridium, à l'osmium et au

1. De l'espagnol *plata*, argent.

palladium. Il est d'autant plus pur qu'il est en grains plus gros et plus écrouis par le frottement. Les trois derniers métaux se trouvent également isolés dans les sables platinifères.

La densité du platine varie de 16 à 19,50 suivant son degré de pureté. On sait que le platine pur martelé a une densité de 21 à 23.

La production du platine est assez limitée ; la Russie en fournit 3.500 kilogrammes par an. Ce métal est devenu une monnaie ayant cours légal dans ce pays ; on s'en sert pour fabriquer des chaudières, des alambics, des creusets, des capsules, très utiles dans la préparation de certains produits chimiques.

19. MINÉRAIS D'OR.

370. Or natif. — L'or n'existe guère dans la nature qu'à l'état natif, disséminé en paillettes, en veinules cristallines ou en pépites dans les roches. Ses cristaux bien formés sont rares ; ce sont des cubes ou des octaèdres généralement émoussés. Il est caractérisé par sa couleur jaune plus ou moins éclatante, par sa malléabilité et par sa densité qui atteint 19,40 quand il est pur et amorphe. Il est inoxydable à l'air et soluble dans le mercure.

L'or natif n'est presque jamais chimiquement pur ; il est allié à d'autres métaux, principalement l'argent et le palladium qui modifient sa teinte plus ou moins fortement, suivant leurs proportions, et la rendent plus claire. L'or combiné au tellure ne se trouve qu'exceptionnellement.

La gangue de l'or est le quartz en filons ou même en couches métamorphiques ; il y est souvent mélangé d'une manière intime avec la pyrite de fer, parfois avec des composés du tellure. Mais on exploite surtout ce précieux métal dans des alluvions provenant de la désagrégation des quartz aurifères où, grâce à son inaltérabilité, il a été préservé de la destruction, en même temps que sa forte densité en a fait l'objet d'une préparation mécanique naturelle et l'a concentré dans certaines parties privilégiées, situées dans les coudes et barrages naturels des cours d'eau. Les 19/20 de l'or versé dans le commerce sont obtenus par le lavage de ces alluvions.

Les principaux gisements d'or sont en Californie, en Australie, en Sibérie, dans la Nouvelle-Zélande, en Colombie, au Venezuela, au Canada, en Hongrie, à la Guyane, etc.

Les sables aurifères sont charriés par un grand nombre de rivières. Il n'y a pas très longtemps qu'on lavait sur certains points favorables les alluvions de l'Ariège, du Rhin, etc., dont le titre moyen n'est que de 0 gr. 132 par 1.000 kilogrammes. Au Chili, où le lavage est très difficile à cause du manque d'eau, on ne traite que des sables d'une richesse de 9 grammes par tonne; mais dans l'Oural on descend jusqu'à 4 gr. 50. En Californie on exploite des sables contenant 2 gr. 24 par 1.000 kilogr.

Le traitement des quartz aurifères, qu'il faut exploiter par travaux de mines et bocarder, étant plus coûteux, la teneur doit d'être d'au moins 50 grammes par tonne pour être rémunératrice. On en extrait l'or par amalgamation.

La production annuelle de l'or peut être évaluée comme suit :

États-Unis.....	46.200 kilogr.
Russie.....	35.770
Australie.....	34.820
Nouvelle-Zélande..	7.720
Colombie.....	5.800
Venezuela.....	5.820
Autres pays.....	10,780
Total....	146.110 kilogr.

Ce qui représente une valeur de 490 millions de francs, notablement inférieure à celle de l'argent, tandis qu'autrefois c'était la valeur de la production annuelle d'or qui l'emportait.

QUATRIÈME GROUPE

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

371. — Les minéraux compris dans ce groupe consistent en carbone à peu près chimiquement pur et en combinaisons du carbone avec des proportions plus ou moins fortes d'hydrogène et d'oxygène. Nous les diviserons en quatre familles : *carbone, charbons minéraux, bitumes et résines.*

1. CARBONE.

372. Diamant. — Le *diamant* doit son nom¹ à sa dureté, supérieure à celle de toutes les substances connues. Sa densité est de 3,55. Il est transparent, généralement blanc, limpide, parfois coloré en jaune, gris, vert, rouge, bleu, rarement en noir. Il cristallise dans le système cubique et présente quatre clivages faciles, qui conduisent à l'octaèdre régulier. Seul de toutes les pierres précieuses, il a la réfraction simple, mais avec l'indice de réfraction 2,42, le plus fort des substances limpides; c'est ce grand pouvoir de réfraction qui détermine son éclat quand il est taillé et qui l'a de tout temps fait rechercher.

Le diamant est du carbone pur. Il brûle sans résidu à une température très élevée, comme celle qui peut être déterminée par un courant d'oxygène ou entre les deux pôles d'une pile. Il est phosphorescent et s'électrise par le frottement.

La forme cristalline la plus fréquente du diamant est l'octaèdre, à faces souvent courbes ou striées. Le diamant cristallisé, quand il est de belle qualité, est la pierre précieuse la plus estimée; il vaut facilement 300 fr. le carat (205 milligrammes), et son prix croît à peu près comme le carré du poids. Il n'y a guère de diamants taillés dépassant 200 carats.

En dehors du diamant cristallisé ou diamant proprement dit, on connaît le *boort* et le *carbonado*, qui se présentent le premier en boules cristallines sans trace de clivage, le second en morceaux amorphes noirâtres qui peuvent atteindre la grosseur du poing. Ils ne sont pas employés comme bijoux, mais ils ont en revanche d'assez nombreuses applications industrielles, et qui seraient encore bien plus étendues si on pouvait les obtenir à des prix moins élevés; suivant leur état plus ou moins cristallin, ils valent de 25 à 40 fr. le carat.

L'application la plus ancienne du diamant est le coupage du verre. On en fait des pivots pour les pièces oscillantes ou tournantes d'horlogerie; on s'en sert pour la taille des pierres dures comme les granites, les porphyres, les silex destinés à la fabrication des meules, etc. Le boort réduit en poudre

1. De *αδάμας*, indomptable.

convient très bien pour la taille du diamant et des autres pierres précieuses. Depuis plusieurs années on utilise le diamant, notamment le carbonado, pour le forage des trous de mine et même pour des sondages à de très grandes profondeurs.

Les plus anciens gisements sont ceux de Golconde, dans l'Inde, aujourd'hui épuisés. Ensuite sont venus ceux du Brésil (Minas Geraes, Diamantina, Bahia) et de l'Oural, qui, comme les précédents, offrent les diamants disséminés au milieu de certaines alluvions. Vers 1866, on a découvert au Cap de Bonne-Espérance de nouveaux gisements où le diamant est encaissé dans une sorte d'ophite bréchoïde, espèce de boue éruptive, qui remplit à la surface du sol des cavités en forme d'entonnoir.

373. Graphite. — Le *graphite* est composé essentiellement de carbone, presque toujours associé à 4 ou 5 centièmes de matières étrangères (silice, alumine, oxyde de fer, etc.), quelquefois avec des traces d'éléments gazeux. On le trouve dans certaines roches métamorphiques en paillettes cristallines, dont il est à peu près impossible de déterminer le système cristallin, ou bien en veines ou en petits amas.

C'est une substance tendre, dont la dureté est comprise entre 1 et 2, douce et grasse au toucher, noire, tachant les doigts. Ce sont ces propriétés qui l'ont fait rechercher pour la fabrication des crayons et qui lui ont valu son nom¹. Mais pour cette fabrication, il faut qu'il soit en masses homogènes, bien cohérentes, se laissant facilement couper en petites baguettes que l'on incruste dans des cylindres de bois.

Quand on a affaire à des graphites impurs, et ce sont les plus nombreux, il faut les pulvériser et les laver préalablement. Cette poudre est mêlée à de l'argile très pure et le tout est chauffé à une température plus ou moins élevée suivant le degré de dureté qu'on veut obtenir pour les crayons.

C'est au graphite impur qu'on donne le nom impropre de *plombagine* ou *mine de plomb*. On l'emploie comme substance noire pour peindre la fonte, les fourneaux, les tuyaux de poêle

1. De γραφειν, écrire.

et les préserver de l'oxydation ; dans la galvanoplastie pour recouvrir les moules et empêcher l'adhérence entre les pièces métalliques tout en conduisant l'électricité. Mélangé avec de l'argile réfractaire, il sert aussi pour la fabrication des creusets destinés à fondre les métaux et connus dans l'industrie sous le nom de creusets de plombagine.

Les plus beaux gisements de graphite pur sont ceux de Sibérie (district d'Irkoutsk), de Ceylan, de Schwartzbach en Bohême, de Borrowdale en Cumberland ; ce dernier, qui a été le premier exploité, est aujourd'hui à peu près épuisé.

La production totale du graphite pour le monde entier a atteint en 1884 le chiffre de 36.700 tonnes, dont le prix varie de 45 à 900 fr. l'une suivant la pureté.

2. CHARBONS MINÉRAUX.

37¹. — Les *charbons minéraux* ou *fossiles* sont composés essentiellement de carbone combiné avec des proportions variables d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Ils sont accompagnés en outre de matières terreuses qui altèrent leur pureté et qui, sous le nom de *cendres*, constituent le résidu de leur combustion.

Ils ont comme caractère chimique la propriété de se dissoudre complètement (abstraction faite des cendres), à une température inférieure à 400°, dans un mélange d'acide nitrique et de chlorate de potasse, en donnant des acides bruns.

Ces combustibles doivent leur origine à la transformation de substances végétales. Les conditions de leur gisement ne permettent aucun doute à cet égard et d'ailleurs, dans bien des cas, cette origine a pu être prouvée directement.

Ils forment une série continue comprenant l'antracite, la houille, le lignite et la tourbe, dont le premier terme représente l'état le plus parfait de carbonisation et le dernier le premier degré de décomposition des végétaux. Cette division des combustibles minéraux en quatre catégories est à peu près en rapport avec l'âge des couches sédimentaires dans lesquelles ils sont enclavés, l'antracite remontant en général au début de la période carbonifère, qui est la dernière de l'ère primaire,

tandis que la tourbe est un produit de formation récente ou contemporaine.

375. Anthracite. — L'*anthracite*¹ est d'un noir grisâtre, d'un éclat plutôt métallique ou demi-métallique que gras. Sa densité est en moyenne de 1,5 et elle pèse de 95 à 100 k. l'hectolitre. Sa dureté, de même que sa densité, est supérieure à celle de tous les autres combustibles minéraux.

Voici quelles sont, déduction faite des cendres, sa composition élémentaire :

Carbone.....	93 à 95
Hydrogène.....	2 à 4
Oxygène et azote.....	3
	100

et sa composition immédiate :

Coke pulvérulent.....	90 à 92
Gaz.....	8 à 10
	100

Les anthracites sont surtout caractérisées par les phénomènes de leur combustion. Elles ne brûlent qu'en masses assez considérables, sur une grille et avec un fort tirage. Elles sont difficiles à allumer et se consomment lentement sans fumée avec une flamme courte, peu vive et rougeâtre. Les fragments, une fois en combustion, se fendent, décrépitent et diminuent de volume sans fondre et sans se déformer. Cette décrépitation de l'anthracite est le plus grand obstacle que l'on ait à surmonter pour ses applications industrielles.

On peut distinguer deux espèces d'anthracites : l'*anthracite vitreuse*, complètement homogène, à cassure conchoïde dans tous les sens, à fragments à bords tranchants, remarquable par sa pureté, dont le type est fourni par l'anthracite de Pensylvanie et qui se trouve en gisements d'une richesse immense; l'*anthracite commune*, souvent écailleuse ou un peu schisteuse, à parties brillantes analogues au graphite, d'un noir plus foncé, souvent impure, que l'on exploite à La Mure (Isère), à Sablé (Sarthe), dans le pays de Galles, etc.

1. De *ανθραξ*, charbon.

L'anhracite est le combustible qui a le plus de tenue au feu et l'un de ceux qui développent le plus de chaleur. Son pouvoir calorifique est de 9.000 à 9.200 calories ; quand elle est pure, un kilogramme peut vaporiser plus de 9 kilogr. d'eau. Aussi elle serait très recherchée si elle n'avait pas l'inconvénient de décrépiter.

On peut s'en servir néanmoins pour le chauffage domestique et même pour les usages industriels quand on dispose de foyers convenablement construits. On utilise les menus pour la fabrication des agglomérés et surtout pour la briqueterie et la chaux-fournerie, emplois pour lesquels la lenteur de la combustion est une condition favorable.

Les anhracites de Pensylvanie décrépitent beaucoup moins que les nôtres. On peut les appliquer au chauffage des locomotives, à la fabrication de la fonte dans les hauts-fourneaux et à presque tous les usages des usines métallurgiques.

376. Houille. — La *houille*¹ est généralement d'un beau noir, *noir de velours*, parfois brune, à structure feuilletée, offrant souvent en outre une séparation normale au plan des couches qui imite le clivage des minéraux ; elle est fragile et de faible dureté. Sa densité varie de 1,23 à 1,40 ; elle pèse de 700 à 900 kilogr. l'hectolitre en morceaux. Elle est très peu hygrométrique.

Les houilles forment une série passant insensiblement aux anhracites d'une part et aux lignites d'autre part. Mais en dehors de ces variétés limites, elles constituent un ensemble bien caractérisé, tout à fait distinct par ses propriétés de ces deux sortes de combustibles. Leur composition élémentaire est comprise entre les limites suivantes :

Carbone.....	75 à 93
Hydrogène.....	4 à 6
Oxygène avec 1 à 2 0/0 d'azote.....	3 à 19
	100

377. Produits de la distillation. — L'analyse immédiate permet de se rendre compte de la valeur industrielle d'un combus-

1. Du vieux mot saxon *hulla*.

tible beaucoup mieux que l'analyse élémentaire. La meilleure manière de reconnaître les diverses variétés de houille consiste donc à les soumettre à la distillation dans une cornue. On obtient ainsi des gaz combustibles, de l'eau ammoniacale, du goudron, du coke.

Le *coke* est un charbon dur, brillant, gris d'acier, dont la proportion est en rapport avec la température et le procédé de carbonisation, mais surtout avec la nature de la houille; elle varie de 50 à 80 0/0 et elle est en moyenne de 70 0/0. En général, plus il y a de carbone dans la houille, plus elle laisse de coke; on constate cependant des anomalies qui tiennent au mode de combinaison des trois éléments, carbone, hydrogène et oxygène, et c'est là une des raisons pour lesquelles l'analyse immédiate a une plus grande utilité pratique que l'analyse élémentaire.

Les *matières gazeuses* se composent surtout d'hydrogène carboné, et, en moindres proportions, d'hydrogène bicarboné ou *gaz oléfiant*, d'hydrogène pur, d'oxyde de carbone, d'azote, de vapeurs huileuses, d'hydrogène sulfuré et d'un peu d'ammoniaque. Les proportions relatives de ces substances dépendent également de la nature de la houille et du degré de chaleur à laquelle on la distille; elles ne sont pas les mêmes aux diverses époques de l'opération. La houille distillée en grand, dans les usines à gaz d'éclairage, fournit moyennement 250 litres de gaz par kilogr.; pour certaines houilles, cette proportion s'élève jusqu'à 350 et 400 litres.

La proportion d'eau dépend principalement, comme il est facile de le comprendre, de celle de l'oxygène; elle varie de 0 à 12 0/0.

Quant au *goudron* ou *bitume*, la houille en donne de 2 à 18 0/0. C'est un produit d'une composition extrêmement complexe, duquel on a retiré une cinquantaine de substances à proportions définies consistant surtout en carbures d'hydrogène (benzine, naphthaline), quelques bases organiques azotées (aniline), des acides ou carbures d'hydrogène oxygénés (acide phénique).

378. *Phénomènes de la combustion. Cendres.* — Les houil-

les brûlent avec une flamme jaunâtre, accompagnée de fumée, en répandant une odeur bitumineuse. La combustibilité et l'étendue de la flamme sont en relation étroite avec les éléments volatils : les houilles voisines des lignites, riches par conséquent en matières volatiles, s'enflamment aisément et brûlent avec une flamme longue et fuligineuse ; elles sont dites *flambantes*. Au contraire les houilles pauvres en gaz, et surtout en hydrogène, s'enflamment et brûlent moins facilement, en donnant une flamme courte peu enfumée ; elles se consomment plus lentement.

Quand la combustion est complète, il ne reste que des cendres provenant des matières terreuses mêlées à la houille en plus ou moins forte proportion (1 à 25 0/0). Les cendres se composent principalement d'argile plus ou moins chargée d'éléments sableux et ferrugineux ; leur couleur varie, d'après cela, du blanc pur au gris rosé et jusqu'au rouge brun. Le fer provient de l'oxydation des pyrites de fer et du carbonate de fer qui se trouvent dans la houille, les premières en paillettes ou en cristaux disséminés, le second en rognons aplatis ou en petits nerfs.

Les cendres renferment en outre du sulfate et du carbonate de chaux, un peu de phosphate de chaux, parfois même des composés arséniatés, et une faible proportion d'alcalis fixes.

Le soufre existe dans la houille, non seulement sous forme de pyrite de fer, mais aussi à l'état de composé organique. La houille n'en est presque jamais exempte ; elle en contient depuis quelques millièmes jusqu'à 8 et même 9 0/0, en moyenne 2 à 3 0/0. C'est là qu'il faut chercher la source du sulfate de chaux, qui est produit par la réaction qu'exerce sur le carbonate de chaux l'acide sulfurique provenant de la combustion. Les pyrites de fer peuvent être arsénicales ; ce qui explique la présence des composés arséniatés dans les cendres.

Contrairement à ce qui se présente dans la grande majorité des plantes modernes, les cendres de houille ne contiennent qu'une faible quantité d'alcalis libres carbonatés ; c'est une conséquence forcée du grand excès de sulfate de chaux. Les *équisitacées*, plantes qui vivent encore actuellement et qui ont

contribué pour une forte part à former la houille, se distinguent également par leur teneur élevée en soufre.

Au point de vue de la facilité de la combustion, on distingue les cendres en *fusibles* et *infusibles*. Les cendres blanches sont en général très peu fusibles et elles se séparent à l'état pulvérent. Les cendres fortement colorées, surtout celles qui sont en même temps ferrugineuses et calcaires, fondent et coulent sans trop gêner la combustion. Le cas le plus défavorable est celui des cendres rosées, qui sont à demi-fusibles et qui empâtent et encrassent les grilles en agglutinant les morceaux incomplètement brûlés pour donner des *mâchefers*.

Les cendres de houille, mêlées à de la chaux, sont employées avec grand succès sur les terres argileuses. Elles agissent surtout comme amendement; cependant, quand elles contiennent des proportions notables de phosphate de chaux et d'alcalis, elles apportent à la végétation des éléments essentiels.

379. Diverses sortes de houille. — Dans chaque bassin houiller, on divise les houilles en un certain nombre de variétés. Au premier abord ces distinctions peuvent paraître trop minutieuses quand on les étudie sur des échantillons; mais on ne tarde pas à reconnaître qu'au point de vue pratique elles sont justifiées par des différences très réelles dans la composition immédiate.

L'élément le plus simple de la classification est l'emploi même de la houille qui, suivant ses qualités, sera de préférence appliquée à la forge, à la fabrication du coke ou du gaz, au chauffage domestique, à la chauxfournerie, etc.

Voici comment on peut établir la série des houilles à partir de l'antracite :

- 1^o Houille maigre anthraciteuse ;
- 2^o Houille demi-grasse ;
- 3^o Houille grasse maréchale ;
- 4^o Houille grasse à longue flamme ;
- 5^o Houille sèche à longue flamme.

Cette classification correspond aux proportions relatives de charbon fixe et de matières volatiles, la houille maigre étant la plus riche en charbon et la houille sèche la moins riche. Elle

coïncide aussi avec le pouvoir calorifique et l'âge géologique de ces combustibles ; le pouvoir calorifique décroît régulièrement des houilles maigres aux houilles sèches, et dans un même bassin houiller on constate en général que les couches supérieures sont surtout riches en matières volatiles, les couches inférieures en carbone fixe. Cette dernière règle est cependant sujette à exception, et la nature de la houille peut varier non-seulement d'un bassin à un autre, mais encore dans les diverses parties d'un même bassin, de telle sorte qu'une couche est parfois maigre en un point et grasse en un autre.

350. Houille maigre anthraciteuse. — La houille maigre anthraciteuse ressemble beaucoup à l'anthracite. On en trouve le type dans le bassin de Charleroi où elle se présente dans les plus inférieures des couches exploitables. Elle existe aussi dans le nord du bassin de Valenciennes, le Roannais, la Basse-Loire, le pays de Galles. En somme elle est assez rare en France.

Cette houille, comme l'anthracite, brûle difficilement sans se gonfler, avec une flamme très courte et de peu de durée, et ne donne presque pas de fumée ; elle ne s'agglutine que légèrement. Elle contient souvent des pyrites de fer et dégage alors en brûlant une odeur sulfureuse prononcée. C'est la houille la plus dense ; elle pèse en moyenne 85 kilogrammes l'hectolitre.

Elle contient, cendres déduites :

Carbone.....	90 à 93
Hydrogène.....	4 à 4,5
Oxygène et azote.....	3 à 5,5
	100

La distillation fournit :

Coke.....	82 à 90
Eau ammoniacale.....	0 à 1
Bitume	2 à 5
Gaz	8 à 12
	100

Le coke est à peine aggloméré et même pulvérulent. Le pouvoir calorifique paraît compris entre 9.200 et 9.500 calories.

La houille maigre n'est pas un bon charbon de grille. Il faut autant que possible la réserver pour la fabrication des agglomérés ou la préparation des combustibles gazeux. En morceaux, on l'emploie à l'état cru dans les hauts-fourneaux de la région occidentale du pays de Galles. Quand elle contient beaucoup de cendres, elle ne peut guère servir qu'à la fabrication de la chaux.

381. Houille demi-grasse. — La houille demi-grasse ou *grasse à courte flamme* a en général un éclat un peu plus vif que la précédente. Elle s'enflamme un peu moins difficilement et brûle avec une flamme courte, claire, blanche, tirant sur le bleu, très peu enfumée. Elle se contourne quand le feu est vif, se gonfle même, mais sans beaucoup se déformer ; elle s'agglutine un peu.

Cette houille est presque toujours extrêmement friable, et si, malgré cela, on l'appelle *charbon dur* dans le Nord de la France et en Belgique, il faut entendre par là une houille qui se consume lentement, qui *dure* au feu. Sa densité est de 1,30 à 1,35; elle pèse 80 kilogrammes l'hectolitre.

Les meilleurs types de houille demi-grasse peuvent encore être pris dans le Nord de la France et en Belgique. On en trouve également au Creusot, à Saint-Étienne et dans le Gard.

Voici quelle est sa composition élémentaire :

Carbone.....	88 à 91
Hydrogène.....	4,5 à 5,5
Oxygène et azote....	4,5 à 6,5
	100

Elle donne à la distillation :

Coke.....	74 à 82
Eau ammoniacale....	1
Bitume.....	5 à 10
Gaz.....	12 à 15
	100

Les houilles demi-grasses fournissent d'excellents coques, denses et durs, peu gonflés, dont la proportion est toujours fort élevée à cause de la faible dose des éléments gazeux. Ce sont les vraies houilles pour coke.

Ce sont également des charbons de grille, convenant parfait-

tement pour le chauffage des chaudières à vapeur, à cause de leur tenue au feu. Leur pouvoir calorifique atteint 9.300 à 9.600 calories et elles vaporisent plus de 9 litres d'eau par kilogr.; il n'est pas de combustible minéral solide qui les égale sous ce rapport.

382. Houille grasse proprement dite. — La houille grasse proprement dite est noire, à éclat vif, peu dure, d'une texture plus ou moins feuilletée ou lamelleuse. Elle est grasse, fusible, et ses fragments se collent au feu. On peut ainsi agglomérer les menus en formant au milieu du feu de petites voûtes sous lesquelles on échauffe les pièces à forger; de là son nom de *houille maréchale*, ou *charbon de forge*.

Les houilles grasses maréchales sont ordinairement fragiles et se divisent en petits fragments parallélépipédiques. Elles sont légères et ne pèsent pas plus de 75 à 80 kilogr. l'hectolitre. Dans les foyers, elles brûlent avec une flamme assez longue, fuligineuse, toutes les fois que l'on charge du combustible ou que le tirage n'est pas très vif; les fragments se souident et, sur beaucoup de points, on voit en quelque sorte le goudron couler en lançant de petits jets d'une flamme vive comme celle d'un chalumeau. La fumée a une odeur goudronneuse caractéristique.

Ces houilles sont très abondantes en France; elles se rencontrent surtout dans le bassin de Saint-Étienne et dans la partie moyenne des bassins du Nord et du Pas-de-Calais. On les trouve en grande quantité à Liège, à Mons, dans le bassin de la Ruhr (Westphalie), dans le Yorkshire.

Leur composition élémentaire est la suivante :

Carbone	84 à 89
Hydrogène	5 à 5,5
Oxygène et azote.....	<u>5,5 à 11</u>
	100

L'analyse immédiate conduit aux nombres suivants :

Coke.....	68 à 74
Eau ammoniacale.....	4 à 3
Bitume	10 à 13
Gaz.....	<u>15 à 16</u>
	100

Le coke est compact et bien fondu. Aussi on se sert très souvent des houilles grasses proprement dites pour la fabrication du coke, quelquefois même pour celle du gaz d'éclairage ; cependant on doit préférer, pour le coke, les charbons gras à courte flamme du type précédent, et pour le gaz, la houille grasse à longue flamme du type suivant.

Ces houilles, supposées pures, vaporisent en moyenne 8 k. 75 d'eau. Elle conviennent moins pour les usages de grille que les demi-grasses ou mêmes que les sèches à longue flamme, parce que la masse en combustion ne forme bientôt plus, par l'agglutination des morceaux, qu'une sorte de gâteau poreux dans lequel l'air circule difficilement et que les chauffeurs sont obligés de briser à coups de ringard. Mélangées en diverses proportions avec les variétés maigres, elles peuvent cependant être employées comme charbons de grille, mais leur application réelle est la forge, depuis la petite forge du maréchal ferrant jusqu'aux grandes forges dans lesquelles on fait chauffer les plus fortes pièces de machines.

Il est à remarquer que, dans un bassin houiller contenant des couches de qualités diverses, les couches grasses sont toujours plus accidentées et friables que les autres. Ces charbons ont une si grande tendance à se réduire en menus que, dans les exploitations, les galeries s'encombrent de poussières et que l'air tient en suspension les parties les plus ténues. Notons également que ces houilles sont les seules qui conservent à peu près leur valeur en *tout venant*.

383. Houille grasse à longue flamme. — Les houilles grasses à longue flamme pourraient se confondre au premier aspect avec les précédentes, sans leur tendance à prendre une texture compacte, sans leur dureté et leur ténacité plus grandes. Elles ont une couleur noir foncé, un vif éclat ; l'hectolitre en morceaux pèse 70 à 75 kilogr. Elles brûlent avec une flamme et une fumée abondantes ; ce sont des houilles flam-bantes, faciles à allumer, brûlant rapidement, ce qui les rend propres au mode de chauffage réclamant des coups de feu vifs et rapides plutôt qu'une chaleur modérée, uniforme et soutenue.

La composition élémentaire de ces houilles est comprise entre les limites suivantes :

Carbone	80 à 85
Hydrogène	5 à 5,8
Oxygène et azote.....	10 à 14,2
	100

La distillation lente donne, d'autre part :

Coke.....	60 à 68
Eau ammoniacale.....	3 à 5
Bitume	12 à 13
Gaz.....	17 à 20
	100

Le coke est aggloméré, mais il est toujours léger, friable et poreux ; de plus, il est en moins forte proportion que dans les deux types précédents ; aussi on utilise rarement les houilles grasses à longue flamme pour la fabrication du coke métallurgique, qui a besoin d'être dense et compact. Par contre ces houilles conviennent éminemment pour la préparation du gaz à éclairage, et on les désigne quelquefois par ce motif, dans le commerce, sous le nom de *charbons à gaz*. Elles produisent en grand, dans les usines, 240 à 260 litres de gaz par kilogramme, et même en petit, par une calcination rapide, jusqu'à 300 ou 350 litres. Les houilles sèches à longue flamme donnent à la vérité une proportion de gaz encore plus forte, mais d'un moindre pouvoir éclairant.

Les houilles grasses à longue flamme ont un pouvoir calorifique de 8.500 à 8.800 calories. Elles vaporisent en moyenne 8 litres d'eau par kilogramme.

Ces houilles sont assez répandues en France. Dans le Pas-de-Calais et la Loire, les couches les plus élevées des deux bassins en sont formées. Les charbons de Commentry et une partie de ceux de Blanzay appartiennent à cette catégorie, de même que les charbons connus à Mons sous le nom de *flénus*. On en trouve également à Newcastle, à Sarrebrück, en Silésie.

354. *Houille sèche à longue flamme.* — Les houilles sèches à longue flamme ont un aspect moins brillant que

celui des houilles grasses ; elles ont une tendance à avoir une poussière brun rougeâtre. Elles sont généralement dures, compactes et peu friables, quoique d'une densité faible, le poids de l'hectolitre en fragments n'étant que de 70 kilogr. ; leur cassure est unie ou conchoïdale, plus ou moins esquilleuse.

Ces houilles s'allument facilement et brûlent avec une flamme longue et enfumée ; les fragments en combustion ne fondent ni ne se collent entre eux, et, dès qu'ils n'émettent plus de flamme, ils ne laissent qu'un coke très léger, qui achève promptement de se consumer. C'est surtout cette nature spéciale du coke, pulvérulent et non aggloméré, qui caractérise les houilles sèches à longue flamme ; les houilles maigres donnent à la vérité un coke analogue, mais les deux types de charbons ne sauraient se confondre, car le premier ne laisse que 60 0/0 à peine de coke et brûle avec une flamme longue enfumée, tandis que l'autre produit au moins 80 0/0 de coke et que sa flamme est courte et claire.

Les houilles sèches à longue flamme sont les charbons flambants par excellence ; mais ils passent vite et ont peu de tenue au feu ; ils ne vaporisent guère plus de 7 kilogrammes d'eau ; ils donnent généralement une cendre volumineuse et légère. Ce sont les houilles les plus oxygénées.

Leur composition élémentaire est :

Carbone.....	75 à 80
Hydrogène.....	4,5 à 5,5
Oxygène et azote.....	15,5 à 19,5
	100

et leur composition immédiate :

Coke.....	50 à 60
Eau ammoniacale.....	5 à 12
Bitume.....	15 à 18
Gaz.....	20
	100

Les houilles tout à fait sèches sont rares en France. On n'y trouve guère que des houilles formant la transition aux houilles grasses à longue flamme dans les bassins du Centre, et notamment à Blanzky (Saône-et-Loire), Commentry (Allier). En Allemagne on les rencontre à Sarrebrück et dans la Haute-

Silésie; en Angleterre, dans les comtés de Derby et de Stafford où ils servent à l'état brut dans les hauts-fourneaux.

Comme variété spéciale de ces houilles, nous citerons le *fusain minéral*, substance tendre et friable, d'un noir terne, avec l'apparence d'une tige ligneuse carbonisée, qui ne forme que des veines de quelques millimètres intercalées entre deux bancs contigus de houille ordinaire d'une même couche.

385. Lignite. — On comprend sous le nom de *lignite*¹ des combustibles plus récents que les houilles en général, de caractères variables. Les uns, d'un noir foncé et homogène, offrent une grande analogie avec la houille. Les autres possèdent encore le tissu ligneux de telle façon qu'il est souvent facile de déterminer le genre de végétaux d'où ils proviennent; dans cette dernière espèce, il existe des variations considérables suivant le degré d'altération du tissu végétal.

Les lignites ne contiennent pas plus de 57 à 80 0/0 de carbone. Ils ne fondent pas et leurs fragments ne s'agglutinent pas, comme cela a lieu généralement pour les houilles; à la distillation ils donnent des gaz, des eaux acides et du bitume, en laissant comme résidu du charbon généralement divisé.

Ils brûlent avec une flamme longue, accompagnée de fumée, et produisent une odeur désagréable et piquante, différente de l'odeur bitumineuse de la plupart des houilles, et due en partie à l'acide pyroligneux qu'ils contiennent. Comme pour le bois, la flamme se manifeste avant que le lignite soit rouge, causée par un dégagement de gaz qui se fait à une température peu élevée.

Quand la flamme de la houille est éteinte, le combustible se couvre de cendre et cesse de brûler presque immédiatement. Les lignites se couvrent bien également d'une cendre blanche, mais ils continuent à brûler à la manière de la braise. Ce caractère est constant; il suffit à lui seul pour distinguer certains lignites à texture compacte de la houille dont ils se rapprochent beaucoup par leurs caractères extérieurs.

Nous distinguerons avec Gruner quatre types de lignites :

1. *Lignum*, bois.

les *lignite secs* ou *lignite gras* ; les *lignite bitumineux* ou *lignite proprement dits* ; les *lignite terreux* et les *bois fossiles* ou *bitumineux*.

386. Lignite sec. — Le lignite sec est celui qui ressemble le plus à la houille. Il a une coloration noire ou brun foncé ; sa poussière est brune ; sa cassure unie ou conchoïdale, plutôt terne que brillante. Il est dur, sonore, tenace ; sa densité est de 1,20 à 1,25, ce qui correspond à un poids moyen de 70 kilogr. pour l'hectolitre en fragments. Il contient de 5 à 10 0/0 d'eau ; il renferme en outre des pyrites et du soufre libre ou combiné à la matière organique. Il a une certaine tendance à se fendiller et à s'altérer à l'air humide.

Sa composition élémentaire est la suivante :

Carbone.....	65 à 75
Hydrogène.....	4 à 6
Oxygène et azote.....	21 à 29
	100

A la distillation, il donne :

Charbon.....	40 à 50
Eau.....	15 à 20
Bitume.....	14 à 16
Gaz.....	21 à 24
	100

Le charbon qui constitue le résidu de la distillation conserve la même forme et presque le même aspect que le lignite, sauf des fissures assez nombreuses qui le rendent friable. L'eau est généralement acide, quelquefois ammoniacale ; le bitume se compose d'huiles brunes. Le pouvoir calorifique, déduction faite des cendres, est de 6.500 à 7.000 calories par kilogr. de lignite sec sans eau.

Le bassin de Fuveau près de Marseille est le gisement classique du lignite proprement dit. On le trouve aussi en Espagne, en Italie, etc. On l'emploie pour le chauffage, mais il ne peut être utilisé par la métallurgie à cause de sa teneur généralement élevée en soufre.

387. Lignite gras. — Le lignite gras a un éclat plus vif et plus gras que le précédent ; il a une densité et une dureté

moins grandes et il est plus inflammable encore. C'est un combustible éminemment hydrogéné, car il contient assez souvent jusqu'à 7 à 8 0/0 d'hydrogène, c'est-à-dire beaucoup plus que tous les autres combustibles. Aussi il constitue une véritable anomalie dans la série des lignites et on ferait peut-être mieux de le rattacher aux hydrocarbures.

A cause de cette forte proportion d'hydrogène, il brûle avec une flamme vive et abondante ; il se ramollit et se gonfle parfois considérablement ; par la calcination il laisse un charbon très volumineux, rempli de cellules comme la pierre ponce.

Sa composition élémentaire est représentée par les chiffres suivants :

Carbone.....	70 à 80
Hydrogène.....	6 à 8
Oxygène et azote.....	12 à 24
	100

Il donne à la distillation :

Charbon.....	30 à 45
Eau.....	10 à 20
Bitume.....	20 à 35
Gaz.....	15 à 25
	100

Son pouvoir calorifique est très élevé ; il peut atteindre 8.000 calories.

Les lignites gras sont relativement rares en France ; l'exploitation la plus importante est celle de Manosque (Basses-Alpes) dont les produits sont employés pour le chauffage domestique et la production de la vapeur. En Bohême, ils forment un dépôt puissant au pied de l'Erzgebirge.

388. Bois fossile. — Le bois fossile est du bois imparfaitement carbonisé dans lequel la texture ligneuse est encore apparente. Il se présente en troncs d'arbre plus ou moins aplatis et brunis par un long séjour dans la terre et qui, assez souvent, diffèrent peu de ceux qu'on rencontre dans les tourbières. C'est sous cet aspect que l'offrent les gisements de la Tour-du-Pin dans l'Isère et ceux du département de l'Ain.

Quand la désorganisation est plus avancée et que la texture ligneuse tend à disparaître, la cassure devient conchoïdale et le combustible passe graduellement au lignite compact ; tels sont les bois bitumineux que l'on exploite en Bohême et dans le Nassau.

Les bois fossiles renferment toujours une forte proportion d'eau, qui peut atteindre 50 0/0. A l'air une notable partie se dissipe, mais alors le combustible se fendille et se divise en petits fragments, ce qui rend son emploi assez gênant. Sa densité varie de 0,50 à 1,30. Sa combustibilité dépend de son état de siccité, mais en général il brûle moins facilement que le bois non altéré.

Voici quelle est la composition élémentaire du bois fossile :

Carbone.....	57 à 67
Hydrogène.....	5 à 6
Oxygène et azote.....	28 à 37
	100

A la distillation, il donne moins d'acide et plus de bitume que le bois ordinaire et laisse un charbon analogue au charbon de bois, mais plus friable et plus dense et qui conserve la forme du fragment dont il provient, si ce n'est qu'il est fissuré dans tous les sens. Le pouvoir calorifique du bois fossile est de 6.200 à 6.400 calories.

Les gisements de bois fossile renferment parfois une variété fibro-compacte, d'un noir brillant, où l'on ne découvre aucune trace d'organismes végétaux. C'est le *jais* ou *jayet*¹ qui autrefois était très recherché pour être travaillé en bijoux de deuil. On l'exploitait notamment à Sainte-Colombe-sur-l'Hers (Aude).

389. Lignite terreux. — Le lignite terreux est une substance tendre, pulvérulente à l'état sec, dont la couleur varie du jaune clair au brun foncé. On ne peut l'utiliser comme combustible que quand il ne contient pas trop de cendres ; on le transforme pour cet usage en briquettes, en le moulant ou le

1. Du grec *γαιγιτης*, pris de *Γαργαρις*, nom d'un fleuve de Lycie, près duquel on l'exploitait.

comprimant, comme dans les environs de Halle en Prusse. Il contient au moins autant d'eau que le bois fossile.

Dans le Soissonnais, on trouve des lignites terreux ou *cendres noires*, très chargés de pyrites, qui à l'air se transforment en *cendres rouges* par suite de leur combustion lente et de l'oxydation des pyrites. Les cendres noires peuvent servir à la fabrication du sulfate d'alumine. L'agriculture les emploie également comme engrais.

La *terre d'Ombre* ou *terre de Cologne*, que l'on exploite dans les environs de cette ville, est un lignite terreux, friable, d'un brun assez clair, doux au toucher, presque aussi léger que l'eau, que l'on utilise surtout comme couleur. Elle brûle à la manière de l'amadou en répandant une odeur désagréable. Elle renferme assez souvent des débris de végétaux, et notamment des fruits de la grosseur d'une noix qu'on a reconnus pour être ceux d'une espèce de palmier ; elle présente quelquefois la texture du bois.

390. Tourbe. — La *tourbe*,¹ comme nous l'avons vu (n° 88), est le produit de l'altération de divers végétaux sous l'influence combinée de l'eau et de l'air et sa formation se continue de nos jours. Elle est tellement caractérisée par son tissu ligneux et spongieux qu'il est à peine besoin d'insister sur ses autres propriétés.

On distingue les tourbes *mousseuses* ou *légères*, formées de petits végétaux ligneux, entrelacés et feutrés, des tourbes *brunes* ou *noires*, qui sont plus serrées et plus denses et dans lesquelles on ne reconnaît plus que les tiges les plus fortes. Les premières, qui sont en voie de formation, se trouvent à fleur de terre ; les autres à une certaine profondeur au-dessous du sol et elles doivent leur structure à la compression qu'elles ont subie.

La tourbe contient une très forte proportion d'eau, parfois plus de 60 à 70 0/0, quand elle vient d'être extraite. Séchée à l'air, elle en retient encore de 20 à 25 0/0, c'est-à-dire plus que le bois sec ordinaire. Suivant son degré de dessiccation,

1. De l'allemand *torf*, même sens.

elle pèse de 250 à 400 k. le mètre cube ; les chiffres les plus faibles se rapportent à la tourbe mousseuse, et les plus forts à la tourbe noire.

La tourbe produit en brûlant une odeur assez complexe, désagréable et tout à fait caractéristique. Elle laisse des cendres dont la proportion descend rarement au-dessous de 60/0 et s'élève fréquemment à 12 et même 18 0/0. Ces cendres contiennent ordinairement beaucoup de sable et d'argile, du calcaire, du sulfate de chaux, un peu de phosphate de chaux et de sels alcalins ; l'agriculture les emploie pour l'amendement des terres.

La tourbe pure, sans cendres, débarrassée complètement de l'eau hygrométrique par une dessiccation à 110°, présente la composition élémentaire suivante :

Carbone.....	58 à 63
Hydrogène.....	5,5 à 6
Oxygène avec 1 à 20/0 d'azote.	<u>31,5 à 36</u>
	100

A la distillation, la tourbe donne à peu près les mêmes produits que le bois ; cependant l'acide acétique est moins abondant et il est en partie saturé par l'ammoniaque.

Le pouvoir calorifique des tourbes varie nécessairement en raison inverse des proportions d'eau et de cendres qu'elles contiennent. Celles qui sont sèches et pures développent plus de chaleur que le bois sec, à cause de leur teneur plus élevée en carbone.

La tourbe ne constitue, sauf de rares exceptions, qu'un combustible assez médiocre, qui donne peu de chaleur et beaucoup de mauvaise odeur ; aussi on a une tendance à renoncer à son emploi dans les pays où il devient facile, grâce au développement des voies de communication, de se procurer du bois ou de la houille.

La tourbe, surtout lorsqu'elle a été rendue poreuse par une dessiccation préalable, a un pouvoir absorbant et désinfectant énergique qui est capable de rendre de grands services à l'hygiène et à la salubrité publique. Depuis longtemps on l'utilise comme litière. Dans l'Allemagne du Nord et en Russie, on prépare avec la tourbe mousseuse de la poudre et des plaques

pour tapisser les appartements humides ; on a prouvé que cette poudre pouvait rendre inodores toutes les matières à odeur prononcée, même le musc.

Dans certains pays on emploie la tourbe pour arrêter les fuites d'eau à travers les digues des étangs et des canaux ; il suffit de la battre quand elle est à moitié sèche et de l'introduire ensuite dans les fissures ; elle se gonfle et s'oppose complètement au passage de l'eau.

Les tourbes mousseuses peuvent quelquefois donner des fibres grossières, qu'on a cherché à utiliser pour la fabrication des tissus communs.

391. Résumé sur les combustibles minéraux. — Résumons les renseignements qui précèdent sur la composition élémentaire des divers combustibles fossiles supposés purs et secs et ajoutons le bois à cette série ; nous obtiendrons le tableau suivant :

Combustibles	C	H	O + Az
Anthracite.....	93 à 95	2 à 4	3
Houille maigre.....	90 93	4 4,5	3 à 5,5
Houille demi-grasse.....	88 91	4,5 5,5	4,5 6,5
Houille grasse maréchale.....	84 89	5 5,5	5,5 11
Houille grasse à longue flamme..	80 85	5 5,8	10 14,2
Houille sèche à longue flamme...	75 80	4,5 5,5	15,5 19,5
Lignite gras.....	70 80	6 8	12 24
Lignite sec.....	65 75	4 6	21 29
Bois fossile.....	57 67	5 6	28 37
Tourbe.....	50 54	6 7	40 43
Bois.....	50 52	6 6,3	42 44

On voit que la richesse en carbone augmente à mesure que le combustible est plus ancien, que la teneur en oxygène suit une marche inverse et que par suite la composition élémentaire se rapproche d'autant plus de celle du bois que le combustible est plus récent.

Nous pouvons dresser un autre tableau, également fort instructif, à l'aide des propriétés caractéristiques de ces combustibles :

Combustibles	Charbon fixe 0/0		Matières volatiles 0/0		Pouvoir calorifique en calories	
Anthracite.....	96 à 92		8 à 10		9000 à 9200	
Houille maigre.....	82	90	40	18	9200	9500
Houille demi-grasse.....	74	82	48	26	9300	9600
Houille grasse maréchale.....	68	74	26	32	8800	9300
Houille grasse à longue flamme...	60	68	32	40	8500	8800
Houille sèche à longue flamme...	55	60	40	45	8000	8500
Lignite gras.....	30	45	55	70	7000	8000
Lignite sec.....	40	50	50	60	6500	7000
Bois fossile.....	33	50	50	65	5000	6500
Tourbe.....	35	40	60	65	3000	3500
Bois.....	30	35	65	70	4000	

Si on laisse de côté le lignite gras, qui appartient plutôt à la série des bitumes et qui donne par la calcination un charbon boursoufflé et poreux, il résulte de ce tableau que la proportion de carbone fixe va en diminuant régulièrement de l'anthracite au bois, tandis que les matières volatiles vont en augmentant. Les houilles grasses seules donnent un coke fondu ayant une valeur industrielle. La houille demi-grasse est le type du charbon à coke, la houille grasse maréchale du charbon de forge et la houille grasse à longue flamme du charbon à gaz.

Le pouvoir calorifique, qui ne dépend pas seulement des proportions de carbone et d'hydrogène, mais aussi de la constitution moléculaire, atteint son maximum dans les houilles demi-grasses, pour diminuer d'une part jusqu'à la tourbe et d'autre part jusqu'à l'anthracite.

Quant à la densité, elle s'affaiblit de plus en plus à partir de l'anthracite.

Il doit être bien entendu que ces considérations s'appliquent aux charbons secs et entièrement purs. Les proportions plus ou moins élevées de cendres et d'eau font varier naturellement, pour les combustibles marchands, les chiffres portés sur les tableaux ci-dessus; c'est une observation dont il faut tenir compte dans l'appréciation de la valeur pratique de ces combustibles.

392. Production des combustibles minéraux.— Voici quelle a été, pour les différents pays, la production des combus-

tibles minéraux proprements dits (houille, anthracite et lignite) pendant l'année 1884 :

France.....	20.024.000 tonnes
Grande-Bretagne.....	163.330.000
Empire allemand.....	71.982.000
Belgique.....	18.051.000
Autriche-Hongrie.....	18.811.000
Russie.....	3.980.000
Autres pays européens (Espagne, Suède, Portugal, Grèce et Suisse).....	1.533.000
États-Unis.....	108.617.000
Australie, Canada, Indes, Chili, Tasmanie, Japon, Le Cap, Nouvelle-Zélande.....	6.757.000
Total.....	413.415.000 tonnes

qui représentent l'énorme valeur de près de trois milliards de francs.

La France n'occupe, comme on voit, qu'un rang inférieur sur cette liste. Elle n'est pas mieux partagée sous le rapport de la facilité de l'exploitation, car tandis que le prix de vente y atteint en moyenne 12 fr. 30 par tonne, il n'est que de 5 fr. 60 à 6 fr. 80 en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis.

La houille a de beaucoup la plus grande importance. En France les 20.024.000 tonnes de combustibles minéraux extraits en 1884 se répartissent de la manière suivante entre les trois sortes :

Houille.....	18.409.000 tonnes
Anthracite.....	1.119.000
Lignite.....	496.000
Total.....	20.024.000

Quant à la tourbe, sa production décroît sans cesse. On n'en a pas extrait en France, dans l'année 1884, plus de 197.000 tonnes, dont le prix moyen a varié de 3 fr. 45 à 18 francs, suivant les départements.

3. BITUMES.

393. — Parallèlement à la série des combustibles minéraux, la nature nous offre un autre ensemble d'hydrocarbures caractérisés par leur grande richesse en hydrogène et qui se

présentent à l'état gazeux, liquide ou solide, en gîtes épars, irréguliers, dans un grand nombre de formations diverses.

394. Gaz hydrocarburés. — Les hydrocarbures gazeux ont deux types principaux : le *gaz des marais* ou *protocarbure d'hydrogène* $C^2 H^4$ et le *gaz oléfiant* ou *bicarbure d'hydrogène* $C^2 H^2$.

Le premier se forme sous nos yeux dans la vase des lieux marécageux et il est dégagé par certaines marnes ou argiles chargées de matières organiques quand elles sont traversées par un trou de sonde.

Le second sort naturellement du sol dans beaucoup de localités. Les salses et surtout les puits à pétrole en émettent de grandes quantités. Aux États-Unis on l'utilise pour les besoins de l'industrie, pour le chauffage et pour l'éclairage. Dans les districts manufacturiers de la Pensylvanie occidentale, ce gaz est tellement abondant qu'il a amené une véritable révolution industrielle et son importance dépasse celle du fer, du charbon et du pétrole, qui jusqu'alors avaient été les sources premières de la prospérité de l'État de Pensylvanie ; son prix de revient n'y est que le cinquième de celui du charbon, à puissance calorifique égale.

Il convient d'ajouter que les combustibles minéraux, et notamment la houille, renferment des gaz qui souvent se dégagent d'eux-mêmes et auxquels on peut attribuer plusieurs jets naturels. Ces gaz, auxquels on donne le nom de *grisou*, constituent l'un des plus graves dangers des exploitations houillères, à cause des explosions qui se produisent au contact d'une flamme, quand ils sont mélangés à l'air ; ils consistent surtout en hydrogène protocarboné.

395. Pétrole. — Le *pétrole*¹ est le type des hydrocarbures liquides. C'est un liquide plus ou moins visqueux, blanc jaunâtre ou jaune clair, facilement soluble dans les huiles essentielles et l'éther, dont la densité est de 0,70 à 0,94. Il est constitué par un mélange en proportions variables d'*huiles légères*

1. *Petræ oleum*, huile de pierre.

ou *naphtes*¹ et d'*huiles lourdes*, dont les premières dissolvent les résines, les bitumes, ainsi que le soufre, le phosphore, l'iode.

Quand il est pur, le pétrole est très inflammable. Il prend feu à distance par le moyen de sa vapeur ; quand on en approche suffisamment un corps enflammé, il brûle aussitôt comme l'alcool avec une flamme bleuâtre et une fumée épaisse. A la distillation il laisse comme résidu une matière bitumineuse qui paraît identique avec l'asphalte.

Sa composition élémentaire moyenne est la suivante :

Carbone.....	88
Hydrogène.....	12
	100

D'après Cahours et Pelouze, qui ont examiné de nombreux pétroles provenant de l'Amérique du Nord, cette substance ne renferme ni benzine ni aucun de ses homologues, ce qui semblerait indiquer qu'on ne saurait la faire dériver de la houille ou que, si elle en provient, il faudrait admettre qu'elle aurait éprouvé une décomposition différente de celle qu'elle subit quand on la soumet à une distillation lente ou rapide, effectuée à une température basse ou élevée.

Le pétrole se trouve dans un grand nombre de contrées. Celles où il est exploité le plus activement sont l'Amérique du Nord (Pensylvanie, Virginie, Canada occidental) et la région du Caucase. Voici quels sont les chiffres qui représentent sa production en 1884 :

Etats-Unis.....	3.403.000 tonnes.
Russie.....	990.000
Canada.....	59.000
Prusse, Autriche, Hongrie, etc.....	9.000
	4.161.000

Aux États-Unis, le prix moyen de la tonne a été de 34 fr. 20.

Le pétrole est employé principalement pour l'éclairage. Au lieu de le brûler en nature ou après l'avoir rectifié, on le fait servir encore à la fabrication du gaz d'éclairage ; on obtient en outre comme produits accessoires des huiles légères ou *essen-*

1. En grec *ναφθα*.

ces de pétrole, qu'on peut transformer en benzine, des huiles lourdes bonnes pour le graissage, de la paraffine, etc.

Le pétrole peut aussi être utilisé pour le chauffage et la production de la vapeur. Son pouvoir calorifique approche de 10.000 calories à l'état brut et dépasse ce chiffre quand il est épuré par distillation. On a même essayé en Amérique de l'injecter dans les hauts-fourneaux comme agent combustible et réducteur.

Enfin on se sert du pétrole pour la dissolution du caoutchouc, pour la conservation des bois, comme agent désinfectant, etc.

396. Asphalte.— *L'asphalte*¹ est du bitume solide ou glutineux. Quand il est à l'état solide, il a une coloration d'un noir de poix, une cassure conchoïdale brillante et une grande fragilité; sa densité est de 1,05 à 1,06; il fond à la température de 100 degrés et brûle avec une flamme claire et une fumée épaisse en laissant peu de cendres. Il est composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, quelquefois avec un peu d'azote.

L'asphalte glutineux, auquel on donne aussi les noms de *bitume*, *poix minérale*, *malthe*² ou *pissasphalte*³, est mou, pâteux et ressemble à de la poix ou à du goudron. Il se durcit par le froid et se ramollit par la chaleur. On peut le considérer comme formant le passage entre le pétrole et l'asphalte solide, moins aisément fusible que lui.

On trouve l'asphalte en abondance sur les bords de la mer Morte, ou lac Asphaltite des anciens; il monte du fond à la surface des eaux et le vent le pousse par grandes masses dans les anses et les golfes, le long des côtes, où il est récolté par les Arabes. Il existe aussi dans l'île de la Trinidad. En France on rencontre l'asphalte glutineux dans plusieurs localités où il découle de diverses roches, à Gabian (Hérault), au Puy-de-la-Poix, près de Clermont-Ferrand, etc.

Mais l'asphalte est rarement isolé dans la nature. Le plus souvent il est mélangé à des roches, argile, sable, schiste ou

1. Du grec *ασφαλτος*, bitume.

2. *Μάλθα*, goudron.

3. *Πισσα*, poix.

calcaire, de manière à former des minerais bitumineux dont on l'extrait par distillation.

La production de ces minerais, de richesse très variable, s'est élevée en 1884 à 1.830.000 tonnes, dont 1.543.000 tonnes fournies par l'Angleterre et 202.000 par la France; la valeur est de 6 à 7 francs la tonne.

L'asphalte a été employé dans la construction dès l'antiquité la plus reculée, puisqu'il servait à cimenter les briques de la tour de Babel. De nos jours on utilise le calcaire asphaltique et le mastic d'asphalte pour la confection des chaussées et des trottoirs dans les grandes villes, pour les chapes de voûtes, les enduits pour réservoirs, les couvertures, les terrasses, les tuyaux de conduite, etc. L'asphalte convient parfaitement pour faire des fondations en maçonnerie bitumineuse destinées à amortir les chocs et à éteindre les vibrations produites par les machines à vapeur et autres appareils producteurs de trépidations.

397. Lignites bitumineux, cannel-coal, boghead. —

Les schistes bitumineux, en se chargeant de bitume, passent progressivement aux lignites gras, ou *lignites bitumineux*, dont nous avons signalé ci-dessus la forte teneur en hydrogène (n° 387) et qui, à cause de cette circonstance, constituent une anomalie dans la série des houilles.

Le *boghead*¹ est un combustible minéral noir, terne, que l'on trouve dans le terrain houiller d'Écosse, mais qui est plus riche en bitume que le charbon sec des couches voisines. Sa teneur en hydrogène, qui est de 8 à 9 0/0, atteint celle des lignites bitumineux. C'est un combustible à longue flamme, très recherché pour la fabrication du gaz d'éclairage et surtout pour la préparation des huiles légères et de la paraffine. On peut aussi le considérer comme une sorte de schiste bitumineux laissant peu de cendres par la combustion.

Le *cannel-coal*², que l'on rattache souvent aux houilles

1. Nom d'un village situé dans le sud de l'Écosse entre Glasgow et Edimbourg.

2. Corruption du mot anglais *candle-coal*, charbon à chandelle; à cause de sa propriété de brûler comme une bougie.

mais dont la place véritable est dans la série des bitumes, est un combustible brun, à cassure conchoïdale, sans éclat, qui brûle avec une flamme longue et très enfumée. C'est un charbon demi-gras, aussi riche en matières volatiles que les houilles sèches à longue flamme et qui peut donner par distillation lente plus de 20 0/0 de bitume.

4. RÉSINES FOSSILES.

398. Succin. — Le *succin*¹ ou *ambre*² $C^{20}H^8O^2$ est la résine fossile la plus connue. Il a été sécrété par un pin de la période secondaire ou tertiaire et on le trouve en dépôts isolés dans certains dépôts de lignites. Il est jaune ou brun, transparent ou translucide ; sa densité est de 1. Il brûle avec une flamme claire, fuligineuse, répandant une odeur agréable. Il est fragile, rayé par l'acier, mais compact et susceptible d'un assez beau poli ; il est remarquable par la facilité avec laquelle il s'électrise par le frottement.

Le succin se rencontre principalement sur les côtes de la Baltique, de Memel à Dantzick, où l'action des eaux de la mer le détache des terrains ligniteux. On l'emploie dans la grosse bijouterie et pour divers objets d'ornements. Il contient souvent des insectes et des débris de végétaux.

1. Du latin *succinum*, qu'on dérive de *succus*, suc.
2. De l'arabe *ambar*.

QUATRIÈME SECTION

ROCHES

CHAPITRE IX. Généralités sur les roches. — CHAPITRE X. Description des principales roches.

CHAPITRE IX

GÉNÉRALITÉS SUR LES ROCHES

§ 1. Constitution minéralogique des roches. — § 2. Détermination des éléments des roches. — § 3. Caractères généraux des roches.

§ I.

CONSTITUTION MINÉRALOGIQUE DES ROCHES.

399. Définition. — Dans le langage vulgaire, une *roche* est une matière minérale dure. Pour le géologue, ce nom a une signification plus étendue ; il le donne à toute substance minérale assez abondante pour être prise en considération dans l'étude générale de l'écorce terrestre, quel que soit d'ailleurs son degré de dureté. Ainsi le sable, l'argile, sont des roches au même titre que le granite.

A vrai dire la séparation entre les minéraux et les roches, qui ne repose que sur la plus ou moins grande abondance avec

laquelle la matière se présente dans la nature, est assez indé-
cise, et il serait permis de regarder comme des roches tout
aussi bien que comme des minéraux les minerais de fer, les
charbons fossiles, qui peuvent former des couches épaisses et
étendues, les substances de filon, etc.

Mais cette distinction n'a pas une très grande importance
pour nous qui avons surtout comme objectif un but pratique.
En nous plaçant à ce point de vue, nous considérerons comme
rentrant dans le domaine de la lithologie toute matière pier-
reuse susceptible d'être utilisée dans les constructions, soit
telle qu'elle est extraite du sein de la terre, après avoir été
soumise à une simple préparation mécanique, comme le gra-
nite, le grès, le calcaire ; soit après avoir subi une transfor-
mation qui modifie ses caractères naturels, comme la terre à
briques, le gypse, etc. C'est ainsi que nous avons laissé dans
la minéralogie les substances minérales, moins abondantes
d'ailleurs, qui ont surtout des applications industrielles.

400. Minéraux essentiels et minéraux accessoires.

— De même qu'on ne trouve dans la nature qu'un nombre de
minéraux différents beaucoup moindre que celui dont la quan-
tité de corps simples permet de supposer théoriquement l'exis-
tence, de même on constate que l'écorce du globe, considérée
dans son ensemble, est construite avec un petit nombre d'es-
pèces minérales.

Parmi les 4.400 minéraux connus, il n'en est pas en effet plus
d'une trentaine qui forment partie intégrante des roches ; les
autres, disséminés dans leur masse, ne sont pas nécessaires à
leur constitution et ils ne changent pas notablement leurs pro-
priétés. Tandis que les premiers sont des *éléments constitutants*
ou *essentiels*, les autres sont des *éléments accessoires* ou *acci-*
dentels.

Les roches sont *simples* quand elles sont formées d'une seule
espèce minérale, comme le calcaire, le sable quartzeux, le
gypse. Elles sont *composées* lorsqu'elles résultent de l'associa-
tion d'éléments différents ; tel est le granite, dans la compo-
sition duquel entrent trois minéraux bien distincts, le feldspath,
le quartz et le mica. Habituellement les roches composées ne

renferment pas plus de deux ou trois éléments minéralogiques essentiels, rarement quatre.

Les minéraux essentiels d'une roche n'y jouent pas tous d'ailleurs un rôle d'égale importance. Un ou deux d'entre eux y sont généralement prédominants soit par le nombre des individus, soit par l'influence de leurs caractères, et donnent à la roche son cachet spécial. Ainsi dans le gneiss ou granite schisteux, le feldspath est prédominant parce qu'il forme souvent plus de la moitié de toute la masse. Au contraire, dans le basalte, essentiellement composé de feldspath et de pyroxène, ce second minéral, quoique moins abondant que le premier, domine par son influence et imprime à la roche son caractère, notamment par sa coloration noire.

Sous le rapport du volume des parties individuelles, on peut distinguer les *roches phanérogènes*¹, dont les parties sont apparentes et discernables à l'œil nu (granite), les *roches adélogènes*², dont le volume des parties est invisible (basalte, calcaire) et les roches partie phanérogènes et partie adélogènes comme les mélaphyres, composés d'une pâte compacte avec cristaux discernables et reconnaissables à l'œil nu.

Dans les roches phanérogènes, les individus minéralogiques sont généralement assez petits. Ce n'est qu'exceptionnellement qu'on y observe des minéraux dépassant quelques centimètres, comme le quartz, dont les plus grands cristaux peuvent atteindre un mètre, la tourmaline qui a quelquefois jusqu'à 16 centimètres de longueur.

Les roches adélogènes ne sont pas toujours aussi simples qu'elle le paraissent au premier abord et au microscope elles se résolvent souvent en plusieurs minéraux différents. Pour certaines de ces roches, les parties minérales élémentaires ne peuvent se distinguer, même avec les instruments grossissants les plus perfectionnés ; ainsi, de quelque manière que l'on s'y prenne, il est impossible de discerner les dernières parties indivisibles de l'argile, du silex, de l'obsidienne ou verre naturel.

1. Φανερός, visible ; γενεα, origine.

2. Αδελος, caché.

§ II.

DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS DES ROCHES

401. Examen à l'œil nu. — Les roches phanérogènes, dans lesquelles les éléments constitutifs se distinguent les uns des autres, ne présentent pas de difficultés particulières pour leur détermination. A la vérité, les cristaux, par suite de la compression qu'ils ont subie, ont souvent été gênés dans leur complet développement et se sont déformés ou se sont enchevêtrés les uns dans les autres ; mais leurs caractères physiques, dureté, clivages, couleur, éclat, sont généralement encore assez nets pour qu'un minéralogiste exercé les reconnaisse à l'œil nu ou en s'aidant d'une loupe.

On peut d'ailleurs compléter ce premier examen, s'il n'est pas suffisamment concluant, en isolant par le cassage les divers minéraux de la roche pour les soumettre à quelques essais chimiques ou étudier la manière dont ils se comportent au chalumeau. A l'aide de pesées, on détermine en outre la proportion relative de chacun de ces éléments.

Delesse a imaginé un procédé simple qui permet d'étudier certaines roches cristallines phanérogènes, comme les granites, et de se rendre un compte assez exact de leur composition minéralogique. On fait naître sur un échantillon de la roche à examiner une face plane que l'on polit et que l'on humecte avec de l'huile ; les minéraux se modifient dans leur transparence, leurs couleurs sont plus vives et ils se reconnaissent ainsi plus aisément ; ainsi le quartz devient très limpide, tandis que les feldspaths deviennent opaques et même laiteux. On recouvre ensuite la face plane d'une peau de boudin ou d'une feuille de papier végétal et on calque les contours des différents minéraux ; un calcul simple ou une pesée des morceaux de papier correspondant à ces minéraux donne la surface totale occupée par chaque espèce. En répétant la même opération dans trois directions différentes à travers la roche, on remplace la surface des minéraux par leur volume, et,

comme on connaît leur densité, on en déduit leur poids.

Les roches simples sont encore plus faciles à déterminer, puisqu'elles sont formées d'un minéral unique. Mais de ce qu'une roche présente à l'œil nu ou même à la loupe une apparence compacte et homogène, il ne faut pas toujours conclure qu'elle est simple ; car, ainsi que nous le disions tout-à-l'heure, elle peut se montrer au microscope comme une agrégation de diverses espèces minérales.

402. Analyse et essais chimiques. — Pour les roches composées compactes ou à grain très fin, il s'en faut donc que le problème soit aussi aisé à résoudre que pour les roches à grain discernable.

L'analyse chimique semble au premier abord le procédé le plus efficace. Cependant cette méthode ne permet généralement que de hasarder des conjectures plus ou moins plausibles ; les divers minéraux d'une roche contiennent souvent en effet les mêmes substances, silice, alumine, alcalis, etc., en sorte qu'il est très difficile d'interpréter les résultats de l'analyse et de reconstituer ces minéraux en attribuant à chacun d'eux la part qui lui revient dans chaque élément chimique. Il arrive même que des roches formées visiblement d'espèces minérales différentes présentent à peu près la même composition chimique élémentaire.

Une analyse complète est donc rarement nécessaire et il vaut mieux en général ne procéder qu'à quelques essais rapides qui, quand ils sont bien conduits, peuvent éclairer des points obscurs de la constitution d'une roche.

Ainsi on peut se contenter de déterminer la proportion de silice ; si elle dépasse 65,20 0/0 dans une roche feldspathique, on est sûr qu'elle n'est pas entièrement à l'état de combinaison et qu'une partie se trouve en liberté sous la forme de quartz. Ainsi encore, quand une roche contient de l'orthose et de l'oligoclase, le dosage de la potasse et de la soude indiquera quel est celui des deux feldspaths qui prédomine.

403. Préparation mécanique. — On obtient des résultats encore plus concluants en séparant par un procédé méca-

nique les divers minéraux de la roche pour les soumettre ensuite individuellement à l'analyse chimique ou à de simples essais.

Dans la méthode de M. Fouqué, on casse la masse en fragments, en opérant par simple pression et évitant de triturer, afin de ne pas risquer de dépolir les petits grains cristallins, ce qui empêcherait d'étudier complètement leurs caractères physiques ; puis on fait traverser à ces fragments des séries de tamis de 1 millimètre, 0 millim. 3 et 0 millim. 2. On étale les diverses poudres sur des papiers dont les couleurs contrastent avec les leurs et on les examine à la loupe. Pour les minéraux contenant du fer, on arrive déjà à une première séparation au moyen d'aimants et d'électro-aimants de puissance croissante ; un barreau aimanté ordinaire attire seulement le fer et le fer oxydulé ; un électro-aimant mis en relation avec deux ou trois éléments Bunsen, grand modèle, enlève la hornblende, l'augite et le péridot dans lesquels la proportion de fer est de 15 à 18 0/0 ; avec sept ou huit éléments, on attire les minéraux moins riches en fer, comme le mica ferro-magnésien qui en contient 13 0/0.

Souvent on opère ce triage par l'action de l'eau. En faisant couler les poudres dans un courant d'eau très lent sur un plan incliné, on arrive à les classer par ordre de densité, les plus légères étant entraînées plus loin que les autres.

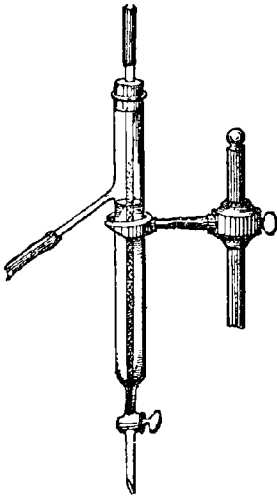


Fig. 174. — Appareil Thoulet

M. Thoulet a construit un petit appareil qui permet de recueillir des matières d'inégales densités à différentes hauteurs dans un tube où l'on insuffle un fort courant d'eau.

Ce savant a imaginé, dans le même but, un autre procédé ingénieux, basé sur l'emploi d'un liquide plus dense que l'eau et qui est surtout précieux pour séparer les corps dont les poids spécifiques sont très voisins. On met dans un gros tube de

verre (fig. 174) une dissolution saturée d'iode de potassium et de biiodure de mercure dont la densité à saturation est de 2,77, puis on y introduit une certaine quantité de la roche à étudier, concassée en petits grains de grosseur aussi égale que possible ; ceux qui sont plus lourds que la liqueur tombent au fond, tandis que les plus légers surnagent. En ajoutant progressivement de l'eau pure au moyen d'un petit tube qui traverse le gros tube jusqu'à sa partie inférieure, on précipite les grains de moins en moins lourds, qui viennent s'étagier ainsi par ordre de densités décroissantes. L'appareil est fermé en bas par un robinet de large ouverture, à l'aide duquel on recueille les matières au fur et à mesure qu'elles sont entraînées par la liqueur pendant qu'on le maintient ouvert. Un autre robinet plus étroit, placé latéralement, sert à remplir le tube de liquide par voie d'aspiration.

On arrive par ce procédé à séparer le quartz des feldspaths, ce qu'on n'avait pu faire jusqu'à présent à cause de la faible différence de leurs densités. Cet appareil peut être également employé pour déterminer la densité des roches et des minéraux.

Quand on a affaire à des minéraux dont la densité est supérieure à 2,77, on peut se servir soit d'une dissolution de borotungstate de cadmium, dont le poids spécifique à saturation est de 3,28, soit même, mais en opérant alors à chaud, du chlorure de plomb fondu seul ou mélangé à du chlorure de zinc.

Dans certains cas, on fait le triage des poudres de roches à l'aide d'un courant d'air, par un procédé analogue à celui que mettent en pratique les vanneuses mécaniques. Cette sorte de *lévigation aérienne* convient lorsque l'un des minéraux est en paillettes légères, comme le mica, tandis que les autres sont en grains difficiles à entraîner.

Nous mentionnerons encore un procédé indiqué par M. St. Meunier et qui n'est autre chose qu'une application de l'expérience de Leichtenberg. On prend un électrophore formé d'un gâteau de résine dans lequel sont incrustées des règles de verre ; en le chauffant et le frottant avec une peau de chat on développe respectivement sur le verre et sur la résine les deux électricités positive et négative. Cela fait, on projette sur l'ap-

pareil la poudre très fine et un peu chaude au moyen d'un petit soufflet dans lequel on l'a introduite ; elle s'électrise en passant par la tuyère, et quand elle contient des minéraux susceptibles de prendre des électricités contraires, les uns se portent sur la résine, les autres sur le verre. On arrive par exemple de cette manière à séparer le soufre et le feldspath dans des trachytes sulfurifères.

401. Emploi du microscope. — L'un des appareils les plus précieux que le géologue ait à sa disposition pour l'étude des roches est le microscope.

On s'est d'abord servi du microscope ordinaire, à l'aide duquel on examine la roche polie sur une face plane et éclairée par réflexion ou taillée en plaques assez minces pour être transparentes, ou bien encore les grains résultant de l'écrasement de cette roche. Mais on n'a pas obtenu les résultats sur lesquels on comptait ; avec une plaque mince par exemple, les couleurs caractéristiques de presque tous les minéraux s'affaiblissent au point qu'elles ne sont plus sensibles à l'œil et on n'aperçoit qu'une masse à peu près incolore, traversée par de nombreuses lignes entrecroisées dans lesquelles il n'est guère possible de distinguer les fêlures des contours des minéraux.

Il n'en est pas de même avec le microscope polarisant, dont nous avons donné plus haut la description (n^o 245) et du jour où l'on a songé à l'appliquer à l'étude des roches date une véritable transformation de la pétrographie. Le rayon polarisé agit en quelque sorte à la manière d'une sonde déliée qui, pénétrant dans l'intérieur de la substance, nous en dévoile la constitution intime. Les roches se sont ainsi montrées avec une complication imprévue et une variété très grande ; des espèces minérales, regardées jusque-là comme rares, se sont révélées avec une grande abondance relative dans certaines roches, tandis que d'autres roches, considérées comme simples, ont apparu comme des agrégats de divers minéraux très ténus.

Ainsi la leucite, qu'on ne connaissait en cristaux visibles que dans un petit nombre de laves comme celles d'Italie, est en réalité partie intégrante de beaucoup d'autres laves et de

nombreux basaltes. Le périclase (variété olivine) que l'on regardait comme exclusivement caractéristique du basalte, est également, sous la forme microscopique, un accessoire non moins caractéristique du mélaphyre. L'apatite est répandue en très petites aiguilles hexagonales dans une foule de roches cristallines et c'est ce qui explique la diffusion du phosphate de chaux dans les roches.

Les inclusions microscopiques des minéraux, dont la forme, la disposition et la nature sont souvent en rapport avec le mode de formation des roches, les mâcles des plagioclases, etc., ne sont discernables, dans bien des cas, qu'en lumière polarisée. Enfin ce n'est qu'avec le microscope polarisant qu'on peut se rendre compte de la texture amorphe ou cristalline de certaines roches, ou du passage de l'état amorphe à l'état cristallin.

§ III

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES ROCHES.

405. — Avant de décrire les principales roches, il est utile d'examiner leurs caractères généraux en nous plaçant surtout au point de vue de l'art des constructions.

Il s'en faut toutefois que les propriétés des roches aient été aussi bien étudiées que celles des minéraux ; quelques-unes d'entre elles sont même à peine connues. C'est qu'ici la question est autrement complexe. L'espèce n'existe pas en lithologie comme en minéralogie ; il y a souvent même de telles variations dans la constitution de ces matériaux que leurs propriétés changent dans la même masse d'un point à l'autre et on peut dire qu'il n'y a pas deux roches rigoureusement identiques. On conçoit donc que les caractères des roches ne puissent être définis avec la même netteté que ceux des minéraux.

406. Structure. — La structure est un des caractères extérieurs les plus essentiels des roches. On peut en distinguer de

deux sortes ; la *structure de séparation*, qui se manifeste par la cassure, et la *structure d'agrégation*, qui indique la manière dont se groupent les éléments constitutants de la roche.

Ce dernier mode, d'ordre plus intime que l'autre, est appelé avec plus de justesse *texture*, et c'est le mot que nous adopterons. Les éléments forment en effet une sorte de tissu pour ainsi dire, de même que le tissu végétal résulte de la réunion de cellules. Nous laisserons provisoirement de côté la texture, dont l'étude sera mieux placée dans le chapitre X consacré à la description des diverses sortes de roches.

Quant à la structure de séparation, ou structure proprement dite, nous en avons déjà parlé dans la seconde section. Nous rappellerons simplement ici que l'on peut en compter trois espèces principales : la *structure indéterminée* ou *massive*, qui se présente lorsque la roche n'a aucun sens particulier suivant lequel elle se divise quand on la casse, comme dans le calcaire, le silex ; la *structure schisteuse*, qui se rencontre dans les roches susceptibles de se diviser en feuillets, telles que les schistes, et la *structure pseudo-régulière*, dont les basaltes, divisibles en prismes plus ou moins réguliers, nous offrent le meilleur type.

407. Adhérence des éléments. — Les roches, considérées sous le rapport de l'adhérence plus ou moins grande des éléments, sont *solides* ou *meubles*.

Dans les roches solides, les minéraux constitutants adhèrent entre eux. Leur cohésion est due soit à la seule force d'agrégation, la même que celle qui réunit les molécules dans l'intérieur de chaque individu isolé et qui est bien différente de l'affinité chimique, soit à un ciment qui s'est infiltré entre les interstices des particules et les a agglutinées.

Dans le premier cas, on a des *roches agrégées*, qui ne contiennent que des minéraux formés en même temps ; telles sont les roches éruptives, certains calcaires, etc. Ce n'est qu'accidentellement qu'on y trouve des fragments de roches plus anciennes qu'elles ont englobés dans leur masse, comme les morceaux de schistes empâtés par le granite de Normandie.

Les roches qui doivent leur cohésion à un ciment portent le

nom de *roches agglomérées*. Elles renferment des fragments de roches formées à diverses époques et le ciment peut être lui-même d'une époque postérieure. Un grand nombre de sédiments appartiennent à cette catégorie.

C'est du degré plus ou moins grand d'adhérence que résultent un certain nombre de propriétés recherchées dans les matériaux de construction, comme la résistance, la tenacité, la flexibilité, etc.

Dans les roches *meubles* ou *incohérentes*, les éléments ne sont pas liés entre eux. L'indépendance des particules est tantôt complète, comme dans le sable, tantôt imparfaite, comme dans les argiles dont l'état pâteux est dû à l'interposition d'une certaine proportion d'eau. Aussi il suffit de faire disparaître cette eau par la calcination pour que les molécules se rapprochent et que la roche durcisse.

408. Homogénéité. — A moins que les roches ne soient composées d'un minéral unique, elles ne sont pas homogènes dans le sens précis que l'on donne à ce mot en minéralogie. Mais elles peuvent être *homogènes en grand*, c'est-à-dire présenter une constitution uniforme. C'est une des qualités que l'on doit rechercher avant tout dans les matériaux de construction, car on ne peut compter sur la résistance ni sur le bon usage d'une pierre dont la constitution est irrégulière.

Les défauts qui altèrent l'homogénéité sont assez variés et ils abondent surtout dans les roches sédimentaires. Pour les matériaux calcaires, qui sont de beaucoup les plus employés dans les constructions, on distingue les *fils*, *poils* ou *limés*, solutions de continuité ou fissures remplies d'une substance plus dure ou plus tendre que la masse ; les *moies*, petits amas terreux enclavés dans les roches ; le *bousin*, partie tendre qui limite les lits de carrière à la séparation des bancs ; les *clous*, rognons durs qui font corps avec la pierre et nuisent à la taille, au sciage et au polissage ; les *cendres*, *terrasses* ou *pouffes*, matières granuleuses qui s'égrènent à l'humidité et se rencontrent surtout dans les pierres tendres.

Un autre défaut assez grave consiste dans la présence de fissures imperceptibles susceptibles de s'agrandir peu à peu avec le temps et qui rompent la continuité de la pierre.

Certaines roches, surtout parmi les roches éruptives, peuvent donner des blocs sans fissures de dimensions colossales. Ainsi le morceau de granite qui sert de base à la statue de Pierre le Grand à Saint-Pétersbourg avait à l'état brut un volume de 600 mètres cubes. Les anciens Egyptiens, d'après Hérodote, avaient élevé dans la ville de Saïs une chapelle creusée dans un bloc de granite qui devait cuber environ 4.500 mètres cubes.

Les pierres calcaires sont loin de fournir des dimensions comparables à celles qui viennent d'être relatées. Il est rare que les blocs sains donnés par ces pierres aient plus de 5 à 6 mètres cubes, volume que l'on dépasse rarement d'ailleurs dans les constructions. Cependant Rondelet rapporte qu'on a extrait, dans une carrière des environs de Châtillon-sur-Seine, un obélisque de 8^m,90 de longueur sur 0^m,80 de base, qui a été tranché dans une masse parfaitement homogène d'une longueur de 21^m,75.

409. Densité. — La densité des pierres varie entre de moins larges limites que celle des minéraux. Le basalte, qui est la roche la plus lourde à cause de la forte proportion de fer qu'il contient et de sa grande compacité, pèse au maximum 3.100 kilogrammes le mètre cube ; la pierre ponce, qui est très poreuse, ne peut guère peser moins de 650 kilogrammes.

La densité d'une roche est à considérer dans bien des cas. D'abord elle joue un rôle important au point de vue du transport dont le prix, pour peu que la distance au lieu d'emploi soit élevée, est souvent de beaucoup supérieure à la valeur de la roche sur carrière.

Dans les constructions, la densité est à rechercher toutes les fois qu'on veut augmenter la stabilité. Les blocs destinés à former le corps d'un brise-lames à pierres perdues, les enrochements qui protègent une enceinte de fondations résisteront d'autant mieux à l'entraînement des eaux qu'ils seront plus pesants. Les pierres légères au contraire sont propres à l'établissement des voûtes, genre de construction dans lequel les efforts exercés contre les points d'appui augmentent avec la densité.

410. Dureté. — Les roches ont une dureté extrêmement variable, depuis la craie qui se laisse entamer par l'ongle jusqu'au porphyre qui émousse le fer et qui ne peut être travaillé que par des outils d'acier d'une trempe spéciale. Ce sont les roches dans lesquelles domine le quartz ou le feldspath qui présentent cette propriété au plus haut degré.

Pour les parties des édifices exposées à des frottements réitérés, comme les soubassements, pour l'empierrement des routes, pour les dallages, pour les pavés, la dureté a une grande importance, car les matériaux appliqués à ces usages s'usent d'autant moins vite qu'ils sont plus durs.

Il n'y a que les roches jouissant d'une dureté assez grande, comme les calcaires marmoréens et les roches feldspathiques, qui soient réellement susceptibles de prendre un beau poli. Ce n'est d'ailleurs pas toujours un avantage ; c'est même un des plus grands défauts de certains matériaux de pavage, comme les porphyres, qui, en se polissant à la longue sous les frottements amenés par la circulation, deviennent en même temps glissants. Aussi on recherche avec soin pour la fabrication des pavés les pierres dures privées de cette faculté ; tels sont les grès.

On mesure la dureté d'une pierre par différents procédés. On peut chercher à déterminer l'usure qu'elle subit quand on la frotte avec du sable quartzeux ou avec de l'émeri pendant un temps donné, ou la profondeur du trait de scie qu'on obtient au bout d'un certain temps. On trouve ainsi qu'en représentant par 1 la dureté du marbre blanc veiné, celle du granite gris de Normandie, employé à Paris pour les bordures de trottoir, est de 7, et que celle du granite rose d'Égypte, avec lequel est construit l'obélisque de Louqsor, est de 10.

Pour les matériaux d'empierrement en particulier, on détermine leur dureté comparative en plaçant un certain poids de chaque espèce dans un cylindre animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe oblique sur l'axe géométrique ; au bout d'un certain temps on pèse la poussière produite, dont le poids est d'autant moins élevé que la matière est plus dure.

Les pierres calcaires sont généralement distinguées dans la pratique en *pierres tendres*, qu'on peut débiter à la scie à dents,

et *pierres dures*, qui ne se laissent entamer que par la scie à l'eau et au grès, comme les marbres.

On a proposé divers moyens pour augmenter la dureté des calcaires tendres. Dans le procédé de la silicatation de Kuhlmann, appliqué sur plusieurs monuments (Notre-Dame de Paris, statues du nouveau Louvre, cathédrale de Chartres), on imbibe la pierre à plusieurs reprises d'une dissolution de silicate de potasse ; une partie de la silice se combine avec la chaux en même temps que les pores se bouchent sur une certaine épaisseur, et la pierre acquiert la consistance du marbre. Mais il vaut mieux se servir, suivant le conseil de M. Kessler, d'une dissolution de fluosilicate terreux ou métallique, qui a l'avantage de ne laisser dans le calcaire que des composés absolument insolubles. Une autre méthode, due à M. Sorel, consiste à appliquer sur les calcaires dont on veut durcir la surface une solution de chlorure de magnésium mélangée de magnésie qui, au bout de quelque temps, donne un oxychlorure d'une assez grande dureté.

411. Ténacité. — La ténacité est la résistance qu'offre une roche à la rupture par le choc. C'est une propriété complètement indépendante de la dureté ; ainsi le silex, qui est une des pierres les plus dures, est souvent aussi une des plus fragiles. Les matériaux qui joignent la dureté à la ténacité sont ceux qui conviennent le mieux pour l'empierrement des routes.

La ténacité peut être produite par un mélange de parties dures et de parties tendres. Le granite dans lequel se trouve accidentellement de la pinite, comme celui de l'Ardèche, est plus tenace que le granite ordinaire ; il en est de même pour les roches granitoïdes très micacées par rapport aux roches pauvres en mica. Tel est le cas aussi pour les calcaires argileux qui résistent généralement mieux aux chocs que les calcaires purs.

412. Flexibilité, élasticité. — La flexibilité est loin d'être aussi grande dans les roches que dans certains minéraux. On trouve cependant au Brésil une roche appelée *grès flexible*, qui est composée essentiellement de mica blanc et de quartz telle-

ment enchevêtrés que les plaques qu'on en obtient sont complètement flexibles ; mais c'est là un fait exceptionnel.

Pour les roches ordinaires cette propriété est appréciable dans bien des cas. Tous les marbriers savent que, quand on appuie une plaque de marbre contre un mur dans une position inclinée, elle se comporte comme une feuille de carton et fléchit lentement à la longue en se voilant ; sur une lame de marbre bleu turquin de 1^m,15 de longueur et 18 millim. d'épaisseur, qui avait été placée dans cette position pendant assez longtemps, M. Frossard a mesuré une flèche de 22 millim. comptée à l'intérieur. La flexibilité générale des roches est encore mise hors de doute par les contournements qu'elles ont subis sans se briser dans les mouvements violents auxquels elles ont été soumises (n° 98).

En général les roches flexibles sont en même temps élastiques. On cite souvent, comme exemple à l'appui de ce fait, les colonnes du Panthéon qui, ainsi que le rapporte de Prony, oscillaient de 5 à 6 centimètres à leur sommet avant la pose de l'entablement, lorsqu'on les frappait violemment avec le pied.

Dans les marbres homogènes ou fortement cimentés, il y a une élasticité notable qui se manifeste alors par la sonorité sous le choc du marteau. C'est ce que l'on constate encore quand on fait vibrer une baguette de marbre.

Ces deux propriétés de la flexibilité et de l'élasticité varient avec les directions dans les roches fissiles comme les schistes ardoisiers et même dans les roches qui n'ont qu'une simple tendance à la schistosité. Ainsi certains amas de marbre possèdent un plan suivant lequel ils se divisent plus facilement ; une plaque de ce marbre, sciée et polie dans le sens de ce plan, fléchira sans se rompre et sans perdre de sa solidité lorsqu'on l'appuyera seulement à ses bords. Par contre, le même marbre scié et poli en plaque perpendiculairement au plan de facile division, puis posé dans les mêmes conditions d'équilibre, se disloquera et se rompra.

413. Résistance à l'écrasement. — Il est nécessaire pour le constructeur de se rendre compte de la charge maxima

qu'une roche peut supporter sans s'écraser. Il est évident en effet que le genre de matériaux à mettre en œuvre peut varier avec les efforts auxquels ils ont à résister et que telle pierre, excellente par exemple pour un mur de refend, serait insuffisante pour une voûte de pont.

Michelot a fait de nombreux essais pour déterminer cette résistance, surtout sur les matériaux de constructions employés en France. L'appareil dont il se servait dans ce but consiste simplement en un levier du second genre, en fer, qui repose par un bout, à l'aide d'un couteau analogue à celui d'une balance, sur un poteau en fonte, et qui, par l'autre bout, s'appuie sur la pierre à écraser, laquelle est placée également sur un support en fonte. Dans l'intervalle on peut faire circuler sur le levier une poulie, à la chape de laquelle est suspendu un plateau chargé de poids. En faisant varier la position de cette poulie, on augmente ou on diminue son bras de levier par rapport à la pierre, et par suite on diminue ou on augmente dans la même proportion la pression exercée sur cette pierre. Au moment où celle-ci se fissure ou s'écrase, la position de la poulie indique quelle est la charge qu'elle supporte.

Cet appareil, en raison de la grandeur des efforts à développer, est lourd et encombrant. Aussi on le remplace souvent par la presse hydraulique, quoiqu'elle donne des indications un peu moins exactes sur la pression qui produit la rupture. Toutefois ces indications sont bien suffisantes pour les applications pratiques, d'autant plus que dans les calculs on introduit un coefficient de sécurité de $1/10$ au moins, c'est-à-dire qu'on ne fait porter aux pierres que le dixième au plus de leur charge d'écrasement. C'est au moyen de la presse hydraulique que l'on procède aux essais de rupture dans le laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

Pour rendre les résultats comparables, on donne aux échantillons à essayer la forme exacte de cubes dont le côté est de 4 à 5 centimètres pour les pierres dures et de 5 à 10 pour les pierres tendres. L'expérience a montré que les cubes de pierres semblables résistent proportionnellement à leur section.

En divisant la charge totale de rupture par la surface de la section exprimée en centimètres carrés, on obtient la résistance par centimètre carré.

Les résultats auxquels on est arrivé sont extrêmement variables suivant les diverses natures de matériaux. Voici quelques chiffres qui donneront une idée de ces variations :

Basalte, porphyre.....	1.800 à 2.400 k. par c ²
Granite.....	500 « 1.500
Marbre compact.....	700 « 1.200
Marbre statuaire.....	500 « 700
Trachytes, laves.....	300 « 900
Grès dur.....	350 « 800
Grès demi-dur ou tendre.....	80 « 300
Calcaire compact dur.....	200 « 900
Calcaire tendre.....	20 « 200
Brique dure très bien cuite.....	120 « 150
Brique ordinaire.....	50 « 60

On voit que c'est parmi les roches éruptives, comme les basaltes, les porphyres, les granites, que sont les matériaux les plus résistants. Les grès résistent d'autant mieux qu'ils sont plus durs et plus compacts ; il en est de même pour les calcaires ordinaires et les marbres.

La résistance à l'écrasement est donc en relation avec la densité, mais elle dépend aussi de la texture, de l'homogénéité, de la cohésion des éléments. C'est ainsi qu'à poids égal les porphyres sont plus résistants que les granites, et les grès que les calcaires. Ce n'est que pour une même nature de pierre que l'on peut dire d'une manière générale que la charge d'écrasement augmente avec la densité.

Il est bien entendu que les chiffres donnés ci-dessus se rapportent à des pierres saines et bien homogènes. Les défauts qu'elles peuvent présenter diminuent beaucoup leur résistance et la rendent même quelquefois nulle.

De plus ces chiffres ne doivent être considérés que comme de simples indications. Il y a en effet tant de variations d'une carrière à l'autre, d'un banc à l'autre même dans une même carrière, qu'il est prudent de répéter les essais et les comparaisons toutes les fois qu'on ouvre une exploitation nouvelle ou qu'on a une construction importante à faire.

Sur une pierre déterminée, il y a souvent aussi des différences de résistance assez notables suivant le sens dans lequel on cherche à l'écraser. En général c'est quand elles sont placées

sur leur lit de carrière que les roches sédimentaires résistent le mieux. Il n'y a que les matériaux compacts et bien homogènes pour lesquels la charge d'écrasement soit à peu près la même en lit et en délit.

Un fait intéressant qui ressort encore des expériences de Michelot, c'est que la résistance des roches imprégnées d'humidité est souvent beaucoup moins grande que celle des mêmes roches desséchées et durcies par l'exposition à l'air. Certaines pierres poreuses comme les grès bigarrés des Vosges, si employés dans l'est de la France, les pierres tendres des environs de Paris, les molasses du Midi, perdent, quand elles sont imbibées d'eau, le quart et jusqu'au tiers de leur force.

Il faut tenir compte de cette circonstance dans le calcul des épaisseurs à donner aux piliers de soutènement dans les carrières souterraines, et c'est pour l'avoir méconnue que des exploitants inexpérimentés ou imprudents ont amené de si graves accidents.

411. Résistance à la traction et à la flexion. — C'est presque toujours à des efforts de compression que les pierres sont soumises dans les édifices. Cependant dans quelques cas, rares d'ailleurs, elles ont à résister à des efforts de traction.

Les expériences faites pour mesurer ce genre de résistance sont peu nombreuses. On a trouvé par exemple que le basalte se rompt sous une traction de 77 kilogr. par centimètre carré, le calcaire des environs de Paris de 5 à 15 kilogr. Ces chiffres, de beaucoup inférieurs à ceux qui se rapportent à la résistance à l'écrasement, montrent qu'on ne doit faire intervenir la cohésion des pierres dans les constructions soignées qu'avec une grande réserve et éviter de soumettre la pierre à des efforts d'arrachement, surtout en présence des nombreux défauts de pose auxquels on est toujours exposé.

Il est encore une sorte d'effort auquel les pierres peuvent être soumises dans les constructions, c'est quand elles sont employées dans les dallages ou qu'elles sont placées en porte-à-faux. Une telle utilisation, qui comporte un travail par flexion, leur convient mieux en général que celle dont nous venons de parler.

Mais dans cette circonstance on n'a guère d'autre guide que la pratique, car il n'a été fait que fort peu d'essais sur la résistance des pierres à la flexion. D'après les expériences de MM. Blavier et Brossart de Corbigny, voici quelle est la charge de rupture à la flexion de quelques roches :

Ardoise d'Angers en long....	562 k. par c ²
» » en travers..	273
Marbre.....	114
Pierre de Tonnerre.....	63

415. Couleur. — La couleur est un élément important de décoration des édifices. Dans les roches cristallines, elle résulte de la combinaison des nuances propres à chacun des éléments constitutants ; ainsi un granite gris peut être formé de feldspath blanc, de quartz grisâtre et de mica noir. D'autres fois, un ou deux éléments tranchent par la vivacité de leurs couleurs sur le fond uniforme de l'ensemble ; tel est le cas pour le beau porphyre rouge antique, composé de cristaux blancs d'oligoclase noyés dans une pâte feldspathique rouge, ou pour certaines variétés de serpentine à veines blanches de calcaire traversant une masse verte.

Dans les roches sédimentaires, au nombre desquelles les marbres offrent les plus grandes variétés de nuances, la coloration est généralement due à une faible proportion de substances accidentelles, telles que des matières organiques ou l'oxyde de fer. On a attribué à une combinaison sulfurée analogue au lapis la teinte bleuâtre de certains calcaires.

La couleur est quelquefois un indice susceptible de fournir des données utiles sur la texture interne. Pour les granites de Normandie, on préfère la couleur gris bleuâtre à la couleur rouge ou rouille qui dénote presque toujours une roche plus tendre, lors même qu'il n'y a pas décomposition apparente. A Monthermé (Ardennes) où l'on exploite les quartzites sur une grande échelle pour l'empierrement des routes, on attribue une tenacité plus grande à ceux qui ont une teinte bleu foncé qu'à ceux qui sont colorés en vert pâle. Les schistes ardoisiers à nuances crues, bleue, rouge ou violette, fournissent généralement des ardoises plus résistantes que les schistes jaunâtres ou brunâtres dont la teinte indique un commencement d'altération.

Sous diverses influences qui ont leur source dans l'atmosphère, la couleur des roches fraîchement extraites peut subir des modifications notables. Certains calcaires gris pâle contenant du carbonate de protoxyde de fer prennent par exemple, au bout de peu de temps, une teinte rougeâtre par suite de la peroxydation superficielle du protoxyde de fer.

Mais c'est surtout sur le marbre que les changements de coloration sont frappants. M. Ch. Garnier qui, avant de commencer les travaux du Nouvel Opéra, a fait une étude minutieuse des matériaux propres à entrer dans la construction de ce bel édifice, a constaté que les tons des marbres de couleur ne se conservent sous aucun climat, pas plus à Palerme qu'à Paris, tandis que les marbres blancs prennent, sous le soleil du midi, une teinte chaude qui fait défaut dans le nord. Ce sont principalement les brèches violettes, les brocatelles, les griottes, qui perdent la plus grande partie de leur éclat.

416. Conductibilité thermique. — Les roches conduisent mal la chaleur. D'après Péclet, la quantité M de chaleur qui traverse une plaque à surfaces planes et parallèles d'épaisseur E est donnée par la formule

$$M = (t - t') \frac{C}{E}$$

dans laquelle t et t' sont les températures constantes des surfaces et C la valeur de M pour $t - t' = 1$ degré et $E = 1$ mètre. Tandis que C est égal à 28 pour le fer et atteint des chiffres encore bien plus élevés pour d'autres métaux comme le cuivre, l'argent, l'or, il n'est que de 1,27 à 1,32 pour les calcaires à gros grain et de 1,70 à 3,50 pour les calcaires compacts ou à grain très fin dont la densité est généralement plus élevée ; il peut même s'abaisser à 0,33 pour le plâtre ordinaire gâché.

Les matières pulvérulentes ont une conductibilité thermique encore plus faible, à cause des vides qu'elles présentent. Dans le sable quartzeux et dans la craie en poudre bien sèche, la valeur de C descend respectivement à 0,27 et 0,086.

Dans les roches schisteuses, la chaleur ne se transmet pas avec la même facilité suivant toutes les directions. Le plan de schistosité et le longrain (n^o 177) se comportent absolument à cet

égard comme les clivages des minéraux cristallisés, en sorte que ces roches sont caractérisées, pour employer l'expression des physiciens, par un *ellipsoïde isothermique* dont le grand axe est parallèle à l'intersection du plan de fissilité et du longrain, le petit axe perpendiculaire à la fissilité et l'axe moyen perpendiculaire au longrain. On peut même se servir de cette propriété pour découvrir le longrain dans les schistes où il n'est pas nettement indiqué ; il suffit pour cela de reproduire sur la surface d'un feuillet l'expérience que nous avons citée plus haut (n° 217) et qui consiste à faire fondre une couche mince de cire à l'aide d'une pointe métallique chaude ; le grand axe de l'ellipse qui limite la partie fondue coïncide avec la trace du longrain sur ce feuillet. L'excentricité n'est d'ailleurs pas très considérable ; il résulte d'expériences faites par M. Jannetaz sur différentes roches schisteuses que, si l'on prend pour unité le petit axe, le grand axe n'est que de 1,06 à 1,20 au plus.

Nous avons vu quelles conséquences géologiques importantes on peut tirer de la faible conductibilité des roches pour la chaleur (n° 404). Cette propriété rend bien compte en outre de la supériorité de la pierre sur le métal au point de vue de la conservation de la température des appartements ; elle explique comment le sable, tassé dans l'intervalle des doubles fenêtres des pays septentrionaux, constitue un excellent isolateur.

Cependant sous ce rapport les matières végétales l'emportent encore sur tous les matériaux des constructions de nature compacte empruntés au règne minéral, puisque la valeur de C n'est dans le bois que de 0,093 à 0,103, ou de 0,170 à 0,174 suivant que la transmission se fait perpendiculairement ou parallèlement aux fibres. Aussi le bois donne les habitations les plus chaudes en hiver et les plus fraîches en été. Abstraction faite des chances d'incendie, c'est donc une pratique très rationnelle que de construire les maisons, comme dans les régions froides de l'Europe et de l'Amérique, avec des troncs de sapin grossièrement équarris que l'on superpose en les assemblant à mi-bois aux extrémités et dont on remplit les interstices avec de la mousse.

417. Dilatabilité. — Les roches, comme toutes les subs-

tances, se dilatent sous l'action de la chaleur. Mais leur coefficient de dilatation linéaire, c'est-à-dire l'augmentation proportionnelle de leur longueur pour un accroissement de température d'un degré, est toujours très faible. Voici quelles sont les valeurs de ce coefficient pour quelques roches dans l'intervalle de 0° à 100° :

Granite de Diélette (Manche).....	0,000.007.9
Marbre blanc de Carrare.....	0,000.008.5
Marbre noir.....	0,000.004.3
Calcaire de Caen.....	0,000.008.9
Calcaire de Saint-Leu.....	0,000.006.5
Grès de Liver-Roch (Angleterre)....	0,000.011.7

Pour les ciments, les plâtres et les mortiers, la dilatation est un peu plus forte.

Ces coefficients, qui paraissent des infiniment petits, produisent cependant des effets très apparents, sinon toujours nuisibles, dans les travaux de grandes dimensions. Mary citait dans son cours un bassin qui, construit dans la belle saison, se fissurait par contraction et perdait l'eau en hiver pour redevenir étanche au retour du printemps.

Les corps cristallisés se dilatent d'une manière inégale suivant leurs axes, ainsi que l'ont montré les recherches de Mitscherlich. C'est là une des causes auxquelles on attribue la destruction rapide du granite de Finlande, ou *rappakivi*, dont on a fait un si grand usage dans les monuments de Saint-Petersbourg. Les grands cristaux d'orthose qui entrent dans sa constitution et qui, sous un climat aussi rigoureux que celui de la Russie, sont soumis à des écarts de température de plus de 53 degrés, exercent des efforts mécaniques qui déterminent un réseau de fissures microscopiques courant dans toutes les directions et qui finissent par s'agrandir par l'effet de la congélation de l'eau qui les pénètre.

418. Action du feu. — Le défaut de conductibilité thermique est une des causes qui expliquent l'action du feu sur les roches, connue depuis longtemps des mineurs. Une chaleur élevée étome les roches les plus dures et l'effet est d'autant plus grand que l'on rend le refroidissement plus brusque par

des aspersions d'eau. Il se produit dans la masse des retraits et des fendillements qui détruisent la ténacité et rendent la matière friable. Ce moyen était le seul que les anciens mineurs eussent à leur disposition avant l'invention de la poudre, quand ils avaient à attaquer des roches très dures ; on l'applique encore, mais d'une manière exceptionnelle, dans quelques mines du Hartz, de la Saxe et de la Suède, en allumant des bûchers le long de la paroi à entamer.

M. Daubrée a montré quelle intensité peuvent atteindre les effets produits par le feu en projetant le dard du chalumeau sur des quartzites. On voit alors se détacher de petites paillettes qui sont lancées à plusieurs décimètres de distance, et, en cinq minutes, on peut forer un trou rond de quelques millimètres de diamètre sur six centimètres de profondeur.

A une époque reculée, nos ancêtres se servaient aussi du feu, mais dans un but tout différent. Ils bâtissaient des murailles en pierres sèches avec des roches facilement fusibles, quelquefois même avec des porphyres ou des granites, puis, en les chauffant à l'aide du bois provenant des forêts immenses au milieu desquelles ils vivaient, ils parvenaient à cimenter ces murailles par la vitrification et à les transformer en sortes de monolithes. Peut-être même employaient-ils des fondants appropriés à la nature des matériaux, comme du sel marin ou autres ; c'est ce que feraient supposer l'aspect scoriacé qu'ont pris parfois les matériaux primitifs et la présence d'une substance fondue qui a coulé comme du verre. En France on trouve de curieux vestiges d'enceintes vitrifiées sur plusieurs points, dans la Mayenne, l'Orne, la Creuse, le Puy-de-Dôme, etc.

De nos jours, la chaleur, convenablement appliquée, joue encore un rôle des plus utiles dans l'art de la construction, puisque c'est par son aide qu'on obtient les matériaux artificiels tels que les briques, les tuiles, les plâtres, les chaux et ciments.

Par contre, la chaleur peut produire des effets nuisibles quand elle s'exerce sur des matériaux mis en œuvre, décomposables à une température plus ou moins élevée, comme les pierres gypseuses ou calcaires. Aussi il faut éviter d'employer le gypse dans les cheminées parce qu'il suffit d'une température

légèrement supérieure à 100 degrés pour le transformer en plâtre et lui faire perdre toute solidité.

Les chances d'incendie sont quelquefois aussi à considérer dans le choix des matériaux à faire entrer dans une construction quoiqu'en général on s'en préoccupe fort peu. M. Lalanne rapporte qu'un bateau chargé de fourrages, ayant pris feu sous un des ponts de Lyon, il y a une quarantaine d'années, la chaleur de l'incendie fut assez intense pour réduire en chaux les vousoirs d'une des arches, construite en calcaire, et le pont dut être reconstruit.

419. Eau de carrière. — Lorsqu'une roche vient d'être extraite, elle contient dans toute sa masse une certaine quantité d'eau à laquelle on donne le nom d'*eau de carrière* et qui varie entre de larges limites suivant sa nature.

Les roches qui ont le moins d'eau de carrière sont naturellement celles qui sont les plus compactes et en même temps les moins hygroscopiques, comme le silex, le granite, l'ardoise. Les roches granitiques, quand elles sont bien compactes, peuvent ne contenir que quelques dix millièmes à quelques millièmes de cette humidité naturelle ; mais lorsqu'elles se désagrègent et surtout lorsqu'elles se kaolinisent, la proportion dépasse 3 0/0. Le gypse compte aussi parmi les roches relativement sèches, car l'eau peut s'y réduire à quelques millièmes ; quand il en a davantage, cela tient à ce qu'il est plus ou moins mélangé d'argile ou de marne.

Lorsqu'il est dur et pierreux, le calcaire est également assez sec, car le banc de roche des environs de Paris, qui est cependant très cellulaire, ne donne que 3 centièmes d'eau de carrière. Mais quand le calcaire est poreux et désagrégé, quand il est amorphe, pulvérulent et formé de parcelles microscopiques, il peut en contenir plus de 20 centièmes ; c'est notamment ce qui a lieu pour la craie et pour certains bans de lambourde.

L'argile et la marne, prises dans le sein de la terre, retiennent toujours beaucoup d'eau de carrière et elles appartiennent essentiellement aux roches humides.

On remarquera que ce sont les roches qui s'imbibent de la plus grande proportion d'eau qui en retiennent aussi le plus

dans le sein de la terre ; telles sont la craie, les argiles et surtout les marnes. Parmi ces dernières, il en est qui possèdent jusqu'à 40 0/0 d'humidité naturelle, d'après Delesse.

L'eau de carrière de la craie peut devenir égale à l'eau d'imbibition ; cela doit sans doute être attribué à ce que la texture éminemment poreuse de cette matière permet à l'eau souterraine de s'y répandre très facilement par la capillarité. Quant aux marnes et aux argiles, elles n'ont pas à beaucoup près toute l'eau qu'elles sont susceptibles de retenir et elles sont loin d'en être saturées. Ce résultat est facile à concevoir pour les roches très perméables, comme les sables, parce qu'elles laissent écouler la petite quantité d'eau qui les traverse à mesure qu'elles la reçoivent ; mais il est plus extraordinaire pour les roches imperméables ou peu perméables, comme les argiles et les marnes, puisqu'elles supportent elles-mêmes des nappes aquifères, quelquefois très puissantes, par lesquelles elles sont constamment humectées. Il est probable que cela tient à leur imperméabilité même et aussi à ce que la pression à laquelle elles sont soumises les rend très compactes ; on comprend en effet que l'eau ne puisse les imbiber qu'avec peine, comme cela aurait lieu, par exemple, pour une éponge fortement comprimée.

Une fois exposées à l'air, les pierres perdent une partie de leur humidité naturelle, et on a constaté depuis longtemps que cette disparition est accompagnée, pour certaines d'entre elles, d'un accroissement de dureté. Ce phénomène s'explique aisément si l'on admet avec Lyell que l'eau de carrière de ces dernières pierres contient en dissolution des matières étrangères, telles que du carbonate de chaux, de la silice, etc., qu'elle dépose, lors de son évaporation, dans une partie des petites cavités qu'elle emplissait auparavant et qui adhèrent avec les autres parties de la roche en augmentant ainsi sa cohésion.

Quand les pierres contiennent encore leur eau de carrière, elles sont par conséquent plus faciles à travailler. Il est même des roches qu'on ne peut mettre en œuvre qu'à ce moment. Ainsi le silex pyromaque, ou pierre à fusil, se taille très bien quand il vient d'être extrait ; l'homme préhistorique connais-

sait cette propriété qu'il utilisait pour la fabrication de ses armes et de ses outils grossiers. Ainsi encore le schiste ardoisier ne se laisse fendre facilement en ardoises que peu de temps après sa sortie de la carrière ; au bout de quelques jours il est devenu sec et cassant.

Cette propriété n'a rien qui doive surprendre si on remarque, avec Dolomieu, combien il est plus aisé de briser un verre plein d'eau qu'un verre vide. En effet, une roche plus ou moins poreuse résiste jusqu'à un certain point à la percussion, car le choc est alors arrêté par les pores et ne peut se communiquer à la masse entière. Mais si l'eau remplit les vides, comme elle est à peu près incompressible, elle détruit l'effet de la porosité en rendant la roche compacte et facile à casser.

Quand l'eau de carrière a disparu, elle ne se remplace plus.

420. Altérabilité naturelle. — Les roches sont soumises à de nombreuses causes d'altération. Le feldspath de certains granites se kaolinise et aide à la destruction de la masse. La différence de conductibilité dans les minéraux constituants d'une roche amène des gerçures qui entraînent sa désagrégation, comme pour le rappakivi (n° 417). L'eau de mer attaque rapidement certains calcaires ; d'autres se nitrifient. Des grès calcaires deviennent friables par la disparition, sous l'action de l'eau pluviale, du carbonate de chaux qui cimente leurs grains. Les pierres magnésiennes, comme celles que l'on a employées à Londres, sont attaquées par l'acide sulfureux et l'hydrogène sulfuré que la combustion de la houille et l'éclairage au gaz versent dans l'atmosphère de toutes les grandes villes. Les ardoises à surface rugueuse se recouvrent sur les toitures de poussières dans lesquelles poussent des végétaux parasites et il en résulte une humidité à peu près constante qui contribue à la décomposition de la roche.

On peut signaler encore les alternatives de chaleur et de froid, de sécheresse et d'humidité. Dans les climats septentrionaux, ce sont les façades sud et ouest des édifices qui sont le plus exposées à ces alternatives ; aussi ce sont celles qui se dégradent le plus rapidement, surtout quand elles sont construites avec des matériaux de mauvaise qualité.

Il faut cependant reconnaître que tous les effets que nous venons de rappeler se produisent avec beaucoup d'irrégularité. Tantôt ils marchent avec une grande rapidité, tantôt ils ne se manifestent qu'à la longue ; aussi il n'est pas toujours facile de prévoir la manière dont se comporteront les matériaux qu'on emploie, et il peut arriver que la durée des pierres soit en désaccord avec les apparences.

M. Lalanne cite sous ce rapport un fait intéressant. C'est celui de la belle église de Boscherville, en Normandie, construite au milieu du XI^e siècle, avec la pierre médiocre des escarpements crayeux de la Seine près de Duclair (entre Rouen et le Havre) et qui, au bout de plus de 800 ans, n'exige que quelques travaux de consolidation.

421. Gélivité. — Entre toutes les causes d'altération qui s'attaquent aux roches, l'une de celles qui doit le plus préoccuper le constructeur est celle qui résulte de la *gélivité*. On dit qu'une pierre est *gélive*, ou moins correctement *gélisse*, quand elle est susceptible de se dégrader par l'action de la gelée ; ce défaut se présente surtout dans les matériaux calcaires ou argileux.

La dégradation due à la gélivité est d'ailleurs très variable dans ses effets comme dans son intensité. Tantôt les pierres se bornent à se désagréger sur une assez faible épaisseur, surtout aux angles et aux arêtes ; tantôt il tombe des éclats anguleux ou des feuilletts plus ou moins épais, surtout quand la roche a une tendance schisteuse. Parfois la solidité est altérée, sans qu'il y ait aucun signe visible à l'extérieur ; ainsi, le calcaire bleu compact dont on fait un si grand usage dans les villes du Nord et en Belgique peut se trouver, au bout d'un certain temps d'emploi, si dénué de solidité, qu'un seul coup de marteau suffit pour le mettre en pièces et que tout remaniement devient impossible. D'autres fois, des plaques se détachent de loin en loin, aux endroits où il y a des solutions de continuité résultant d'une fissure ou de l'interposition d'une matière étrangère. Enfin, certaines pierres semblent se corroder avec une sorte de régularité en offrant des reliefs vermiformes que l'on a imités à tort, suivant la remarque d'Héricart de Thury, dans quelques monuments publics.

On a attribué la gélivité des pierres à la présence de l'eau de carrière. Cette eau, emprisonnée dans les pores de la roche, peut en effet se solidifier par un froid vif et, comme elle augmente par là même de $1/20$ de son volume, elle prend une force d'expansion qui désagrège le bloc.

L'évaporation de l'eau de carrière par le fait d'une exposition plus ou moins prolongée à l'air, surtout en été, peut amener la disparition de la gélivité, ou au moins en atténuer singulièrement les effets, dans beaucoup de matériaux de construction. Mais cela ne suffit pas toujours ; certaines pierres poreuses sont susceptibles d'absorber l'humidité de l'atmosphère à un moment donné et d'éclater, alors qu'on les croyait à l'abri.

Minard a prouvé par des expériences directes que l'eau qui sort des roches par les grands froids accompagnés de sécheresse peut y rentrer et les altérer en y gelant. Lors des dégels qui succèdent aux froids rigoureux, et surtout quand la température s'élève promptement, l'air devient très humide et l'eau se dépose sur la surface de la muraille où elle forme quelquefois une couche de glace épaisse. Le parement d'un mur est donc échauffé par l'atmosphère et refroidi de l'autre par le massif intérieur, qui est encore à la basse température moyenne des froids précédents. Au fur et à mesure que la chaleur pénètre par le dehors, l'eau la suit, et la pierre s'en imprègne facilement. Toutefois cette pénétration de la chaleur dans l'épaisseur des maçonneries n'a pas lieu sans discontinuité, car la température extérieure subit des variations diurnes ; elle s'abaisse le soir et ne remonte que quelque temps après le lever du soleil. L'eau renfermée dans les pores ou les fissures capillaires se dilate alors en se convertissant en glace et détermine dans la pierre des fentes qui ne deviennent sensibles qu'après le dégel. Si le dégel est suivi d'une seconde gelée, il y a plus de chance encore que la pierre soit endommagée.

Cependant cette théorie, quelque vraisemblable qu'elle paraisse, n'explique pas tous les faits. Il existe en effet des roches poreuses qui résistent parfaitement à la gelée. Tel est le grès des Vosges ; tel est encore le schiste tendre et spongieux employé en guise de tuiles plates à Argentat (Corrèze).

Pour reconnaître à l'avance si une pierre est gélive, Brard a imaginé de substituer la force d'expansion due à la cristallisation d'un sel à celle qui résulte de la congélation de l'eau. Son procédé consiste à plonger la pierre à essayer dans une dissolution de sulfate de soude saturée à froid et bouillante, à l'abandonner à elle-même, après l'en avoir retirée, jusqu'à ce qu'elle se recouvre d'efflorescences, et à répéter plusieurs fois de suite ces alternatives d'immersion et de dessiccation. On enlève chaque fois les cristaux efflorescents par des lavages et, si ces eaux de lavage laissent déposer de petits fragments pierreux, on en conclut que la roche est gélive.

Ce procédé ne donne pas de résultats certains. L'expansion du sulfate de soude est moins énergique que celle de l'eau qui se congèle et on a vu la gelée atteindre des roches qui avaient résisté victorieusement à l'épreuve. Tel est le cas de la pierre de Borrèze employée à la construction du pont de Souillac (Lot) qui, dans le rigoureux hiver de 1829-1830 où le thermomètre est descendu à -22° , s'est fortement fissurée aux premiers dégels du printemps. Là le fait est d'autant plus extraordinaire que le clocher de l'église de Borrèze, construit avec la même pierre, est dans un parfait état de conservation.

En présence de l'insuccès des méthodes expérimentales, M. Braun a songé à soumettre au calcul la question de gélivité. D'après lui une roche se fissurerait quand sa résistance à la traction est moindre que la force d'expansion de l'eau contenue dans ses pores au moment de sa transformation en glace. Sachant qu'un kilogramme d'eau développe en se congelant un travail de 33.600 kilogrammètres, connaissant d'autre part l'élasticité d'une pierre, sa résistance à la traction et sa porosité absolue, c'est-à-dire le volume total de ses vides intérieurs, on pourrait arriver à déterminer si cette pierre est gélive. Mais, ainsi que le fait remarquer avec raison M. Debauve, il y a là tant d'éléments indéterminés que le problème ne paraît pas soluble par ce moyen.

En somme, la cause de la gélivité des pierres est encore entourée de beaucoup d'obscurité. Le seul moyen efficace pour s'assurer qu'une roche peut être employée avec sécurité est l'observation directe et longtemps prolongée. Si l'on peut

trouver d'anciens monuments construits avec la même roche sans que celle-ci présente de traces d'altération, il y a de grandes chances que l'on n'aura pas de mécomptes à éprouver. Il n'y a toutefois pas encore certitude absolue, comme le montre l'exemple de la pierre de Borrèze cité plus haut.

CHAPITRE X

DESCRIPTION DES PRINCIPALES ROCHES.

422. — En nous basant sur leur mode de formation, nous avons divisé les roches qui constituent l'écorce terrestre en deux grands groupes : les *roches ignées* et les *roches sédimentaires* (n° 170).

Plusieurs géologues font un groupe spécial des *roches métamorphiques*. Nous n'avons pas cru devoir suivre cet exemple, car toute roche, à peine consolidée, est susceptible de subir des modifications plus ou moins profondes sous l'action de forces moléculaires intérieures ou de forces extérieures. Or cette évolution dépend de circonstances tellement variées, tellement obscures même dans bien des cas, qu'il n'est pas possible d'en faire entrer la résultante en ligne de compte dans une classification d'ensemble.

Nous décrirons d'abord le premier groupe, qui réunit les *roches primitives* et les *roches éruptives*.

PREMIER GROUPE

ROCHES IGNÉES.

423. Minéraux essentiels. — A ne considérer que les minéraux constitutants, les roches ignées ont une composition beaucoup plus simple que ne pourrait le faire supposer leur grande diversité d'aspect. Les substances dont elles sont essentiellement formées se bornent à la silice, tantôt seule sous

forme de quartz, tantôt combinée avec une ou deux des bases suivantes, alumine, potasse, soude, chaux, magnésie, oxyde de fer.

Sous le rapport de la teneur totale en silice, ces roches peuvent se diviser en deux grandes catégories : les *roches acides* et les *roches basiques*.

Les premières contiennent en bloc plus de 65 0/0 de silice. Aussi, comme cette matière est en proportion trop élevée pour être combinée entièrement aux bases du magma pâteux qui leur a donné naissance, le surplus s'est isolé en grains de quartz cristallisé ou amorphe. Au quartz viennent s'ajouter des minéraux silicatés alumineux de la famille des feldspaths, orthose, oligoclase, labrador ou anorthite, et des minéraux de la famille des phyllites, les uns flexibles et élastiques, qui sont les micas, les autres, moins fréquents, flexibles sans élasticité, comme les chlorites.

Les roches acides sont moins lourdes que les roches basiques ; elles sont généralement caractérisées par leurs couleurs claires ou peu foncées.

Les roches basiques ne renferment pas de quartz, ou du moins ce minéral ne s'y présente que tout à fait accidentellement. Leurs minéraux essentiels sont des feldspaths pauvres en silice, comme le labrador et l'anorthite, auxquels s'ajoutent surtout des silicates trappéens dépourvus d'alumine et souvent ferrugineux, tels que les amphiboles et les pyroxènes. Ces roches, plus lourdes que les précédentes à cause de la présence du fer, sont généralement plus colorées ; leur couleur varie du vert au noir.

424. Minéraux accessoires. — Les minéraux accessoires des roches ignées sont bien autrement variés que les éléments essentiels ; mais ils sont en moins forte proportion.

Tantôt ils sont disséminés irrégulièrement dans la masse, réunis parfois en petits nodules. Tels sont les gemmes, l'apatite, le fer oxydulé, la pyrite de fer, etc.

Tantôt ils tapissent des fissures ou des cavités arrondies que l'on appelle des *géodes*. C'est sous cet aspect que se présentent notamment l'agate et les zéolithes.

Il faut ajouter à ces minéraux d'autres espèces qui ont été introduites dans les roches postérieurement à leur formation ou qui s'y sont développées après leur consolidation par suite d'un nouveau groupement des molécules. Ce sont des *minéraux de métamorphisme* consistant surtout en silicates d'alumine, comme l'andalousite, la staurotide, le disthène, ou en grenats, opale, etc.

425. Texture. — Les études microscopiques, comme nous l'avons déjà dit, ont modifié les idées que l'on se faisait jusqu'alors sur le mode d'arrangement des particules minérales. Elles ont montré qu'on peut distinguer trois types fondamentaux de texture :

1° La *texture cristalline*, dans laquelle tous les minéraux sont cristallisés et discernables individuellement. Le granite est le type de cette texture à laquelle, pour cette raison, on donne généralement le nom de *granitoïde*. Quand les éléments ne peuvent se résoudre qu'avec le secours du microscope, on dit qu'elle est *cryptogranitique*¹.

2° La *texture amorphe*, qui s'applique à une pâte amorphe, susceptible toutefois de contenir des cristallites ou même quelques microlithes, mais pas de cristaux nettement spécifiés. On lui donne aussi le nom de *texture vitreuse* et l'obsidienne, ou verre naturel, en offre le type.

3° La *texture semi-cristalline*, intermédiaire entre les deux précédentes. La roche est formée d'une proportion plus ou moins grande d'éléments cristallins, surtout microlithiques, mêlés à une substance amorphe qu'on ne peut résoudre en éléments distincts aux grossissements les plus forts de nos microscopes. La pâte de la plupart des porphyres est le type de cette texture.

Dans ces trois variétés de texture fondamentale, on remarque parfois au microscope un mode particulier de disposition des particules. Ainsi, dans les roches vitreuses, les microlithes ou les granules peuvent former des traînées régulières ; dans d'autres roches les petits cristaux s'arrangent en lignes paral-

1. De κρυπτος, caché.

lèles ou divergentes qui contournent les cristaux plus volumineux (fig. 175). On a comparé cet arrangement au pêle-mêle

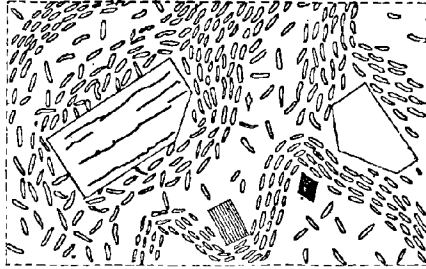


Fig. 175. — Texture fluidale,

des troncs d'arbres emportés par un courant et la texture a été appelée *fluidale* ou *texture d'écoulement*. Dans certains cas, il y a eu un écoulement véritable de la masse fondue ; il peut aussi se faire que cette texture ait été déterminée par une pression extérieure.

En dehors des types fondamentaux que nous venons de décrire, les géologues reconnaissent encore d'autres espèces de texture, susceptibles de se combiner sur une même roche.

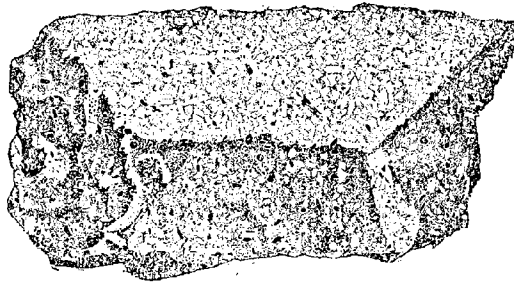


Fig. 176. — Porphyre feldspathique (d'après Burat).

La texture est dite *porphyroïde* lorsque, dans une roche granitoïde, semi-cristalline ou vitreuse, de gros cristaux tran-

1. De *αμυγδαλή*, amande, *ειδος*, forme.

chent sur le fond, comme dans les porphyres d'ornement (fig. 176); *amygdaloïde* ¹, lorsque la roche offre des cavités

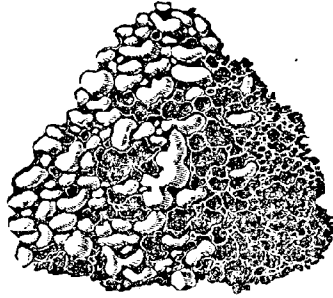


Fig. 177. — Lave amygdaloïde (d'après Lyell).

plus ou moins volumineuses, ordinairement remplies de noyaux en forme d'amande (fig. 177); *globulaire*, quand certains mi-

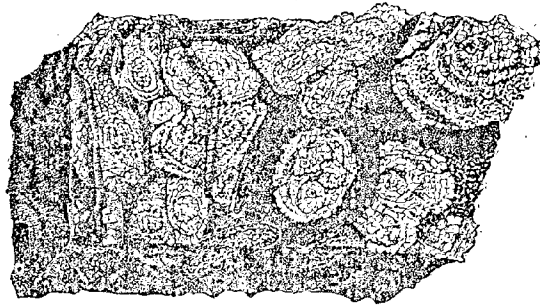


Fig. 178. — Diorite orbiculaire (d'après Burat).

néraux sont réunis en globules (fig. 178); *celluleuse*, pour les roches dont les éléments sont séparés par de petits vides, telles que la plupart des laves, etc.

426. Consolidation des éléments. — Les roches ignées ne se sont pas consolidées d'un seul coup en passant brusquement de l'état fluide à l'état solide.

Il y a déjà longtemps qu'on a constaté que, dans les associations de cristaux qui constituent les roches éruptives, cer-

tains éléments, quoique à contours très nets, se font remarquer par leurs brisures, leurs corrosions, tandis que d'autres se moulent sur eux, les englobent et semblent remplir leurs vides. Il est évident que les premiers se sont formés avant les seconds.

On a pu ainsi établir, dans bien des cas, deux et jusqu'à quatre stades de consolidation. La masse a d'abord cristallisé en partie ou est arrivée au jour avec des cristaux tout formés ; des fêlures se sont produites dans ces cristaux, des corrosions y ont été déterminées par la pâte et celle-ci a achevé de cristalliser autour d'une sorte de mélange fragmentaire.

Mais la distinction dans l'ordre d'apparition des divers minéraux n'est pas toujours facile à faire. Cette étude, que nous ne faisons qu'indiquer ici, demande encore à être poursuivie.

427. Division des roches ignées en trois catégories. — La classification des roches offre de très sérieuses difficultés et l'on n'est pas encore parvenu, malgré les progrès récents de la science, à trouver un système qui soit entièrement satisfaisant. Il n'y a pas pour les roches d'espèce comme pour les minéraux ; il y a passage graduel d'une roche à l'autre et il faut se contenter d'établir des types, aussi bien définis que possible, qui servent pour ainsi dire de points de ralliement aux nombreuses agrégations minérales que nous offre la nature.

Nous diviserons tout d'abord les roches ignées en trois catégories basées sur la texture apparente :

- 1° Roches granitoïdes ;
- 2° Roches porphyriques ;
- 3° Roches volcaniques.

Les premières ont une texture grenue semblable à celle des granites ; les secondes sont formées d'une pâte plus ou moins compacte dans laquelle peuvent se développer les cristaux ; les dernières se rapprochent beaucoup par leurs caractères des produits des volcans actuels.

Cette classification, quelque empirique qu'elle soit, a pourtant le mérite d'être à peu près en rapport avec l'âge relatif des ro-

ches. Les roches granitoïdes comprennent les matériaux de la première écorce consolidée du globe et les roches éruptives qui se sont épanchées les premières. Les roches porphyroïdes se sont prolongées jusque dans les premiers temps de l'ère secondaire. Quant aux roches volcaniques, elles n'ont apparu que dès le début de l'ère tertiaire, après un long intervalle de repos pendant lequel la partie connue du globe n'a été le théâtre d'aucune éruption.

Il y aurait ainsi deux séries de roches cristallines : la *série ancienne* comprenant les granites et les porphyres, et la *série moderne* à laquelle appartiennent les roches volcaniques. Ces dernières sont pour la plupart basiques, tandis que les roches anciennes sont de préférence acides.

1. ROCHES GRANITOÏDES.

428. — Les roches granitoïdes sont des roches essentiellement cristallines, composées de deux ou trois éléments constituants solidement agrégés et adhérents entre eux par simple juxtaposition. Le type de ces roches est le *granite*,¹ dans la constitution duquel entrent trois minéraux, le feldspath, le quartz et le mica.

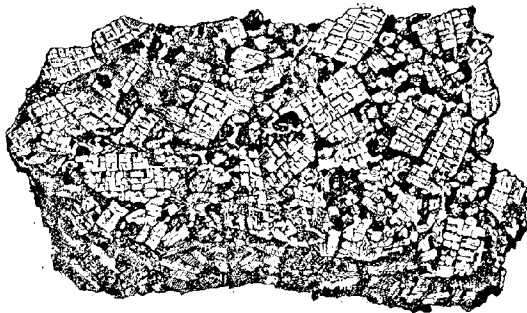


Fig. 179. — Granite ordinaire (d'après Burat).

On peut en faire dériver toutes les autres par voie de dis-

¹ De l'italien *granito*, dérivé de *grana*, grain ; à cause de sa texture grenue.

parition d'un de ces trois éléments ou par substitution au mica d'un minéral trappéen, amphibole ou pyroxène.

429. Granite. — Le feldspath des granites est généralement de l'orthose en cristaux ou en masses lamelleuses, à éclat nacré accentué sur les cassures fraîches, coloré en blanc, rougeâtre, rouge brique ou rouge chair, plus rarement en vert ; les cristaux sont bien définis, presque toujours hémitropes, et ils peuvent atteindre un centimètre et plus de longueur. A côté de l'orthose, il y a assez souvent de l'oligoclase avec une teinte rosée, grise ou bleuâtre, qui s'en distingue par son éclat un peu gras et les stries de ses faces de clivage. Les deux feldspaths peuvent s'envelopper mutuellement, comme dans le granite de Finlande où les cristaux d'orthose rougeâtre sont entourés d'une auréole grise d'oligoclase.

Le quartz a rarement une forme cristalline bien nette. Il est ordinairement en grains imparfaitement cristallisés, à éclat vitreux ou gras, de couleur gris pâle, ressemblant assez à des grains de sel gris, qui paraissent s'être moulés sur les autres minéraux de la roche. Sa cassure rugueuse et sa densité empêchent de le confondre avec le feldspath. Il abonde en inclusions liquides à bulle mobile ; le liquide contenu est tantôt de l'eau pure, tantôt une solution aqueuse, tantôt de l'acide carbonique liquide.

Le mica est facile à reconnaître à son éclat demi-métallique et à sa texture éminemment lamelleuse. Il se présente généralement en petites paillettes minces et élastiques que l'on détache sans peine avec la pointe d'un canif, parfois en beaux cristaux à base hexagonale aplatis ou empilés les uns sur les autres. Ses couleurs sont très variées, les plus fréquentes sont le blanc et le noir.

En dehors de ces éléments essentiels, nécessaires à la constitution du granite, on trouve dans cette roche des minéraux accidentels dont les principaux sont l'amphibole, la tourmaline, la pinite, le grenat, le corindon, l'étain oxydé, le fer oxydulé, le fer oligiste, l'émeraude, la topaze, etc. Certains de ces minéraux sont quelquefois assez abondants pour donner au granite un faciès spécial ; ainsi le *granite amphibolifère* ou

*granite égyptien*¹ est une variété dans laquelle la hornblende remplace en partie le mica, que les anciens Égyptiens ont exploitée pour leurs monuments près de la ville de Syène. Ainsi encore, dans le granite des environs du Puy-en-Velay (Haute-Loire), la pinite se substitue partiellement au mica en se montrant sous forme de petites taches d'un vert noirâtre, et donnant à la roche une grande ténacité.

Le grain du granite est de volume variable. On distingue d'abord le *granite à grandes parties*, dont chaque élément atteint des dimensions de plusieurs centimètres ; c'est dans cette roche qu'on exploite en Sibérie les grandes feuilles de mica dont on se sert comme vitres.

Les grains sont au contraire parfois si petits qu'on ne peut les voir sans l'aide de la loupe. Cette variété porte le nom de *granitelle*.

Entre ces deux extrêmes, le granite à grandes parties et la granitelle, il y a tous les intermédiaires, granite à *gros grain*, à *grain moyen*, à *petit grain*.

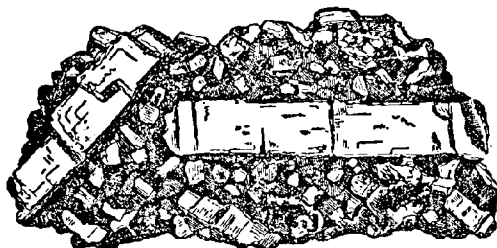


Fig. 180. — Granite porphyroïde (d'après Lyell).

Il est rare d'ailleurs que tous les grains aient la même grosseur. Dans bien des cas les cristaux de feldspath ont des dimensions plus considérables que les autres minéraux ; ils ont parfois plus de 10 centimètres de longueur et tranchent ainsi sur le reste de la masse.

Les granites qui présentent cette particularité sont des *granites porphyroïdes* (fig. 180) ; ils diffèrent des autres par leur

1. C'est à tort que l'on donne quelquefois à ce granite le nom de *syénite*.

plus grande solidité et sautent par éclats sous le marteau. Le quartz, n'ayant pas été gêné dans sa cristallisation, s'y montre souvent en petits nodules qui ne sont autre chose que des dodécaèdres pyramidés.

On a cherché à se rendre compte des proportions relatives des divers éléments du granite en employant l'un des procédés décrits plus haut (nos 401-403). D'après Durocher, voici entre quelles limites oscillent les trois minéraux constituants et quelle est la composition du granite que l'on pourrait appeler *normal* :

		granite normal
Feldspath.....	15 à 55	40
Quartz.....	20 » 40	35
Mica.....	15 » 55	25
	100	100

En général, c'est donc le feldspath qui domine ; ensuite vient le quartz et en dernier lieu le mica.

Quant à la composition élémentaire, elle est représentée par les chiffres suivants, d'après une moyenne prise sur un grand nombre d'analyses :

Silice.....	70
Alumine.....	16
Alcalis.....	8
Oxyde de fer, chaux, magnésie.....	4
Matières diverses.....	2
	100

C'est une composition qui se rapproche beaucoup de celle du feldspath.

Si l'on classe les éléments du granite d'après leur ordre d'apparition, on placera dans le premier stade de consolidation le mica noir, l'oligoclase et l'orthose, rangés par ordre d'ancienneté, dont les cristaux sont le plus souvent brisés et corrodés. Pour certains granites il faut ajouter à cette série le quartz, qui cristallisait déjà dès cette époque, tandis que pour d'autres le quartz n'est apparu que dans la seconde époque de consolidation qui comprend en outre de l'orthose plus récent et du mica blanc.

En se fondant sur cette considération, M. Michel Lévy distingue deux sortes de granites: le *granite proprement dit*, qui

ne contient que du quartz du second stade de consolidation, et la *granulite*, dans laquelle se trouve du quartz des deux époques, le premier bipyramidé et le second granuleux. Le mica blanc abonde généralement dans la granulite ; aussi quelques auteurs la désignent sous le nom de *granite à mica blanc*.

430. — Emplois du granite. — Le granite est au nombre des meilleurs matériaux que l'on puisse employer dans les constructions. Dans cette roche le quartz forme comme le squelette solide de l'assemblage ; le feldspath, qui cristallise largement, lui donne de la cohésion, et le mica une certaine élasticité ; c'est pourquoi elle réunit les conditions les plus appréciées des constructeurs, la dureté, la résistance et l'élasticité.

Le granite est une roche très dure, bien plus difficile à travailler que les calcaires et les grès. Si l'on prend pour unité la dureté du marbre blanc veiné, celle du granite varie de 7 à 10.

Sa résistance à l'écrasement est d'autant plus forte que le grain est plus fin et la roche moins altérée. Michelot donnait le nom de *granites-marbres* aux granites les plus durs, susceptibles de poli, et le nom de *granites-pierres* à ceux qui présentent des traces d'altération. Les premiers, que l'on emploie seuls dans les grands travaux et les ouvrages de luxe, résistent à des charges de 4.000 à 4.500 kilogrammes par centimètre carré, quand ils sont à grain fin, et de 700 à 1.000 kilogr. quand ils sont à gros grains. Quant aux granites-pierres, leur résistance varie de 600 à 900, ou de 400 à 600 kilogr., suivant que leur grain est fin ou gros.

Le granite pèse de 2.600 à 2.760 kilogr. le mètre cube. C'est encore quand son grain est fin que sa densité est la plus élevée.

La difficulté avec laquelle le granite se taille donne lieu à une augmentation considérable dans le prix de revient de la pierre à bâtir. Aussi on ne peut l'employer d'une manière générale comme pierre de taille ; on le réserve pour certaines parties des édifices ou pour les grands travaux publics.

Ainsi à Caen, où on possède une excellente pierre calcaire, on construit souvent les soubassements en granite et le reste

des édifices avec cette pierre calcaire. La célèbre abbaye du Mont Saint-Michel, dont l'architecture est si hardie et si délicate, est entièrement construite en granite de Normandie. Le couvent de l'Escurial est en granite du Guadarrama, d'une très grande dureté et d'un très beau grain ; le pont de Westminster à Londres, en granite de Cheswring, dans le Cornouailles, etc.

La nature géologique du sol de certaines contrées y impose d'ailleurs l'emploi du granite, même pour les habitations les plus modestes. Il en est ainsi dans le Limousin, dans quelques parties de la Normandie, de la Bretagne et des Vosges, en Écosse, au Canada, etc. Comme le granite, surtout quand on ne le polit pas, ne peut recevoir des arêtes aussi vives que le calcaire, ces pays se distinguent par les formes sévères de leurs constructions.

Si cette roche est d'un emploi coûteux à cause de son poids et de sa dureté, c'est un inconvénient qui est largement compensé par la durée qu'elle assure aux édifices. Pourtant il ne faut pas croire qu'elle soit toujours complètement inaltérable ; elle est au contraire susceptible de se désagréger, soit par kaolinisation du feldspath, soit sous l'action d'alternatives fréquentes de sécheresse et d'humidité.

Cette désagrégation, qui n'est le plus souvent appréciable qu'au bout d'une longue série de siècles, s'est faite assez rapidement pour le granite de Finlande dont nous avons déjà eu occasion de parler plusieurs fois et dont on s'est servi à Saint-Pétersbourg pour la construction de la Cathédrale et de la colonne commémorative élevée à l'empereur Alexandre, ainsi que pour les fortifications de Cronstadt.

Le beau granite rouge amphibolifère employé par les anciens Égyptiens, dans la construction d'un grand nombre de leurs gigantesques monuments, est au contraire remarquable par son inaltérabilité à peu près absolue.

Tandis qu'autour de leurs cités ils trouvaient des matériaux de bonne qualité, faciles à exploiter, tels que des grès et des calcaires nummulitiques, ils n'hésitaient pas à aller chercher ce granite à de grandes distances dans la Haute-Égypte, jusqu'au-delà des cataractes du Nil. Là cette roche forme des mas-

ses énormes, sans joints ni fentes, et les architectes des Pharaons ont pu y faire tailler sur place des blocs n'ayant d'autres limites de grandeurs que celles qui leur étaient imposées par les moyens mécaniques dont ils pouvaient disposer.

Le granite égyptien prend un assez beau poli et il peut conserver intacts, pendant de longs siècles, les détails les plus délicats de la sculpture. Il suffit pour s'en convaincre d'examiner les hiéroglyphes de l'obélisque de Louqsor, taillé dans ce granite ; on croirait qu'elles ont été gravées hier.

Le granite, quand il est choisi avec discernement, se prête donc parfaitement à l'édification des monuments que l'on veut transmettre à une postérité reculée et il l'emporte sous le rapport de la durée sur toutes les autres matières qui sont à la disposition de l'homme. Si les Romains, au lieu de faire leurs statues en bronze que les barbares ont fondu ou en marbre statuaire que l'on a calciné pour fabriquer de la chaux grasse, avaient suivi, sur une plus large échelle, l'exemple des Égyptiens, tant de chefs-d'œuvre n'auraient pas disparu de la surface du globe.

Les constructions à la mer, les murs de quai, les dallages, les pavés, les bordures de trottoirs, tous les ouvrages en un mot qui ont à résister à des frottements réitérés, se font souvent en granite. A Paris, les bordures de trottoirs sont presque exclusivement en granite de Normandie.

Le granite fournit d'excellents matériaux pour l'empierrement des routes ; ce qui se conçoit aisément puisqu'il comprend un élément très dur, le quartz, et deux autres plus tendres, le feldspath et le mica, qui font l'office de ciment en reliant entre eux les grains de quartz.

A la surface des massifs granitiques on trouve souvent un sable résultant de la désagrégation du sous-sol, ou *arène granitique*, qui convient parfaitement pour la fabrication des mortiers. Dans d'autres cas, les granites altérés donnent des pouzzolanes dont l'énergie est d'autant plus grande que la décomposition est plus avancée.

Ces arènes peuvent être aussi employées comme amendement, en raison des alcalis et du phosphate de chaux qu'elles apportent aux sols sur lesquels on les répand. Toutes les roches

granitoïdes, préalablement pulvérisées, sont d'ailleurs susceptibles d'agir de la même manière, et elles sont d'autant plus efficaces qu'elles sont plus feldspathiques et que le broyage est poussé plus loin.

Enfin on fabrique avec le granite à grain fin de Normandie des meules que l'on exporte en Hollande, dans le nord de l'Allemagne, en Russie.

431. Gisements et prix. — Le granite est certainement l'une des roches les plus répandues. S'il ne se trouve pas plus souvent à la surface du sol, cela tient à ce qu'il est masqué par des roches plus modernes. Il affleure dans presque toutes les régions montagneuses de France, en Angleterre, en Ecosse, en Scandinavie, en Finlande, dans le Wurtemberg, en Espagne, etc.

En France, on l'exploite dans une trentaine de départements. Quand on ne veut obtenir que des pierres de dimensions ordinaires, on procède à l'abatage à l'aide de la poudre ; mais lorsqu'on désire extraire des blocs de grandes dimensions, on applique la méthode des entailles.

C'est, à peu de chose près, cette dernière méthode qu'employaient les Égyptiens dans les grandes carrières de Syène. Ils commençaient, d'après Rondelet, par tailler dans la masse le devant et le dessus de la pierre sur les dimensions dont ils avaient besoin ; puis, à l'aide d'outils minces, ils creusaient des rainures d'environ 10 centimètres de largeur et des trous plus profonds espacés d'un mètre, dans lesquels ils enfonçaient des coins de fer ou de bois sec qu'ils mouillaient pour les faire renfler.

En Normandie et en Bretagne, on extrait un granite généralement à grain fin, très riche en mica, qui constitue des massifs puissants, susceptibles de donner des blocs de grandes dimensions ; c'est de là que viennent les bordures et les dalles de trottoir employées à Paris. Quelquefois le granite est à gros grain et porphyroïde.

Dans un certain nombre de gisements, il offre deux directions suivant lesquelles il est plus facile de le diviser et que les ouvriers désignent sous les noms de *grande feuille* et de *petite feuille*.

Dans ces contrées le mètre cube de granite brut pris à la carrière vaut de 30 à 80 fr. ; la taille des parties planes coûte 25 fr. le mètre carré. A Paris, les dalles reviennent en moyenne à 150 fr. le mètre cube ; le granite pour monuments de 150 à 250 francs.

A Laber (Finistère), il y a notamment de grandes carrières occupant plus de 300 ouvriers et dont les produits s'exportent jusqu'à Londres. C'est avec ce granite qu'on a fait le piédestal de l'obélisque de Louqsor, sur la place de la Concorde.

Les Vosges, la Côte-d'Or, le Plateau central de la France, les Pyrénées et les Alpes fournissent aussi de beaux granites. Le piédestal de la statue de Vercingétorix, à Alise Sainte-Reine, est un bloc de granite à feldspath rose du Bonjean (Côte-d'Or).



Fig. 181. — Gneiss.

432. Gneiss. — Le *gneiss*,¹ que l'on appelle aussi quelquefois *granite schisteux*, a la même composition minéralogique que le granite, mais avec une structure différente. Le mica y est orienté en zones ondulées qui lui donnent un aspect rubanné ou même feuilleté (fig. 181). Ce minéral semble très abondant quand on casse la roche parallèlement aux surfaces sur lesquelles il est étalé ; mais dans les cassures perpendiculaires, il apparaît en proportions beaucoup moindres. Le feldspath le plus habituel est l'orthose, de coloration grisâtre ; quelquefois il y a de l'oligoclase. Le quartz n'est pas aussi hyalin que dans le granite, il est généralement un peu grenu et ses grains ont une tendance à s'allonger et à affecter une forme lenticulaire.

Le gneiss est la roche la plus abondante de la nature. Il

¹ De *gneuss*, vieux mot saxon francisé.

constitue la plus grande partie de la masse du terrain primitif qui recouvre de vastes contrées à la surface du globe dans le Canada, la Scandinavie, la Bohême, le Plateau central de la France, la Bretagne, etc. Parfois l'orientation de ses éléments est assez peu marquée pour qu'il soit difficile de le distinguer du granite ; il en résulte une variété mixte, dite *gneiss granitoïde*, que l'on n'observe que dans les parties profondes du terrain primitif et qui établit le passage des roches primordiales aux roches franchement éruptives comme le granite proprement dit.

Le gneiss contient à peu près les mêmes minéraux accidentels que le granite. Les plus fréquents sont l'amphibole, les grenats, la tourmaline, le fer oxydulé.

Cette roche est employée de préférence au granite proprement dit pour les constructions ordinaires, parce qu'elle fournit des moellons à surfaces parallèles ; c'est ainsi que l'on bâtit souvent dans le Limousin, où on n'a d'ailleurs guère d'autres matériaux à sa disposition. A Chiavenna, dans la Valteline, il y a une variété de gneiss tabulaire très micacé qui se fend en lames assez minces pour qu'on puisse les appliquer à la couverture des maisons.

433. Pegmatite. — Les granites à grands éléments passent à une roche à gros cristaux dans laquelle le quartz et le feldspath, de couleur généralement blanche, ont cristallisé l'un dans l'autre en s'orientant chacun d'une façon uniforme



Fig. 482. — Pegmatite graphique (le quartz est représenté en noir).

sur de grandes étendues et dans laquelle le mica, également blanc, se concentre sur certains points et tend à disparaître ;

en tout cas, le mica n'en est plus un élément essentiel. Cette roche est la *pegmatite*, dont le nom¹ rappelle l'idée de pièces fichées dans une pâte.

La *pegmatite graphique* ou *hébraïque* est une variété dans laquelle l'orthose forme une masse lamelleuse, miroitante, au milieu de laquelle les petits cristaux vitreux de quartz se détachent en coins alignés ou en lignes brisées ressemblant à des caractères cunéiformes (fig. 182).

La pegmatite se présente plutôt en filons qu'en massifs. Elle sert souvent de gangue à l'étain oxydé; dans ce cas, elle est presque toujours accompagnée de tourmaline, d'émeraude, de rutile. Près de Bagnères-de-Luchon (Haute-Garonne), il y a un filon de pegmatite contenant de beaux prismes hexagonaux de tourmaline de plus de 13 centimètres de longueur.

C'est aussi dans cette roche qu'on trouve en Norvège les minéraux rares de l'yttria, du tantale, du cérium, etc.

Dans les carrières de la Bellière, près de Vire, on exploite la pegmatite pour l'entretien des chaussées d'empierrement. La variété graphique se trouve aussi dans ces carrières.

La pegmatite grenue, sans mica, est employée, sous le nom de *petunzé*², à faire la couverte ou le vernis de la porcelaine, après avoir été préalablement pulvérisée et broyée.

431. Kaolin. — La pegmatite est le gisement classique du kaolin. Cette matière s'y trouve généralement plus pure que dans le granite ou le gneiss, où elle est plus mélangée de quartz et de mica.

Le kaolin chimiquement pur est rare; il contient souvent une certaine quantité de peroxyde de fer qui, à la cuisson, colore la pâte de la porcelaine et dont on a tenté de se débarrasser à l'aide de puissants électro-aimants; dans d'autres cas, lorsque la décomposition du feldspath n'est pas complète, il renferme une proportion de potasse trop élevée qui le rend fusible.

On distingue dans l'industrie trois variétés de kaolin : la

1. De *πεγμωσις*, incrustation.

2. Mot chinois.

caillouteuse, pegmatite presque entièrement décomposée, formée par conséquent d'un mélange d'argile plastique avec des grains de quartz, des lamelles de mica blanc et une proportion variable de feldspath non altéré ; la *sablonneuse*, très peu chargée de quartz et de mica en grains fins, mais visibles ; l'*argile* ou *kaolin proprement dit*, qui, au lavage, laisse encore un résidu de sable, dont la nature est tantôt quartzéuse, tantôt feldspathique.

Ces diverses matières sont distribuées d'une manière très irrégulière dans les gîtes. Le kaolin argileux, qui est le moins commun, se trouve généralement sous forme de veines ou d'amas au milieu de la caillouteuse ou de la sablonneuse ; plus rarement il forme des sortes de matelas intercalés entre la caillouteuse et les épontes des filons de pegmatite.

On a expliqué de diverses matières la décomposition qui a donné naissance au kaolin : par l'action d'eaux chargées d'acide carbonique (n° 46), par des courants électriques, par des sources hydrothermales. Cette dernière opinion acquiert un grand caractère de probabilité, au moins en ce qui concerne les gîtes importants, si l'on remarque que la kaolinisation de la pegmatite pénètre très loin dans la masse et qu'elle présente de grandes inégalités à la même profondeur en différents points d'un même gisement.

Le plus beau gisement de kaolin qui existe en France est celui des environs de Saint-Yrieix (Haute-Vienne) qui produit par an environ 12.000 tonnes, dont la plus grande partie est consommée par les fabriques de porcelaine de Limoges. Les gisements d'Echassières et des Colettes dans l'Allier donnent ensemble 11.000 à 12.000 tonnes de produits moins estimés.

Hors de France, les kaolins les plus renommés sont ceux de Meissen (Saxe) et surtout ceux de Chine. Aux environs de Saint-Austell, dans le Cornouailles, se trouvent des gîtes considérables qui produisent plus de 100.000 tonnes de kaolin par an.

435. Leptynite. — La *leptynite*¹ est à la pegmatite ce que le gneiss est au granite. C'est une roche composée de feldspath

1. De λεπτός, petit ou atténué, à cause de la finesse de son grain.

grené et de quartz en petits grains, qu'on n'arrive pas toujours à discerner facilement l'un de l'autre. Elle rappelle un peu le faciès d'un grès quartzeux ; mais elle s'en distingue en ce qu'elle est fusible au chalumeau en émail blanc. Les géologues allemands lui donnent le nom de *Weisstein*, ou *Pierre blanche*.

La leptynite se rattache encore à la pegmatite par ses minéraux accidentels qui sont à peu près les mêmes ; mais, tandis que cette dernière roche est éruptive, elle appartient au terrain primitif dans lequel elle est subordonnée aux gneiss et aux micaschistes.

Tantôt elle est tabulaire, tantôt elle est imparfaitement schistoïde ; ce dernier mode de structure y est produit par des rangées parallèles de petits cristaux de quartz ou de grenats. Elle contient parfois, en outre, du mica blanc en petites écailles parallèles superposées aux feuillets.

De même que la pegmatite, la leptynite se décompose fréquemment et donne du kaolin de bonne qualité.

Cette roche fournit souvent de bons matériaux de construction. Dans l'Ardèche, on exploite à peu de distance d'Annonay une leptynite très dure, blanc grisâtre truité, à grains fins, se conservant bien, que l'on a employée dans les églises des environs et dans des ouvrages d'art de routes et chemins de fer.

436. Hyalomictite. — L'*hyalomictite*, ou *greisen* des géologues allemands, est une dégénérescence du granite par voie de disparition du feldspath. Elle ne contient que du quartz hyalin et du mica, le tout enchevêtré d'une manière confuse sans trace de délit ; d'où son nom. Le mica, même quand il n'est pas en majorité, paraît être l'élément prédominant, à cause de son aspect brillant ; quelquefois il est un peu altéré et prend une coloration brunâtre.

L'*hyalomictite* est une roche peu répandue, qui ne forme que des filons au milieu des massifs granitiques et qui sert généralement de gangue à l'oxyde d'étain. Ce minerai s'y trouve souvent en petits grains imperceptibles qu'on ne peut séparer que par le bocardage et le lavage ; on y observe également de

la fluorine, de la tourmaline, des pyrites, éléments tout à fait caractéristiques.

L'hyalomictite de Bretagne est exploitée dans les environs de Lamballe pour les chaussées empierrées.

437. Micaschiste. — Le *micaschiste* est de l'hyalomictite schisteuse. Il est composé de paillettes de mica de couleurs variées et de quartz grenu ou granulaire. Presque toujours ces deux éléments sont en partie séparés, superposés et alternant en feuillets, ou en très petits lits souvent ondulés ou même plissés ; par suite de cette structure, la roche paraît beaucoup plus micacée qu'elle ne l'est en réalité, dans les cassures parallèles au plan des couches, et, de même que pour le gneiss, ce n'est que sur les tranches perpendiculaires au sens de la schistosité qu'on peut distinguer le quartz et en apprécier la proportion relative. En général, le mica ne forme qu'environ la moitié ou même le tiers de la masse ; dans quelques variétés cependant, la quantité de mica est si petite qu'elles ne méritent plus que le nom de *schistes quartzeux micacés*.

Les éléments accidentels des micaschistes sont la tourmaline, l'amphibole, l'andalousite, la staurolite, les grenats, etc. C'est surtout le grenat almandin qui abonde.

Le micaschiste est toujours schisteux et constitue une bonne partie du terrain primitif. Ils donne parfois d'excellents moellons ; on l'exploite même en Toscane pour pierres de taille. Il fournit aussi des matériaux réfractaires avec lesquels on revêt l'intérieur des hauts-fourneaux. Dans la chaîne arabique, il existe un micaschiste contenant des émeraudes, que les Egyptiens ont exploitées anciennement pour la décoration par des galeries souterraines très étendues ; le musée du Louvre montre une foule de petits objets fabriqués avec ces émeraudes.

Le micaschiste peut passer au gneiss en se chargeant de feldspath. La transition se fait par degrés insensibles, de telle sorte que sur une carte géologique on est souvent obligé de réunir sous une même teinte les affleurements des deux roches, faute de pouvoir établir une ligne de démarcation entre elles.

Talcschiste. — Dans certains micaschistes, le mica constitutif est une variété hydratée, fluorifère, verdâtre ou vert jaunâtre, appelé *séricite*, que l'on a prise pendant longtemps pour du talc. Aussi on donnait à ces roches le nom de *talcschistes*. Elles se distinguent généralement par leur grande fissilité et leur toucher onctueux. On les rencontre dans un grand nombre de contrées dont le sol appartient au terrain primitif; en France c'est dans le département de la Lozère qu'elles atteignent leur plus grand développement.

Les talcschistes sont réfractaires, comme les micaschistes, et servent à la construction de fours et de fourneaux. En Moravie on en fait des chambranles de portes, des auges, des moellons réfractaires.

Dans le Valais, les talcschistes, que l'on désigne sous le nom vulgaire de *brisés*, sont employés comme amendement pour les vignes. D'après M. Risler, leur valeur n'est pas due seulement à la potasse qu'ils renferment, car beaucoup de terres ordinaires en contiennent autant, mais principalement à leur action physique. Leurs surfaces brillantes réfléchissent au-dessus d'eux et renvoient aux raisins la chaleur qu'ils reçoivent du soleil, tandis qu'ils conservent au-dessous d'eux l'humidité dont ils empêchent l'évaporation.

Itabirite. — L'*itabirite*¹, si abondante au Brésil et qui se trouve dans quelques autres régions comme les Vosges, la Suède, etc., peut être considérée comme une variété de mica-schiste dans laquelle le mica est remplacé par des grains ou des lamelles très fines de peroxyde de fer. On l'exploite au Brésil pour en extraire les parties aurifères qu'elle peut contenir.

Cipolin. — Au milieu des micaschistes et des gneiss sont parfois intercalées des masses lenticulaires de calcaires cristallins et schisteux, qui contiennent des minéraux de la famille des phyllites, mica, talc ou chlorite, disposés en bandes parallèles. Ces calcaires, auxquels on donne le nom de *cipolins*², résultent vraisemblablement de la concentration en cer-

1. Du mont Itabira (Brésil) qui en est formé.

2. De l'italien *cepola*, oignon, à cause de leur structure en lamelles concentriques.

tains points du carbonate de chaux disséminé dans la masse encaissante ; l'analyse démontre en effet que plusieurs gneiss et micaschistes sont calcarifères.

Les lentilles de cipolin sont recherchées avec soin dans les pays schisteux et gneissiques qui manquent de calcaire. Elles servent à la fabrication de la chaux et on peut même quelquefois les exploiter comme marbres.

438. Protogine. — La *protogine*¹ diffère du granite proprement dit en ce qu'une partie du mica est remplacée par de la chlorite qui en devient l'élément caractéristique et lui donne un aspect particulier. Elle se compose de quartz, orthose, oligoclase, mica et chlorite.

Le quartz est ordinairement moins hyalin que dans le granite ; il est grenu, gris ou gris violacé.

Les deux feldspaths se distinguent nettement par leurs couleurs. L'orthose est généralement en assez gros cristaux blancs ou un peu rosés. L'oligoclase est aussi en beaux cristaux, à teintes variées, souvent verdâtres par suite de l'interposition entre les clivages de petites lamelles de chlorite ; on peut rendre ces lamelles saillantes par une légère calcination.

Le mica, de couleur verte, est très magnésien. La chlorite, que l'on prenait autrefois pour du talc, paraît résulter de la décomposition du mica.

On trouve souvent dans la protogine une sorte de serpentine ou stéatite qui la rend tout à fait verte. Les minéraux accidentels y sont nombreux : amphibole, pyrite magnétique, albite, fluorine, etc.

La protogine est la roche principale du massif du Mont-Blanc. Elle peut devenir schisteuse quand la chlorite s'y oriente à la façon du mica dans le gneiss. C'est cette protogine schisteuse qui forme la ceinture d'aiguilles et de pics inaccessibles qui entourent le Mont-Blanc ; elle paraît devoir sa structure aux violents efforts mécaniques auxquels elle a été soumise.

1. Du grec *πρωτος*, premier, *γενεα*, origine, parce qu'on la considérait, à tort du reste, comme la plus ancienne des roches, en raison de son rôle dans le massif du Mont-Blanc.

La protogine est exploitée en Savoie pour les constructions. C'est une roche très dure, b'anchâtre nuancé de vert, qui pèse 2.670 k. le mètre cube et dont la résistance à l'écrasement, comparable à celle du granite, peut atteindre 4.200 k. par centimètre carré. Elle vaut 35 à 40 francs le mètre cube sur carrière.

Cette pierre est employée dans toute la Savoie, à Lyon et à Saint-Etienne; elle a servi notamment à la construction du soubassement de l'Hôtel de la Banque de France à Chambéry. On en fait aussi des bordures de trottoirs, des pavés, des meules de moulins. Parmi les carrières les plus importantes sont celles d'Epierre, dans l'arrondissement de Saint-Jean de Maurienne, et de Chamonix dans l'arrondissement de Bonneville.

Chloritoschiste. — Nous rattacherons à la protogine le *chloritoschiste*, roche schisteuse formée d'une accumulation de lamelles et d'écaillés de chlorite et contenant en outre presque toujours du quartz, du feldspath, du mica et du talc. Le grenat est son élément accidentel le plus fréquent; il s'y rencontre souvent en gros dodécaèdres rhomboïdaux.

Le chloritoschiste de Potton, dans le Bas-Canada, qui est constitué presque exclusivement par la chlorite, est remarquable par la facilité avec laquelle il se laisse travailler, puisqu'on peut le débiter en tranches ou en dalles avec une simple scie à bois; aussi il a des usages variés dans la construction, et, comme il est réfractaire, on en fait des fourneaux.

439. Syénite. — Quand l'amphibole hornblende se substitue au mica, on a une roche à laquelle Werner a donné le nom de *syénite*, de la ville de Syène (Egypte) près de laquelle on a cru en trouver le type. Elle se compose essentiellement de feldspath avec $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{10}$ environ de la masse de hornblende, et elle ne contient plus du mica et du quartz qu'à titre accidentel.

Il y a souvent deux feldspaths : orthose et oligoclase. Le premier est en cristaux parfois considérables, de couleur rosée ou violacée; il est généralement mâclé et offre à la cassure les deux bandes, l'une brillante, l'autre terne. L'oligoclase est en

cristaux à contours carrés, ce qui le distingue de l'orthose ; il a une teinte blanc verdâtre, quelquefois rouge corail plus vif que celui de l'orthose ; il s'altère fréquemment en se kaolinisant.

L'amphibole se présente en cristaux allongés, fibreux (à cause de l'existence de deux clivages faciles parallèles aux faces M), d'une nuance vert plus ou moins foncé. Quand elle est coupée dans ce sens, on pourrait la confondre avec des pîles de mica ; mais ce dernier est en tablettes hexagonales à surface brillante et jamais striée.

Les minéraux accidentels de la syénite sont, outre le quartz et le mica, le fer oxydulé, la pyrite de fer, etc. Au microscope on y constate toujours la présence de l'apatite, en quantité d'autant plus grande que la roche est plus basique.

La syénite a une texture plus porphyroïde que celle du granite ordinaire ; on pourrait dire qu'elle est granito-porphyroïde. De même que le granite, elle a une origine franchement éruptive et se présente en masse ; elle peut aussi traverser d'autres roches sous forme de filon ou d'amas.

Parfois elle offre des indices de stratification dus à l'orientation des cristaux d'amphibole ou à l'alternance de zones plus riches en feldspath et en amphibole ; on a alors une *syénite schisteuse* qui accompagne le gneiss dans le terrain primitif.

En Norvège, on trouve une variété remarquable de syénite. C'est la *syénite zirconienn*e, qui ne contient plus qu'un feldspath, l'orthose, associé à la néphéline, et qui est caractérisée par la présence du zircon. Les cristaux d'orthose ont quelquefois jusqu'à 30 centimètres de diamètre ; ceux de zircon, d'une belle couleur rouge, peuvent former jusqu'à $\frac{1}{25}$ de la roche ; quant aux cristaux d'amphibole, ils atteignent parfois 15 centimètres de longueur.

Ce qui fait surtout l'intérêt de cette roche, c'est le nombre exceptionnel des espèces rares qu'elle renferme. On y a compté plus de 50 minéraux distincts parmi lesquels des minéraux de zirconium, thorium, yttria, cerium, lanthane, tantale, niobium, etc.

Emploi de la syénite. — La syénite fournit d'excellents matériaux de construction et de décoration. Comme elle ne con-

tient pas ou presque pas de mica, elle est susceptible d'un plus beau poli que le granite. Elle pèse de 2.650 à 2.700 k. le mètre cube et résiste à des charges de 650 à 1.000 k. par centimètre carré.

On exploite à Fermanville, dans la Manche, une syénite porphyroïde dure, d'une belle couleur rose, qui donne des blocs de toutes dimensions valant en moyenne 30 fr. le mètre cube sur carrière et qui a servi dans les grands travaux du port de Cherbourg.

Dans les environs de Remiremont (Vosges) se trouve une syénite porphyroïde micacée très dure, de teinte brune ou *feuille morte*, qu'on expédie au loin pour l'ornementation et qu'on travaille à Epinal. La variété *feuille morte* a été employée autrefois pour le dallage du portique du Panthéon. Cette roche se vend à Epinal 100 fr. le mètre carré poli.

A Servance (Haute-Saône) on exploite également la syénite *feuille morte* et une autre variété rouge corail. C'est avec la première qu'on a fait les fûts des colonnes placées au square des Arts-et-Métiers et sur les pelouses de l'allée de l'Observatoire, et avec la seconde les fûts des colonnes du vestibule de l'Opéra, à Paris.

440. Diorite. — La *diorite*¹ est une roche qui ne contient que deux éléments essentiels, le feldspath et l'amphibole, en proportions à peu près égales. Le feldspath est presque toujours de l'oligoclase d'un blanc laiteux, en cristaux généralement hémitropes qui se reconnaissent à leurs stries si caractéristiques; quelquefois c'est du labrador. L'amphibole est l'actinote et plus souvent la hornblende; elle est toujours d'un vert plus ou moins foncé, parfois presque noir.

Il y a de nombreuses variétés de diorite suivant la dimension des grains et la disposition de l'amphibole. Quelquefois ce minéral s'y montre en baguettes entrecroisées. Dans d'autres cas, l'amphibole s'oriente, à la façon du mica dans le gneiss, et la diorite devient schisteuse. Il peut arriver aussi que l'oli-

1. De *διόριζω*, je distingue, parce que d'ordinaire les deux éléments constitutifs se distinguent facilement l'un de l'autre.

goclase disparaisse progressivement jusqu'à ne plus laisser que l'amphibole seule comme minéral constituant ; la roche, tout en conservant sa structure schisteuse, passe alors à l'*amphibolite*, formée de cristaux allongés d'amphibole accolés longitudinalement.

A Böhmisoh-Eisenberg, dans les Sudètes (Autriche), on trouve un schiste amphibolique dont les cristaux sont enchevêtrés les uns dans les autres avec des paillettes de mica et qui est tellement fissile qu'on en fait des ardoises.

La diorite présente quelquefois la texture globulaire, comme dans la *diorite orbiculaire* (fig. 178), variété remarquable qui contient de gros nodules sphéroïdaux composés de zones alternatives de feldspath et d'amphibole ; ces nodules sont noyés dans une pâte de diorite à texture granitoïde.

Certaines variétés de diorite sont chargées de mica. On trouve notamment la *diorite micacée* à Clefey dans les Vosges.

A l'exception de la variété schisteuse et de l'amphibolite qui se trouvent dans le terrain primitif, intercalées au milieu des gneiss, la diorite est une roche éruptive.

Emploi de la diorite. — La diorite a une très grande ténacité qu'elle doit à la présence de l'amphibole. Comme elle est en outre très dure, elle fournit d'excellents matériaux d'empierrement ; on en fait aussi des pavés, mais qui ont l'inconvénient de se polir à la longue et de devenir glissants pour les pieds des chevaux ; c'est un inconvénient auquel on ne remédie qu'imparfaitement en donnant à ces pavés de petites dimensions pour multiplier les joints.

La diorite est une belle pierre de décoration, dont les Égyptiens et les Romains faisaient grand usage dans leurs édifices. La diorite orbiculaire de Corse entre presque toujours dans la confection des belles tables incrustées de pierres dures qui se fabriquent à Florence ; on en fait aussi des vases, des coupes, des socles de pendules, etc. Sa texture globulaire est d'un effet très agréable à l'œil ; cependant, comme les cristaux d'amphibole sont un peu ternes, il est nécessaire qu'elle soit polie avec le plus grand soin.

La diorite micacée, comme celle de Clefey, est moins dure que la diorite ordinaire. Elle se taille et se scie facilement ; elle

est solide et résiste fort bien à l'action de l'air, mais elle prend mal le poli à cause de la grande quantité de mica qu'elle contient. Sa couleur noire, qui la fait rechercher pour les monuments funéraires, lui donne une ressemblance parfaite avec la roche qu'on a nommée à tort *basalte égyptien* et qui a servi souvent à sculpter la déesse Pacht de l'ancienne Égypte.

441. Kersantite. — La *kersantite*¹ est une roche éruptive composée d'oligoclase généralement plus ou moins altéré, d'un peu d'amphibole et de mica brun ou noir très ferrugineux. Sa texture est poreuse et les vides sont fréquemment remplis de carbonate de chaux qui provient probablement d'infiltrations postérieures. Elle est presque toujours associée avec la diorite micacifère, qui forme le passage à la diorite proprement dite.

Cette roche est relativement rare. Elle se trouve surtout en Bretagne, où on l'exploite sur une grande échelle dans la rade de Brest ; elle existe aussi dans les Vosges.

La kersantite de Bretagne est peut-être la meilleure pierre de construction que l'on connaisse. Elle donne des blocs de toutes dimensions pesant 2.840 kilogr. le mètre cube, qui ne s'écrasent que sous une charge de 4.400 k. par centimètre carré et qui se vendent 45 fr. sur carrière pour les dimensions ordinaires. Elle est très tenace ; sa dureté est faible et elle se taille avec la plus grande facilité ; mais elle durcit à l'air en conservant les arêtes parfaitement vives, même après plusieurs siècles. Comme toutes les roches très micacées, elle prend assez mal le poli. Elle a une coloration verdâtre qui noircit avec le temps.

La kersantite a été employée dans un grand nombre d'églises gothiques et de calvaires sculptés de la Bretagne. On l'exporte en France et dans le sud de l'Angleterre pour monuments funéraires. On s'en sert aussi pour le pavage.

442. Minette. — La *minette*, ainsi nommée par les mineurs de Framont (Vosges) à cause de sa ressemblance avec le mine-

1. Du village de Kersanton (Finistère) près duquel on la trouve.

rai de fer qu'on exploitait dans cette localité, est composée presque entièrement de mica lamelleux dans une pâte de mica sans orientation, presque compact, avec un peu d'orthose.

Elle forme quelquefois des massifs considérables, notamment dans le Morvan, mais le plus souvent elle est en filons ou en amas au milieu des granites ou des porphyres. C'est une roche très tenace, ordinairement noirâtre ou brunâtre, qui se désagrège quelquefois en se décomposant. On l'exploite en grand près de Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges, pour le pavage des rues et l'empierrement des routes.

443. Diabase. — Le *diabase* est une roche éruptive finement ou grossièrement grenue, formée par un mélange de feldspath et d'augite. Elle a une couleur d'un vert généralement bien tranché qui lui a fait donner le nom de *grünstein* en Allemagne et celui de *greenstone* en Angleterre. Le feldspath est de l'oligoclase ou du labrador.

Cette roche contient quelquefois du quartz. Un autre élément assez abondant, quoiqu'on ne puisse l'observer qu'au microscope, est l'apatite en longues aiguilles cristallines.

Beaucoup de diabases ont été pris pour des diorites, avec lesquelles ils ont en effet beaucoup de ressemblance extérieure. Ils forment en Bretagne des filons importants.

Comme les diorites, ils donnent en se décomposant une pouzzolane de très bonne qualité. Dans l'arrondissement de Domfront (Orne), on emploie ces arènes diabasiques pour l'amendement des terres auxquelles elles apportent diverses substances utiles, notamment de la chaux et de la magnésie.

444. Euphotide. — Cette roche, remarquable par sa ténacité, est composée de labrador et de diallage en proportions à peu près égales. Le labrador y est gras, blanc ou vert pâle; le diallage, souvent bronzé à éclat métallique et quelquefois d'un beau vert d'émeraude; quand il est vert foncé, on pourrait confondre l'euphotide avec la diorite.

Dans les Alpes, il existe notamment aux environs de Suze, en Piémont, de belles variétés de cette roche d'un aspect agréable qu'on emploie comme pierre de décoration; on la retrouve

en blocs erratiques jusqu'à peu de distance de Turin. C'est à ces variétés que peut surtout s'appliquer le nom d'*euphotide*¹. On en voit de très belles plaques dans la chapelle des Médicis à l'église de San Lorenzo, à Florence.

415. Quartz. — Le quartz en roche est le dernier terme de la dégénérescence du granite. Il forme des filons plus ou moins puissants au milieu des terrains stratifiés et contient parfois des minerais métallifères ou divers minéraux comme la tourmaline, le mica, l'amphibole, etc.

On trouve dans les terrains primitifs des agrégats cristallins et compacts de quartz en grains irréguliers, sans ciment, auxquels on donne le nom de *quartzites*. Cette roche est presque toujours stratiforme et présente de nombreuses fissures transversales qui la divisent en fragments à angles aigus. En se chargeant de lamelles de mica, elle passe progressivement au micaschiste.

416. Roches granitoïdes rares. — Il y a encore un grand nombre d'autres espèces de roches granitoïdes, mais peu communes. Nous citerons notamment :

L'*hyalotourmalite*, composée de quartz et de tourmaline, en veines dans les granites de la presqu'île armoricaine.

L'*hypérite* des Alpes, mélange d'hypersthène et de labrador, qui se rapproche de l'euphotide, l'hypersthène ne différant pas beaucoup du diallage.

L'*éclogite*², magnifique roche formée de grenat rouge et de pyroxène vert, enclavée dans les terrains primitifs de la Loire-Inférieure, que l'on emploie dans la grosse bijouterie à cause de ses belles couleurs.

La *grenatite*, agrégat cristallin de grenat et d'amphibole hornblende, en petits amas dans les gneiss et les micaschistes des Hautes-Pyrénées, de l'Ariège, etc.

La *lherzolite*, dont le type est près du lac de Lherz (Ariège),

1. De *eu*, bien, et *φως, φωτες*, lumière, c'est-à-dire bien partagé en couleur.

2. De *ελογη*, choix; parce que cette roche est formée de matières de choix qui ne figurent pas dans la composition essentielle des roches communes.

composée de péridot jaune olive et de pyroxène vert émeraude.

L'épidotite, ou épidote en roche, vert pistache, qui se présente en lits minces ou en rognons dans les terrains primitifs du Piémont.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces roches qui ne sont d'aucun emploi dans les constructions.

447. Résumé sur les roches granitoïdes. — Si on laisse de côté les matériaux rares, on voit que les roches granitoïdes, malgré les nombreuses espèces qu'elles présentent, sont formées en somme avec un assez petit nombre de minéraux essentiels.

L'élément le plus important est le feldspath et peu de roches en sont dépourvues. Le quartz se montre avec moins de constance. A côté de ces deux minéraux, qui se distinguent par leurs nuances claires, en intervient un troisième, de coloration foncée, mica noir, hornblende, augite, diallage ou hypersthène. Le mica blanc ne se trouve guère que dans la granulite, et la chlorite dans la protogine.

Si l'on range ces roches d'après leur nature minéralogique, voici comment on peut les classer :

	}	Granite
		Gneiss
Roches feldspathiques.....		Pegmatite
		Leptynite
		Protogine
	}	Chloritoschiste
Roches pyroxéniques.....		Diabase
	}	Euphotide
		Syénite
Roches amphiboliques.....	}	Diorite
		Amphibolite
		Hyalomicté
	}	Micaschiste
Roches micacées.....		Taleschiste
		Kersantite
		Minette
Roches quartzzeuses.....	}	Quartz
		Quartzite

Les roches feldspathiques, les roches micacées et les roches

quartzzeuses sont des roches acides ; ce sont de beaucoup les plus nombreuses. Les roches pyroxéniques sont basiques, de même que les roches amphiboliques à l'exception de la syénite.

Toutes ces roches peuvent être utilisées dans les constructions ou dans l'ornementation. Elles sont généralement dures, à l'exception des roches micacées, et il y a lieu de remarquer qu'elles sont d'autant plus tenaces qu'elles contiennent plus d'amphibole ou de mica noir.

2. ROCHES PORPHYRIQUES.

448. — Dans son acception étroite, le mot *porphyre*, du grec πορφυρα, signifie roche rouge. Les anciens géologues ont peu à peu étendu ce nom à des roches de couleur quelconque, mais dont la texture se rapproche de celle du porphyre rouge antique. Elles ont pour caractère essentiel d'offrir, sur une pâte entièrement compacte ou à grains indiscernables à l'œil nu, des cristaux de formes plus ou moins régulières, séparés pour ainsi dire du chaos où se confondent les autres éléments. Souvent même cette pâte forme la masse à elle seule.

D'après MM. Fouqué et Michel Lévy, la pâte s'est constituée dans la seconde période de consolidation de la roche qui, pendant la première, ne différait pas sensiblement d'une roche granitoïde. C'est dans cette seconde période que s'est développée la texture fluidale de certains porphyres, consistant, ainsi que nous l'avons vu, en ce que les éléments de la pâte se sont alignés suivant des surfaces planes ou courbes comme s'ils avaient coulé dans ces directions.

Dans d'autres porphyres à pâte compacte, le microscope révèle l'existence de globulites.

Depuis que les études microscopiques ont fait mieux connaître les roches porphyriques, il y a une tendance à reporter dans la catégorie des roches granitoïdes toutes celles dont la masse se résoud en petits minéraux, en leur donnant les noms de *microgranite*, *micropegmatite*, etc., suivant le type auquel elles se rapportent. Nous adopterions cette manière de voir si, dans un ouvrage de la nature de celui-ci, le côté prati-

que ne devait l'emporter sur le côté scientifique. Nous conserverons donc l'ancienne nomenclature qui s'adapte mieux aux applications pratiques et qui s'accorde d'une manière aussi exacte avec l'âge relatif de ces deux grandes catégories de roches.

Les roches porphyriques, quoique composées des mêmes éléments que les roches granitoïdes, forment une série lithologique encore plus variée. Suivant la nature de la pâte et celle des cristaux, on peut établir les divisions suivantes :

- Porphyre quartzifère ;
- Porphyre feldspathique ;
- Porphyre amphibolique ;
- Porphyre pyroxénique ;
- Trapp ;
- Serpentine.

449. Porphyre quartzifère. — Cette roche est essentiellement composée d'une pâte feldspathique plus ou moins compacte, quelquefois même un peu lamelleuse, dans laquelle sont disséminés des grains de quartz ($\frac{1}{20}$ au plus) et des cristaux d'orthose ou d'oligoclase.

La couleur de la pâte est ordinairement rouge, mais elle passe par toutes les nuances du brun foncé au rouge, au rosâtre et au gris rougeâtre ; cette couleur est souvent due à une altération du porphyre qui offre, dans ses cassures fraîches, des teintes verdâtres.

Les cristaux d'orthose se détachent sur le fond plus ou moins coloré par leurs teintes pâles, presque blanches, roses ou un peu verdâtres. L'oligoclase ne domine jamais.

Les grains de quartz montrent le double pointement à six faces qui caractérise ce minéral. Leur couleur est souvent d'un gris enfumé ; on les reconnaît facilement à leur éclat vitreux.

La roche contient assez souvent du mica, parfois en très forte proportion, comme dans les *porphyres granitoïdes* de Grüner, si abondants dans la Loire. L'amphibole est moins fréquente.

C'est à cette classe de porphyres qu'appartient la roche connue sous le nom d'*elvan* dans les gîtes stannifères du Cornouailles, de couleur gris clair, qu'on trouve aussi dans le Limousin.

450. Porphyre feldspathique. — Le *porphyre feldspathique* (fig. 176) se distingue du précédent par l'absence du quartz et par la prédominance de l'oligoclase sur l'orthose. La pâte est presque toujours d'un rouge très prononcé.

Le type de cette roche est le beau *porphyre rouge antique*, à pâte rouge avec cristaux d'oligoclase blanc, que les anciens ont employé comme pierre d'ornement. L'élément amorphe y est très net ainsi que la texture fluidale.

Ce porphyre, de même que le précédent, se trouve ordinairement en dykes ou en masses formant des buttes isolées.

Argilophyre. — Les porphyres quartzifères et feldspathiques ont dans certains cas une grande tendance à se décomposer. Ils deviennent alors un peu terreux par suite de l'altération de la pâte et ils prennent les noms de *porphyre argileux* ou *argilophyre*, *thonporphyr*¹ des Allemands. Ces roches s'associent presque toujours au terrain du *grès rouge* dont elles ont fourni les éléments fondamentaux.

L'argilophyre a parfois l'apparence d'une argile endurcie ; la cassure de la pâte est grenue et terreuse et les cristaux qui restent çà et là lui conservent son caractère porphyrique. D'autres fois, la pâte est grossière, poreuse, à peu près dépourvue de cristaux ; telle est l'argilophyre des Vosges.

Petrosilex, rétinite, pyroméride. — En perdant successivement les cristaux de quartz et de feldspath disséminés dans la masse, les porphyres passent insensiblement à d'autres roches dans lesquelles on n'observe plus la texture porphyroïde.

L'une de ces roches est le *petrosilex*,² à pâte compacte, à cassure esquilleuse, fusible au chalumeau, dont la composition, très variable, se rapproche tantôt de celle de l'orthose, tantôt de celle de l'oligoclase, tantôt de celle du mélange de ces deux

1. De *thon*, argile.

2. *Petra*, pierre ; *silex*, caillou.

minéraux, avec ou sans addition de silice. Suivant l'expression de Fournet, c'est pour ainsi dire un *porphyre avorté*.

La *résinite* ou *réinite* a une cassure et un éclat analogues à ceux de la résine, d'où lui vient son nom. Les Allemands l'appellent *pechstein*¹, mot qui a la même signification. Cette roche est le plus souvent simple ; mais elle devient quelquefois porphyroïde quand des cristaux de quartz ou de feldspath se développent dans la masse. C'est un verre naturel hydraté, contenant de 4 à 10 0/0 d'eau.

La *pyroméride*,² roche assez rare, est composée de feldspath orthose compact enveloppant des parties plus ou moins globulaires formées d'orthose et d'un peu de quartz. Ces globules sont tantôt rayonnés du centre à la circonférence, tantôt compacts et quelquefois creux à l'intérieur. Il y a toujours différence de couleur entre la pâte et les globules, qui sont soit jaunâtres sur fond verdâtre, soit bruns sur fond jaunâtre. Souvent la pâte est grenue et présente en petit la même texture que les globules.

Les plus belles variétés de pyroméride se trouvent à Girolata, en Corse ; les nodules y atteignent la grosseur du poing. Dans les Vosges, les grains sont plus petits et la matière est plus siliceuse.

451. Emploi des porphyres. — Les porphyres quartzifères et feldspathiques sont des roches, encore plus dures que les granites, dont la pâte compacte peut recevoir un très beau poli. On s'en sert surtout comme pierres d'ornement pour la décoration des édifices.

Les anciens recherchaient quelques-unes de ces roches, que leur couleur et leur dureté rendaient remarquables, pour en faire des baignoires, des sièges, des obélisques, des vases, des statues. L'une des variétés les plus estimées était le porphyre rouge antique, que les Romains tiraient des carrières situées dans la chaîne qui s'étend de la vallée du Nil à la mer Rouge,

1. *Pech*, poix ; *stein*, pierre.

2. De *πυρ*, feu, et *μερίς*, partie ; c'est-à-dire qui n'est susceptible que partiellement de se soumettre à l'action du feu, l'une des parties, le feldspath, étant fusible au chalumeau, tandis que l'autre, le quartz, est infusible.

au Djebel Dokhan. Cette exploitation, abandonnée depuis longtemps, ne pourrait être reprise sans les plus grandes difficultés.

Les monuments les plus célèbres exécutés avec cette magnifique matière sont l'obélisque de Sixte-Quint à Rome, les colonnes de Sainte-Sophie à Constantinople qui ont 13 mètres de hauteur, le tombeau du pape Clément XII à Rome et celui de Théodoric à Ravenne.

En France, on trouve surtout les porphyres dans les montagnes des Vosges, le Morvan et l'Esterel.

A Montchérus, commune de Montreuil (Nièvre), il y a des carrières importantes ouvertes sur plus de 20 mètres de hauteur dans un massif considérable de porphyre quartzifère. Cette roche, de couleur blanc verdâtre ou rouge, pèse 2.460 k. le mètre cube et résiste à 900 kilogr. par centimètre carré ; elle coûte de 40 à 45 francs le mètre cube sur carrière.

Le *porphyre bleu* des environs de Saint-Raphaël, dans les montagnes de l'Esterel, est une roche magnifique, extrêmement dure, d'un bleu turquin, renfermant des cristaux d'oligoclase nettement définis, des cristaux de quartz limpide de la forme du dodécaèdre bipyramidal et quelques prismes de pyroxène vert noirâtre ; à la loupe, la pâte paraît uniquement formée de cristaux analogues de très petites dimensions. Ce porphyre prend très bien le poli et les Romains l'ont extrait au quartier des Caux où on voit encore leurs anciennes carrières. Il a servi à la décoration des monuments antiques de Fréjus, Aix, Arles, Orange et Rome même ; au Palais Quirinal et au Vatican, il en existe des colonnes qu'on regardait comme étant de porphyre égyptien.

Dans les carrières des environs de Kreutznach (Palatinat) on exploite un porphyre feldspathique qui offre un très bel exemple de division prismatique aussi régulière que celle des nappes de basalte. La roche y est divisée en sept ou huit zones superposées, formées chacune de prismes à peu près verticaux, à quatre, cinq, six, sept et huit pans, ayant 15 à 25 centimètres de diamètre, parfaitement droits et longs quelquefois de 3 mètres. Cette disposition indique évidemment que le porphyre s'est étendu horizontalement.

Les prismes porphyriques de Kreutznach sont facilement convertis en pavés excellents au moyen de simples cassures transversales. Ils servent également au bornage des terres.

A Lessines et à Quenast, dans le Hainaut belge, il y a des exploitations considérables de porphyre commun que l'on utilise également pour le pavage des rues, notamment à Paris. C'est un porphyre quartzifère à pâte verte microgranulitique de feldspath et de quartz, sur laquelle se détachent de nombreux cristaux d'oligoclase et de quartz avec un peu d'orthose, de hornblende et de pyroxène. Cette roche est une des plus dures et des plus tenaces qu'on puisse trouver ; elle ne s'use guère et résiste très bien au choc et à l'écrasement ; mais elle a l'inconvénient de se polir à la longue et de rendre les chaussées glissantes et dangereuses.

Les carrières de Lessines ont été ouvertes en 1750 ; leur production, réunie à celle de Quenast, atteint par an 17 millions de pavés qui occupent environ 1.200 ouvriers.

En Bretagne, il existe aussi des exploitations de porphyre pour pavés. Les débris concassés sont utilisés pour l'entretien des routes. Le pavage d'une partie de la ville de Brest est en porphyre et plusieurs routes du Limousin ont des chaussées porphyriques.

Si l'on compare l'état actuel de l'industrie des porphyres polis avec ce qu'elle était dans l'antiquité, il faut reconnaître qu'elle est infiniment moins développée. D'après Delesse, le Musée du Louvre seul renferme plus d'objets antiques en granite et en porphyre qu'il n'en a été fabriqué depuis la Renaissance dans l'Europe entière.

L'art de sculpter le porphyre présente les plus grandes difficultés ; il exige beaucoup de temps et des outils d'une trempe supérieure. Aussi il avait été perdu à la fin de l'Empire romain pour n'être retrouvé qu'à Florence vers la fin du Moyen-Age. Actuellement on se sert avec avantage du diamant noir de Bahia pour la taille de toutes les pierres dures.¹

1. Les anciens devaient connaître l'emploi du diamant dans la taille des pierres dures, si l'on s'en rapporte à Leschot qui, en examinant avec attention un fragment de porphyre égyptien, a remarqué des stries semblables à celles que trace une pointe de diamant.

En France cet art est à peu près inconnu, et parmi les ouvrages en porphyre exécutés dans notre pays on ne peut guère citer que les vases fabriqués sous Louis XIV et qui maintenant encore servent à décorer les palais nationaux, notamment celui de Versailles.

La manufacture, autrefois royale, d'Elfdalen en Suède, dont la fondation remonte à l'année 1788, produit des objets d'art d'une grande valeur. Le plus remarquable des porphyres qu'on y travaille est formé par une pâte brun marron plus ou moins foncé, dans laquelle il y a de petits cristaux d'orthose rosé, quelquefois un peu de plagioclase et aussi des grains de fer oligiste.

Les manufactures impériales de Kolyvansk et d'Ekaterinenbourg, en Russie, fabriquent aussi de très beaux objets en porphyre et surtout en jaspe.

452. Porphyre amphibolique. — Le *porphyre amphibolique* possède une pâte verdâtre, presque compacte, composée d'amphibole et d'oligoclase, en cristaux très fins, dans laquelle sont disséminés d'autres cristaux plus volumineux des mêmes minéraux. Quelquefois l'oligoclase est remplacé par le labrador.

Cette roche passe à la véritable diorite quand sa pâte, devenant de plus en plus cristalline, tend à prendre une texture granitoïde.

Les *ophites*¹ des Pyrénées, de coloration verdâtre ou brunâtre, se rattachent à cette classe de porphyres. Elles constituent d'excellents matériaux d'empierrement, durs et tenaces.

En perdant les cristaux englobés dans la masse, les porphyres amphiboliques passent à des roches compactes, appelées *cornéennes* ou *hornfels*², fusibles en émail noir, de couleur verdâtre ou noirâtre, de dureté variable, mais extrêmement tenaces quand elles ne sont pas altérées.

La cornéenne est constamment en relation avec les porphy-

1. De *οφις*, serpent, dont cette roche imite parfois les couleurs.

2. De l'allemand *horn*, corne, *fels*, roche, à cause de sa consistance analogue à celle de la corne.

res amphiboliques et les diorites. Elle a d'ailleurs une place peu importante dans la nature ; en France on ne la trouve guère que dans les Vosges, à Dinan (Côtes-du-Nord), à Garvannie (Pyrénées), etc.

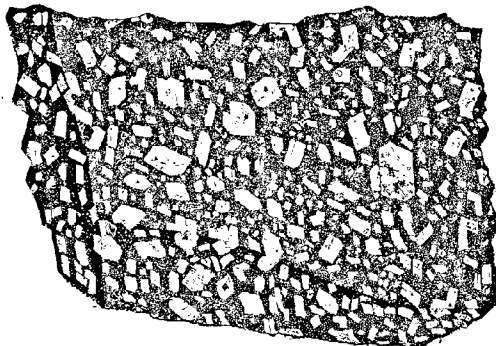


Fig. 183. — Mélaphyre, (d'après Burat).

453. Porphyre pyroxénique. — Cette roche se compose d'une pâte de pyroxène et de labrador intimement mélangés, avec des cristaux de labrador de dimensions appréciables (fig. 183).

La pâte compacte est d'une couleur vert foncé, souvent entièrement noire, qui devient rougeâtre quand la roche est altérée. C'est à cause de cette coloration foncée qu'on donne fréquemment au porphyre amphibolique le nom de *porphyre noir* ou de *mélaphyre*.¹

Les cristaux de labrador sont tantôt blancs, tantôt vert plus ou moins prononcé. Quelquefois ils sont nettement définis ; mais le plus souvent ils tendent à se fondre dans la pâte. Il est rare qu'ils ne soient pas maclés.

On observe parfois des cristaux de pyroxène, mais jamais de quartz, circonstance en relation évidente avec la composition du labrador, l'un des moins siliceux de tous les feldspaths.

Quand le mélaphyre n'a plus de cristaux de labrador, il se réduit à une pâte compacte. Il devient alors très difficile de le

1. Du grec μέλας, noir.

distinguer de la cornéenne, qui joue le même rôle dans la série des porphyres amphiboliques.

Les mélaphyres sont très souvent associés à des roches amygdaloïdes dont les amandes sont formées presque exclusivement par du carbonate de chaux et de la silice, provenant d'infiltrations postérieures. Dans ce cas, la roche elle-même est pénétrée de carbonate de chaux et fait effervescence avec les acides. Ces amygdaloïdes s'appellent quelquefois des *spilites*.¹

Il existe des brèches de mélaphyres dont les fragments sont repris et agglutinés dans la pâte elle-même. On peut concevoir leur formation en supposant que la roche fondue s'est refroidie en empâtant des fragments déjà consolidés et tombés à sa surface.

Les mélaphyres jouent un grand rôle dans la nature, comme nous le verrons plus tard. Les Vosges et l'Estérel nous en offrent de nombreuses variétés.

Emploi des mélaphyres. — Ces roches, très dures, sont quelquefois susceptibles de recevoir un beau poli et sont alors employées comme pierre d'ornement dans la décoration des édifices. De ce nombre, il faut signaler le *porphyre vert antique*, très recherché par les anciens qui l'ont répandu dans tout l'Empire romain et dont on retrouve des fragments dans les villes de l'ancienne Gaule. Les carrières où on l'exploitait sont situées dans la Laconie, entre Sparte et Marathon. On l'appelait aussi *marbre lacédémonien*.

Ce mélaphyre est remarquable par la teinte vert clair de ses cristaux de labrador qui, contrastant avec la couleur foncée de la pâte, produit un très bel effet. On l'a employé, concurremment avec d'autres pierres, dans l'admirable mosaïque dont est pavée l'Église de Sainte-Marie-Majeure à Rome.

A Servance (Haute-Saône) on travaille un mélaphyre vert des Vosges qui rappelle le porphyre vert antique de la Grèce. C'est une roche lourde, pesant 2.800 kilogr. le mètre cube et résistant à des charges de 900 à 1.300 kilogr., et même davantage, par centimètre carré. On l'a employée pour le tombeau

1. De *σπιλος*, tache.

de Napoléon I^{er} aux Invalides et pour les bases des colonnes du vestibule de l'Opéra.

Variolite. — La *variolite* de la Durance est une variété de porphyre pyroxénique ; elle a la même composition que l'euphotide (diallage et labrador) dont elle diffère par sa texture à la fois compacte et globulaire. Les globules feldspathiques sont de couleur verdâtre, gris verdâtre ou violacée ; quand la roche est un peu altérée ou corrodée, ils prennent souvent une teinte blanchâtre, et, comme ils sont plus durs que la pâte qui les renferme, ils restent en saillie à la surface de la masse comme des boutons de petite vérole ; ce qui a motivé le nom de variolite.

La variolite est enclavée au milieu des serpentines et des euphotides ; on la trouve fréquemment en cailloux roulés dans divers cours d'eau qui descendent des Alpes, notamment dans la Durance. Comme elle peut prendre un beau poli, on en fait divers objets d'ornement à Grenoble, à Briançon et à Turin.

454. Trapps. — La classe des *trapps* comprend une foule de roches différentes dont la composition est incertaine, mais qui ont pour principaux caractères d'être plus ou moins compactes ou à grains très fins indiscernables et de présenter une coloration noirâtre, brunâtre ou vert foncé.

La plupart de ces roches ont la même composition que les mélaphyres, auxquels on pourrait par suite les rattacher. D'autres contiennent les mêmes minéraux que les porphyres amphiboliques, dont ils ne seraient qu'une variété particulière. Dans quelques trapps enfin, l'hypersthène et même le diallage paraissent entrer comme éléments constituants ; ils représenteraient ainsi l'état trappéen des hyperites et des euphotides.

Les roches trappéennes ne sont pas toujours d'ailleurs essentiellement compactes ; elles peuvent prendre un grain assez prononcé et montrer des cristaux discernables de labrador et d'hypersthène ou de diallage.

Malgré les grandes variations de leur composition, les trapps n'en forment pas moins une famille naturelle de ro-

ches qui ont joué un rôle important à plusieurs époques géologiques. Ils se présentent en filons et en masses, mais surtout en nappes de dimensions souvent colossales qui, grâce à la grande fluidité de la roche fondue, se sont répandues entre les strates de certains terrains sédimentaires. Comme le trapp a plus de résistance que les roches avec lesquels il alterne, la désagrégation produite par les agents atmosphériques donne sur les pentes l'apparence d'un escalier (fig. 184). C'est cette disposition que rappelle le nom donné à cette roche¹.

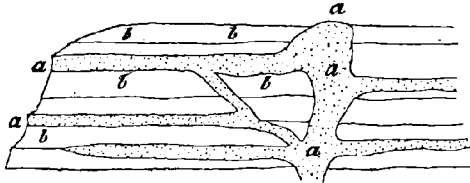


Fig. 184. — Trapp *a* intercalé entre des couches sédimentaires *b*.

Les trapps se trouvent dans beaucoup de bassins houillers de France où on les désigne sous le nom de *roches noires*, à Brassac, Commentry, Noyant, etc. Ils sont assez abondants dans les Vosges, où on les exploite pour paver et empierrer les routes, notamment à Raon-l'Étape.

Les trapps dégénèrent sur les bords des gisements en roches amygdaloïdes, et la pâte est alors rubéfiée, violacée. Les noyaux sont formés tantôt de minéraux variés appartenant principalement à la famille des zéolithes, tantôt de quartz agate comme dans le gisement célèbre d'Oberstein (Bavière rhénane).

En se décomposant, ils deviennent argileux et peuvent alors être employés comme pouzzolanes.

On trouve du cuivre natif dans certains trapps, par exemple au Lac Supérieur (Canada).

455. Serpentine. — La *serpentine*² est une roche entière-

1. Du suédois *trappa*.

2. De *serpens*, serpent, parce qu'elle présente souvent des bigarrures analogues à celles de la peau de certains serpents.

rement compacte ou finement grenue, parfois presque lamellaire ou même fibreuse, formée de silicate de magnésie et d'un peu de protoxyde de fer avec 12 à 13 0/0 d'eau. Elle contient souvent du diallage lamelleux et disséminé qui lui donne l'aspect porphyroïde. Quelquefois la stéatite y forme des veinules ou de petites masses.

On admet qu'elle provient généralement de la décomposition de minéraux riches en magnésie, tels que l'amphibole, le pyroxène, le péridot.

La serpentine est le plus souvent verdâtre, mais elle peut offrir des nuances très variées et passer au brun marron et au rouge vif ; c'est l'inégale répartition des diverses variétés de diallage qui lui donnent son aspect bigarré. Une variété appelée *ophicalce* est entrecoupée de veines irrégulières de calcaire spathique qui lui communiquent un faux aspect de brèche ; elle est très propre à l'ornementation par suite du contraste de ces parties blanches calcaires avec la pâte verte et rouge de la roche.

La serpentine se trouve dans presque toutes les grandes chaînes de montagnes, et notamment sur les versants méridionaux des Alpes, dans les Vosges, la Corse, l'île d'Elbe, etc. En grand elle offre une division en plaques, en masses irrégulières, dont la surface extérieure présente souvent un éclat caractéristique analogue à celui d'un vernis ; ces masses sont fréquemment séparées par du mica ou de la chlorite.

La serpentine est exploitée pour la marbrerie, surtout la variété à veines de calcaire. On en fait des plaques, des socles, des colonnettes, etc. ; on s'en sert même comme de pierre de taille.

Quand elle est polie, elle devient très brillante ; une exception doit cependant être faite pour celle du Prato (Toscane), qui conserve toujours un aspect un peu mat. Sa dureté est la même que celle du marbre, et elle présente sur lui l'avantage de s'altérer beaucoup moins par l'action des agents atmosphériques. C'est ce qu'il est facile de constater en examinant les serpentines avec chaux carbonatée qui sont restées pendant quelque temps exposées à l'air ; le calcaire est devenu terne, tandis que la serpentine conserve encore tout son poli. C'est

ce que l'on remarque également dans les pays montagneux où affleure cette roche ; les massifs qu'elle forme, rebelles à la décomposition, ne sont couverts d'aucune végétation et les habitants des Alpes leur donnent le nom significatif de *monts morts*.

Malheureusement la serpentine a peu de cohésion et se laisse écraser assez facilement ; elle est fragile et résiste mal aux chocs ; de plus elle est souvent traversée par des fentes, en sorte qu'il est rare d'en trouver des blocs de grandes dimensions.

Sur les bords du Bivincio, à 12 kilomètres de Bastia, on extrait une très belle sorte de serpentine. La masse exploitable a plus de 60 mètres d'épaisseur et on peut en tirer des blocs de plus de 20 mètres cubes. Elle est connue sous le nom de *vert de mer* dans la marbrerie ; elle a une magnifique couleur vert plus ou moins foncé et elle est traversée par une multitude de veines qui s'entrelacent de la manière la plus complexe et qui sont formées par de la chaux carbonatée colorée en vert clair ou vert émeraude par une espèce d'asbeste. Elle a de l'homogénéité et une grande ténacité. On l'expédie à Marseille et à Paris ; son prix est seulement de 250 francs le mètre cube sur carrière.

La serpentine de Maurins et de Saint-Véran (Hautes-Alpes) est aussi une ophicalce à veines blanches ou vert céladon. Elle fournit des blocs de toutes les dimensions et il serait facile d'en faire des colonnes. Elle coûte à Paris de 850 à 1.300 fr. le mètre cube et de 25 à 30 fr. le mètre carré.

Nous citerons encore la serpentine des environs d'Eloyes (Vosges) qui a une belle couleur verte avec des nuances brunes, rouges, vert clair, d'un effet très agréable ; mais elle est traversée par des fissures, et comme il est rare de l'obtenir en gros blocs, on ne l'emploie guère que pour des ornements de petites dimensions. Sciée en tranches, elle se vend à Epinal au prix de 45 francs le mètre carré.

En France, l'ancienne chartreuse de la Verne près Saint-Tropez est entièrement construite avec de la serpentine, dont les anciennes carrières existent encore près du château de la Molle.

La cathédrale de Florence et divers autres monuments de cette ville sont revêtus extérieurement de marbres polis de couleurs variées, parmi lesquels figure la serpentine.

3. ROCHES VOLCANIQUES.

456. — Les roches volcaniques constituent une série de roches qui, au point de vue de leur composition minéralogique, pourraient être réunies à l'un des deux groupes précédents. Si nous les en avons séparées, c'est parce que leurs gisements sont différents et qu'elles possèdent tout un ensemble de caractères extérieurs distincts : elles renferment souvent en effet des minéraux de nature vitreuse qui leur ont fait donner le nom de *roches vitreuses* ; elles sont accompagnées de masses celluleuses ou scoriacées analogues à celles qui se produisent dans les éruptions des volcans actuels ; enfin elles sont relativement récentes, puisqu'elles ne remontent pas au-delà du début de l'ère tertiaire.

Nous distinguerons dans cette série les *trachytes*, les *basaltes* et les *laves*.

457. Trachyte. — Les *trachytes* sont ainsi nommés parce qu'ils sont âpres et rudes au toucher ¹. Ce sont des roches essentiellement feldspathiques dont la constitution intime offre, ainsi que l'a montré l'examen microscopique, de grandes analogies avec celle des porphyres. Ils se composent en effet, comme ces dernières roches, d'un magma à texture vitreuse, fluidale ou microcristalline, souvent avec mélange d'une matière amorphe, dans lequel peuvent être empâtés des cristaux de dimensions ordinaires.

Le feldspath des trachytes est toujours vitreux ; c'est de la sanidine ou du microtine, variétés vitreuses de l'orthose et des feldspaths plagioclases. Le quartz, quand il s'y trouve, est à l'état de tridymite, variété de silice ayant la densité du quartz fondu. Tous ces faits tendent ainsi à prouver la prédominance de l'action ignée dans la formation des roches trachytiques.

1. De *τραχύς*, rude.

Les trachytes sont tantôt entièrement compacts, tantôt poreux ou même cellulieux. Dans ce dernier cas, qui est le plus fréquent, les petits cristaux sont enchevêtrés de manière à laisser des vides entre eux.

La coloration du trachyte est ordinairement blanchâtre ou grisâtre. Quand la teinte est brunâtre, ce qui n'est d'ailleurs pas fréquent, cela tient à la présence du fer.

Le trachyte contient comme minéraux accidentels du mica magnésien, de l'amphibole hornblende, du pyroxène augite, du fer oligiste, du fer titané. La proportion de ces deux derniers minéraux peut atteindre 20 0/0 sans que l'apparence minéralogique de la roche change d'une manière notable.

La *dômite* est une variété terreuse de trachyte, d'une faible ténacité, souvent friable, qui happe fortement à la langue et a presque toujours un aspect terne. Elle paraît être le résultat d'une altération du trachyte, altération qui pénètre très loin dans la masse et qui aurait eu lieu par conséquent au moment de la formation. Elle a fréquemment la texture porphyroïde et on y trouve du fer oligiste, parfois en grande quantité. Cette roche constitue presque en totalité le Puy-de-Dôme, qui lui a donné son nom, et quelques autres puy d'Auvergne.

On comprend dans la série des trachytes plusieurs espèces de roches dont les principales sont la *liparite* et la *phonolite*. De plus les massifs trachytiques sont toujours accompagnés de substances à texture vitreuse, qui jouent par rapport au trachyte le même rôle que les petrosilex et les feldspath résinites par rapport aux roches porphyriques ; ce sont les *perlites*, les *obsidiennes* et les *ponces*.

Liparite.¹ — Les liparites sont des trachytes dans lesquels se montrent des cristaux visibles de feldspath qui, suivant leur plus ou moins grande abondance et leurs dimensions relatives, lui donnent la texture granitoïde ou porphyroïde, avec tous les passages de l'une à l'autre. Elles contiennent de l'amphibole hornblende, du mica noir en assez grande quantité et souvent de petits grains de quartz.

Les liparites sont les roches modernes les plus acides. On

1. Des îles Lipari.

les a confondues avec les granites à l'île d'Elbe et en Algérie, où elles se trouvent ; mais elles s'en distinguent en ce que le feldspath y est fendillé et vitreux et qu'elles ont le toucher âpre. Elles représentent comme un retour de la puissance de cristallisation des roches acides ; mais ce retour n'a pas été jusqu'à reproduire les types largement cristallisés de la série ancienne.

*Phonolite.*¹— La phonolite est au trachyte proprement dit ce que la syénite zirconienne est à la syénite ordinaire. Elle est caractérisée par l'association à la sanidine de la néphéline ou de la leucite.

Cette roche est remarquable par le son qu'elle donne quand on la frappe avec un marteau. Un autre caractère essentiel, c'est sa tendance à la division laminaire ; elle peut se séparer en lames, en feuillets plus ou moins épais. Elle est moins poreuse que le trachyte ordinaire ; elle ne l'est même qu'aux parties supérieures et inférieures des coulées, et elle est compacte au milieu. Sa coloration est ordinairement grise ou gris bleuâtre.

Au Mont-Dore, on exploite comme ardoises grossières une masse de phonolite sous le nom de *Roche tuilière*.

Perlite. — Les perlites sont des roches vitreuses, grises ou verdâtres, qui ont la même composition que le trachyte et qui contiennent des globules dont la cassure est quelquefois rayonnée et qui ressemblent à des perles par leur couleur et leur éclat. On dirait que ce sont des trachytes à demi fondus.

On les trouve au Mont-Dore et dans les monts Euganéens.

Obsidienne. — C'est Obsidius qui le premier a fait connaître cette roche, recueillie par lui en Ethiopie. Elle est parfaitement compacte et a une composition identique à celle du trachyte.

Elle est caractérisée par son éclat vitreux qui lui donne l'aspect du verre ou des laitiers compacts des hauts fourneaux ; mais elle est plus dure que le verre ordinaire, qu'elle raie. Sa couleur est le plus souvent noirâtre foncé, quelquefois grisâtre ou jaunâtre.

1. De φωνος, son, et λιθος, pierre, à cause de sa sonorité.

Parfois elle est porphyroïde ; les cristaux de feldspath y ont alors un vif éclat vitreux.

L'obsidienne constitue généralement des coulées ou des couches, souvent associées à des trachytes dans les terrains volcaniques du Cantal, des monts Euganéens, de l'Islande.

Les Mexicains, au temps de Montezuma, employaient l'obsidienne des Andes à la confection de dards de fleches, de couteaux, etc. On en faisait aussi anciennement des miroirs ; tel est le miroir des Incas dont la galerie de géologie du Museum d'histoire naturelle de Paris possède un bel échantillon.

*Ponce.*¹ — La ponce ou pierre ponce est pour ainsi dire une obsidienne spongieuse. Elle a une texture cellulaire qui la rend si légère que souvent elle peut flotter sur l'eau. Elle est complètement vitreuse, rude au toucher et raie le verre et l'acier. Son aspect, fréquemment soyeux et comme filé, est un effet de la force de projection qui a étiré la matière au sortir du centre d'éruption.

La ponce se montre parfois à l'état de strates, à la surface de quelques courants d'obsidienne, et alors sa masse est en partie à l'état compact, en partie à l'état poreux et vitreux. Elle est alors utilisable comme pierre de construction.

Presque toujours elle est à l'état *lapillaire*,² c'est-à-dire qu'elle résulte du refroidissement dans l'air et de la division en petits fragments des matières trachytiques incandescentes projetées par les volcans et qui sont retombées sur le sol, où elles forment des couches incohérentes mêlées de cendres volcaniques.

La ponce lapillaire, à raison de sa dureté, de la finesse de son grain et de l'absence habituelle de cristaux, est employée dans l'industrie à divers usages. En morceaux, elle sert à polir la surface des peaux et des parchemins ; réduite en poudre et délayée dans l'eau, elle est utilisée pour le polissage des bois, de l'ivoire, de quelques pierres et mêmes des métaux.

C'est surtout des îles Ponces et Lipari, dans la mer Tyrrhénienne, que vient la ponce du commerce. On la trouve aussi au Mont-Dore, au Vésuve, sur les bords du Rhin, en Islande.

1. Des îles Ponces.

2. Du latin *lapillus*, petite pierre.

Emploi des trachytes dans les constructions. — Les roches trachytiques fournissent de bons matériaux de construction. Les trachytes communs sont finement cellulieux, de couleur gris de fer. La variété porphyroïde est généralement la plus dure ; on peut y trouver de belles pierres d'appareil pour les constructions de luxe et les monuments.

On les exploite au Mont-Dore, dans la Haute-Loire, dans le Cantal. C'est avec cette roche que sont construits les bains du Mont-Dore, les monuments de la ville du Puy-en-Velay.

Le trachyte du Siehengebirge (Prusse rhénane) a été employé dans la construction de la cathédrale de Cologne.

Les trachytes de France pèsent de 2.150 à 2.600 kilogr. le mètre cube, suivant qu'ils sont plus ou moins cellulieux ou compacts, et résistent à des charges de 300 à 900 kilogr. par centimètre carré. Leur prix est de 30 à 45 francs le mètre cube sur carrière.

En Hongrie on exploite un trachyte cellulieux pour la confection des meules à moudre les grains.

458. Basalte. — Les *basaltes*¹ sont des roches compactes, très tenaces, d'apparence homogène, de couleur noire, dont la densité est voisine de 3.

Ils se composent essentiellement de labrador et de pyroxène augite, auxquels se joignent à titre de minéraux accessoires du péridot et de l'oxyde de fer magnétique parfois titanifère. Une matière vitreuse est souvent interposée entre les grains cristallins ou microlithiques de ces minéraux.

Le pyroxène se montre souvent au milieu de la pâte en cristaux nettement terminés. Les cristaux isolés de labrador sont au contraire assez rares. Le péridot s'isole souvent en nodules cristallins, à éclat vitreux, dont la couleur vert olive contraste avec le noir foncé de la masse. De même, le fer magnétique n'est pas seulement intimement mélangé à la roche ; il peut aussi se présenter en grains visibles ; sa proportion est d'environ 5 à 15 0/0 et il peut rendre la masse très magnétique.

Comme minéraux accidentels du basalte, nous citerons l'am-

1. De l'éthiopien *basal*, fer, à cause de leur couleur.

phibole, les pyrites, le zircon, le mica noir, le fer natif. On constate facilement la présence de ce dernier minéral en réduisant la roche en poudre fine et la traitant par une dissolution de sulfate de cuivre ; au microscope, on voit certains grains changer de couleur et prendre la nuance caractéristique du cuivre rouge récemment précipité par le fer.

Le basalte peut prendre la texture scoriacée ou la texture amygdaloïde. Dans ce dernier cas, les amandes sont généralement formées d'aragonite ou de zéolithe.

Par suite d'une altération de leurs éléments, les basaltes passent à des roches argileuses tendres, appelées *wackes*.¹

Le basalte est très abondant dans la plupart des régions volcaniques, l'Auvergne, le Cantal, l'Irlande, la Bohême, etc. Il présente à un haut degré la division prismatique à plusieurs pans, surtout à six, résultant du retrait qui a accompagné ou suivi son refroidissement.

*Dolérite.*² — La dolérite peut être considérée comme une sorte de basalte dans lequel les cristaux de la pâte sont discernables à l'œil nu, ce qui lui donne la texture granitoïde. Au premier aspect, on pourrait la confondre avec la diorite ; mais elle en diffère par la présence du pyroxène et surtout par les circonstances de son gisement.

Cette roche n'a pas une grande importance ; elle ne constitue guère que des accidents au milieu des masses de basalte ordinaire.

Sur les affleurements de la dolérite d'Ovifak, au Groenland, on a trouvé des masses de fer natif carburé et nickelifère, qu'on avait d'abord prises pour des météorites tombées sur la roche pendant qu'elle était encore à l'état demi-fluide, et englobées dans sa pâte. Mais elles paraissent bien appartenir à la dolérite elle-même, qui contient d'ailleurs de nombreux granules de fer natif intimement disséminés.

Emploi des basaltes dans les constructions. — Le basalte donne d'excellents matériaux de construction. Quand il est bien compact, c'est une des roches les plus résistantes que

1. D'après un nom populaire en Allemagne.

2. De *δολερός*, trompeur, à cause de sa ressemblance avec la diorite.

l'on connaisse, car il ne s'écrase que sous des charges considérables, qui peuvent atteindre 2.000 k. par centimètre carré. Quand il est cellulaire, sa résistance descend à 500 et même 300 kilogr.

Cette roche est malheureusement d'un aspect sombre et triste. Son poids élevé et sa dureté en rendent aussi l'usage difficile.

Quand le basalte est en masses prismatiques, il se trouve tout taillé pour diverses applications, bordures de trottoirs, encadrements de portes et fenêtres, bornes. On peut même, en partageant les colonnes à sections régulières, obtenir des pavés susceptibles de s'assembler; la ville de Montélimart n'a pas d'autre pavage.

Les Hollandais emploient le basalte compact d'Irlande pour la construction de leurs digues.

Le basalte des bords du Rhin est à grain assez fin pour que les relieurs et les batteurs d'or d'Allemagne s'en servent comme enclume.

Les anciens nous ont laissé des statues et de nombreux objets d'art taillés dans le basalte.

459. Laves. — Les *laves*¹ sont produites encore par les volcans en activité. Ce ne sont pas des roches bien caractérisées au point de vue de la composition minéralogique et nous ne conservons cette dénomination que pour rappeler l'origine commune et le mode de production de leurs diverses variétés.

Elles sont généralement celluleuses ou bulleuses, étirées, contournées, fendillées dans tous les sens, et offrent le type le plus complet de la texture scoriacée. Quelquefois cependant elles sont presque entièrement compactes et prennent alors le nom de *laves lithoïdes*.

Les laves sont des roches plus récentes que les trachytes et les basaltes; elles appartiennent à l'ère quaternaire. Au point de vue de leur composition, on peut les rapporter à trois types: le basalte ordinaire, le basalte granitoïde et le trachyte. Dans les laves du second type, le labrador est remplacé par un

1. De l'italien *lava*.

autre silicate, comme la néphéline ou la leucite; la *leucitophyre* de la Somma, près du Vésuve, est une lave de ce genre.

Ces matériaux volcaniques offrent généralement une grande solidité et ont l'avantage de prendre parfaitement le mortier. On les emploie comme pierre à bâtir dans beaucoup de contrées, notamment dans le massif volcanique du Centre de la France, sur les bords du Rhin, à l'île de la Réunion, au Mexique.

A Volvic (Puy-de-Dôme) on exploite une lave gris noir, finement celluleuse, facile à travailler, qui pèse 2.000 à 2.300 kilogr. le mètre cube et qui résiste à des charges de 300 à 400 kilogr. par centimètre carré. C'est avec cette roche, qui coûte 25 à 30 fr. le mètre cube sur carrière, qu'est construite la cathédrale de Clermont-Ferrand. On s'en est servi pour l'établissement des premiers dallages à Paris; mais on l'a remplacée avantageusement, à cause de son usure inégale et de sa fragilité, par le granite et par le bitume.

La lave d'Agde (Hérault) est de nature basaltique, noire, bulleuse; on l'a employée dans la construction des remparts de cette ville, qui remontent au XII^e siècle; elle s'expédie au loin. La lave de Vives (Aveyron), quand elle est bien choisie, est très propre à la sculpture; elle vaut alors jusqu'à 150 fr. le mètre cube.

Les rues de la ville de Naples sont pavées en partie avec de larges dalles en lave du Vésuve.

Une grande partie de la ville de Mexico est bâtie avec une lave très bulleuse appelée *tezontle*.

On peut rapprocher des laves les *tufs volcaniques*, pierres à la fois légères et résistantes, dont on fait un grand usage à Rome et à Naples et qui consistent en fragments de lave agglutinés par un ciment.

Le *trass*¹ est une sorte de tuf volcanique formé de parties terreuses qui adhèrent fortement les unes aux autres et qui, d'après Lyell, proviendrait d'éruptions boueuses. Il se trouve notamment sur les bords du Rhin, aux environs d'Andernach,

1. Nom populaire donné à cette roche sur les bords du Rhin et qui paraît venir du hollandais *tiras*, ciment.

et fournit une pierre à bâtir de bonne qualité, dont on s'est servi pour les monuments de l'époque romaine et pour un grand nombre d'églises gothiques, entre autres pour l'intérieur du dôme de la cathédrale de Cologne.

Le trass broyé et mêlé à la chaux donne un mortier hydraulique tout à fait supérieur. Il en est de même du reste de la plupart des roches volcaniques.

SECOND GROUPE

ROCHES SÉDIMENTAIRES.

460. — Les roches sédimentaires ont une composition beaucoup plus simple que celle des roches cristallisées. On n'y trouve guère, au moins avec une certaine abondance, que la silice, l'argile, le carbonate de chaux, le sulfate de chaux et le carbonate de magnésie. Elles contiennent très souvent en outre de l'oxyde de fer et des matières organiques, qui y jouent le rôle d'éléments accidentels. Elles se présentent toujours à l'état amorphe, sauf quand elles ont été modifiées dans leur texture par le métamorphisme, qui a de plus introduit dans leur masse des minéraux semblables à ceux des roches éruptives.

C'est en nous basant sur leur composition que nous classerons les roches sédimentaires. D'après la prédominance de l'élément essentiel à leur constitution, nous distinguerons trois classes : les *roches siliceuses*, les *roches argileuses* et les *roches calcaires*.

Nous rappellerons que les roches sédimentaires sont d'origine mécanique, chimique ou organique. Les premières, auxquelles on donne le nom de *roches détritiques*, *fragmentaires* ou *clastiques*,¹ résultent de la destruction des roches préexistantes ; c'est à cette catégorie qu'appartiennent les sables, les graviers, la plupart des argiles. L'action chimique a produit des roches concrétionnées, comme les silex meulières, le

1. De κλω, je brise.

gypse et certains calcaires. A l'action organique doivent être attribués bon nombre de calcaires et quelques roches siliceuses.

Ces actions ont pu d'ailleurs contribuer simultanément ou successivement à la formation d'une roche. Ainsi les poudingues sont des fragments arrachés aux roches anciennes par voie mécanique et cimentés ensuite par voie de précipitation chimique ; les calcaires argileux sont un mélange d'argile déposée mécaniquement et de carbonate de chaux précipité ; la craie contient à la fois du calcaire amorphe et des débris de carapaces de foraminifères.

1. ROCHES SILICEUSES.

461. — Les roches siliceuses comprennent des dépôts meubles, des roches agglomérées et des dépôts d'origine chimique.

Les dépôts meubles se composent de *sables* et de *graviers*. Dans les dépôts agglomérés nous rangerons les *conglomérats*, formés de gros grains, et les *grès*, qui ont un grain plus fin. Les roches d'origine purement chimique sont les *silex* et la *gaize*.

Nous avons ainsi cinq catégories de roches siliceuses que nous allons étudier successivement. Les conglomérats et surtout les grès sont les plus abondants de tous ces matériaux, parce que toutes les formations meubles ont été parcourues par des eaux d'infiltration qui ont déposé entre leurs interstices des substances agglutinantes, carbonate de chaux, silice, oxyde de fer, etc.

462. Sables et graviers quartzeux. — Les sables provenant de la désagrégation des roches, on conçoit que les plus répandus doivent être des sables quartzeux. Les roches tendres, comme les calcaires, ne donnent que rarement du sable ; elles se résolvent surtout en vase quand elles sont soumises à des actions mécaniques.

Dans les sables quartzeux, les grains sont généralement anguleux, quelquefois arrondis. On y retrouve souvent la plu-

part des éléments des roches granitiques, et notamment du mica, qu'on reconnaît aisément à ses paillettes argentines, plus rarement noirâtres, qui brillent au soleil. Tel est le cas du sable de Fontainebleau.

Quand le sable quartzeux est pur, il est d'un blanc de neige. Mais il est fréquemment souillé par des matières étrangères, de l'argile qui le rend terreux, de l'oxyde de fer qui le colore en jaune, du calcaire, etc. Le *sable vert* est une variété colorée par de petits grains de glauconie.

Les sables se trouvent en couches intercalées au milieu d'autres couches sédimentaires, à la surface de roches éruptives désagrégées, dans les alluvions des rivières ou sur le bord de la mer. Suivant la provenance, on leur donne le nom de *sables de mine* ou *de carrière*, *sables de rivière*, *sables de mer*. On dit qu'ils sont *fins* quand les grains n'ont pas plus d'un millimètre de diamètre ; *gros*, quand ces grains ont de 1 à 3 millimètres ; au-delà c'est du *gravier*.

Les graviers, au contraire des sables, sont le plus souvent à grain arrondi. Cependant, dans plusieurs formations meubles, comme les moraines de certains glaciers, il y a des cailloux de grosseur inégale et à arêtes vives.

Le principal emploi du sable est la confection des mortiers. Il doit contenir dans ce cas le moins possible de matières argileuses ; s'il en est trop chargé, il faut le purifier par le lavage. On donne la préférence aux sables à grains anguleux qui, par leurs aspérités, adhèrent mieux à la chaux que les grains arrondis. Le sable de mer est imprégné de sels déliquescents qui, dans les maçonneries exposées à l'humidité, empêcheraient les mortiers de sécher ; aussi on doit préalablement l'étendre en couche mince sur un sol faiblement incliné jusqu'à ce que la pluie l'ait débarrassé des sels qu'il renferme.

Avec un peu d'habitude on reconnaît le bon sable au toucher, en cherchant à l'écraser entre les doigts. S'il contient peu d'argile, il ne tache pas la peau ; de plus, quand on approche les doigts de l'oreille, on entend un grincement plus prononcé avec les grains anguleux qu'avec les grains arrondis.

En raison de son incompressibilité, le sable convient parfaitement pour les fondations et pour les pavages. Pour ces usages, il doit être à grains moyennement fins et homogènes et aussi pur que possible ; l'adjonction d'une faible quantité de matière terreuse suffit pour le rendre compressible et lui faire perdre une partie de sa mobilité.

Le sable fin est d'un excellent usage pour l'étanchement des fuites dans les canaux à fond perméable ; il peut être alors argileux sans inconvénient. On a reconnu qu'il ferme les voies d'eau et détruit tout espèce de suintement ; il ne s'est montré inefficace que sur les points où les fissures des roches avaient une trop grande ouverture.

Le sable un peu argileux sert à la confection des moules nécessaires au coulage des métaux, fonte, acier, bronze, etc. A Fontenay-aux-Roses, près de Paris, on trouve un sable très renommé pour le moulage, que l'on exporte jusqu'en Amérique, dont la plasticité est due en partie à son mélange intime avec des matières organiques ; car, lorsqu'il a été exposé aux intempéries de l'atmosphère qui oxydent ces matières, il devient beaucoup moins plastique.

Les sables blancs et purs, comme ceux de Fontainebleau (Seine-et-Marne), de Rilly-la-Montagne (Marne), sont employés pour la fabrication du verre blanc et du cristal.

En Amérique, on répand les sables glauconieux comme amendement sur les terres arables. La glauconie, en se décomposant, abandonne de la potasse au sol.

Les graviers sont utilisés dans la confection des massifs de béton et des chaussées d'empierrement. Quand ils sont formés de galets d'un volume suffisant, on s'en sert dans la construction et dans les pavages ; mais ce mode de pavage, s'il est solide quand les galets sont allongés, a le grave inconvénient d'être pénible pour les piétons et cahoteux pour les voitures.

On se sert aussi du gravier comme ballast de chemin de fer. Il doit alors être dépourvu de matières terreuses qui s'opposeraient à l'infiltration de l'eau, et de sable qui, soulevé par le vent ou entraîné par le courant d'air résultant du passage des trains, incommoderait les voyageurs et pénétrerait dans les organes du matériel roulant pour les détériorer en peu de

temps. Les fragments anguleux conviennent mieux que les galets, car ils s'enchevêtrent mieux les uns dans les autres et donnent plus de stabilité et d'élasticité à la voie.

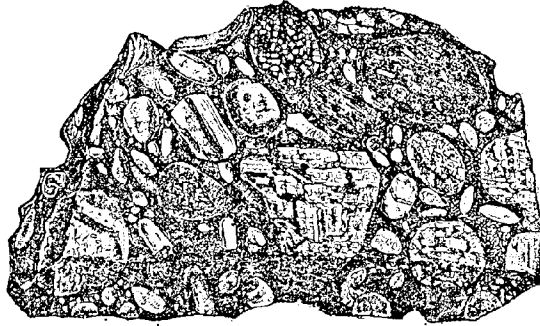


Fig. 85. — Conglomérat d'après Burat).

463. Conglomérats. — Toute roche formée de fragments grossiers réunis par un ciment quelconque est un *conglomérat* (fig. 185). On donne plus spécialement le nom de *brèche*¹ aux conglomérats à fragments anguleux et celui de *poudingue*² aux conglomérats dont les fragments sont arrondis. On dit que les poudingues sont *pisaires* quand leurs éléments sont de la grosseur d'un pois, *pugillaires* quand ils atteignent la dimension du poing. Il existe même de ces roches dans la constitution desquelles entrent des blocs de plusieurs mètres cubes ; tels sont ceux de Fépin dans les Ardennes.

Il n'est pas rare de rencontrer dans les conglomérats des cailloux qui montrent à leur surface l'empreinte d'autres cailloux avec lesquels ils se trouvent en contact et qui ont fonctionné comme le ferait un corps dur pressé contre de la cire molle. Ces premiers s'appellent des *cailloux impressionnés* ; les creux qu'ils portent ont souvent une profondeur de quelques millimètres. Le caillou qui a reçu l'empreinte et celui qui l'a donnée peuvent être soit de même nature, tous les deux cal-

1. De l'allemand *brechen*, rompre.

2. De l'anglais *pudding*, à cause de la ressemblance de ces roches avec un *plum-pudding*.

caires ou tous les deux quartzeux ; soit de nature différente, l'un calcaire et l'autre quartzeux. Dans ce dernier cas, c'est toujours le plus dur qui pénètre dans le plus tendre.

Le phénomène des cailloux impressionnés a exercé la sagacité de bien des géologues et on n'en a pas encore donné une explication qui s'applique à tous les cas. Il semble pourtant que la cause en est toute chimique et que ce serait l'action lente et capillaire d'un liquide érosif qui aurait usé un galet sur sa surface de contact avec un autre. On trouve partout en effet, dans les poudingues qui présentent ce phénomène, des preuves de dissolution consistant dans la présence de quartz ou de chaux carbonatée à l'état cristallisé.

Les conglomérats siliceux sont d'un usage restreint dans les constructions, à cause de la difficulté de leur débit ; on ne les emploie guère que dans les fondations. Il est rare de trouver des brèches comme celle de Polignac (Haute-Loire), formée de fragments de roches volcaniques, qui ne pèse pas plus de 2.400 kilogr. le mètre cube, dont on s'est servi pour la construction de la cathédrale du Puy. Cette brèche, qui ne coûte que 20 à 25 fr. le mètre cube, convient parfaitement pour les fours de boulanger.

464. — *Brèche universelle.* — La *brèche universelle* est une roche très remarquable que l'on peut rattacher aux conglomérats siliceux. Elle est composée de fragments anguleux ou arrondis appartenant à des roches très diverses, granites, porphyres, petrosilex et autres, agglutinés par un ciment feldspathique, ce qui lui a fait donner le nom d'*anagénite*¹ par Haüy. Les Égyptiens l'exploitaient dans des carrières situées dans la chaîne arabique, à une cinquantaine de kilomètres de Kéné, et ils en ont extrait des blocs de très grandes dimensions, tels que le sarcophage antique, dit d'Alexandre, qui a 15 mètres de tour et qui est couvert d'hiéroglyphes et de sculptures délicates.

On peut regarder cette matière comme une des plus dures,

1. De *anz*, deux fois, et *γvaz*, naissance. Ce conglomérat a parfois en effet l'aspect des roches qui lui ont fourni ses principaux éléments.

des plus riches en couleurs et des plus belles qui existent sur le globe.

La variété qui paraît avoir été surtout recherchée par les anciens est celle dont la couleur est verte et qui est essentiellement formée de fragments de petrosilex et de schiste argileux.

Le Musée du Louvre montre plusieurs objets en brèche universelle d'Égypte, des vases, des colonnes, une statue de prisonnier barbare, qui datent de l'époque romaine.

Cette roche n'est pas spéciale à l'Égypte ; on la trouve aussi en Grèce, dans le Hainaut belge, dans les Vosges, mais avec des couleurs moins vives. Celle des Vosges a son gisement au pied méridional de ces montagnes, entre Thann et Guebwiller, et appartient au terrain dévonien ; elle est formée de fragments feldspathiques légèrement arrondis et réunis par un ciment qui est lui-même feldspathique, et elle prend bien le poli.

On peut considérer comme une sorte de brèche universelle la *brèche rouge violacé* de Vizille (Isère), qui, outre des fragments de quartz et de diverses autres roches dures qui en rendent le sciage et le polissage difficiles, renferme des veines de chaux carbonatée spathique blanche et des morceaux de calcaire rouge violacé et de serpentine verte. Elle vaut 900 fr. le mètre cube sur place et 1.000 fr. à Paris.

465. Grès. — Le *grès*¹ (*sandstein* des Allemands, *sandstone* des Anglais, pierre de sable) résulte de l'agglutination du sable par un ciment quelconque ; parfois même les grains quartzeux sont directement soudés l'un à l'autre. Ils présentent un grand nombre de variétés qu'il est difficile de classer méthodiquement.

Si l'on prend pour base la nature du ciment, on peut distinguer les *grès quartzeux* dont les éléments sont des grains de sable réunis par un ciment siliceux ; les *grès argileux*, à grains agglutinés par de l'argile ; les *grès ferrugineux*, à ciment d'oxyde de fer généralement hydraté ; les *grès calcaires*, où la matière agglutinante est du calcaire, etc.

1. Du mot celtique *craig*, pierre ; ou plutôt du vieil haut allemand *gries*, gravier.

Les grès à ciment siliceux sont les plus estimés pour les constructions ; ils résistent mieux que la plupart des autres matériaux à l'action de l'atmosphère, et même leur durée est presque indéfinie. Les grès à ciment argileux, ferrugineux ou calcaire, sont plus faciles à tailler, mais en même temps plus friables.

Sous le rapport de la texture, les grès peuvent être à *gros grain*, à *grain moyen* et à *grain fin* ; les premiers établissant le passage aux conglomérats. Ils sont *cohérents* quand ils sont compacts et bien cimentés, *incohérents* quand ils s'égrènent facilement ; ils sont d'autant plus difficiles à tailler qu'ils sont plus fortement agglutinés, mais ils ont alors beaucoup de cohésion, résistent bien au choc et conviennent particulièrement au pavage. Le grès incohérent a le défaut d'être plus ou moins poreux ; on s'en rend compte en laissant tomber quelques gouttes d'eau à la surface d'une cassure fraîche, et l'on voit l'absorption se produire immédiatement si le grès est tendre, au bout d'une minute au moins si le grès est dur.

Quoique ces roches soient des matériaux de construction assez vulgaires, souvent dépourvus de résistance, ils n'en sont pas moins employés dans bien des pays où ils se prêtent à de grands effets d'architecture. Ainsi dans l'Inde il y a un grès quartzeux et micacé remarquable par la finesse de son grain, que les Hindous sont parvenus à travailler comme le marbre ; avec des dalles de 2 à 10 centimètres d'épaisseur de ce grès, découpées à jour de la manière la plus élégante, ils ont construit des édifices immenses déchaquetés sur toutes leurs parois et qui forment comme des treillis de pierre.

Certains grès se présentent avec des caractères particuliers. Nous allons examiner les principaux, en tant surtout qu'ils sont utiles aux constructions.

466. Diverses sortes de grès.— *Grauwacke*.— La *grauwacke*¹ est un grès à fragments de quartz, de schistes, de roches éruptives, solidement agglutinés par une pâte argileuse ou argilo-siliceuse. Elle contient souvent des lamelles de mica

1. De l'allemand *grau*, gris ; *wacke*, mot populaire.

qui lui donnent la structure schisteuse. Elle n'est pas toujours d'une coloration grise, comme l'indique son nom ; elle est souvent colorée en jaune ou en rouge par l'oxyde de fer ; on y trouve parfois des empreintes de fossiles.

Cette roche, qui appartient aux formations sédimentaires les plus anciennes, forme des couches puissantes alternant avec les schistes dans les massifs montagneux de l'Ardenne, de la Bretagne et de quelques autres régions de France. On ne l'emploie guère que pour les constructions grossières de ces pays ; grâce à la facilité avec laquelle elle se divise en plaques, elle est d'un usage économique.

Grès houiller. — Ce grès, qui se trouve en couches souvent puissantes dans l'étage houiller, ressemble parfois à la granwacke ; mais il est généralement plus grossier et il peut empâter des galets quartzeux. Son ciment est argileux et plus tenace que celui de la granwacke. Le mica y est quelquefois disposé par lits, ce qui rend la roche schisteuse et la fait ressembler à certains schistes micacés ; on l'en distingue en ce que le mica n'y miroite que dans le sens de la stratification, tandis que dans les schistes micacés les lamelles de ce minéral sont disposées suivant différentes directions. Le grès houiller est toujours plus ou moins imprégné de matières bitumineuses ; il passe par des dégradations insensibles aux argiles schisteuses qui l'accompagnent.

Quant ce grès est à grain fin, il est d'un bon emploi pour les constructions. Dans les départements de la Loire et de Saône-et-Loire, on en fait grand usage. La ville de Saint-Etienne est presque entièrement bâtie avec cette roche qui pèse 2.100 k. le mètre cube et qui résiste à des charges de 200 à 250 kil. par centimètre carré ; elle a une couleur blanc grisâtre qui fonce à l'air et elle vaut 35 à 40 fr. le mètre cube sur carrière.

Grès vosgien et bigarré. — Ces deux sortes de grès se trouvent dans le même terrain géologique, le trias, mais à des niveaux différents ; le second est superposé au premier. Ils sont généralement colorés en rouge plus ou moins foncé par de l'oxyde de fer et des matières organiques ; le grès bigarré, plus fin que le vosgien, présente en outre des zones alternan-

tes de nuances variées. Ils sont formés par des grains de sable siliceux avec un peu d'argile, le tout cimenté par un ciment quartzeux ou argilo-siliceux.

En France, c'est surtout dans les Vosges qu'on exploite ces grès. Ils fournissent de bons matériaux de construction, qui ont peut-être le défaut de ne pas contracter une grande adhérence pour le mortier, mais qui ne s'altèrent pas et dont la couleur est d'un bon effet en architecture. Ils pèsent de 2.000 à 2.200 kilogr. le mètre cube et leur densité est d'autant plus grande que leur grain est plus fin ; quand leur densité se rapproche de la limite inférieure, ils sont poreux et absorbent l'humidité en se recouvrant d'une couche de mousse verdâtre. Leur résistance à l'écrasement varie de 220 à 300 kilogr. par centimètre carré ; leur prix sur carrière est de 15 à 40 fr. Mouillés, ils perdent jusqu'à 1/3 de leur force.

Le grès bigarré s'exploite aussi sur une grande échelle dans le grand-duché de Bade, dans le Wurtemberg et en divers points des provinces rhénanes, notamment aux environs de Trèves et d'Aix-la-Chapelle.

Quand ce grès est fin et homogène, il se prête aux détails les plus délicats de la sculpture. Il a servi à la construction de la cathédrale de Strasbourg. Le soubassement du Palais de l'Industrie à Paris est en grès bigarré de Phalsbourg.

Dans les Vosges, on fait avec les couches minces de grès bigarré des plaques pour toitures improprement appelées *laves*, mais qui ont l'inconvénient de charger les charpentes et qui, en outre, se brisent facilement. On fait aussi des meules à aiguiser avec le grès vosgien et, quand le grain est assez gros, des meules à blé.

Lorsque le grès est à ciment siliceux, il est réfractaire, et on s'en sert pour la construction des foyers et des fourneaux, notamment dans le Wurtemberg, où on le désigne sous le nom de *Stubensandstein*¹.

Mollasse. — La mollasse est formée de petits grains de quartz avec un peu de feldspath, de calcaire, quelques paillettes de mica et parfois de glauconie, le tout cimenté par une pâte calcaire qui peut représenter jusqu'au tiers de la masse.

1. *Stube*, poêle.

C'est une roche généralement sans consistance, ainsi que l'indique son nom, qui se désagrège en perdant son ciment calcaire et aussi par la peroxydation du protoxyde de fer qu'elle renferme quelquefois. Quand les grains de quartz sont assez gros pour passer aux galets et que le grès devient ainsi un poudingue, ces galets présentent une série de proéminences à la surface, par suite de la désagrégation des matière tendres ; ce qui a fait donner à cette roche le nom de *nagelfluh*¹, par comparaison à une muraille garnie de clous. On a remarqué que la désagrégation marche rapidement surtout sur les bords de la mer.

La mollasse pèse rarement plus de 2.000 kilogr. le mètre cube ; elle s'écrase sous des charges qui peuvent être inférieures à 100 kilogr. par centimètre carré et qui dépassent rarement ce chiffre, mais elle a l'avantage de faire bien corps avec le mortier.

Dans le Dauphiné et la Savoie, on fait un grand usage de la mollasse. En Suisse, elle joue un rôle important dans les constructions, et les plus belles villes de ce pays, notamment Genève et Berné, sont bâties avec la mollasse qui, quand elle est bien choisie, peut donner des matériaux passables.

Le *macigno* des Italiens est une sorte de mollasse, dont le grain est tantôt très fin, tantôt très gros et passe alors au poudingue. C'est avec cette roche, qui d'ailleurs est de qualité médiocre, qu'est bâti le palais Pitti à Florence et que sont dallées les rues de Pise et de Florence.

Grès de Fontainebleau. — Le grès de Fontainebleau et d'autres grès analogues du bassin de Paris sont à grains quartzeux très fins réunis par un ciment siliceux ou calcaire. Ils ne sont généralement pas propres à la bâtisse à cause de leur lourdeur, de leur peu d'adhérence au mortier et de la difficulté d'une taille régulière. Mais ils fournissent d'excellents pavés, surtout quand leur ciment est siliceux ; ils réunissent à une grande dureté la propriété de se fendre d'une façon très nette et de se diviser facilement en parallélépipèdes. Les grès de la forêt de Fontainebleau et ceux de la vallée de l'Yvette, au sud-ouest de Paris, sont les plus renommés.

1. De l'allemand *nagel*, clou.

Arkose. — L'arkose est formée surtout de grains de quartz et de feldspath, parfois avec mica, de manière à simuler un véritable granite ; d'où le nom de *granite régénéré* qu'on donne à quelques-unes d'entre elles, produites par l'agglutination sur place d'une arène granitique. On la trouve dans les Vosges, les Ardennes, le Morvan, etc. ; elle convient parfaitement pour la confection des pavés et pour l'empierrement des routes.

Quartzite. — Nous avons vu plus haut (n° 443) que les quartzites sont des roches quartzieuses intercalées dans le terrain primitif. On confond sous le même nom des grès uniquement quartzieux, tellement bien agglomérés que le ciment ne se distingue plus des grains de quartz et que la cassure paraît homogène et même luisante. C'est le métamorphisme qui leur a donné cette texture.

Les quartzites sédimentaires prennent quelquefois un aspect porphyroïde dû à la présence de cristaux de quartz ou de feldspath ; d'autre fois ils sont rendus schisteux par des lits de lamelles de mica ou de chlorite. On les trouve dans les terrains les plus anciens.

Ces roches constituent les grès les plus durs et il en est qui peuvent servir à l'ornementation. Ainsi on a employé pour le tombeau de Napoléon I^{er} aux Invalides un grès rouge provenant des terrains primaires de Finlande qui a pris un beau poli et qui est d'un très bel effet.

La montagne du Roule près de Cherbourg est une masse de quartzite exploitée en grand pour les constructions. Elle a fourni tous les enrochements des fondations à la fameuse digue qui abrite la rade. On en tire aujourd'hui des pavés connus à Paris sous le nom de *pavés de la Manche*, dont le prix varie de 120 à 260 fr. le mille suivant les dimensions.

Les quartzites donnent d'excellents matériaux d'empierrement et on les exploite activement pour cet usage dans les Ardennes.

467. Silex. — Parmi les roches qui appartiennent à cette catégorie, on n'emploie guère dans les constructions que les silex disséminés en rognons dans la craie, les pierres meulières et le jaspe, dont nous avons déjà parlé (n° 258).

Les silex de la craie, de couleur blonde et plus rarement noire, se taillent généralement avec une grande facilité et ils donnent des parements d'un effet agréable, surtout lorsqu'ils sont encadrés par des cordons de briques de couleur différente. Ce genre de construction est appliqué à des bâtiments ruraux et à des maisons d'habitation dans le pays de Caux et dans une partie de la Picardie. Le silex est principalement employé pour les chaussées d'empierrement ; il entre aussi dans la confection des bétons.

La meulière, qui appartient surtout aux terrains tertiaires, forme tantôt des couches régulières, tantôt des masses irrégulières disséminées dans une argile grossière. Elle se présente sous deux états, compact ou caverneux.

La variété compacte, à laquelle on donne le nom de *caillasse*, est lourde, difficile à tailler et ne prend pas bien le mortier ; aussi on doit la rejeter des constructions. Mais elle convient parfaitement pour l'entretien des chaussées d'empierrement.

La meulière caverneuse, quand elle n'est pas friable, est préférée à la variété compacte, pour la construction aussi bien que pour la meunerie. Sa texture est parfois tellement lâche et poreuse que son poids au mètre cube peut descendre jusqu'à 650 kilogrammes. Le mortier, pénétrant dans les cavités, y adhère fortement et on établit ainsi des maçonneries à la fois très résistantes et très légères. Quand elle est de bonne qualité, elle n'éprouve aucune altération sensible à l'air, même sous le climat humide de Paris. Mais on ne fait guère avec cette roche que des moellons ; à cause de sa constitution même, elle ne peut d'ailleurs avoir d'arêtes vives et ne convient pas pour la pierre de taille.

Les meilleures meulières sont celles qu'on exploite dans le département de Seine-et-Marne à La Ferté-sous-Jouarre, Montmirail, Villeneuve-le-Comte, etc. On en fait un grand usage à Paris pour la construction des ponts, des aqueducs, des égouts, etc. ; on s'en est servi dans les travaux des fortifications.

La roche que l'on exploite près du Mont-Blanc sous le nom de *jaspe de Saint-Gervais* est, d'après M. Lory, un grès quartzeux métamorphisé datant du commencement de l'ère secon-

daire. On en a fait des colonnes pour l'escalier du nouvel Opéra ; c'est certainement la matière la plus belle et l'une des plus rares qu'on ait employée dans aucun édifice de Paris. Elle a des couleurs variées d'une manière très capricieuse, parmi lesquelles se montrent surtout le rouge sang, puis le rose, le vert, le gris, le blanc. Sa résistance et sa dureté sont tout à fait exceptionnelles ; elle est susceptible d'un beau poli ; elle pèse 2.700 à 2.740 kilogr. le mètre cube et résiste à des charges de près de 2.000 kilogr. par centimètre carré. On la trouve avec une hauteur d'assise de toute dimension ; son exploitation, qui est à ciel ouvert, se fait facilement ; elle coûte 300 fr. le mètre cube sur carrière, 400 fr. à Genève et à Annecy.

468. Gaize. — La *gaize*¹ est une roche essentiellement siliceuse, avec un peu d'argile et des grains de glauconie qui lui donnent un aspect légèrement verdâtre, surtout quand elle est mouillée. Elle est généralement tendre et se délite à l'air avec une grande facilité en se divisant en fragments d'un petit volume. C'est une des roches les plus légères que l'on connaisse ; car sa densité n'est que de 1,48 et elle s'abaisse encore à 1,44 après une calcination au rouge vif.

Ce qui caractérise la gaize au point de vue chimique, c'est que la silice y est en grande partie à l'état gélatineux et soluble dans la potasse.

Cette roche se trouve surtout dans l'Argonne, où elle constitue un vaste massif lenticulaire dont l'épaisseur maximum est d'une centaine de mètres.

La gaize est employée pour la construction dans la plupart des communes de cette région où elle affleure. Elle a l'avantage de se travailler aisément au pic et au ciseau ; mais comme elle est extrêmement gélive, elle ne donne que de mauvais matériaux que la pluie, la gelée, les alternatives de sécheresse et d'humidité altèrent profondément. Aussi on ne doit s'en servir que pour la construction des murs qui ne sont pas exposés à l'action directe de la pluie, ou pour les fondations et les voûtes de caves.

1. Nom vulgaire donné dans l'Argonne.

La grande quantité de silice que contient la gaize la rend jusqu'à un certain point réfractaire. On en fait des cheminées, des fours à boulanger, des fours à chaux; on l'a même employée pour la construction des hauts-fourneaux. Certains sables siliceux provenant de sa désagrégation donnent des briques réfractaires de bonne qualité.

On a songé à faire entrer cette roche comme pouzzolane dans la confection des mortiers hydrauliques. Mais en raison de la grande variabilité de sa teneur en silice, cette idée présente dans l'application de sérieuses difficultés et on ne peut être sûr d'obtenir de l'uniformité dans la qualité des mortiers, condition indispensable dans l'exécution de travaux importants, qu'après des essais nombreux et répétés pour chaque point d'extraction.

2. ROCHES ARGILEUSES.

469. Argile. — L'argile pure, ou silicate d'alumine hydraté, constitue deux espèces minéralogiques principales que nous avons décrites plus haut (n° 263). Mais elle ne se rencontre qu'exceptionnellement dans la nature; le plus souvent elle est mêlée de diverses matières étrangères, quartz, carbonate de chaux, carbonate de magnésie, oxyde de fer, substances organiques, qui modifient plus ou moins ses propriétés essentielles et la rendent applicable à des usages déterminés.

Ces argiles impures constituent des masses d'aspect terreux, tantôt friables et délayables dans l'eau, tantôt consistantes, mais toujours assez tendres et donnant l'odeur argileuse par le souffle. Elles alternent avec les autres roches sédimentaires dans presque tous les étages géologiques et elles sont généralement d'autant plus abondantes que ces étages sont plus récents.

Les dépôts argileux résultent de l'agglutination d'éléments qui sont restés longtemps en suspension dans l'eau à l'état de vase plus ou moins impalpable, et ils ont été formés surtout aux dépens de roches riches en alumine, telles que les granites, les porphyres, les basaltes. On comprend dès lors les différences qu'accuse l'analyse dans les proportions relatives des

corps simples qui les constituent ; chaque grain, provenant d'un minéral déterminé, peut avoir une composition bien définie ; mais il n'en est plus de même pour la masse, qui est un mélange de grains d'origines diverses.

Dans quelques circonstances, l'argile provient sans doute aussi d'une précipitation chimique d'hydrate de silice et d'alumine. Tel semble être le cas pour l'argile smectique ou terre à foulon.

470. Propriétés et usages de l'argile. — Quand l'argile est chimiquement pure, elle est entièrement réfractaire. Les éléments accessoires qui lui sont mélangés lui font perdre cette propriété, et elle devient fusible quand la proportion des bases étrangères dépasse 3 à 8 0/0 ; il se forme alors par la fusion un silicate à bases multiples. L'influence de ces bases sur la fusibilité varie au reste avec le rapport entre la silice et l'alumine ; quand l'argile est très siliceuse, 3 à 4 0/0 de bases étrangères suffisent pour la rendre fusible ; quand elle est au contraire très alumineuse, elle peut en supporter 6 à 7 0/0 sans perdre entièrement ses propriétés réfractaires, à cause de l'infusibilité relative des aluminates.

Mise en présence de l'eau, l'argile se délaye en formant une pâte d'autant plus liante et plus plastique qu'elle est plus pure. L'argile d'une impureté moyenne, qui donne une pâte colorée, peut être employée pour la fabrication des faïences communes ; on lui donne le nom d'*argile figuline*.¹ Quant aux argiles tout à fait impures, qui conservent encore toutefois une certaine plasticité, on ne peut plus s'en servir que pour la confection des tuiles, des briques, des carreaux de terre, etc.

Par la cuisson, l'argile devient dure, fragile et rude au toucher, en conservant les formes que le potier lui a données. Toutefois elle se contracte, non-seulement par suite de la déperdition de l'eau de combinaison, mais encore plus tard, lorsque depuis longtemps le silicate d'alumine est privé d'eau. La contraction est d'autant plus forte que la chaleur est plus intense et plus longtemps soutenue.

1. Du latin *figulina*, poterie de terre.

La cuisson fait d'ailleurs disparaître complètement la plasticité. Dès que l'argile est privée de son eau de combinaison, elle ne possède plus à aucun degré la propriété de faire pâte. Elle reste grenue et farineuse, elle se délaye encore dans l'eau, mais elle ne peut plus se pétrir ni se façonner.

Lorsqu'elle est soumise à une calcination modérée, l'argile présente la propriété remarquable de devenir plus soluble dans les acides que sous son état primitif ; ce qui tient à ce que la chaleur rend moins énergique la combinaison de silice et d'alumine. On explique ainsi le mode d'action des pouzzolanes artificielles, la chaux avec laquelle on les mélange dans la confection des mortiers hydrauliques exerçant alors sur l'argile une action plus sensible qu'avant la calcination. Mais il faut se garder de dépasser la température du rouge sombre, car on irait au-delà du but et la matière deviendrait inerte.

C'est également le même fait qui rend compte des bons effets que produit sur la végétation, en dehors de son action physique, l'opération de l'*écobuage*, qui consiste à soumettre à l'action du feu toute la croûte superficielle des sols argileux préalablement découpée en tranches plus ou moins épaisses. Le sol écobué acquiert des propriétés nouvelles ; quelques-uns de ses éléments deviennent plus facilement décomposables, tandis que d'autres sont plus aptes à absorber les éléments actifs de l'air atmosphérique.

Les argiles sont généralement impropres aux constructions, à cause de leur faible résistance et de la facilité avec laquelle elles se désagrègent sous l'influence des intempéries. Mais, convenablement préparées, elles fournissent des matériaux artificiels d'une grande utilité, briques, tuiles, carreaux pour pavement, poteries pour constructions, etc.

L'argile est quelquefois employée à l'état de *pisé* pour les bâtiments de peu d'importance. Cette maçonnerie économique est usitée dans plusieurs régions de France, notamment dans les départements du Rhône, de l'Ain et de l'Isère, où on bâtit même des maisons à cinq étages entièrement en pisé. Pourvu qu'une terre ne soit ni trop grasse ni trop maigre, elle peut servir à cet usage ; mais celle qui convient le mieux est la terre argilo-sableuse dite *terre franche*, qui, quand on

la serre dans la main, conserve la forme qu'on lui a donnée. Bien comprimé, le pisé fournit des constructions assez solides et qui peuvent même durer longtemps dans les climats méridionaux ; il est toutefois nécessaire de le recouvrir d'un enduit.

La présence de dépôts importants d'argile dans le sol est parfois la source de grandes difficultés dans l'exécution des travaux publics. Quand ils sont à l'abri des influences atmosphériques, les terrains argileux se tiennent bien et ont souvent même une certaine dureté ; mais une fois qu'ils ont été exposés au contact de l'air, qu'ils ont été *éventés*, ils n'ont plus aucune consistance et ils se délayent en présence de l'humidité en donnant lieu à des glissements. Il est donc essentiel, lorsque l'on a à traverser des terrains de cette nature, de les masquer le plus rapidement possible avec des maçonneries ou des gazonnements et d'empêcher l'infiltration de l'eau.

Les éboulements se font parfois par grandes masses. Que l'on suppose par exemple que la surface d'un remblai en terre argileuse soit soumise longtemps à l'action du soleil, l'argile durcira et éprouvera en même temps un tel retrait qu'il s'y formera des fissures, dont la profondeur pourra atteindre jusqu'à un mètre et dans lesquelles l'eau pénétrera s'il survient une pluie. Tandis que la partie supérieure du remblai se gonflera en reprenant son volume primitif, les couches inférieures se ramolliront et l'équilibre ne tardera pas à se rompre quelque part. Une fois commencé, le mouvement pourra se propager latéralement sur une grande surface.

471. Diverses sortes d'argiles. — Les géologues ont donné des noms spéciaux aux nombreuses variétés que présente l'argile, suivant sa texture et sa composition. Nous ne mentionnerons que les plus importantes.

Argile plastique. — L'argile plastique, ou *glaise*,¹ est de l'argile pure ou ne contenant qu'une proportion de matières étrangères assez faible pour ne pas perdre sa plasticité et rester

1. Du latin *glitea*.

infusible aux températures les plus élevées que l'on obtient dans l'industrie. Le kaolin (n° 263) en est le type le plus pur.

Cette argile peut avoir des nuances très variées, jaunâtre, brunâtre, verdâtre, violacée, panachée, qui, quand elles sont dues à des substances organiques, disparaissent à la calcination. Il suffit qu'elle contienne une faible proportion d'oxyde de fer pour rester colorée.

Les argiles plastiques entièrement réfractaires sont rares en France ; les plus estimées sont celles de Forges-les-Eaux en Normandie, de Bollène près d'Avignon, de Cahors, etc. En Angleterre elles abondent dans le terrain houiller ; on les exploite sur une très grande échelle aux environs de Newcastle.

Argile ferrugineuse. — Cette argile se distingue des autres sortes par une assez forte proportion d'oxyde de fer qui lui donne une coloration prononcée. Elle a perdu complètement la propriété réfractaire.

L'oxyde de fer peut y être à l'état hydraté ou anhydre. Dans le premier cas, sa couleur est jaunâtre ; dans le second cas, qui est plus rare, elle est rouge.

Les argiles jaunes constituent l'*ocre jaune* employé à la préparation des couleurs destinées aux peintures à la colle ou à la détrempe ; elles deviennent rouges par la calcination par suite de la transformation de l'oxyde hydraté en oxyde anhydre. Les argiles rouges donnent l'*ocre rouge*, la *sanguine* ou *rouge de Mars*, etc.

Dans le département de l'Yonne, on exploite des ocre de bonne qualité contenant environ 35 0/0 de peroxyde de fer.

Argile calcarifère. — Lorsque l'argile contient une proportion de quelques centièmes de carbonate de chaux de manière à faire une effervescence sensible sous l'action des acides, elle est dite *calcarifère*. Si la proportion de calcaire n'est pas trop élevée, elle ne perd pas encore sa plasticité et on peut l'employer comme argile figuline. On se sert même dans les arts céramiques d'argiles contenant jusqu'à 20 et 25 0/0 de carbonate de chaux ; on les fait entrer dans la composition des pâtes pour empêcher la fente et pour donner aux fayences la propriété de recevoir plus facilement et plus également l'émail, en l'empêchant de se détacher par écailles.

Quand la quantité de carbonate de chaux dépasse 50 0/0, on a un *calcaire argileux*.

*Marne*¹. — La marne est un mélange très intime d'argile et de carbonate de chaux, sans préjudice d'autres substances étrangères qu'elle peut contenir, en proportions plus ou moins élevées. Ce qui la caractérise surtout, c'est que les deux éléments principaux sont associés d'une manière tellement étroite qu'il paraît impossible d'imiter la nature par de simples procédés mécaniques. Ainsi quand on soumet, dit de Gasparin, le plus petit grain de marne à l'action d'un acide sous l'objectif d'un microscope, on voit l'attaque se faire par toutes ses faces à la fois, et l'argile qui reste se trouve formée d'une multitude de particules d'une ténuité telle que les plus forts grossissements sont impuissants à permettre d'évaluer leurs dimensions.

Les marnes ont la propriété de se déliter à la manière de la chaux lorsqu'elles sont mouillées ou exposées à l'action de l'air pendant un certain temps.

Ce délitement spontané peut s'expliquer par les propriétés physiques des deux éléments essentiels. On sait que le carbonate de chaux très divisé forme avec l'eau une pâte peu cohérente qui, après dessiccation, reprend avec facilité l'état pulvérulent ; l'argile possède la propriété contraire. Il est très vraisemblable que, dans la marne, la faculté liante de l'argile est en grande partie détruite par les particules calcaires interposées dans sa masse. La différence d'énergie avec laquelle chacun de ces deux minéraux absorbe l'humidité de l'air ou l'abandonne doit déterminer des tiraillements qui peuvent contribuer puissamment à la désagrégation. La gelée est particulièrement efficace pour pulvériser les marnes, sur lesquelles elle agit comme sur les pierres gélives.

Certains calcaires poreux se comportent à la manière des marnes et peuvent être utilisés comme telles.

La marne est employée de temps immémorial dans l'agriculture pour l'amendement des terres. Elle agit à la manière de la chaux en apportant au sol un élément qui lui manque et en

1. Du latin *marna*.

ameublissant les terres trop compactes. Cependant le marnage fait sentir son action plus longtemps que le chaulage et il réussit beaucoup mieux sur certains terrains ; cela tient sans doute à l'état de mélange intime des éléments constituants et à la division extrême dans laquelle se trouve le calcaire.

Argile sableuse. — L'argile sableuse ou sablonneuse est un mélange d'argile et de grains très fins de sable quartzeux.

C'est à cette sorte qu'appartient le *limon*¹, produit sans consistance, contenant quelquefois du calcaire et de l'oxyde de fer hydraté, qui constitue la base des meilleures terres végétales. Quand le carbonate de chaux entre pour quelques centièmes dans le limon, on lui donne le nom de *læss*.

Argile bitumineuse. — Cette argile est mélangée de bitume qui peut former plus du tiers de sa masse. Elle a une coloration grise et elle brûle facilement en dégageant une odeur désagréable, due souvent en partie à l'oxydation des pyrites de fer qu'elle peut contenir. Les cendres qui restent après sa combustion sont parfois employées comme engrais quand elle est pyritifère.

Quand l'argile est réfractaire en même temps que bitumineuse, comme dans les environs de Sheffield en Angleterre, on peut l'employer à la fabrication des creusets à fondre l'acier. Le charbon, en brûlant en partie, rend la matière poreuse ; les creusets sont alors capables de supporter les changements brusques de température auxquels ils sont exposés, quand on les sort du feu pour couler l'acier dans les moules ou lorsqu'on les reporte dans les fourneaux. On a cherché à imiter artificiellement cette substance en mélangeant intimement de l'argile et du coke pulvérisé, mais sans succès jusqu'à présent.

Argile schisteuse. — L'argile schisteuse ne doit pas sa structure à une composition déterminée. C'est une roche qui, au lieu d'être compacte et sans stratification, comme dans la plupart des dépôts argileux, a ses éléments alignés. La marne, l'argile plastique, les argiles bitumineuses peuvent présenter ce caractère.

L'argile schisteuse, assez dure quand elle est à l'abri de

1. De *limus*, vase.

l'air, abonde surtout dans le terrain houiller. Sa texture est grossière ; elle est ordinairement très siliceuse, à éclat terne, fusible, indélayable dans l'eau et contient, outre le quartz, quelques particules de feldspath et de mica. Elle passe progressivement au schiste argileux.

472. Schiste. — L'argile ne constitue pas seulement des dépôts intercalés dans les formations sédimentaires ; elle donne encore naissance à toute une série de roches dures et feuilletées, ne faisant plus pâte avec l'eau, dans lesquelles de petits éléments cristallins, dus au métamorphisme, s'adjoignent aux éléments détritiques. Ce sont les *schistes*¹, dont la structure spéciale a été étudiée plus haut (n° 177) ; on les trouve surtout dans les terrains anciens.

Les roches schisteuses grossières sont souvent d'un bon emploi dans les constructions. Si elles ne prennent pas bien le mortier, elles ont par contre l'avantage d'offrir pour chaque moellon des plans de division parallèles. Mais il est rare qu'elles n'aient pas des joints perpendiculaires à la fissilité, en sorte que les faces nues sont rugueuses et d'un aspect peu satisfaisant, à moins d'avoir été sciées, ce qui exige une main-d'œuvre coûteuse. C'est avec ces pierres que sont bâties les maisons de plusieurs villages de l'Ardenne et de l'Anjou.

Quand la roche est suffisamment dure, par suite de la présence de la silice dans sa masse et que ses plans de fissilité sont bien unis, on peut aussi en faire des dalles pour le pavage, des appuis de fenêtres, des marches d'escaliers, etc. On voit souvent dans l'Ardenne des dalles implantées dans le sol et servant de clôtures aux jardins et aux pâturages.

Le *schiste cotriculaire*² ou *novaculite*³ se distingue du schiste ordinaire par la forte proportion de silice qu'il contient et qui peut s'élever à 65 et même 70 0/0. Il présente quelquefois des feuilletés épais qui paraissent tout à fait compacts. On s'en sert pour aiguiser les canifs et les rasoirs. Au Canada, il y a

1. Du grec $\sigma\chi\iota\sigma\mu$, je fends, à cause de la facilité avec laquelle on peut les diviser en feuilletés.

2. *Cotricula*, petite pierre de touche.

3. *Novacula*, rasoir.

une variété remarquable par sa couleur rouge uniforme due à du peroxyde de fer, dont les Indiens se servent pour la fabrication de leurs pipes et de divers autres objets.

Le *schiste carburé* ou *graphiteux*, que l'on trouve en Bretagne, est une roche noirâtre, mélangée de matière charbonneuse en assez grande quantité pour qu'il puisse servir à écrire, dont on fait des crayons de charpentier. Il est parfois riche en pyrite de fer et on l'emploie depuis un temps immémorial pour l'amendement des vignes, ce qui justifie le nom d'*ampélite*¹ que lui donnent plusieurs géologues. Cette application est fondée sur la facilité avec laquelle la roche s'effleurit à l'air humide en produisant des sulfates de fer et d'alumine qui activent la végétation. On peut aussi l'utiliser pour la fabrication de l'alun.

Le *schiste bitumineux* est une roche argileuse feuilletée noirâtre ou grisâtre, assez imprégnée de matières organiques pour brûler avec facilité et qui donne du bitume liquide par la distillation. Le nom de *naphtoschiste*, sous lequel on désigne souvent cette roche, est plus exact, car le bitume n'y existe pas tout formé ; il est le résultat de la décomposition de la matière organique. Les exploitations de naphtoschiste en France ne se trouvent guère que dans l'Autunois. A Menat (Puy-de-Dôme), on s'en sert pour fabriquer du noir minéral par calcination en vase clos et du tripoli par incinération à l'air.

473. Phyllade. — Les *phyllades*² ou *schistes ardoisiers* sont des schistes éminemment fissiles qui servent à la fabrication des ardoises.³ Quand on les examine au microscope, on reconnaît qu'ils consistent en une pâte de coloration variable renfermant une multitude d'éléments cristallins tels que le mica, la chlorite, la tourmaline, le feldspath, etc.

Les feuillets qu'on peut séparer des phyllades sont extrêmement minces ; leur surface est toujours plate, bien que parfois

1. De *αμπελος*, vigne.

2. De *φυλλον*, feuille.

3. Du mot celtique *ard*, pierre, ou de *Ardy*, localité d'Irlande dans laquelle le schiste ardoisier a été exploité très anciennement.

un peu esquilleuse ; elle est lisse dans l'ensemble et brille d'un luisant toujours assez sensible, quelquefois d'un éclat satiné ou soyeux. La poussière de la roche a le toucher doux.

Au point de vue chimique, les phyllades renferment de 45 à 75 0/0, en moyenne 60 0/0, de silice ; 15 à 20 d'alumine ; et pour le reste, de la magnésie, de la potasse, de la chaux, de la soude et de l'eau.

La densité est de 2,64 à 2,95. La dureté est tantôt à peine égale à celle du gypse, ce qui est le cas des *phyllades satinés*, qui se rapprochent des schistes micacés ou talqueux, tantôt supérieure à celle du calcaire, comme dans les phyllades qui passent insensiblement aux schistes argileux par l'affaiblissement de leur éclat.

La résistance de l'ardoise à la rupture est naturellement en rapport avec son épaisseur et elle augmente beaucoup plus rapidement que celle-ci. En opérant sur des ardoises de 0^m25 reposant par leurs quatre côtés sur un cadre bien dressé et chargées directement sur une surface d'un décimètre carré, M. Blavier a trouvé que, pour des épaisseurs respectives de 1, 3, 5 et 7 millimètres, les charges de rupture étaient de 8, 30, 120 et 170 kilogrammes. Il y aurait donc avantage à employer des ardoises épaisses si elles ne chargeaient par trop les charpentes.

Quand elle est immergée, l'ardoise s'imprègne d'une quantité d'eau qui va en croissant avec son épaisseur. Celle d'Angleterre en absorbe seulement 0,0002 de son poids pour une épaisseur de 3 millimètres, tandis que celle de l'Anjou en absorbe plus du double, soit 0,0005 avec une épaisseur de 2 millimètres.

En France on exploite l'ardoise dans les contrées schisteuses de l'Ardenne, de l'Anjou, de la Bretagne, de la Mayenne, de la Corrèze, des Pyrénées. En Angleterre, il y a des gisements très considérables dans le pays de Galles.

A Fumay (Ardennes) le phyllade a une coloration violacée ou rougeâtre caractéristique qu'on ne trouve guère que là ; il est dur et résistant. Le longrain y est très accentué et on utilise cette propriété pour le débitage des blocs destinés à la

fente. On peut voir cette ardoise à Paris sur la toiture de l'Hôtel de ville.

Le phyllade de Rimogne, dans le même département, présente deux variétés, le phyllade bleu et le phyllade grisâtre, de qualités comparables à celles du précédent. Ce dernier se signale par une particularité remarquable : il est criblé de petits octaèdres de fer oxydulé dont les grands axes sont alignés suivant le longrain, mais qui ont l'inconvénient de rendre les surfaces un peu rugueuses et d'y favoriser, en retenant les poussières, le développement de végétations parasites qui activent la décomposition de la roche par l'humidité qu'elles entretiennent. L'ardoise bleue de Rimogne a été employée à Paris pour la couverture de la Bibliothèque Nationale.

Le schiste ardoisier de l'Anjou a une coloration noir bleuâtre, moins vive et plus douce à l'œil que la teinte crue de celui de l'Ardenne ; mais il est moins dur et se décompose plus rapidement ; il renferme de petits nodules isolés de pyrite de fer. On en fait un grand usage à Paris.

La production totale annuelle de ardoises en France est de 500 millions de pièces représentant une valeur d'environ 10 millions de francs. Les échantillons sont de dimensions très variables, depuis 0^m,26 sur 0^m,14 jusqu'à 0^m,64 sur 0^m,36. L'épaisseur est en rapport avec ces dimensions ; elle ne descend jamais au-dessous de 2 millim. 1/2, car l'ardoise n'aurait plus une résistance suffisante. C'est dans l'Anjou et dans l'Ardenne que sont les exploitations les plus importantes.

En 1885, nous avons exporté, en Belgique et en Allemagne principalement, 52 millions d'ardoises à 42 fr. le mille, soit une valeur de 2.184.000 fr. Les importations se réduisent à peu de chose, car elle n'ont pas dépassé 4.130.000 ardoises à 30 fr. le mille, soit 123.900 fr.

Le phyllade ne sert pas seulement à la fabrication des ardoises. On le débite à l'aide de scies pour en faire des plaques de revêtement, des dallages, des tables de billard, des ardoises à écrire, etc.

En Angleterre, où les marbres sont rares, et où il y a de magnifiques gisements ardoisiers, on fabrique avec l'ardoise des produits émaillés dont l'usage a pris de grands développe-

ments, à cause de leur prix peu élevé, et qui imitent parfaitement par leurs colorations le marbre, la serpentine et le porphyre.

Pour cela, on applique à la surface de l'ardoise un vernis tenant en suspension les substances colorantes, puis on la porte dans des fours chauffés à 200 degrés, où on la laisse pendant douze heures ; on répète l'opération jusqu'à trois fois. La pierre acquiert ainsi une grande résistance, bien supérieure à celle du marbre ; le vernis s'est vitrifié et on le rend brillant en le polissant avec de la potée d'étain ou du tripoli. On fait avec ce produit des poêles, des cheminées, des baignoires, etc. On ne peut d'ailleurs l'employer qu'à l'intérieur des appartements, car il ne résisterait pas longtemps aux influences atmosphériques.

Tout ce que nous venons de dire s'applique aux phyllades des terrains anciens du groupe primaire. Mais ces roches ne sont pas les seules qui soient susceptibles de fournir des ardoises propres à la couverture des édifices. On peut faire des ardoises de bonne qualité, généralement plus épaisses à la vérité, avec d'autres matériaux à structure ou simplement à tendance schisteuse, tels que les gneiss, les micaschistes, les talcschistes, les amphibolites et les diorites schistoïdes, les phonolites, et même avec le grès bigarré des Vosges et certains calcaires schistoïdes de la Bourgogne et de la Franche-Comté, désignés sous le nom impropre de *laves*.

3. ROCHES CALCAIRES.

471. — Sous le nom de *roches calcaires* nous comprenons des roches formées essentiellement de chaux combinée à l'acide carbonique ou à l'acide sulfurique ; d'où résultent deux grandes divisions : les *calcaires proprement dits* et les *chaux sulfatées*.

Les calcaires proprement dits comportent eux-mêmes deux subdivisions, si l'on se place au point de vue de l'art des constructions : les *calcaires ordinaires*, utilisés comme pierres à bâtir ou pour la fabrication des chaux et des ciments, et les

marbres, dont on se sert pour la décoration des édifices et qui peuvent prendre l'un des trois états, saccharoïde, fibreux ou compact, que nous avons décrits plus haut (n° 303).

Nous étudierons ainsi successivement : *a)* les calcaires ordinaires ; *b)* les marbres ; *c)* les chaux sulfatées.

A vrai dire, la séparation entre les marbres et les calcaires compacts n'est pas toujours parfaitement tranchée, car un grand nombre de ces dernières roches, employées d'une manière courante dans les constructions, sont susceptibles de poli et peuvent jouer le rôle de marbres communs.

a) Calcaires ordinaires.

475. Caractères du calcaire. — Le calcaire, composé essentiellement de carbonate de chaux, est aisément reconnaissable par les deux propriétés spéciales à cette substance : il est rayé par la pointe d'un canif et il fait effervescence sous l'action d'un acide faible. Cela suffit à le distinguer des autres roches.

Mais le carbonate de chaux n'entre pas seul dans sa constitution. Sauf dans quelques calcaires à peu près purs, tels que la craie ou le marbre blanc, il est accompagné par d'autres substances comme l'argile, la silice, l'oxyde de fer, le carbonate de magnésie, des matières bitumineuses, etc., susceptibles de modifier sa texture et sa coloration. Plus l'effervescence avec un acide est faible, plus la proportion de matières étrangères est élevée.

Les calcaires sont les matériaux de construction par excellence et l'on peut affirmer que plus des 9/10 des villes de France en sont bâties. C'est dans ces roches qu'on trouve au plus haut degré cet ensemble de propriétés que recherche le constructeur : la finesse du grain, l'homogénéité, la facilité du travail, le prix modique de la matière.

Tantôt elles sont assez tendres pour se prêter à la sculpture la plus délicate ; tantôt elles sont assez dures pour servir de soubassement, de dallages, ou pour l'empierrement des chaussées.

Le poids au mètre cube subit d'assez grands écarts : pour

les calcaires employés comme pierres de taille, il varie de 1.400 à 2.800 kilogr.

La résistance à l'écrasement est généralement moins élevée que dans les roches éruptives ; mais, sauf dans les pierres sans résistance comme la craie et les calcaires argileux, elle est suffisante pour la majorité des cas. Elle varie dans le même sens que la densité ; ainsi les calcaires durs qui se scient à l'eau et au grès pèsent, à très peu d'exceptions près, de 2.200 à 2.800 kilogr. le mètre cube et portent sans s'écraser de 220 à 4.000 kilogr. et quelquefois même 4.200 kilogr. par centimètre carré, tandis que les pierres tendres qui se débitent à la scie à dents pèsent de 1.400 à 2.200 kilogr. et résistent à des efforts de 20 à 220 kilogr.

Sans nous attacher à un classement méthodique, nous allons passer en revue les diverses sortes de calcaires employés dans les constructions, en leur conservant les dénominations sous lesquelles ils sont vulgairement connus.

476. Sables, graviers et conglomérats. — De même que la catégorie des roches siliceuses, celle des calcaires comprend des dépôts meubles et des conglomérats. Les sables grossiers et les graviers, quand ils proviennent de calcaires compacts, ont une certaine résistance et peuvent être employés à une partie des usages auxquels on applique leurs similaires siliceux ; ils sont toutefois moins appréciés des constructeurs, à cause de leur dureté moins grande. Les sables calcaires fins, surtout lorsqu'ils sont tendres et qu'ils contiennent des débris de coquilles ou de polypiers, comme la tangué, le trez, le merl, certains faluns de la Touraine, sont utilisés pour l'amendement des terres. Quant aux brèches et aux poudingues, ils sont exploitables comme marbres toutes les fois que leurs éléments présentent des nuances vives et variées.

477. Calcaire compact. — Le *calcaire compact proprement dit*, à grain fin, forme des dépôts considérables, en couches ou en lits parfois assez épais, dans un grand nombre de régions de France.

Quand il est pur, il présente une cassure un peu esquilleuse et

conchoïdale, il a toute la dureté du calcaire cristallin et ne contient pas plus de 1 à 3 0/0 de matières étrangères. Quand il est moins pur et qu'il se charge notamment d'argile, il perd de sa dureté, mais devient quelquefois plus tenace.

Ce calcaire est assez souvent susceptible de poli. Telles sont les *pierres lithographiques*, qu'on exploite surtout en Bavière, à Pappenheim et à Solenhofen, et qu'on trouve aussi, mais avec une qualité inférieure, près de Châteauroux (Indre), dans la Dordogne, la Côte-d'Or, l'Ain.

La qualité de cette pierre consiste en une grande finesse de grain, jointe à une certaine porosité qui lui permet de s'imprégner facilement des matières grasses qui entrent dans la composition des crayons et de l'encre lithographiques.

Le célèbre *calcaire de Saint-Ylie et de Damparis*, dans le Jura, est encore un très bon type de calcaire à grain fin. C'est une roche qui prend aussi très bien le poli, qui a une couleur jaunâtre, peu éclatante, avec une teinte rosâtre ou rougeâtre par places. Elle est exempte de fissures et de cavités ; aussi on peut facilement la tourner et la sculpter.

Elle se trouve en gisements inépuisables, très heureusement situés sur les bords du canal du Rhône au Rhin, dans les environs de Dôle. Elle ne s'écrase que sous des charges de 765 à 870 kilogrammes par centimètre carré, ce qui constitue une résistance élevée pour le calcaire, voisine de celle des roches granitiques. Son poids est de 2.700 kilogr. le mètre cube. Le prix sur carrière, pour les pierres de choix ébauchées et destinées au polissage, n'est que de 40 fr. le mètre cube ; il est de 60 fr. à Lyon et de 100 fr. à Paris, tous droits payés.

Le calcaire de Saint-Ylie est connu depuis longtemps, car on le retrouve dans des églises et d'autres monuments de la Franche-Comté, mais le grand développement qui a été donné à l'exploitation est relativement récent. Il a été employé à Paris dans la construction des ponts Saint-Michel et de Solférino, pour le socle du palais des Beaux-Arts, pour l'église de la Trinité.

Le *calcaire de Sampans*, que l'on exploite dans la même région, est une pierre analogue, de nuances un peu plus vives, appartenant à un étage géologique inférieur. On s'en

est servi dans la construction du nouvel Opéra et du palais du Trocadéro. On l'exporte depuis plusieurs années en Europe, en Amérique et en Orient ; on en a fait notamment le socle du monument de Christophe Colomb à Mexico et les colonnes du palais du roi de Siam.

Dans les environs de Paris, se trouvent aussi des calcaires compacts connus sous les noms de *liais* et de *cliquarts*. Ils forment des bancs de 0 m. 20 à 0 m. 40 d'épaisseur ; leur grain est très fin, leur cassure conchoïdale et un peu terreuse. Ils se rapprochent assez par leur nature des calcaires lithographiques.

Cette pierre, qui n'est pas gélive, était autrefois la plus recherchée pour les constructions monumentales ; on l'a reconnue dans l'église Notre-Dame de Paris, qui remonte à la fin du XII^e siècle. La chapelle de Versailles est en très beau liais, ainsi que les bas reliefs de la fontaine des Innocents à Paris.

Le liais peut se placer en délit. Comme il est de bas appareil, on ne l'emploie guère aujourd'hui que pour les marches d'escalier, les appuis de fenêtre, les dalles, etc.

Les liais sont devenus très rares dans le voisinage immédiat de Paris, et on les exploite surtout dans les départements de l'Aisne et de Seine-et-Oise. Ils pèsent de 2.300 à 2.400 kilogr. le mètre cube et leur résistance varie de 300 à 500 kilogr. par centimètre carré.

Nous citerons encore parmi les calcaires compacts dont on fait usage à Paris la *Pierre de Tonnerre* (Yonne) et celle de *Comblanchien* (Côte-d'Or).

La pierre de Tonnerre est très compacte, homogène, de couleur blanchâtre, jaunâtre ou grisâtre. Elle se laisse scier facilement et s'emploie surtout en carrelages et en dallages, dont le prix varie de 8 fr. 50 à 12 fr. 50 le mètre carré à Paris, remplaçant avantageusement le liais ; elle se prête bien à la sculpture et à l'ornementation. On ne l'emploie pas seulement à Paris ; on l'expédie dans toute la France, notamment à Lyon, à Bordeaux, à Nantes, au Havre, et même en Angleterre, en Belgique et aux États-Unis.

La pierre de Comblanchien a les mêmes propriétés et à peu

près les mêmes usages que celle de Tonnerre. Toutes deux pèsent de 2.680 à 2.720 kilogr. le mètre cube et résistent à des charges qui peuvent atteindre 1.000 kilogr. par centimètre carré. Elles valent de 50 à 60 fr. le mètre cube.

478. Calcaire oolithique. — Ce calcaire est composé de grains arrondis, quelquefois parfaitement sphériques, accolés les uns aux autres à la manière des œufs de poisson (d'où lui vient son nom), ou légèrement espacés et réunis par du calcaire compact qui forme la masse de la roche. C'est donc en réalité une roche grenue, à grains plus ou moins apparents.

Tantôt les grains n'ont qu'un tiers ou même un quart de millimètre à peine ; c'est le cas le plus fréquent. Tantôt ils sont plus gros et atteignent les dimensions d'un grain de millet ou d'un pois ; ce sont alors des calcaires *miliolithiques* ou *pisolithiques*.

Quand on casse les oolithes et qu'on les examine à la loupe ou au microscope, on reconnaît qu'elles sont formées par des couches concentriques de carbonate de chaux enveloppant un très petit noyau central, qui est un grain de sable ou un débris organique et qui a servi de centre d'attraction et d'agglomération (n° 79). Quelquefois cependant, les oolithes sont compactes ou fibreuses du centre à la circonférence.

Les calcaires finement oolithiques abondent tellement dans certaines formations géologiques, notamment dans les terrains jurassiques, qu'on a donné à tout l'ensemble le nom de *système oolithique*. On trouve surtout ce système en Normandie, en Bourgogne, dans le Jura, la Lorraine, les Ardennes, etc.

Ces calcaires sont spécialement recherchés pour la construction, parce qu'ils sont moins durs et plus faciles à travailler que les calcaires compacts proprement dits et qu'ils sont cependant assez résistants. Malheureusement ils sont quelquefois gélifs et, avant de les mettre en œuvre, il faut les examiner soigneusement à ce point de vue.

La *pierre de Caen*, dont la réputation est séculaire, est un des meilleurs calcaires oolithiques que l'on connaisse. Elle est blanche ou légèrement jaunâtre, assez tendre et se prête par-

faitement à la sculpture la plus délicate. Aussi a-t-elle été employée pour la construction de nombreuses églises gothiques en Normandie et même à l'étranger. On s'en est servi à la cathédrale de Cologne, au palais du Parlement et à l'abbaye de Westminster à Londres, à l'église Saint-Georges à New-York, etc.

Les principales carrières se trouvent à Allemagne près de Caen. Le calcaire qu'on en extrait pèse de 1.900 à 2.000 kilogr. le mètre cube et résiste à des charges de 160 à 200 kilogr. par centimètre carré. Il coûte en moyenne 20 fr. le mètre cube sur place.

479. Calcaire à entroques. — Dans l'est de la France, depuis Tonnerre (Yonne) jusqu'au delà de Commercy (Meuse), se trouvent des couches puissantes d'un calcaire à lamelles spathiques brillantes, d'un aspect tout à fait caractéristique, auquel on donne le nom de *calcaire à entroques*, parce que les lamelles qui le constituent ne sont autre chose que des *entroques*, ou débris d'articulations d'*encrines*, animaux de la classe des crinoïdes.

Les carrières les plus importantes de calcaire à entroques sont situées à Euville et à Lérouville, près de Commercy. Cette pierre, qui pèse de 2.250 à 2.450 kilogr. le mètre cube et résiste à des efforts de 250 à 430 kilogr., vaut sur place de 35 à 60 fr. le mètre cube. Elle est dure et complètement inaltérable à la gelée et aux intempéries. On l'expédie sur Paris, où elle a été employée dans un très grand nombre de constructions publiques et privées. On l'exporte également en Allemagne, où on peut la voir par exemple au socle de l'église d'Essen.

480. Travertin. — Le *travertin*¹ est un calcaire lacustre compact, contenant de nombreuses cavités vermiculaires, qui doit son origine à des dépôts de sources calcaires, formés souvent autour de végétaux tels que les algues et les mousses. Aussi on constate parfois sur les parois de ces cavités des empreintes de feuilles. Les vides peuvent aussi avoir été produits

1. De l'italien *travertino*.

par le dégagement des bulles gazeuses qui traversaient la roche avant sa consolidation.

Le travertin fournit dans plusieurs contrées une excellente pierre de construction, recherchée pour les monuments, qui a l'avantage de réunir parfois à beaucoup de solidité une grande légèreté et une aptitude à prendre le mortier due à sa texture cellulaire. L'immense coupole de Saint-Pierre et la plupart des églises modernes de Rome sont bâties avec cette roche.

La *pierre de Château-Landon*, si connue à Paris, est un travertin. On l'exploite dans des carrières importantes près de Souppes (arrondissement de Fontainebleau), où elle forme de nombreux bancs superposés avec des hauteurs d'assise de 0^m30 à 0^m80. C'est le seul calcaire des environs de Paris qui soit susceptible de se polir. Sa résistance varie de 600 à 900 kilogr. par centim. carré. On le vend sur carrière de 70 à 100 fr. le mètre cube, suivant dimensions ; la pierre de choix de grand appareil vaut jusqu'à 200 fr.

Ce calcaire a servi à la construction de l'arc de triomphe de l'Etoile et de la fontaine Saint-Sulpice à Paris. On l'exporte en Belgique, où il a été employé dans la construction de l'escalier de l'église Sainte-Gudule et des halles centrales de Bruxelles.

481. Tufs calcaires. — Les *tufts*¹ sont des roches analogues aux travertins, mais plus légères, à cavités plus grandes, dont les parois se sont moulées sur des tiges de plantes disparues. Ils constituent des couches ou des dépôts dans les terrains de la période actuelle, et se forment encore maintenant par voie de concrétion (n^o 62). On les trouve dans un grand nombre de vallées dont ils recouvrent les pentes.

Ces matériaux, généralement tendres, durcissent par l'exposition à l'air. Ils sont recherchés pour la construction des voûtes, des cheminées, des cloisons, etc.

482. Calcaire grossier. — Le *calcaire grossier* est, ainsi que l'indique son nom, une roche à texture lâche et à grains

1. Du latin *tofus*, pierre spongieuse.

irréguliers. Il est en grande partie formé de débris de corps organisés marins, notamment de coquilles et de polypiers, qui ont été triturés, réduits à l'état de sable, puis réunis par un ciment calcaire qui leur donne une consistance variable.

On rencontre des calcaires ayant cette texture dans diverses formations géologiques, mais surtout dans les dépôts tertiaires des environs de Paris. Leur présence dans le sol même sur lequel s'élève cette capitale a certainement joué un rôle considérable dans le développement qu'elle a acquis.

Les calcaires grossiers sont le plus généralement des pierres tendres, qui se laissent facilement débiter à la scie à dents et qui ne doivent servir qu'aux étages supérieurs des maisons. Leur résistance à l'écrasement est extrêmement variable; mais elle ne dépasse guère 90 kilogr. par centimètre carré et peut s'abaisser jusqu'à 30 kilogr.

Les *vergelés* sont les meilleures des pierres de cette catégorie. Ils ont la propriété de durcir à l'air et de résister assez longtemps. Ils ont un grain uniforme et sont remarquables par la facilité avec laquelle ils peuvent recevoir et conserver les détails les plus fins de la sculpture. C'est avec le *vergelé* que sont exécutées les façades de la cour du Louvre et celle du bord de l'eau du même palais.

La *lambourde* est le véritable calcaire grossier; elle est d'un grain assez grossier et souvent très coquillière. Elle fournit la plus grande partie des moellons et des pierres d'appareil des constructions courantes. C'est dans les bancs de *lambourde* qu'ont été creusées les catacombes de Paris.

Ces deux sortes de pierres pèsent de 1.400 à 1.700 kilogr. le mètre cube; elles valent sur place de 15 à 25 fr.

Le calcaire grossier fournit aussi des pierres demi-dures, tels que les *bancs royaux*, et des pierres encore un peu plus dures, comme les *bancs de roche* et les *bancs francs* du bassin de Paris. Ces roches ont un grain plus fin et plus serré que les *vergelés* et les *lambourdes*.

Les *bancs royaux* pèsent de 1.600 à 1.900 k. le mètre cube et peuvent résister à des charges qui s'élèvent jusqu'à 180 et 200 kilogr. par centimètre carré.

Les *bancs de roche* et les *bancs francs*, dont les premiers

sont souvent très coquilliers, pèsent de 1.900 à 2.300 kilogr. et leur résistance varie de 140 à 400 kilogr. Leur texture est moins compacte que celle du liais ; ils sont néanmoins souvent assez homogènes pour être employés comme lui en délit. Les colonnes de la cour du Louvre, qui ont de 3 à 4 mètres de fût, ont été taillées dans le banc de roche ; on peut même tirer de ce banc des pierres d'entablement de 7 et 8 mètres de longueur.

Le calcaire grossier, avant d'être employé dans les constructions monumentales, doit être examiné avec le plus grand soin au point de vue de la gélivité. La cathédrale de Meaux, bâtie en pierre d'Armentières sans que cette précaution ait été prise, a beaucoup souffert de l'injure du temps et les altérations qu'a subies cette pierre à l'extérieur nécessitent une restauration coûteuse.

Dans quelques localités du bassin de Paris, il se trouve des calcaires grossiers dont la texture est assez poreuse pour qu'on puisse en faire d'excellents filtres destinés à la clarification des eaux.

483. Calcaire terreux. — La *craie blanche* est le type du calcaire terreux à peu près chimiquement pur. Quand on l'examine au microscope, on reconnaît qu'elle contient une multitude de fragments d'animaux inférieurs, tels que des foraminifères, des polypiers, des échinodermes, etc. Elle est très tendre, friable, et s'écrase sous la simple pression des doigts en laissant à leur surface une trace blanche. Elle a une faible densité (1.300 kilogr. le mètre cube) ; elle est très perméable et absorbe au moins 20 0/0 d'eau quand on la plonge dans ce liquide.

Aussi elle ne fournit que de mauvais matériaux de construction et on ne s'en sert guère que quand on ne peut pas faire autrement. Il faut alors autant que possible éviter de l'employer à l'extérieur, où elle ne résisterait pas longtemps, et la réserver pour l'intérieur.

Comme elle se délite à l'air à peu près avec la même facilité que les marnes, elle convient très bien pour l'amendement des sols qui manquent de calcaire et principalement des

terres argileuses ; sur les terres sableuses, elle ne produirait pas d'aussi bons effets, car elle ne diminuerait pas leur perméabilité.

Aux environs de Paris, la craie blanche de Meudon est utilisée pour la fabrication du *blanc d'Espagne*, appliqué à plusieurs usages tels que la peinture à la détrempe, la préparation des couleurs et des crayons, etc. On délaye cette roche dans l'eau afin de la débarrasser des parties grossières, qui tombent au fond ; le liquide décanté laisse alors le blanc se déposer à l'état de pureté. Quand il a acquis une certaine consistance, on le moule sous la forme de pains cylindriques dont la dessiccation s'achève par une exposition à l'air.

En mélangeant quatre parties de craie blanche à une partie d'argile et faisant sécher la bouillie ainsi obtenue, en petits pains que l'on calcine ensuite, on fabrique une bonne chaux hydraulique artificielle.

La craie blanche occupe une grande superficie tout autour de Paris. Elle forme comme une sorte de ceinture dont la plus grande largeur est en Champagne, où elle recouvre des contrées renommées pour leur infertilité. En Normandie, on la voit sur les falaises d'Etretat.

La craie blanche n'est pas la seule espèce de calcaire terreux. La *craie tufeau* est aussi un calcaire terreux, moins pur, puisqu'il peut contenir 30 à 50 0/0 de sable et d'argile, tandis que la craie blanche n'en renferme que 3 à 4 0/0 au plus, mais un peu plus solide, surtout quand il a perdu son eau de carrière. Il n'a cependant jamais une grande résistance, il absorbe facilement l'eau, et on est conduit, quand on utilise cette pierre, à donner aux murs une bien plus grande épaisseur qu'avec des matériaux ordinaires.

Cependant la craie tufeau est d'une extraction si facile et si peu coûteuse qu'on l'emploie beaucoup dans l'ouest de la France, surtout en Touraine, où on obtient de belles pierres d'appareil à moins de 20 fr. le mètre cube. Elle est très propre à la sculpture et elle a servi à la construction de très vastes édifices à Tours, Angers, etc. Elle pèse de 1.400 à 1.450 kilogr. le mètre cube et ne résiste qu'à des charges qui dépassent rarement 75 kilogr. par centim. carré.

484. Calcaire bitumineux. — Beaucoup de calcaires sont imprégnés de matières bitumineuses. Quand ces matières y existent en quantité un peu considérable, la roche est colorée en brun chocolat, elle présente un aspect terreux et elle exhale une odeur pénétrante. On en retire alors le bitume qu'elle contient et dont on se sert pour la confection des trottoirs des grandes villes (n° 396).

Tel est le calcaire bitumineux ou asphaltique que l'on exploite à Seyssel (Ain), au Val-de-Travers (canton de Neuchâtel), et dans lequel chaque grain de carbonate de chaux est pour ainsi dire isolé par un vernis de bitume, qui sert à coller tous les grains entre eux. L'exploitation se fait à ciel ouvert ou en galeries ; par le premier procédé, le travail est difficile en été par suite du ramollissement de la masse et du peu d'efficacité des mines. On casse la roche en fragments de la grosseur des cailloux de route, puis on la pulvérise à froid ou à chaud. A froid, on fait le broyage à l'aide d'appareils analogues à ceux qu'on emploie pour la pulvérisation des plâtres et des ciments. A chaud, il suffit de placer les morceaux dans des caisses en tôle qu'on met au four ; le bitume se ramollit et les particules calcaires se séparent. C'est avec cette poudre qu'on fait le mastic d'asphalte.

Le calcaire bitumineux de Seyssel renferme de 6 à 10 0/0 de bitume.

Le plus souvent les calcaires compacts ne contiennent que des traces de matières bitumineuses avec un peu de carbone disséminé. Ils ont alors une couleur grisâtre, bleuâtre ou noirâtre, qui disparaît par la calcination ; ils répandent, quand on les frappe avec un marteau ou qu'on les frotte, une odeur fétide.

On les rencontre surtout dans les terrains primaires. Dans les environs de Givet (Ardennes), on les exploite sur une assez vaste échelle ; ils donnent des blocs de grandes dimensions, que l'on vend en moyenne 60 fr. le mètre cube sur carrière et qu'on exporte dans l'est de la France. Malheureusement, la pierre de Givet, quand elle n'est pas choisie avec soin, est fréquemment gélive. Elle donne une chaux grasse d'excellente qualité.

C'est aussi à une petite proportion de bitume, accompagné d'une matière charbonneuse, que le *calcaire de Soignies et des Écaussinnes* (Hainaut belge) doit sa coloration gris bleuâtre ou noirâtre. Cette belle pierre, dont on a fait un grand usage dans les monuments de Bruxelles et d'autres villes de Belgique, appartient à la formation du calcaire carbonifère, qui est placé, dans la série géologique, immédiatement au-dessous de l'étage houiller. On l'exploite dans de vastes carrières où elle forme des couches puissantes, et les blocs qu'on peut en tirer n'ont d'autres limites que les moyens d'extraction ; on atteint sans peine les dimensions de 20 à 25 mètres de longueur sur 2 mètres carrés de section, soit un cube de 40 à 50 mètres.

Ce calcaire est presque entièrement formé par des débris de crinoïdes, qui lui donnent une texture d'apparence cristalline et lui ont valu le nom, fort impropre d'ailleurs, de *petit granite*. Il se taille facilement, se laisse sculpter et polir comme le marbre et résiste parfaitement aux influences atmosphériques.

Son prix sur carrière est de 50 fr. par mètre cube en blocs dégrossis et de faibles dimensions, de 80 à 100 fr. en grandes pierres d'appareil piquées et mises à dimensions. On le vend aussi pour dallages par tranches dont le prix est de 5 à 18 fr., suivant que l'épaisseur varie de 2 à 15 centimètres. Les déchets servent soit à l'empierrement des chaussées, soit à la confection d'une bonne chaux grasse qui vaut seulement 8 fr. le mètre cube.

En dehors de la Belgique, les carrières de Soignies et des Écaussinnes ont pour débouchés la Hollande, les Indes néerlandaises, le nord de la France, l'Allemagne, l'Angleterre et les États-Unis ; leurs produits sont employés pour toutes sortes de constructions, pour des ouvrages hydrauliques, des ponts, des monuments funéraires, etc. D'après le *Tableau général du commerce de la France*, on en a importé dans notre pays, en 1885, 55.000 tonnes en pierres brutes, taillées, sciées ou polies, valant 2.825.000 francs.

455. Calcaire argileux. — Le calcaire est souvent mélangé d'argile. Rien n'est plus variable que la proportion de

cette substance, et il y a en réalité tous les intermédiaires possibles entre le calcaire pur et l'argile pure. Lorsque le calcaire contient plus de 20 à 25 0/0 d'argile, il prend un aspect terreux et se délite plus ou moins facilement ; il happe légèrement à la langue et exhale, quand il est humecté, l'odeur particulière aux roches argileuses. Au-dessous de cette proportion, le calcaire acquiert fréquemment, par le fait de la présence de l'argile, une assez grande ténacité.

Les calcaires argileux ont une grande importance pour le constructeur. Suivant la proportion d'argile qu'ils contiennent, ils sont propres à donner par la calcination des chaux et des ciments de diverses natures.

Quant cette proportion est inférieure à 5 0/0, on a de la *chaux grasse*, ainsi nommée parce qu'elle a la propriété de former, avec une quantité d'eau suffisante, une pâte grasse et très foisonnante.

Les calcaires qui renferment de 5 à 12 0/0 d'argile fournissent une *chaux maigre*, qui, au contact de l'eau, se résout en une pâte courte et peu foisonnante, n'ayant plus le liant ni l'onctuosité des chaux grasses.

Avec une proportion d'argile variant de 12 à 20 0/0, le calcaire donne de la *chaux hydraulique*, qui jouit de la propriété de durcir sous l'eau. Suivant la durée de la prise, qui oscille entre 15 et 2 jours, on distingue la *chaux faiblement hydraulique*, la *chaux moyennement hydraulique* et la *chaux éminemment hydraulique*, qui résultent de la calcination de calcaires contenant respectivement de 12 à 15, de 15 à 17 et de 17 à 20 0/0 d'argile.

Les calcaires renfermant de 20 à 25 0/0 d'argile fournissent des produits variables, qui font prise, mais ne tardent pas à tomber en poussière au bout d'un ou deux jours. Quand la température a été élevée jusqu'à produire une vitrification partielle, ces produits ont encore plus d'hydraulicité que la chaux proprement dite et ils font prise au bout de quelques heures, 18 heures au plus. C'est de la *chaux limite* ou *ciment de Portland*.

Si la proportion d'argile est de 25 à 30 0/0, la calcination modérée du calcaire donne des *ciments romains*, à prise plus

rapide que celle des ciments de Portland, car elle peut se faire en quelques minutes.

Les calcaires à 30 à 40 0/0 d'argile fournissent encore des ciments, mais de qualité généralement médiocre.

Enfin au-delà de 40 0/0, on n'obtient plus de produits susceptibles de fuser et de former une pâte avec l'eau. Mais avec une température convenable, pas trop élevée, ces produits constituent des *pouzzolanes artificielles* qui, réduites en poudre et mélangées à la chaux grasse, forment une pâte durcissant sous l'eau.

Nous avons supposé, dans la classification qui précède, que le calcaire ne renferme que de l'argile. Quand il contient en outre des matières inertes au point de vue de l'hydraulicité, comme des substances organiques, de l'oxyde de fer, du gros sable, etc., il faut faire abstraction de ces matières et prendre le rapport entre l'argile et le carbonate de chaux pour déterminer quelle est la nature du produit qu'on obtiendra par la calcination.

486. Calcaire siliceux. — Le calcaire siliceux, qui est généralement d'origine lacustre, est compact, blanc ou blanc grisâtre, à cassure conchoïdale. La silice y est souvent mélangée d'une manière tout à fait intime, mais elle s'isole quelquefois en petites concrétions analogues à la calcédoine. Ce calcaire est abondant dans la formation tertiaire du bassin de Paris.

Certains calcaires siliceux, comme ceux du Teil (Ardèche), renfermant 16 à 17 0/0 de silice, donnent par la calcination d'excellentes chaux hydrauliques, qui ont la propriété de résister beaucoup mieux à l'action de la mer que les chaux provenant de calcaires argileux.

487. Calcaire magnésien. — La magnésie accompagne presque toujours le carbonate de chaux. Quand elle est en proportion notable, on a des *calcaires magnésiens*, qui passent progressivement aux *dolomies*, composées d'équivalents égaux de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie, mais dont le nom est étendu dans la pratique à tous les calcaires magnésiens.

La texture de ces roches est le plus souvent compacte, à grain plus ou moins fin, quelquefois saccharoïde. Il y a aussi des dolomies cavernueuses, auxquelles on donne dans la région des Alpes le nom de *cargneules*. Beaucoup de dolomies grenuées se réduisent à l'air en arènes cendreuses.

Les dolomies se trouvent à peu près dans tous les étages des formations sédimentaires ; mais elles ne sont généralement pas en couches aussi régulières que les calcaires et elles contiennent beaucoup moins de débris d'êtres organisés.

Quand elle est calcinée à une température légèrement inférieure au rouge sombre, la dolomie fournit un ciment hydraulique ; mais si l'on dépasse cette température, le produit que l'on obtient se délite dans l'eau sans faire prise. Aussi, à cause de la difficulté de régler la cuisson, on a à peu près renoncé à fabriquer des chaux magnésiennes. Ces matières n'ont d'ailleurs généralement pas donné à l'usage de bons résultats.

488. Emploi des calcaires à Paris. — La capitale de la France offre un exemple remarquable de l'emploi presque exclusif des roches calcaires pour la construction.

Jusqu'au XIV^e siècle, elle tirait du sol même sur lequel elle est bâtie et dans sa banlieue la plus proche tous les matériaux de ses constructions publiques et privées. Les soubassements des édifices, les colonnes, les corniches et quelquefois les façades tout entières étaient construites avec les liais, les cliquards et les bancs francs ; les vergelés et les lambourdes servaient pour les élévations et les intérieurs des bâtiments importants. Les maisons étaient bâties en moellons, en pans de bois avec plâtre, et plus tard en briques.

Au XV^e siècle, la pierre tendre de Trossy et de Saint-Leu arrive par l'Oise et la Seine à Paris, et l'usage en devient général au XVI^e siècle pour les parties supérieures des édifices, comme on le voit aux Tuileries, au Louvre, etc.

Au XVII^e siècle, on ne se sert pas encore d'autres pierres tendres que celles de Paris et de Saint-Leu. Les pierres dures se tirent de Meudon, Passy, Saint-Cloud, en même temps que de Charenton, Montrouge, Bagneux et du faubourg Saint-Germain. Les liais et les cliquards devenant plus rares, les ponts

des Tuileries, Marie, de la Tournelle, sont construits, comme précédemment le Pont-Neuf, en bancs francs de médiocre qualité.

Au XVIII^e siècle, les architectes commencent à chercher plus loin de meilleurs matériaux. Gabriel fait usage au garde-meuble du banc royal de Conflans, qu'on retrouve aussi à la Monnaie et dans les principaux monuments du temps de Louis XV. La pierre de Saint-Eloi de Verberie, employée au château de Compiègne, entre dans les soubassements de l'École militaire. Perronet, qui avait ouvert les carrières de Château-Landon pour la construction du pont de Nemours, et celles de Saillancourt pour la construction du pont de Mantes, tire de ces dernières les matériaux des ponts de Neuilly et Louis XVI. Toutefois le Panthéon est encore construit en presque totalité avec les liais, les cliquards et les bancs francs de la Plaine, qui sont par suite à peu près épuisés.

Sous le premier Empire, l'État exploite en grand Château-Landon pour l'Arc de triomphe de l'Étoile et d'autres constructions publiques. Au pont d'Iéna, Lamandé, après une étude approfondie des pierres de choix qui peuvent arriver à Paris, s'arrête à l'emploi du Saillancourt pour les voûtes et les parapets. D'autres carrières moins importantes, telles que les Forgets, l'Abbaye-du-Val, Parmain près de l'Isle-Adam, Saint-Nom, Louvres, fournissent des pierres de taille aux monuments de la capitale ; la roche de Paris, négligée par les anciens architectes à cause de sa dureté et de sa position, commence à être recherchée pour les soubassements, les murs de quai, etc.

L'abandon par l'État des carrières de Château-Landon et de Saillancourt, dont l'exploitation décroît rapidement, la reprise en recherche du banc de roche laissé en ciel dans plusieurs localités, l'emploi en grand de la meulière en parement, comme dans les quais et les fortifications de Paris, enfin l'emploi des bancs royaux et des vergelés dès les premières assises au-dessus du sol, signalent l'époque de 1815 à 1845, dont les dix dernières années voient imprimer une grande activité aux travaux publics.

C'est à partir de 1845 qu'on a commencé à employer à

Paris, notamment à Sainte-Clotilde et au Ministère des Affaires étrangères, les pierres dures des terrains tertiaires du Soissonnais, puis les calcaires jurassiques de Châtillon-sur-Seine, Avallon, Clamecy. Un peu plus tard, l'achèvement du chemin de fer de Paris à Nancy amène dans la capitale le calcaire à entroques d'Euville et de Lérouville, dont les premiers emplois ont eu lieu au pont de Bercy et au Pont-Neuf, et qui joue maintenant un si grand rôle dans les constructions publiques et privées de la ville de Paris.

A partir de 1850, grâce au rapide développement des voies de communication, on voit apparaître successivement sur les chantiers parisiens d'autres pierres calcaires, extraites à peu près toutes des terrains jurassiques de la Meuse et de la Haute-Marne (Savonnières-en-Perthois, Chevillon, Brauvilliers, etc.), de l'Yonne (Rosières, Cry, Grimoux, Tonnerre), de la Côte-d'Or (Comblanchien), du Jura (Damparis, Samrans), de l'Isère (l'Échaillon), de la Vienne (Chauvigny, les Lourdines), enfin du Calvados, de l'Ain et de plusieurs autres départements.

Mais il faut bien dire qu'on n'a pas toujours fait un emploi judicieux de ces roches, et plusieurs monuments construits dans ces dernières années sont déjà rongés par la gelée, tandis que des édifices datant de plusieurs siècles sont encore intacts. Ainsi on a eu le tort d'employer des matériaux de qualité inférieure au Palais de Justice, à la caserne Napoléon, à la gare de l'Ouest, et, malheureusement, dans les travaux du nouveau Louvre.

Pour compléter ces intéressants détails, empruntés à un mémoire de Michelot, nous ajouterons que, d'après l'*Annuaire statistique de la ville de Paris*, les matériaux calcaires qui sont entrés dans la capitale en 1884 se composent, en nombres ronds, de 186.000 mètres cubes de pierres de taille, dalles, etc., et de 400.000 mètres cubes de moellons.

b) *Marbres.*

489. — Les anciens donnaient indistinctement le nom de *marbre*¹ à toute matière minérale susceptible de prendre

1. De μαρμαρος, brillant.

le poli, qu'elle fût siliceuse, feldspathique ou calcaire.

Cette confusion était explicable à une époque où on ne se préoccupait guère de la constitution minéralogique des roches. De nos jours elle existe encore chez beaucoup de personnes, qui comprennent sous cette appellation les porphyres d'ornement, les anhydrites, les serpentines, etc. Mais on doit réserver le nom de marbre uniquement aux calcaires qui se laissent polir et qui peuvent être utilisés pour la décoration intérieure ou extérieure des édifices, quelle que soit d'ailleurs leur texture. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, la limite entre les marbres proprement dits et les calcaires ordinaires n'est pas toujours facile à tracer ; un certain nombre de ces dernières roches peuvent en effet se polir, comme le calcaire compact de Saint-Ylie, le travertin de Château-Landon, la pierre des Ecaussines.

Dans le commerce de la marbrerie, on se sert souvent de l'expression de *marbre antique*. Cette expression ne devrait être logiquement employée que pour les matériaux extraits de carrières exploitées par les anciens et dont la plupart sont aujourd'hui perdues ou abandonnées ; mais on l'applique souvent à des marbres provenant de nouvelles carrières, dans le but de rehausser leur valeur, en leur conférant pour ainsi dire des lettres de noblesse.

490. Caractères des marbres. — Les marbres les plus répandus ont la texture compacte ; leurs grains ne sont pas distincts et ne s'aperçoivent qu'au microscope ; le mélange de matières bitumineuses ou charbonneuses, des infiltrations ferrugineuses, des minéraux accidentels, la présence de coquilles fossiles plus ou moins nettes, donnent naissance à de nombreuses variétés veinées et colorées.

La texture saccharoïde ou lamelleuse se trouve surtout dans les marbres blancs employés pour la statuaire, comme ceux de Carrare et de Paros, qui ne sont autre chose que des agrégats de grains cristallisés de calcite, souvent formés de lamelles hémitropes.

Quant à la texture fibreuse, elle appartient aux albâtres calcaires.

Ces dernières roches ont pour la plupart été formées d'une manière analogue à celle des stalactites. Les autres marbres doivent leur texture à un métamorphisme plus ou moins complet : la chaleur, la pression, les mouvements mécaniques, l'imbibition par des eaux chaudes chargées de diverses matières en dissolution, la pénétration par des vapeurs sulfureuses, chlorurées, carboniques, etc., ont agi physiquement et chimiquement sur les dépôts calcaires pour produire l'infinie variété des marbres que nous offre la nature minérale.

Les marbres sont au nombre des calcaires les plus lourds ; leur densité varie de 2,55 à 2,80 et peut même s'élever jusqu'à 2,85. Ce sont aussi les calcaires les plus résistants et les plus durs, car ils ne s'écrasent que sous des charges de 500 à 1.200 kilogrammes par centimètre carré, et on ne peut les débiter qu'avec la scie sans dents, au grès et à l'eau.

Les marbres présentent presque toujours des plans de division plus facile, qu'on appelle des *passes*. La passe est généralement parallèle au lit de carrière ; il peut y en avoir une seconde, déterminée par un défaut de continuité dans la pierre ou des lits de fossiles. Ainsi les marbres à texture entrelacée, comme ceux de Campan, ont d'habitude les deux passes, et les grands axes de leurs nodules sont placés dans le sens de l'inclinaison des strates. La *contre-passe*, perpendiculaire à la passe, est le plan de plus difficile cassure.

Dans l'exploitation des carrières de marbre, on s'arrange autant que possible pour que la passe forme le plus grand côté des blocs et la contre-passe le plus petit côté, et on scie ces blocs en passe, plus rarement en contre-passe. Quand il y a deux passes et deux contre-passes, on peut tirer d'un même bloc des tranches qui semblent appartenir à des marbres différents.

La flexibilité et la résistance des plaques de marbre sont beaucoup plus grandes quand le sciage a eu lieu en passe qu'en contre-passe.

Par suite de leur constitution fragmentaire, les marbres de la nature des brèches ou des poudingues possèdent rarement d'une manière nette ces plans de facile ou de difficile séparation. Il en est de même pour certains marbres qui, postérieu-

rement à leur dépôt, ont subi une sorte de torsion qui leur a donné une disposition fibreuse ou noueuse.

Les marbres peuvent d'ailleurs avoir les mêmes défauts d'homogénéité que les pierres calcaires à bâtir (n° 408). Les fissures ou cavités qu'ils renferment presque toujours sont dissimulées par les marbriers, avant le polissage de la matière, avec un mastic de couleur convenable ; mais ils reparaissent presque toujours avec le temps et surtout sous l'influence de la chaleur, par suite du ramollissement qu'éprouve le vernis. On ferait beaucoup mieux d'employer un ciment très fin.

Les matières étrangères mêlées à la masse du marbre sont parfois de nature à lui communiquer une odeur désagréable, bitumineuse ou sulfureuse, qui se manifeste par le choc ou le frottement, ou même simplement à la chaleur de la main. Tel est le cas pour le marbre de Saint-Béat, pour le petit granite, etc.

491. Classification des marbres. — La nomenclature usitée dans le commerce de la marbrerie pour les diverses variétés de marbres est des plus arbitraires. Les noms qu'on leur donne sont tirés tantôt d'une particularité de la texture, tantôt de la coloration, tantôt de la localité d'origine, tantôt du nom d'un homme célèbre, etc.

En nous fondant sur leur constitution minéralogique et leur texture, nous les répartirons avec Beudant en cinq catégories :

1° Les *marbres simples*, qui ne renferment que du carbonate de chaux et qui peuvent être *unicolores* ou *veinés* ;

2° Les *marbres-brèches* ; cette catégorie ne devrait comprendre que des roches fragmentaires dont les éléments, diversement colorés, anguleux ou arrondis, sont réunis par un ciment calcaire ; mais on y fait entrer abusivement plusieurs marbres veinés dans lesquels les veines coupent la masse, de telle sorte qu'elle semble composée de pièces réunies ;

3° Les *marbres composés*, roches calcaires contenant des matières étrangères, qui sont tantôt disposées en feuilles plus ou moins ondulés, tantôt distribuées par paquets ou disséminées dans la masse,

4^o Les *marbres lumachelles*¹, caractérisés par des débris de coquilles ou de polypiers, entassés confusément les uns sur les autres, ou répartis dans une pâte plus ou moins homogène ;

5^o Les *albâtres calcaires*, marbres à texture fibreuse.

492. Marbres simples. — C'est à cette catégorie qu'appartiennent les variétés les plus nombreuses. A l'exemple de M. Lalanne, nous les grouperons en six séries, d'après leur couleur dominante : les *marbres blancs*, les *marbres bleus*, les *marbres gris ou cendrés*, les *marbres jaunes*, les *marbres noirs* et les *marbres rouges, roses, roux ou violets*. Quant au vert, il se trouve surtout dans les marbres composés ; on ne connaît pas de marbre simple où dominant les nuances de cette couleur.

Marbres blancs. — Le marbre statuaire de Carrare est incontestablement l'un des plus beaux, sinon le plus beau, des marbres blancs. C'est un calcaire saccharoïde à grain fin et homogène, qui prend parfaitement le poli et qui convient éminemment pour la sculpture. On l'exploite à peu de distance de la mer dans de magnifiques carrières, dont l'ouverture remonte aux derniers temps de la République romaine et qui ont conservé le privilège de fournir presque exclusivement à la consommation du monde entier. Les couches de Carrare se prolongent jusque dans la Toscane, et près de Serravezza elles forment la montagne de l'Altissimo, qui n'est autre chose qu'une énorme masse de marbre statuaire.

On distingue trois qualités de marbre de Carrare. La première, que l'on trouve surtout au mont Altissimo, a une teinte blanc jaunâtre uniforme ; elle prend par le poli un éclat gras ou cireux et elle est légèrement translucide. Le prix sur les lieux varie par mètre cube de 1.200 francs au double de cette somme ; mais pour peu que les blocs soient de dimensions assez grandes, il n'y a plus de règles pour le prix.

Le marbre statuaire de deuxième qualité a une couleur blanche, mais peu uniforme. Il présente quelquefois des ta-

1. De l'italien *lumaca*, *lumachella*, limacon.

ches, ainsi que des paillettes de mica, et ne résiste pas toujours très bien à l'action de l'air. Sa valeur est de 300 à 600 fr. le mètre cube.

Le marbre de troisième qualité est le plus ordinaire ; on l'appelle *ravaccione*, du nom d'une carrière dans laquelle on l'extrait aux environs de Carrare et qui a été exploitée pendant quelques temps pour le compte du Gouvernement français. Aussi plusieurs chefs d'œuvre de nos sculpteurs perdent une partie de leur valeur, parce qu'ils ont été exécutés avec ces marbres inférieurs.

Le *ravaccione* est blanc, opaque, avec quelques taches ou veines grisâtres. Il a de la cohésion et il résiste très bien à l'air, qui lui donne même une teinte plus blanche. Il est à la limite des marbres saccharoïdes, et en Italie on l'emploie le plus souvent dans l'architecture. Son prix est de 200 à 300 francs. Ce marbre est surtout très déprécié quand il renferme des géodes tapissées de cristaux limpides de quartz.

Le *marbre de Paros* est célèbre par les chefs d'œuvre que nous a légués l'art antique. Les Grecs l'appelaient *lychnite*¹, parce qu'on l'extrayait à la lueur des lampes dans des carrières souterraines. Ce marbre est blanc, ou blanc légèrement jaunâtre, lamelleux et à gros grains ; il jouit d'une certaine translucidité, qui produit un effet très agréable et qui l'a toujours fait rechercher pour les statues. Malheureusement il est souvent micacé. De plus, il est fort rare d'en trouver des blocs de grandes dimensions ; aussi les difficultés que présentait son extraction avaient-elles depuis longtemps forcé les sculpteurs à recourir au marbre de Carrare. Cette exploitation a été reprise dans ces dernières années sur une assez grande échelle.

Les montagnes de l'Attique, le Pentélique et l'Hymette, fournissaient de beaux marbres blancs aux monuments de l'ancienne Athènes ; les colonnes de l'Hymette étaient très estimées à Rome. Plusieurs édifices de la moderne Athènes sont également décorés avec le marbre du Pentélique.

Citons encore, parmi les marbres blancs statuaires qu'appré-

1. De *λυχνος*, lampe.

ciaient les anciens : ceux de l'île de Thasos, actuellement Thaso, dans l'Archipel, et de l'île de Proconèse, dont le nom moderne *Marmora* est dû aux exploitations de marbre et a été étendu à la mer dans laquelle elle est située ; le *coraliticus lapis*, d'un blanc d'ivoire, qui se tirait de l'Asie-Mineure ; le *marbre arabe*, plus blanc que celui de Paros ; le *marbre cappadocien*, si blanc et si transparent qu'on le débitait en plaques minces pour en garnir les fenêtres en place de vitres.

En dehors des marbres de Carrare, on trouve en Italie le marbre de Gènes, *bianco di Genova*, au moins aussi beau et très propre à la statuaire ; celui de San Juliano, près de Pise, avec lequel on a bâti le Dôme, le baptistère, la tour penchée et le Campo-Santo ; celui du lac Majeur, qui a servi à la construction de la cathédrale de Milan, etc.

Le marbre blanc saccharoïde est rare en France. On l'exploite surtout près de Saint-Béat, dans de vastes carrières ouvertes sur le versant septentrional de la montagne de Rie, d'où l'on peut tirer des blocs qui ont plus de 4 mètres de longueur et dont le volume dépasse parfois 5 mètres cubes. Il est blanc, quelquefois avec une teinte légèrement grisâtre qu'il doit à une petite quantité de matière bitumineuse ; il est très cristallin, scintillant, lamelleux, et se rapproche par sa texture des marbres blancs de la Grèce. Il a plus de cohésion que le marbre de Carrare et se laisse travailler moins facilement ; cependant David et Pradier le préféraient à ce dernier pour les sculptures de moyennes et de grandes dimensions.

Le marbre de Saint-Béat contient accidentellement des mouches de soufre cristallisé ou amorphe, d'apatite verte, de tourmaline, de mica, de pyrite de fer.

L'exploitation de ce marbre remonte à l'époque romaine. Au moyen âge, on l'a employé à la décoration de la basilique de Saint-Sernin à Toulouse et de plusieurs autres églises du Midi. Sous Louis XIV, on s'en est servi pour faire les escaliers ainsi que le pourtour des bassins dans le parc de Versailles.

A Gabas (Basses-Pyrénées), aux monts Filfila en Algérie, dans la Sierra de Bacarès et la Sierra de Orío en Espagne, se trouvent également des gisements importants de marbre blanc

saccharoïde. Ce sont ces derniers qui ont servi aux Maures pour la construction des monuments de Grenade et notamment de l'Alhambra.

Quant aux marbres blancs veinés ou mélangés d'autres couleurs, ils sont beaucoup moins estimés que les précédents. Ils sont assez abondants en France et principalement en Italie.

Marbres bleus. — Le *bleu turquin*, le plus connu des marbres de cette catégorie, est un calcaire saccharoïde mélangé de matières charbonneuses qui lui donnent une couleur bleuâtre passant souvent au gris ; le plus beau, qui vient des carrières de la Capella, à peu de distance de Serravezza en Toscane, vaut 200 à 250 fr. le mètre cube sur place.

Le *bardiglio* est un marbre qui ne diffère du turquin qu'en ce qu'il est traversé par des veines noires. Il est d'autant plus estimé que son fond est plus clair et ses veines plus fines ; lorsque celles-ci, au lieu d'être simplement sinueuses, ressemblent à des sortes de fleurs, on le nomme *bardiglio fiorito*. Son prix dépasse 300 francs.

Les Romains exploitaient le bleu turquin dans les monts Filfila (Algérie) ; on a retrouvé leurs carrières à quelques kilomètres seulement de la mer.

En France, on trouve des marbres de couleur bleue ou bleuâtre à Caunes (Aude), dans les environs d'Arbois (Jura), à Plougastel, sur la rade de Brest, à Serraggio (Corse). A Châtillon-sur-Seine, il y a un marbre dont le fond bleu est traversé par des veines jaune d'or ; près de Salins (Jura), un très beau marbre bleu jaspé de gris et de blanc, et dont le grain est très fin.

Marbres gris et cendrés. — Les marbres gris ou cendrés peuvent compter parmi les plus répandus. Tantôt ils sont simples, tantôt ils sont multicolores avec prédominance de la couleur grise.

C'est dans cette catégorie que rentre le *marbre Napoléon*, gris blanc, café au lait ou brun grisâtre, des carrières de Marquise (Pas-de-Calais), qui appartient au calcaire carbonifère et dont on s'est servi pour la construction de la colonne de la Grande-Armée, à Boulogne, de plus de 50 mètres de hauteur. Il peut fournir des blocs de plus de 80 mètres cubes ; il est sus-

ceptible d'un très beau poli. Sa couleur, un peu sombre, le rend propre à la décoration des tombeaux ; aussi on l'a employé à la Chapelle expiatoire et au tombeau de Napoléon I^{er} aux Invalides. On l'a employé également à la Bourse, à l'église de la Madeleine à Paris, ainsi qu'aux cathédrales d'Arras et d'Amiens. Son prix est peu élevé puisque, rendu en gare de Paris, il ne dépasse pas 400 fr.

Le *sarrancolin*, ainsi nommé du village près duquel on l'exploite dans la vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées), est un marbre à dessin bizarre, anguleux et bréchiforme, présentant parfois de grandes bandes. Le gris y domine, avec accompagnement de jaune et de rouge ; certaines parties sont transparentes comme l'agate. Ce marbre, scié en plaques, vaut de 15 à 25 fr. le mètre carré ; c'est un des plus estimés de France. On en a fait les trente colonnes monolithes du grand escalier de l'Opéra, dont chacune a coûté 5.000 fr.

Dans le département de la Mayenne, on exploite un marbre gris nuancé de rouge et de jaune, auquel on donne le nom de *sarrancolin de l'ouest* et qui ne rappelle que de loin les vives nuances de son homonyme des Pyrénées. Mais il est bien moins coûteux et on peut l'employer dans la fabrication courante pour les cheminées et les dessus de meuble.

Marbre jaune. — Le vrai *jaune antique*, marbre unicolore, d'un beau jaune doré, est très rare ; les anciens le tiraient des environs de Lacédémone.

Il existe au contraire en différents pays, notamment en Italie, en France, en Algérie, au Portugal, une assez grande variété de marbres à plusieurs couleurs où le jaune domine. Le *jaune de Sienne* est d'un jaune d'œuf, disposé en grandes taches irrégulières entourées de veines de couleurs foncées, le plus généralement violettes ou rouge vineux, quelquefois pourpre ; sa valeur peut atteindre 1.000 fr. le mètre cube. Le beau marbre *antin*¹ de Beyrède (Hautes-Pyrénées) est à nervure rouge sur fond jaune, ou jaune et rouge sur fond blanc.

Près de Philippeville (Algérie), on exploite un marbre jaune très compact qui, quand il est poli, prend une sorte d'éclat

1. On fait venir ce nom du celtique *an tan*, de feu.

gras et devient très brillant ; sa couleur, qui est peu uniforme, passe au jaune rougeâtre et au jaune rosé, ce qui lui donne des tons très chauds fort estimés par les artistes. D'après Fournel, ce *marbre de Philippeville* ne serait autre chose que le *marbre de Numidie*, si célèbre chez les Romains, dont les couleurs très variables étaient cependant dominées par le jaune et par le rouge. Toujours est-il qu'un marbre à peu près semblable se retrouve dans les fouilles de Rome.

Marbres noirs. — Le véritable *noir antique*, importé à Rome par Lucullus, est d'une teinte noire franche et parfaitement uniforme. Dans le fameux palais de Scaurus, dont Pline a donné une si pompeuse description, l'atrium était orné de 360 colonnes de ce marbre, hautes d'environ 12 mètres.

On a aussi donné le nom de noir antique à un marbre qui se trouve dans les Alpes françaises, à Saint-Crépin, et qui a été employé par les Romains.

On exploite des marbres d'un noir uni dans un grand nombre de pays : en Belgique, dans les environs de Namur ; dans le département du Nord, à Bellignies ; dans l'Isère, à Sainte-Luce ; dans le Bergamasque, dans le Hartz, en Angleterre, etc.

Le *noir français* est un marbre commun, avec taches blanches sur fond noir, dont le grain a peu de finesse, mais qui reçoit cependant un poli convenable. Le *Sainte-Anne* s'en distingue en ce que son fond tourne au gris ; il présente également des taches blanches dues à des polypiers. Ces deux marbres, dont l'aspect est généralement terne et peu décoratif, ont peu de valeur et ne se vendent pas plus de 100 à 150 fr. le mètre cube sur place ; on en fait un grand usage pour les cheminées ordinaires, les devantures de boutique, les comptoirs, les dessus de poêle, etc.

Marbres rouges, roses, roux, violets. — Le *rouge antique*, qui est d'un rouge uniforme avec des veines blanches peu nombreuses, est un des plus rares des marbres de couleur. Les Romains, qui en ont fait un grand usage, notamment au Forum et dans les monuments de la voie Appienne, l'exploitaient surtout en Grèce. On en a retrouvé à Cynopolis et à Damarastica les anciennes carrières, que l'on a remises en activité. Ce

marbre passe par des dégradations successives à des marbres d'une couleur rouge marron, veinés de blanc, de noir et plus souvent de gris; ces derniers, qui sont d'un aspect peu agréable, se trouvent par exemple à Lageña.

A Caunes (Hérault), il y a un magnifique gisement duquel on extrait diverses variétés de marbre rouge : le *grand incarnat du Languedoc*, à grandes parties rouges et blanches, que l'on a employé pour la décoration des palais de Versailles et de Trianon, de l'église Saint-Sulpice, du musée du Louvre, etc. ; le *rouge turquin*, qui diffère du précédent en ce qu'il présente des parties grises ; le *rouge français*, qui ressemble au rouge antique, mais qui lui est inférieur comme aspect ; la *griotte*¹ *d'Italie*, à fond rouge vif parsemé de taches blanches ; la *griotte brune*, la *griotte panachée* ; le *cervelas*, panaché de taches rouges et de veines blanchâtres sur un fond d'un gris obscur, ou de taches grises et blanches sur un fond rouge foncé. Le prix de tous ces marbres est à Carcassonne de 350 fr. le mètre cube en moyenne ; mais à Paris il s'élève, à cause de la distance, jusqu'à 1.000 fr. et ne descend pas au-dessous de 750 fr. ; aussi ils ne peuvent y soutenir la concurrence de ceux de Belgique.

Le *rouge royal*, qui vient de Franchimont (Belgique), est rouge mélangé de gris et de blanc. On en fait un grand usage à Paris, où il ne coûte pas plus de 500 fr. le mètre cube, pour la décoration des boutiques et des magasins ; on l'a employé pour le dallage de la galerie d'Orléans au Palais-Royal, pour les colonnes des appartements de réception du Ministère des Finances, pour les piédestaux de plusieurs statues au Musée des antiques, pour les panneaux de la grande galerie des batailles au palais de Versailles.

En Italie, il y a encore une plus grande variété de marbres où dominent les couleurs rouge, rose, rousse ou violette, et dont Rondelet donne une longue énumération dans son *Traité de l'art de bâtir*.

493. Marbres brèches. — Les principales brèches anti-

1. Ce marbre est ainsi nommé à cause de la ressemblance de sa couleur avec celle du fruit du griottier.

ques sont : la *brèche jaune antique*, tachetée de jaune, de gris et de rouge ; la *brèche violette antique*, marbre très riche, à fond violet noirâtre ou brun chocolat, sur lequel tranchent d'une manière agréable des débris de fossiles et des fragments calcaires de coloration brune, jaunâtre ou blanche, dont on peut voir huit colonnes au Louvre ; la *brèche rose antique*, à fond rouge incarnat avec taches roses, noires et blanches ; la *brèche arlequin antique*, dont le fond fauve est marqueté d'un grand nombre de petits fragments de diverses couleurs ; la *brèche vierge antique*, à fond chocolat semé de petites taches blanches ou rougeâtres anguleuses et de quelques points rouges, qui a été employée à Rome dans un autel consacré à la Vierge, d'où lui vient son nom.

A Villette-en-Tarentaise, sur la rive droite de l'Isère, on exploite un très beau marbre à fond violâtre, avec grands fragments anguleux blancs, qui se rapproche beaucoup de la brèche violette antique.

Dans les environs d'Aix-en-Provence, se trouvent diverses variétés de brèches provenant du *poudingue fleuri de Tholonet*, dans lesquelles le jaune domine généralement au milieu du gris et du noir.

Près de Saint-Girons (Ariège), on exploite une brèche formée de larges fragments angulaires noirs, renfermant des débris de coquilles et réunis par des veines blanches, à laquelle on a donné à juste titre le nom de *grand antique*, à cause de sa ressemblance avec celle que l'on voit dans les socles de la salle d'Isis au Louvre.

Le *petit antique* est une brèche de la même provenance, mais à taches moins grandes et dans laquelle le noir tire sur le gris.

Le *grand deuil* et le *petit deuil*, qui offrent des éclats blancs sur fond noir et qu'on rencontre à Aubert (Ariège), à Cascalet (Aude), à Sauveterre (Basses-Pyrénées), sont des variétés du grand antique.

On désigne sous le nom impropre de *brèche africaine* un calcaire saccharoïde, généralement blanc, traversé par des veines violettes, qui est quelquefois aussi d'une couleur rose, lilas, fleur de pêcher, jaune ou rouge, que l'on extrait près de

Serravezza (Toscane) d'une carrière appelée *cava dell' africano*. Cette matière résiste mal à l'action de l'air. On en voit de belles tables dans les grands appartements de Versailles.

La *brèche d'Alep* (Syrie) est à fragments rouges, jaunâtres ou grisâtres, agglutinés par un ciment grisâtre tacheté de noir. On donne à tort la même dénomination à l'une des variétés de brèche des environs d'Aix, exploitée à Alet.

La belle *brèche de Vérone* est composée de fragments bleus et rouges de diverses nuances, cimentés par une pâte rouge, que l'on tire des hautes montagnes du Trentin.

On donne le nom de *brocatelle*¹ à des brèches formées de petites pièces. La plus célèbre de toutes est la *brocatelle d'Espagne*, que l'on extrait d'une carrière ouverte par les anciens à Tortose, en Catalogne. Elle est à fond lie de vin, jaspé d'une infinité de petites taches rondes jaune isabelle, gris jaunâtre ou blanc cristallin; les taches grises sont dues à des coquilles.

La *brocatelle de Sienne*, qui est également très estimée et que l'on exploite à une quinzaine de kilomètres de cette ville, se distingue par ses taches violettes et d'un jaune orange.

En France il y a peu de brocatelles proprement dites. Nous citerons cependant la *brocatelle de Boulogne*, tachetée et veinée de brun; la *brocatelle de Moulins*, exploitée dans le Jura, gris bleuâtre veiné de brun et de jaune doré, avec nombreux fossiles.

Il y a encore, surtout en Italie, un très grand nombre d'autres sortes de brèches et de brocatelles; mais nous arrêterons ici cette énumération déjà assez longue.

491. Marbres composés. — Le *campan*, ainsi nommé de la vallée de Campan (Hautes-Pyrénées) d'où on l'extrait, est le type de la structure à laquelle certains géologues donnent le nom de *structure entrelacée*. C'est un marbre composé, où le calcaire saccharoïde est traversé par des veines de schiste et qui présente souvent des nodules plus ou moins arrondis, pénétrés de coquilles et entourés par le même schiste. Les principales variétés sont le *campan vert*, qui est le plus estimé, l'*isa-*

1. Ou petit brocard, à cause de sa ressemblance avec cette étoffe.

belle et le rouge. Ce marbre, qui a une très grande valeur, s'altère facilement à l'air par suite de l'effeuillement des parties schisteuses et ne doit être employé qu'à l'intérieur. A Versailles et au grand Trianon, on a eu le tort de le placer à l'extérieur.

Le *portor* est un marbre à fond noir sillonné de veines de fer spathique jaune, quelquefois brillantes comme de l'or. On l'exploite dans les Apennins, près de Porto-Venere, d'où est venu son nom qu'on a étendu à des roches analogues provenant d'autres localités. Son exploitation est tellement facile qu'il ne coûte pas plus de 300 fr. le mètre cube sous voiles ; on peut extraire des blocs de 3 à 6 mètres cubes. Ce marbre est surtout remarquable par l'éclat de son poli et par le contraste agréable de ses couleurs ; toutefois il s'altère assez rapidement à l'air et sa couleur noire tourne au grisâtre.

En France on exploite le portor à Sauveterre (Haute-Garonne), dans la vallée de la Barousse près de Troubat (Hautes-Pyrénées), près de Saint-Florent (Corse), à Régnerville près de Coutances (Manche), etc. Celui des Pyrénées ne coûte que 8 à 10 fr. le mètre carré.

Le *cipolin*, dont nous avons déjà parlé précédemment (n° 437), est encore un marbre composé, saccharoïde, avec paillettes de mica ou de chlorite disséminées dans sa masse. Le cipolin antique, auquel les anciens donnaient le nom de *lapis phrygius*, est veiné de blanc, de jaune doré et de gris tirant sur le vert ; on voit au musée du Louvre beaucoup de colonnes et de cippes de ce beau marbre, rapportés d'Orient sous Louis XIV.

A Connemara, près de Galway en Irlande, on exploite un cipolin dans lequel le mica, de coloration verte et quelquefois rougeâtre, s'est développé en nodules ou suivant des veines ondulées. Il est de plus pénétré par une espèce de serpentine à éclat cireux, dont la couleur varie du vert pistache au vert jaunâtre et au vert serin. C'est un marbre qui n'a rien d'analogue en Europe.

On rattache quelquefois, mais à tort, aux marbres composés les ophicalces, qui sont des roches dans lesquelles domine la serpentine (n° 455). Le *vert antique* est une ophicalce dans

laquelle la serpentine verte et le calcaire saccharoïde se trouvent en rognons anguleux.

495. Marbres lumachelles. — Parmi les lumachelles les plus connues nous citerons : le *drap mortuaire du Hainaut*, à fond noir sur lequel se détachent des coquilles turriculées cristallines blanches ; la *lumachelle de Narbonne*, à fond noir avec bélemnites blanches ; le *marbre de l'Argonne*, formé de coquilles noirâtres disséminées dans un calcaire gris blanchâtre ; la *lumachelle d'Astrakan*, à pâte brune abondante avec nombreuses coquilles d'un jaune orangé, l'une des plus recherchées, etc.

Le petit granite des Ecaussines (n° 484), qui prend bien le poli, peut être rattaché à cette catégorie.

Les anciens se servaient des lumachelles, comme l'attestent les débris qu'on en retrouve dans les monuments antiques ; mais on ignore d'où ils les tiraient.

496. Albâtre. — Les anciens, qui faisaient un grand usage de l'albâtre, en distinguaient deux variétés : l'*albâtre commun*, qui venait de Grèce et d'Italie, et l'*albâtre oriental*, à zones ressemblant à celles de l'agate, qu'ils tiraient de l'Asie mineure, de la Syrie et de l'Égypte.

Près de l'Ysser, dans la province d'Oran (Algérie), on exploite depuis plusieurs années un albâtre très remarquable, auquel on a donné le nom impropre d'*onyx d'Algérie*. Sa texture fibreuse est bien caractérisée ; ses veines, presque rectilignes, sont parallèles entre elles, en sorte qu'il a la texture rubannée ; il est plus diaphane que l'albâtre ordinaire et il prend quelquefois une teinte vert émeraude ou vert pomme bien prononcé. Dans d'autres cas, il est tantôt d'un blanc pur ou d'un blanc laiteux, tantôt rouge vif, jaune d'or, jaune aurore ou brun jaunâtre. Toutes ces nuances, qui sont dues à de l'oxyde ou à du carbonate de fer, peuvent se trouver réunies sur le même morceau, qui présente alors les accidents de couleur les plus variés.

Cette belle matière a l'avantage de résister très bien à l'action de l'air et d'être d'une exploitation facile. Les anciens la

connaissaient et on la retrouve dans les monuments de Rome. De nos jours, elle est surtout recherchée pour la décoration intérieure des appartements, sous forme de vases, de coupes, de pendules, de coffrets; elle se marie très bien avec le bronze.

497. Gisement et exploitation des marbres en France. — Les marbres abondent surtout dans les terrains du groupe primaire et du groupe secondaire, qui ont été soumis à de puissantes actions métamorphiques. Ils sont rares dans les terrains plus récents et on ne trouve guère que le cipolin dans ceux de l'ère azoïque.

La France est l'un des pays les plus riches du monde en marbres; de nombreuses carrières, disséminées sur tous les points de son territoire, fournissent des marbres aux couleurs vives et variées, dont plusieurs sont tout à fait spéciaux à notre pays et ne se rencontrent pas ailleurs. C'est dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais, du Jura, de la Mayenne, de l'Aude, ainsi que dans les montagnes des Pyrénées, des Vosges et des Alpes, que se trouvent les plus importantes exploitations.

L'Italie seule a été mieux dotée par la nature et elle doit principalement sa supériorité à ce qu'elle possède en grande abondance le marbre dont l'usage est le plus répandu, le marbre blanc; nous sommes aussi ses tributaires pour le bleu turquin, le jaune de Sienne, le portor. Dans l'industrie des marbres ordinaires, c'est la Belgique qui nous fait la concurrence la plus redoutable.

Nous extrayons de l'ouvrage de Delesse sur les *Matériaux de construction de l'Exposition universelle de 1855* les renseignements qui suivent sur l'historique de l'exploitation des marbres en France.

« L'exploitation des carrières de marbre de l'ancienne Gaule date de l'époque de la domination romaine. Dans les ruines des villes gallo-romaines, on trouve en effet les débris de marbres qui ont été exploités à une petite distance. Les Romains se sont même servi de plusieurs marbres de la Gaule pour décorer les monuments de Rome.

« Abandonnée à l'époque de l'invasion des barbares, l'exploitation des marbres de la France est restée interrompue pendant tout le moyen âge. Quelques carrières cependant étaient exploitées, à de rares intervalles, pour orner les églises gothiques qui datent de cette époque.

« A la Renaissance, François I^{er} donna une première impulsion à l'exploitation des marbres de France, qu'il prescrivit d'employer à la décoration de ses châteaux. Henri IV continua à développer l'industrie des marbres en France et Louis XIV la porta à son apogée. C'est en effet sous son règne que furent découverts ces beaux marbres des Pyrénées et des Alpes, qui sont si propres à la décoration monumentale ; ils ont servi à orner le palais de Versailles, le Louvre, les Tuileries, l'église des Invalides et tous les monuments qui datent du règne du grand roi.

« L'exploitation de ces marbres ne fut pas abandonnée à l'industrie privée ; elle eut lieu, au contraire, sous la direction de l'État. Elle atteignit, d'ailleurs, des proportions si colossales que les immenses dépôts de marbre, accumulés dans le garde-meuble par Louis XIV, ont suffi à la décoration des monuments élevés sous les règnes suivants jusqu'à celui de Napoléon I^{er}. Ainsi, les colonnes de marbre rouge incarnat de l'arc de triomphe du Carrousel provenaient encore des dépôts de Louis XIV.

« Quoique l'exploitation des plus beaux marbres de France ait été interrompue après le règne de Louis XIV, il ne faut pas croire, cependant, que cette industrie ait été complètement détruite à partir de cette époque. Le goût des marbres s'était répandu dans toutes les classes de la population et leur emploi était devenu un luxe nécessaire. Aussi, sous l'Empire, sous la Restauration, l'exploitation de ces matériaux a-t-elle suivi les progrès de toutes les autres industries. De nos jours, la quantité de marbre livrée à la consommation est même beaucoup plus grande qu'elle ne l'était du temps de Louis XIV. L'achèvement du Louvre et les travaux gigantesques qui s'exécutent dans Paris vont certainement lui donner une impulsion toute nouvelle, en permettant de reprendre, d'une

manière régulière, l'exploitation de nos marbres les plus beaux et les plus rares.

« Jusque vers le commencement de ce siècle, l'exploitation des marbres de France avait lieu sous la direction de l'État, et les marbriers se contentaient d'acheter au garde-meuble les marbres qui leur étaient nécessaires. C'est seulement de nos jours que leur extraction a été entreprise par des particuliers.

« Plusieurs causes expliquent, d'ailleurs, pourquoi l'industrie des marbres est encore si arriérée. Cette industrie supporte, en effet, des charges très lourdes ; elle demande des capitaux considérables et ces capitaux doivent rester longtemps improductifs. Plusieurs années s'écoulent toujours avant que le bloc de marbre, extrait de la carrière, soit scié, taillé, poli et livré au commerce. D'un autre côté, elle peut craindre les caprices de la mode et l'effet des révolutions. En outre, l'exploitation est le plus souvent très irrégulière et elle donne lieu à beaucoup de déchet. Enfin, quoique le marbre forme souvent des couches entières ou des amas considérables, son transport et son travail présentent de grandes difficultés. Si donc la matière même du marbre a peu de valeur par elle-même, la main-d'œuvre, dépensée avant qu'elle soit livrée au commerce, lui donne un prix très élevé et en fait nécessairement un objet de luxe.

« Il ne faut pas s'étonner d'après cela que l'État ait dû prendre l'initiative et entreprendre lui-même l'exploitation de nos carrières de marbre ; car le développement de l'esprit d'association, le perfectionnement des voies de communication, les progrès du luxe et des arts mécaniques, commencent seulement à rendre le commerce des marbres avantageux pour l'industrie privée. Toutefois, cette industrie recherche moins les marbres les plus beaux que ceux dont l'extraction est la plus lucrative ; aussi plusieurs carrières, exploitées autrefois, donnant des marbres rares et des plus remarquables, sont-elles encore complètement abandonnées. »

Depuis l'époque à laquelle ont été écrites ces lignes, l'industrie de la marbrerie s'est beaucoup développée en France. Tandis qu'en 1854 nos exportations ne dépassaient pas le

chiffre de 275.800 fr., elles se sont élevées en 1885, d'après le *Tableau général du commerce de la France*, publié par l'Administration des douanes, à 2.500.840 fr. ; elles sont, par conséquent, 9 fois plus fortes.

Voici, au reste, le détail de ces exportations :

MARCHANDISES	TAUX MOYEN D'ÉVALUATION (par tonne)	PAYS de DESTINATION	QUANTITÉS EXPORTÉES	
			pois net (tonnes)	Valeur
	FRANCS			FR.
Marbre blanc statuaire brut, équarri ou scié...	400	Belgique, Espagne, Angleterre, etc.	191	76.400
Marbre blanc statuaire sculpté, moulé ou poli..	1.750	Angleterre, Allemagne, Espagne, Belgique.	245	428.750
Marbre compact brut ou équarri	220	Belgique, Suisse.	1.761	387.420
Marbre compact scié.....	200 à 300	Belgique, Australie, Espagne.	705	204.000
Marbre compact sculpté, moulé ou poli.....	750	Angleterre, Algérie, Belgique.	1.397	1.047.750
Albâtre brut ou équarri...	140	Angleterre, Espagne, Australie, Belgique.	1.218	170.520
Albâtre sculpté, moulé ou poli	3.000	id.	62	186.000
		Totaux.....	5.579	2.500.840

Les chiffres relatifs à nos importations sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

MARCHANDISES	Taux MOYEN d'ÉVALUATION (par tonne)	PAYS de PROVENANCE	QUANTITÉS IMPORTÉES	
			poids net (tonnes)	Valeur
	FRANCS			FR.
Marbre blanc statuaire brut, équarri ou scié...	300	Italie; très peu de Belgique et au- tres pays.	1 050	315.000
Marbre blanc statuaire sculpté, moulé ou poli.	1.250	Italie; très peu de Belgique et au- tres pays.	126	157.500
Marbre ordinaire brut ou équarri	150	Italie et Belgi- que; très peu d'autres pays.	17.823	2.673.450
Marbre ordinaire scié....	150 à 200	Belgique et Italie.	4.446	884.150
Marbre ordinaire sculpté, moulé ou poli	500	id.	3.018	1.509.000
Albâtre brut ou équarri...	140	Surtout d'Italie.	93	13.000
Albâtre sculpté, moulé ou poli	3.000	id.	133	399.000
		Totaux.....	26.689	5.951.100

Les calcaires des Écaussines, classés quelquefois comme marbre et qui donnent lieu à un commerce important, ne sont pas compris dans ce tableau.

On voit que la valeur de nos importations est encore de plus du double de celle de nos exportations. Il y a, cependant, amélioration notable relativement à l'année 1854, où ce rapport était de 5.

c) Chaux sulfatées.

498. Gypse. — Le gypse en roche constitue dans plusieurs formations géologiques, notamment dans les marnes irisées de la Lorraine où il accompagne le sel gemme, et dans les terrains tertiaires du bassin de Paris, des dépôts de forme lenti-

culaire intercalés entre des couches d'argile ou de marne. On le trouve aussi en amas encore plus puissants, dans les Alpes et les Pyrénées.

Dans ces gisements, il a une texture saccharoïde ou compacte. Sous le premier état, il est grenu comme le marbre statuaire et il lui serait identique sans sa forte translucidité qui lui donne un aspect particulier ; sa cassure est grenue et un peu inégale ; sa couleur habituelle est le blanc de neige, mais il est quelquefois grisâtre, jaunâtre ou rougeâtre. Le gypse compact a une cassure esquilleuse ; il est généralement d'un blanc jaunâtre un peu sale, parfois légèrement coloré en jaune. De même que la variété précédente, il se reconnaît sans peine à la facilité avec laquelle il se laisse rayer par l'ongle.

Dans les environs de Paris, le gypse est presque toujours mélangé de 4 à 12 0/0 de carbonate de chaux et d'un peu de silice gélatineuse, soluble dans une dissolution alcaline. Quand la formation qui le renferme est complète, on trouve quatre couches, dont les épaisseurs réunies peuvent atteindre 55 mètres, et qui sont séparées par des marnes. Çà et là, au milieu de la masse grenue de la roche gypseuse, apparaissent des variétés cristallines dites *fer de lance*, *grignard*, *pierre à Jésus*, *miroir d'âne*, etc.

A cause de sa faible dureté et de sa solubilité dans l'eau, le gypse ne peut être employé directement dans les constructions.

La variété saccharoïde, à laquelle on donne le nom d'*albâtre*, sert à la fabrication de divers objets tels que des vases, des socles de pendule, des statuettes, des bas-reliefs. L'une des plus connues est celle que l'on exploite à Volterra, en Toscane ; elle est blanche ou veinée et ondulée de teintes brunâtres ; les Etrusques en faisaient des tombeaux, dont on peut voir des spécimens dans les musées des anciennes villes de l'Etrurie. Il faut se garder de confondre cet albâtre gypseux, qui n'a ni solidité ni éclat et par suite aucune valeur, avec le véritable albâtre, ou albâtre calcaire, qui est très recherché (n° 496).

La formation gypseuse de Lagny (Seine-et-Marne) renferme également un beau massif d'albâtre gypseux, dans lequel on retrouve presque toutes les teintes de l'albâtre oriental.

L'albâtre gypseux que l'on trouve près de Saint-Jean de Maurienne, et qui est d'un blanc parfait et translucide, a été employé pour la décoration intérieure de la cathédrale de cette ville.

A Takali, dans l'Etat de la Puebla (Mexique), il y a un gypse lamelleux qui peut se débiter en plaques minces de quelques décimètres carrés, d'une blancheur et d'une transparence parfaites, dont les anciens Mexicains se servaient comme de verres à vitre pour les fenêtres de leurs habitations.

499. Plâtre. — Le véritable emploi du gypse est la fabrication du *plâtre*, sulfate de chaux presque entièrement déshydraté, qui a la faculté d'absorber l'eau avec une grande rapidité en reproduisant le gypse. Cette propriété est le point de départ de ses applications à l'art des constructions.

Pour obtenir du plâtre, il suffit de calciner le gypse à une température de 120° à 130°. On doit éviter de dépasser cette température, car dès qu'elle s'élève seulement à 150° ou 160°, la matière ne reprend plus son eau que très lentement ; portée au rouge, elle ne s'hydrate plus.

Il faut d'ailleurs se garder de croire que toutes les roches gypseuses soient aptes à donner des plâtres d'égale qualité. Les produits les plus estimés sont ceux que l'on obtient avec le gypse des environs de Paris et celui d'Aix-en-Provence. On a quelquefois attribué leur supériorité à la présence du carbonate de chaux mêlé à la roche ; mais cette explication ne peut convenir si l'on remarque que cette substance existe en proportion très variable dans les bancs les plus renommés, et qu'il y en a très peu par exemple dans le gypse de Romainville, qui donne un plâtre aussi bon que le meilleur gypse de Montmartre, où il y en a beaucoup. Il est probable que c'est à la silice gélatineuse qu'il faut attribuer les qualités réellement exceptionnelles du plâtre parisien, qui consistent surtout dans la rapidité de sa consolidation et dans la résistance qu'il oppose à l'action destructive des agents extérieurs.

Les variétés cristallines de gypse sont recherchées par les modeleurs en plâtre, parce qu'elles fournissent une matière plus fine. Mais ce plâtre fin, qu'on n'emploie que pour la couche

extérieure des statues, ne se prend que lentement en masse et possède beaucoup moins de solidité que le plâtre de Paris. Il est précisément de l'espèce que l'on peut obtenir avec les gypses qui se rencontrent partout ailleurs.

Mélangé avec une proportion convenable de gélatine en dissolution, le plâtre sert à fabriquer le *stuc*, qui imite assez bien le marbre quand il est poli et convenablement coloré par des oxydes métalliques.

Le plâtre trouve aussi un emploi utile dans l'agriculture, principalement pour l'amendement des terres destinées à la culture des prairies artificielles.

Il n'y a pas de ville au monde dans laquelle on fasse une aussi grande consommation de plâtre qu'à Paris, où cette matière remplace le mortier dans la construction de la plupart des maisons. En 1884, cette consommation s'est élevée à 620.000 mètres cubes de 1.200 à 1.250 kilog., valant 20 fr. le mètre cube, octroi compris.

Le plâtre donne lieu à un commerce d'exportation assez important. En 1883, nous en avons livré à la Belgique, à l'Angleterre, à l'Espagne, etc., 80.460 tonnes valant 1.971.000 francs, et nous n'en avons importé que 5.120 tonnes, venant d'Allemagne, de Suisse, etc., d'une valeur de 94.670 francs.

500. Anhydrite. — L'anhydrite, ou chaux sulfatée anhydre, est tantôt compacte, tantôt saccharoïde ou lamelleuse, comme le marbre blanc statuaire. Sa plus grande dureté, qui est de 3 à 3 $\frac{1}{2}$, la distingue du gypse avec lequel on la rencontre dans la nature, et, comme elle ne fait pas effervescence sous l'action des acides, on ne peut la prendre pour un calcaire, bien qu'elle ait parfois une grande ressemblance avec cette roche. Ses couleurs ordinaires sont le blanc, ou des nuances claires comme le gris, le rouge, le bleu ; elle doit ces nuances à une faible quantité de peroxyde de fer ou à des matières bitumineuses.

Elle prend très bien le poli et peut servir aux mêmes usages que le marbre. Elle a cependant l'inconvénient d'être moins dure et de s'altérer facilement en absorbant l'humidité de l'air pour se transformer en gypse. Aussi on ne peut l'employer

dans des monuments qui restent exposés à l'air ni dans des lieux humides.

Le gisement géologique de l'anhydrite est le même que celui du gypse. Elle est rarement stratifiée, et, quand elle l'est, ses couches ne sont pas toujours très nettes.

On exploite dans le canton de Vizille (Isère) une anhydrite translucide, cristallisée, d'une très belle couleur blanche, parfois blanc grisâtre ou même bleuâtre, à éclat plus gras que celui du calcaire saccharoïde. Son extraction est peu dispendieuse, car elle peut être livrée à Paris au prix de 500 fr. le mètre cube. On en a fait des colonnes de 5 mètres de hauteur pour la décoration de l'église de la Haute-Combe, sépulture des rois de Sardaigne.

Le *marbre bleu du Wurtemberg* est également une variété saccharoïde d'anhydrite.

A Vulpino, dans les environs de Bergame, on trouve de l'anhydrite silicifère, contenant jusqu'à 8 0/0 de silice qui augmente un peu sa dureté. On l'exploite sous le nom de *vulpinite*, ou *marbre de Bardiglio*, et on en fait des tables et des cheminées que sa nuance blanc grisâtre mêlée de gris rend d'un effet assez agréable.

IMPORTANCE RELATIVE DES ROCHES, DES MINÉRAUX ET DES CORPS SIMPLES DANS LA NATURE.

501. Roches. — Les roches que nous venons d'étudier ne jouent pas un rôle également important dans la nature. Si l'on examine leur position sur une carte géologique de l'Europe par exemple, on constate que le granite avec les gneiss et les micaschistes, les calcaires et les roches sableuses ou argileuses, occupent plus des 9/10 de sa surface. On peut, sous ce rapport, classer les roches en trois groupes dont le premier couvrirait de vastes espaces, le second formerait des taches plus ou moins étendues, et le troisième pourrait être à peine représenté par des couleurs.

Premier groupe.	}	Granites et protogine.
		Gneiss.
		Micaschiste.
		Grès.
		Argiles.
Deuxième groupe.	}	Calcaires.
		Syénite.
		Porphyres quartzifère et feldspathique.
		Trachyte.
		Diorite.
		Mélaphyre.
		Basalte.
		Trapp.
Dolomie.		
Troisième groupe.	}	Gypse.
		Toutes les autres roches.

502. Minéraux. — Les minéraux essentiels à la composition de ces roches peuvent aussi, suivant leur importance, se diviser en trois classes :

Première classe.	}	Quartz.
		Orthose.
		Chaux carbonatée.
		Mica.
		Chlorite.
		Talc.
Deuxième classe.	}	Dolomie.
		Oligoclase.
		Labrador.
		Hornblende.
		Actinote.
Troisième classe.	}	Augite.
		Diopside.
		Trémolite.
		Gypse.
		Anhydrite.
		Diallage.
		Hypersthène.

503. Corps simples. — Si nous remontons maintenant jusqu'aux corps simples qui composent les minéraux, nous pouvons les classer d'après leur abondance en cinq catégories,

en laissant de côté ceux qui n'ont qu'une importance secondaire.

1	}	Oxygène. Silicium.
2	}	Aluminium. Calcium. Magnésium.
3	}	Potassium. Sodium. Carbone.
4	}	Soufre. Hydrogène. Fer. Manganèse.
5	}	Chlore. Fluor. Azote. Phosphore.

Oxygène. — L'oxygène tient le premier rang. C'est un corps très avide de combinaison ; aussi il ne se trouve à l'état de liberté que dans l'atmosphère, où il représente un faible résidu de l'oxygène de la première enveloppe gazeuse du globe.

Mais cet oxygène atmosphérique n'est rien à côté de celui de l'écorce terrestre, dans la composition de laquelle il entre pour près de moitié, comme on peut s'en assurer en examinant les analyses qui ont été faites des minéraux les plus communs.

L'eau elle-même en contient beaucoup plus que l'atmosphère. Il est facile de calculer, en effet, qu'une couche aqueuse de 3 mètres d'épaisseur renferme autant d'oxygène que toute la masse atmosphérique ; or, toutes les eaux qui existent sous forme de mer donneraient, si elles étaient répandues également à la surface du globe, une enveloppe de 3.000 mètres.

Silicium. — Le silicium est l'élément le plus abondant après l'oxygène. Il entre en moyenne pour 28 0/0 dans la constitution des masses cristallines d'origine ignée ; on le trouve aussi dans les argiles, dans les roches siliceuses, dans beaucoup de calcaires, matériaux d'origine chimique ou formés aux dépens des roches cristallines.

Ce corps, combiné avec l'oxygène jusqu'à saturation, se pré-

sente à l'état de silice. Ainsi que le fait remarquer M. Dana, la silice, rebelle à toute altération, est par excellence l'instrument de la consolidation de l'écorce terrestre, car, lorsque par exception elle se laisse attaquer par des eaux alcalines, c'est le plus souvent pour aller se déposer dans des fissures dont elle cimente les parois, ou dans des roches meubles dont elle agrège les particules.

Aluminium. — L'aluminium, combiné à l'oxygène pour former l'alumine, est très abondant, non seulement dans les argiles, mais encore dans beaucoup de minéraux pierreux silicatés. Il n'y a guère, dans ce groupe de minéraux, que ceux des familles de la silice et des pyroxènes et amphiboles, ainsi que quelques gemmes et un petit nombre de zéolithes, qui n'en renferment pas. Les sels haloïdes de l'aluminium, comme la cryolite, sont rares; les alunites et l'alumine libre plus ou moins pure sont un peu plus répandus.

Calcium. — Le calcium s'unit à l'oxygène pour constituer la chaux. Cette substance se trouve surtout à l'état de combinaison avec l'acide carbonique, l'acide sulfurique et l'acide phosphorique et donne les nombreuses variétés de calcaire, les gypses et anhydrites, les chaux phosphatées si utiles à l'agriculture. Elle existe aussi en plus ou moins forte proportion dans un grand nombre de minéraux pierreux silicatés, notamment dans les pyroxènes et les amphiboles. Il y a également quelques sels haloïdes de calcium, dont le plus répandu est le spath fluor.

Magnésium. — Le magnésium accompagne presque partout le calcium avec lequel il a tant d'analogie; mais il est moins fréquent. Les minéraux où il entre en plus forte proportion sont: la dolomie, qui contient de 20 à 21 0/0 de magnésic, les phyllites flexibles sans élasticité, certains micas, le péridot, les pyroxènes et amphiboles; la giobertite, carbonate magnésien pur, est relativement rare. Les eaux marines et terrestres tiennent en dissolution du sulfate de magnésie et du chlorure de magnésium.

Potassium. — La potasse existe dans beaucoup de roches cristallines avec la proportion de 5 à 6 0/0. On la trouve dans les argiles, les schistes argileux, la plupart des marnes et des

calcaires, l'eau de la mer, etc. Sa présence dans les argiles notamment n'a rien d'extraordinaire, puisque ces roches se rattachent fréquemment par leur origine aux roches feldspathiques.

Sodium. — Le sodium est généralement moins répandu que le potassium. A l'état de chlorure, il est abondant dans les eaux marines et forme des gisements de sel gemme.

Carbone. — Le carbone est très rare à l'état de liberté (diamant, graphite). Il est presque toujours soit associé à l'hydrogène, à l'oxygène et même à l'azote dans les combustibles minéraux, les bitumes, les matières charbonneuses d'une foule de roches, soit combiné à l'oxygène pour former l'acide carbonique.

C'est dans les calcaires que se trouve la plus grande quantité d'acide carbonique.

L'atmosphère en contient 4 à 6 dix millièmes en volume, proportion très faible qui correspond pourtant à un poids de carbone évalué à 625.300 trillions de tonnes. On estime généralement que cette proportion devait être autrefois plus élevée; plusieurs géologues admettent qu'avant la période carbonifère, l'atmosphère renfermait de 5 à 6 centièmes d'acide carbonique, qui ont été soustraits par la formation des charbons fossiles. Il est possible cependant que des émanations internes aient fourni une partie de ce gaz à la végétation houillère.

L'intérieur du globe paraît receler en effet des masses considérables d'acide carbonique que rejettent les volcans, les sources thermales, les mofettes.

Enfin le carbone est l'élément essentiel et fondamental du monde organique qui le puise dans l'atmosphère. L'instabilité de ses composés le rend particulièrement favorable aux perpétuelles variations que comportent les phénomènes physiologiques.

Soufre. — Le soufre ne se présente guère à l'état natif que dans les produits volcaniques. Mais cet état n'est pas à beaucoup près le plus fréquent; le soufre se dissimule soit sous forme de chaux sulfatée, hydratée ou anhydre, en gisements importants, soit sous forme de pyrite de fer, substance rare

en masses, mais très disséminée dans des roches variées, en particules parfois très ténues et à peine discernables à l'œil nu. Les minerais de fer renferment souvent du soufre, qui peut devenir un obstacle à leur utilisation parce qu'il rend le métal *rouverin*.

Le soufre joue le rôle de minéralisateur en formant de nombreux sulfures métalliques, exploités comme minerais.

Hydrogène. — L'hydrogène existe surtout dans l'eau, qui en contient 11,13 0/0, et en moins grande quantité dans des matières d'origine végétale, comme les houilles, ou d'origine geysérienne, comme les bitumes, les gaz hydrocarbonés.

Fer. — Le fer est le plus fréquent de tous les métaux usuels. Sans compter les minerais de fer, qui se montrent dans un grand nombre d'étages géologiques, il existe, combiné à l'oxygène, dans presque toutes les roches, sédimentaires aussi bien que cristallines, et les colore plus ou moins fortement en jaune, en brun, en rouge. Cette coloration s'étend souvent à des groupes entiers de couches, qui sont teintées sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, comme les grès bigarrés et les grès des Vosges.

Le fer se présente fréquemment à l'état de carbonate, de silicate, de bisulfure.

Manganèse. — Le manganèse est le fidèle compagnon du fer. Ces deux métaux sont rarement tout à fait isolés.

Chlore. — Le chlore forme quelques chlorures, notamment le chlorure de sodium. Il y a aussi des vapeurs de chlorures et d'acide chlorhydrique dans les émanations gazeuses des volcans.

Fluor. — Le fluor est peu fréquent dans la nature ; néanmoins il est plus répandu qu'on ne le croit généralement. Le fluorure de calcium est le minéral qui en contient le plus ; il entre dans la composition de beaucoup de micas, de la tourmaline, de quelques amphiboles, etc., mais sa proportion n'y dépasse guère quelques centièmes.

C'est un élément essentiellement minéralisateur comme le soufre. Aussi le spath fluor est une substance de filon et les autres minéraux fluorés accompagnent souvent les minerais métalliques.

Azote. — L'azote existe à peu près exclusivement dans l'air, dont il constitue, à l'état de liberté, plus des $\frac{3}{4}$ en volume. Ce corps est en apparence le type de l'inertie et semble n'avoir d'autre but que d'affaiblir l'action trop excitante de l'oxygène sur nos organes. Il ne forme de combinaison que sous l'influence de l'électricité, mais cette combinaison, une fois effectuée, joue un rôle des plus actifs dans la nutrition des plantes.

De même que l'hydrogène, on le constate en petite quantité dans des substances d'origine organique, telles que les combustibles fossiles, ou d'origine volcanique, comme le sel ammoniacal des fumerolles. Il forme aussi quelques nitrates naturels, mais qui n'en retiennent qu'une proportion insignifiante en comparaison de celle que renferme l'atmosphère.

Phosphore. — Le phosphore, l'un des corps les plus essentiels à la vie animale, se présente principalement à l'état de phosphate de chaux. Nous renverrons à ce que nous avons dit précédemment (n° 347) sur sa dissémination dans la nature.

Ces corps simples, à part l'aluminium et le fluor, sont précisément ceux qui sont indispensables à la nutrition des végétaux et qui doivent, à ce titre, entrer dans la composition de la terre arable.

Il est remarquable que l'aluminium, une des substances les plus répandues, ne se retrouve pas dans les cendres des plantes, ou que du moins on ne l'y constate qu'exceptionnellement, comme dans certains lycopodes, et presque toujours en proportions négligeables. Il est de même complètement étranger aux animaux.

Cela peut tenir, d'après Berthier, à ce que l'alumine est insoluble dans l'eau et qu'elle n'a que des affinités très faibles, qui ne lui permettent pas de se combiner avec les acides végétaux en présence de bases fortes comme la chaux, la magnésie, les oxydes de fer et de manganèse.

CINQUIÈME SECTION

FOSSILES

CHAPITRE XI

NOTIONS SOMMAIRES SUR LES FOSSILES

§ I. Classification des fossiles. — § II. Etat des fossiles. — § III. Conséquences des études paléontologiques.

§ I

CLASSIFICATION DES FOSSILES.

504. — D'une manière générale, on donne le nom de *fossile*¹ à tout corps ou tout vestige de corps organisé enfoui et conservé naturellement dans les terrains sédimentaires. C'est à l'aide de ces restes, souvent informes ou défigurés, que l'on peut arriver à reconstituer les êtres anciens dont l'étude fait l'objet d'une science, actuellement très vaste, qui est la *paléontologie*.²

Les animaux et les plantes dont nous retrouvons les restes dans les sédiments appartiennent tous, sauf de rares excep-

1. Du latin *fossilis*, qu'on tire de la terre.

2. Du grec *παλαιός*, ancien ; *ων, οντος*, être ; *λογος*, discours.

tions, à des espèces disparues. Ils rentrent néanmoins dans les cadres des systèmes de classification établis par les zoologistes et les botanistes, si l'on s'en tient au moins aux divisions supérieures telles que les embranchements, les classes et les ordres. Ils viennent pour ainsi dire combler les lacunes qui existent entre les êtres vivants ; ce n'est que quand ils seront tous connus que l'on pourra peut-être saisir le plan de la création.

On a déjà décrit plus de 80.000 espèces éteintes. Elles ne représentent cependant qu'une faible partie des êtres innombrables qui ont peuplé le globe depuis l'époque à laquelle la vie a fait son apparition jusqu'à nos jours. Heureusement pour le géologue, il n'est pas nécessaire de connaître toutes ces espèces ; un nombre assez restreint d'entre elles peut suffire à caractériser les périodes géologiques, et c'est pour cette raison qu'on leur donne le nom de *fossiles caractéristiques*. Lorsque, dans la seconde partie de cet ouvrage, nous ferons l'examen chronologique des formations sédimentaires qui entrent dans la constitution de l'écorce du globe, nous nous attacherons surtout à l'étude de ces fossiles qui, suivant une heureuse expression, sont les *médailles* de l'histoire de la terre.

505. Principes de la classification des êtres organisés. — Rappelons en quelques mots les principes sur lesquels est basée la classification des êtres organisés :

On distingue d'abord deux grandes catégories : le *règne animal* et le *règne végétal*. Les êtres de chaque règne sont répartis entre un certain nombre d'*embranchements* qui présentent entre eux des différences profondes ; puis, en prenant successivement des caractères de moins en moins importants, on divise les embranchements en *classes*, celles-ci en *ordres*, les ordres en *familles*, les familles en *genres*, et enfin les genres en *espèces*.

Au-dessous de l'espèce, il n'y a plus que l'*individu*. Cependant on admet quelquefois une catégorie intermédiaire, la *variété*, qui n'est autre chose que la *race* chez les animaux domestiques et qui n'a pas le même caractère de fixité que l'espèce.

Pour désigner un animal ou une plante, on se sert de deux sortes de noms, le *nom générique*, commun à toutes les espèces d'un même genre et qui correspond au nom de famille chez les hommes, et le *nom spécifique*, qui qualifie l'espèce et correspond au prénom. Pour ces dénominations, on a universellement adopté la langue latine. Souvent on les fait suivre de l'indication du nom ou des initiales du nom du savant qui a le premier décrit cet animal ou cette plante. C'est une indication qui est loin d'être inutile, car, sous prétexte de progrès, chacun se croit autorisé à réviser les déterminations de ses devanciers, et la confusion est devenue telle que certains fossiles possèdent plusieurs appellations distinctes.

Ainsi l'*ours des cavernes*, qui a été décrit par Blum, portera la dénomination suivante : *Ursus spelæus*, Blum. Cet animal appartient au genre *Ours*, à la famille des *Plantigrades*, à l'ordre des *Carnassiers*, à la classe des *Mammifères* et à l'embranchement des *Vertébrés*.

1. RÈGNE ANIMAL.

506. Division en embranchements. — Cuvier divise le règne animal en quatre embranchements, en se fondant surtout sur des caractères tirés du système nerveux : les *Vertébrés*, les *Articulés*, les *Mollusques* et les *Zoophytes*.

Les *Vertébrés* ont un cerveau renfermé dans une boîte osseuse et une moelle épinière contenue dans une série de vertèbres mobiles les unes sur les autres, d'où partent les nerfs. Le système nerveux des *Articulés* est composé de deux cordons régnant le long du corps. Celui des *Mollusques* comprend des masses éparses réunies par des filaments nerveux. Enfin les *Zoophytes* ont un système nerveux tout à fait rudimentaire.

Nous allons passer rapidement en revue ces quatre embranchements, en nous bornant à examiner les caractères que la fossilisation ne fait pas disparaître.

a) *Vertébrés.*

507. — Les vertébrés ont tous un squelette intérieur, symétrique par rapport à un plan médian, qui est destiné à protéger les organes nécessaires à la vie et à servir de point d'appui aux organes spéciaux du mouvement. Ils se subdivisent en deux grandes sections : les *Vertébrés à mammelles*, ou *Vivipares*, et les *Vertébrés ovipares*. La première section ne comprend qu'une classe, celle des *Mammifères*; la seconde renferme quatre classes, les *Oiseaux*, les *Reptiles*, les *Batraciens* et les *Poissons*.

508. Mammifères. — La classe des mammifères est surtout caractérisée, au point de vue ostéologique, par l'articulation directe de la mâchoire inférieure avec le crâne. L'homme appartient à cette classe.

On trouve des ossements de mammifères disséminés dans beaucoup de couches sédimentaires ou accumulés dans des cavernes. Quelquefois, mais plus rarement, on rencontre des squelettes entiers. Les dents sont, de toutes les parties osseuses, celles qui ont le mieux résisté aux agents destructeurs parce que ce sont les plus compactes et les plus riches en phosphate de chaux. Ainsi, dans les faluns de la Touraine, sables calcaires et siliceux que l'on emploie pour l'amendement des terres, il n'est pas rare d'observer des dents parfaitement conservées à côté d'ossements roulés ou presque décomposés. Les défenses d'éléphants se présentent en amas, souvent considérables, dans un grand nombre de régions du globe où on les exploite sous le nom d'*ivoire fossile*.

Presque toujours les parties molles des mammifères ont disparu. Cependant deux espèces éteintes, le *Rhinoceros tichorhinus* ou *Rhinoceros à narines cloisonnées*, et le *Mammoth* ou *Elephas primigenius*, nous offrent des exemples de conservation remarquable. Dans le nord de la Sibérie on a retrouvé, au milieu de blocs de glace, des corps entiers de ces animaux, avec leur chair, leur peau et leurs poils.

Les restes humains fossiles se trouvent dans des cavernes,

des brèches osseuses ou des alluvions, accompagnés souvent d'armes et d'outils.

Les mammifères sont au nombre des êtres qui ont le plus fréquemment échappé à la fossilisation. Il est facile de comprendre qu'il en soit ainsi ; leurs cadavres, gisant à la surface du sol, sont en effet destinés à être dépecés par les animaux carnassiers ; leurs restes, exposés à toutes les intempéries, ne tardent pas à se détruire et à disparaître, et ils ne peuvent se conserver qu'à la condition d'être promptement recouverts de sédiments protecteurs à la suite d'inondations, d'éboulements, etc.

Les mammifères sont les plus récents des êtres organisés et cependant c'est dans cette classe qu'il y a peut-être le plus grand nombre relatif d'espèces éteintes. Cela tient en partie à leur infériorité sous le rapport de la fécondité.

509. Oiseaux. — Les oiseaux sont aisés à reconnaître aux caractères de leur squelette, dont les deux membres inférieurs sont conformés pour la marche et les deux autres pour le vol. Mais leurs débris fossiles sont relativement rares, ce qui doit être attribué sans doute à ce qu'après leur mort ces animaux ne se trouvaient pas dans des conditions favorables pour être entraînés par les eaux et conservés dans les sédiments ; peut-être aussi étaient-ils peu nombreux dans les anciennes périodes géologiques.

On ne trouve pas seulement, d'ailleurs, des os d'oiseaux, qui se signalent par leur grande porosité et leur légèreté, mais aussi des ongles, des plumes, des œufs parfaitement conservés dans leurs formes.

510. Reptiles. — Les reptiles ont une petite tête et un corps très allongé ; leurs membres sont à l'état de vestiges ou manquent quelquefois complètement. Ce sont surtout les os de la tête ou de la colonne vertébrale qui nous ont été conservés.

Plusieurs reptiles de l'ordre des *sauriens*, représenté actuellement par le lézard et le crocodile, nous ont laissé leur squelette entier avec de nombreux coprolithes ; tels sont

l'ichthysaure et le *plésiosaure*. C'étaient des animaux qui vivaient sur le littoral des mers et qui ont été préservés par l'eau de l'action décomposante de l'atmosphère. Si, au lieu de se trouver réunis, leurs membres avaient été dispersés, on n'eût sans doute jamais eu la hardiesse de les reconstituer avec les formes étranges que la nature leur a données.

Les restes fossiles des reptiles sont bien plus abondants que ceux des deux classes précédentes.

511. Batraciens. — Les batraciens, longtemps confondus avec les reptiles, s'en distinguent par les métamorphoses qu'ils subissent dans l'âge embryonnaire et aussi par des caractères ostéologiques tranchés. Ils ont une tête plate et des membres antérieurs souvent plus courts que les postérieurs, comme la grenouille.

Ces animaux sont peu connus à l'état fossile. A titre de curiosité, nous signalerons la salamandre gigantesque, de 1 m. 30 de longueur, découverte en 1725 dans les schistes d'œningen près du lac de Constance, à laquelle Cuvier a donné le nom d'*Andrias Scheuchzeri*. Scheuchzer l'avait décrite sous le nom d'*Homo diluvii testis*, ou homme témoin du déluge, et il en fallut rien moins que l'autorité de Camper et de Cuvier pour démontrer l'erreur qu'il avait commise.

512. Poissons. — Les poissons constituent la classe la plus importantes des vertébrés fossiles ; à eux seuls, ils sont beaucoup plus nombreux que tous les autres vertébrés réunis et on les rencontre dans presque tous les étages géologiques. Cela peut s'expliquer en partie par la supériorité que présentent les espèces inférieures sur les espèces supérieures sous le rapport de la fécondité : les poissons pondent des œufs par centaines de mille, tandis qu'une femelle d'éléphant porte un seul petit pendant vingt mois et l'allaita deux ans.

On divise les poissons en deux catégories, suivant que le squelette est *osseux*, comme dans la majorité des poissons actuels, ou *cartilagineux*, comme chez la raie, la lamproie, etc.

Leur corps, tout d'une venue afin d'offrir moins de résistance à l'eau, est généralement recouvert d'écaillés, qui consistent

le plus souvent en lamelles minces superposées comme des tuiles ; quelquefois ces écailles ont la forme de grains ronds ou d'assez gros tubercules, ou même de plaques osseuses d'une grande épaisseur qui protègent l'animal à la manière d'une cuirasse.

Les poissons osseux se retrouvent fréquemment dans un état de conservation parfaite, avec leur squelette complet et leurs écailles. Les poissons cartilagineux, ne contenant qu'une faible proportion de matière minérale, se prêtent beaucoup moins bien à la fossilisation ; les dents et les écailles sont souvent tout ce qui reste de ces animaux, qui n'ont laissé leurs empreintes que dans des circonstances exceptionnelles.

b) Articulés.

513. — Les articulés ou annelés ont souvent un squelette tégumentaire extérieur et ils sont symétriques par rapport à un plan longitudinal. Leur corps est composé d'un nombre variable de segments ou d'anneaux, articulés en série les uns derrière les autres ou réunis par la peau qui se continue de l'un à l'autre. On les répartit en cinq classes : les *insectes*, les *myriapodes*, les *arachnides*, les *crustacés* et les *vers*.

514. Insectes. — Les insectes, quoique munis presque toujours d'ailes comme les oiseaux, sont cependant bien plus nombreux que ces derniers dans les terrains sédimentaires. Cela tient à ce qu'ils vivent généralement le long de cours d'eau ou de marais, ou même dans l'eau, et à ce que, noyés par des coups de vent ou des orages, ils sont saisis dans la vase où ils résistent assez bien à la décomposition, grâce à la nature cornée de leurs téguments.

En quelques points, comme dans les schistes marneux d'Aix-en-Provence, dans les schistes houillers de Commentry (Allier), il y a une grande abondance de vestiges d'insectes variés. Parmi les insectes des temps primaires, qui étaient déjà élevés en organisation, il en était de gigantesques ; l'un d'eux avait 70 centimètres de largeur, ailes déployées.

Un fait exceptionnel de conservation se montre dans le suc-

cin, résine fossile qui coulait de certains arbres et dans laquelle les insectes venaient se prendre comme dans une glu. Cette résine, que l'on trouve notamment dans les environs de Kœnigsberg, sur les bords de la Baltique, a complètement préservé de l'action destructive de l'atmosphère les corps organisés qu'elle a englobés et, comme elle est transparente, on peut les étudier avec autant de précision que les insectes vivants.

515. Myriapodes, arachnides. — Les myriapodes, animaux à nombreuses pattes comme la scolopendre, et les arachnides, dont l'araignée est le type, sont tous terrestres. Aussi ils n'ont laissé que de très rares débris fossiles, dont la plupart même sont incertains. On croit avoir reconnu des fils d'araignée dans le gisement de succin de Kœnigsberg.

516. Crustacés. — Les crustacés sont représentés actuellement par la langouste, le homard, l'écrevisse, etc. Ces animaux, qui vivent et meurent dans l'eau et dont la carapace présente d'excellentes conditions de conservation à cause de sa teneur élevée en carbonate et phosphate de chaux, sont, de tous les articulés, les plus nombreux à l'état fossile. On en trouve quelquefois des squelettes entiers ; mais le plus souvent leurs restes se bornent à des anneaux séparés ou à des membres. Il est même certaines couches qui renferment une telle quantité de débris de pattes qu'elles en sont caractérisées, comme on le voit dans la craie d'Uchaux (Vaucluse) et dans les sables de Vers (Oise) aux environs de Paris. Sur d'autres points, il y a une si grande abondance de petits *cypris* qu'ils couvrent la surface des couches.

Les *tribobites*, ces animaux si remarquables qui se montrent dans les plus anciennes couches sédimentaires et qui avaient déjà disparu avant la fin de l'ère primaire, appartiennent à la classe des crustacés. Ils offrent une grande richesse de formes et l'on en a décrit plus de 1.600 espèces.

517. Vers. — Les vers, qu'on désigne aussi sous le nom d'*annelides*, ont un corps allongé, vermiforme, divisé en nombreux anneaux. La plupart vivent à l'état nu ; aussi il ne nous

ont transmis que de rares empreintes dans des roches à grain fin. D'autres sont protégés par un tube calcaire ou membraneux, fortifié par des grains de sable et divers autres débris, qui nous est parfois resté, mais qui ne peut donner aucune idée exacte de l'organisation interne de l'animal. Une espèce de ver tubicole, le *Spirorbis helicteras*, s'est multipliée tellement que l'agrégation de ses tubes a formé des bancs calcaires de plus d'un mètre d'épaisseur.

c) *Mollusques.*

518. — Les mollusques n'ont pas de squelette. Leur corps est complètement mou et recouvert d'une peau flexible et contractile, portant le nom de *manteau*, dans laquelle ou sur laquelle se trouvent presque toujours des plaques cornées ou calcaires, qui s'appellent des *coquilles*.

Le plus souvent la coquille est externe ; elle peut être d'une seule pièce, et alors elle est dite *univalve* ; ou bien se diviser en deux, très rarement en plusieurs parties distinctes, et on la dit *bivalve* ou *multivalve*. Elle a pour but de protéger l'animal, comme le ferait un bouclier, et de lui servir de point d'appui. C'est en effet sur sa paroi interne que s'appuient les muscles ; dans les coquilles bivalves, les marques d'impression de ces muscles sont plus ou moins apparentes et on les désigne sous le nom d'*impressions musculaires*, pour les distinguer des traces que laissent les bords du manteau et qu'on nomme *impressions palléales*.

Quand la coquille est interne, elle contribue, comme un vrai squelette, à soutenir les parties molles.

On a décrit un nombre immense de mollusques, tant à l'état fossile qu'à l'état vivant, et ces animaux constituent l'embranchement le mieux représenté dans les terrains sédimentaires. Ils sont à eux seuls trois à quatre fois plus nombreux que tous les autres animaux fossiles réunis.

On ne connaît guère les mollusques des anciennes époques géologiques que par leurs coquilles. On ne peut citer que de très rares exemples de conservation intégrale ; ainsi les bélemnites de Christian-Malford (Angleterre), les sepias de Solenho-

fen (Bavière), montrent l'empreinte complète de l'animal avec une partie des fibres musculaires du corps, des nageoires et des bras.

Cependant, comme la coquille est le produit d'une sécrétion déposée sur le manteau et que par suite tous ses points internes recouvrent l'être qui la porte, ou même y adhèrent, elle est certainement une partie intégrante de l'animal. Elle doit donc, dans certaines limites, reproduire extérieurement ou intérieurement les formes de cet animal et ses caractères organiques.

D'après des considérations sur lesquelles il nous est impossible de nous arrêter ici, on divise les mollusques en six classes : les *céphalopodes*, les *gastéropodes*, les *acéphales*, les *brachiopodes*, les *tuniciens* et les *bryozoaires*. Les tuniciens, ainsi nommés parce qu'ils sont enveloppés d'une sorte de grand manteau ou de tube ouvert à ses deux bouts, sont inconnus à l'état fossile.

519. Céphalopodes. — Les céphalopodes,¹ dont on peut se faire une idée par le poulpe, le nautilus, le calmar, ont un corps en forme de sac, d'où sort une tête couronnée de longs tentacules qui leur servent de pieds ou de bras. Ils vivent dans la mer et nagent la tête en arrière.

On trouve des débris fossiles de céphalopodes dans tous les terrains sédimentaires ; l'un d'eux, le nautilus, a traversé toutes les époques géologiques pour se continuer dans les mers actuelles. C'est d'ailleurs une classe dont l'importance a été constamment en diminuant, de telle sorte que son maximum de développement correspond à l'ère primaire.

La coquille de ces animaux est tantôt interne et tantôt externe ; elle est ordinairement droite ou enroulée suivant un plan vertical. Elle ne constitue pas toujours le seul débris susceptible de se fossiliser ; la bouche en effet est armée d'un bec, formé de deux mandibules cornées ou calcaires, qui ressemble beaucoup au bec d'un oiseau.

Les *ammonites*, qui ont apparu dès le début de l'ère secondaire et qui ont pris fin avec elle, constituent l'une des

1. Κεφαλή, tête ; πους, ποδος, pied.

familles les plus intéressantes des céphalopodes, à cause des secours qu'elles apportent à la stratigraphie. Leur coquille, régulièrement enroulée, est divisée en loges séparées par des cloisons que traverse un siphon.

Les *bélemnites*, qui appartiennent également à l'ère secondaire, ont une coquille interne de forme conique qui ressemble au rostre de la seiche.

Citons encore, parmi les animaux de cette classe, les *orthocères*, les *goniatites*, les *turritiles*, etc.

520. Gastéropodes. — La classe des gastéropodes comprend de nombreux mollusques dont la limace et le colimaçon nous offrent le type. Ils rampent à l'aide d'un pied en forme de disque charnu placé sous le ventre ; d'où leur vient leur nom¹.

Quelques-uns sont nus, comme la limace ; la plupart ont une coquille, ordinairement spirale et d'une seule pièce, plus rarement tubuleuse ou conique. En général, cette coquille est petite, fragile, et plus simple de forme que celle des céphalopodes.

Plusieurs gastéropodes sont terrestres, mais le plus grand nombre est aquatique. C'est dans l'ère tertiaire et à l'époque actuelle que ces animaux ont leur plus grande extension.

Les principaux genres sont les *helix*, les *lymnées*, les *physes*, les *cyclostomes*, les *mélanies*, les *turritelles*, les *nérinées*, les *natices*, les *pleurotomaires*, les *volutes*, les *fusus*, les *cérithes*, etc.

521. Acéphales. — Les acéphales² n'ont pas de tête distincte ni de bras. Ils sont aquatiques et n'exercent la locomotion que d'une manière incomplète. Ils se cachent dans le sable ou la vase, ou bien se fixent aux rochers avec lesquels leur coquille finit par faire corps.

La coquille des acéphales, ordinairement bivalve, se ferme à l'aide d'une charnière et le plan médian de l'animal correspond au plan de séparation des valves, en sorte qu'il y a une

1. Γαστήρ, ventre.

2. A privatif ; χεφαλή, tête.

valve droite et une *valve gauche*. Tantôt elle est symétrique, tantôt elle est dissymétrique. L'huître est un des meilleurs types d'acéphale à coquille dissymétrique.

On désigne aussi les mollusques de cette classe sous le nom de *lamellibranches*, parce que leur respiration se fait à l'aide de branchies qui ont la forme de grands feuillettes.

En dehors des huîtres ou *ostrea*, nous mentionnerons les *pholadomyes*, les *panopées*, les *cardites*, les *trigones*, les *cardium*, les *unio*, les *nucules*, les *pecten* ou *peignes*, les *plicatules*, etc.

522. Brachiopodes. — Les brachiopodes¹, de même que les acéphales, n'ont pas de tête distincte ; au lieu de pieds, ils possèdent deux bras charnus qu'ils peuvent faire sortir pour saisir les objets à leur portée. Ils sont essentiellement aquatiques et presque tous marins ; ils ne sont pourvus d'aucun moyen de locomotion et ne peuvent changer de place.

Leur coquille, généralement résistante malgré son peu d'épaisseur, se compose de deux valves inégales, dont l'une est percée par le muscle. Sa symétrie diffère complètement de celle de la coquille des acéphales ; elle est disposée de façon que le plan médian de l'animal coupe chaque valve en son milieu, en sorte qu'il y a une *valve ventrale* et une *valve dorsale*. Il en résulte que le caractère normal des coquilles des acéphales est d'être ordinairement *équivalves* et presque toujours *inéquilatérales*, tandis que celles des brachiopodes ne sont jamais *équivalves* et sont toujours *équilatérales*.

Les brachiopodes ont eu leur règne dans l'ère primaire ; c'est alors qu'ils ont atteint leur plus grande taille et leurs formes n'ont pas été égalées dans les âges suivants.

Les *lingules* et les *térébratules*, qui ont traversé plusieurs périodes géologiques et vivent encore de nos jours, appartiennent à la classe des brachiopodes. Nous citerons encore, au nombre des genres les plus importants, les *productus*, les *leptaena*, les *orthis*, les *calcéoles*, les *rhynchonelles*, les *spirifer*, etc.

1. Βραχίον, bras.

523. Bryozoaires. — Les bryozoaires ¹ ressemblent beaucoup aux polypiers avec lesquels on les confondait autrefois. Comme eux, ils se groupent et s'agrègent en sécrétant du calcaire; mais ils se distinguent par leur organisation plus complexe qui les rapproche des mollusques.

d) Zoophytes.

524. — Les zoophytes ² ont une symétrie qui consiste le plus souvent en un rayonnement disposé d'après le nombre cinq ou six; ce qui leur a valu aussi le nom de *rayonnés*. On distingue les *zoophytes rayonnés*, contenant les classes des *échinodermes*, des *acalèphes* et des *polypiers*, et les *zoophytes globuleux* ou *protozoaires*, renfermant les classes des *foraminifères*, des *infusoires* et des *spongiaires*.

Ces animaux, qui ont laissé d'abondants débris dans les terrains stratifiés, ont contribué pour une large part à la formation de l'écorce du globe.

525. Échinodermes. — Les échinodermes ³ sont des animaux à enveloppe tégumentaire testacée, quelquefois couverte d'épines, et tantôt libres, tantôt fixés au sol. Dans le premier cas, ils rampent à l'aide de tentacules qu'ils passent au travers des pores de leur enveloppe; tels sont les *oursins*, les *astéries* ou *étoiles de mer*. Dans le second cas, ils sont portés par un pédoncule testacé flexible, comme la plupart des *encrines*, remarquables par l'élégance de leurs formes.

Les encrines sont formées d'une quantité innombrable de petites pièces testacées très dures, dont l'accumulation en certains points a donné naissance à cette sorte de roche calcaire que nous avons décrite sous le nom de *calcaire à entroques* (n° 479).

526. Acalèphes. — Les acalèphes ⁴, représentés actuelle-

1. Βουω, je crois; ζωον, animal.
2. Ζωον, animal; φυτον, plante.
3. Εχίνοσ, hérisson; δερμα, peau.
4. Ακαλληρη, ortie.

ment par les *actinies* ou *orties de mer*, les *méduses*, ont un corps mou sans peau distincte. Ils n'ont encore montré jusqu'à présent que peu de traces à l'état fossile, en Scandinavie et en Bavière.

527. Polypiers.— Les polypiers¹ sont ainsi nommés parce qu'ils ont autour de la bouche de nombreux tentacules radiés que les anciens prenaient pour des pieds. Ce sont des animaux sédentaires, presque tous marins, rarement fluviaux, qui vivent presque toujours d'une vie commune, agrégés et comme soudés les uns aux autres. Ils sécrètent en commun une matière solide, composée à peu près entièrement de carbonate de chaux avec 2 à 3 centièmes de substance animale, et ils ont ainsi formé, dans les anciennes périodes géologiques, des masses comparables aux récifs coralliens de l'Océan Pacifique.

On trouve aussi de nombreuses variétés de polypiers isolés, parfois dans un bel état de conservation ou seulement transformés.

528. Foraminifères. — Ces animaux, généralement microscopiques ou au moins de très petite taille, ont une enveloppe percée de petits trous, à travers lesquels ils passent de nombreux filaments contractiles² servant à la reptation et à la préhension. C'est cette particularité, que l'on trouve d'ailleurs aussi chez les oursins, qui leur a fait donner leur nom³. Ils ont joué un rôle immense dans les anciennes époques géologiques; des couches très épaisses sont formées de ces petits animaux, dont la coquille externe est restée généralement bien intacte et seulement transformée.

Parmi les foraminifères les plus connus, nous citerons les *nummulites*³, ainsi nommées à cause de leur ressemblance avec nos pièces de monnaie. Les pyramides d'Égypte sont bâties avec du calcaire nummulitique, contenant en grande

1. Πολυς, nombreux; πους, pied.

2. Du latin *foramen*, trou; *fero*, je porte.

3. De *nummus*, monnaie.

abondance des coquilles de nummulites, dont quelques-unes, détachées de la roche, sont éparses sur le sol; c'est ce qui avait fait croire aux anciens qu'elles étaient les restes pétrifiés des lentilles dont se nourrissaient les Hébreux employés à la construction de ces monuments.

529. Infusoires. — Les infusoires sont ainsi nommés parce que les premiers qu'on a pu étudier provenaient d'eaux stagnantes ou corrompues, sortes d'infusions de matières végétales en décomposition. On a pendant longtemps compris dans cette classe des êtres appartenant au règne végétal et qui, ainsi qu'on l'a reconnu dans ces derniers temps, ne sont autre chose que de petites algues, auxquelles on donne le nom de *diatomées*; la limite n'est d'ailleurs pas toujours bien nette, d'autant plus que, dans la nature actuelle, les diatomées, aussi bien que les infusoires animaux, jouissent de la faculté du mouvement spontané.

Ces animaux, plus petits encore que les foraminifères, ont souvent une carapace siliceuse dont l'accumulation peut former des couches puissantes.

530. Spongiaires. — Les spongiaires, ou éponges, sont des êtres sans apparence de mouvement, à peu près dépourvus de sensibilité, dont le corps gélatineux est composé de granules entourés de mucus et soutenu par un squelette corné ou pierreux. Ils se présentent sous l'aspect de vases, de cornets, de globes, d'éventails, etc., et ils nous ont été parfois bien conservés dans leurs formes, grâce à leur transformation en silice ou en carbonate de chaux.

531. Bathybius. — Dans ces derniers temps, on avait cru reconnaître dans l'eau de mer recueillie à plus de 4.000 mètres de profondeur un être d'une organisation encore plus élémentaire que celle des spongiaires. C'était une matière floconneuse, mêlée de parcelles calcaires ou siliceuses d'origine organique, et agitée de mouvements. Quelques savants allemands s'imaginèrent que cette gelée informe était douée d'une sorte de vie diffuse et qu'elle représentait le premier essai d'organisation,

le passage pour ainsi dire de la nature minérale à la nature animale; on lui donna le nom de *Bathybius*¹, ou être vivant des profondeurs, et on admit qu'elle tapissait uniformément le fond des mers.

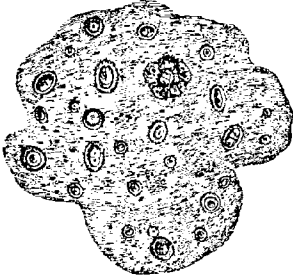


Fig. 186. *Bathybius Haeckelii*.

Lors de l'expédition du *Challenger*, ce navire anglais qui a fait des études si intéressantes sur la vie dans les grandes profondeurs de la mer, M. Buchanan a démontré l'erreur singulière dans laquelle on était tombé, et, à peine apparu dans la science, le *Bathybius* a été rayé du nombre des êtres vivants. Ce prétendu animal n'est pas autre chose en effet qu'un précipité gélatineux de sulfate de chaux, formé à la faveur de l'alcool que l'on avait introduit dans les bocaux pour conserver l'eau de mer; quant aux parties solides intercalées dans la gelée, elles proviennent d'algues élémentaires qui vivent près de la surface de l'Océan.

2. RÈGNE VÉGÉTAL.

532. Embranchements. — On s'accorde généralement à diviser le règne végétal en trois embranchements fondés sur le nombre ou l'absence des *cotylédons*², petits lobes charnus qui, dans l'embryon, enveloppent la radicule et la *gemmule* et qui servent à nourrir la plante naissante.

Le premier est celui des *acotylédones*, qui comprend des plantes inférieures dépourvues de cotylédon. Les *monocotylédones* sont des plantes à un seul cotylédon, et les *dicotylédones*, à deux, rarement à un plus grand nombre de cotylédons.

On donne aussi aux acotylédones le nom de *cryptogames*,³

1. De *βαθυς*, profond, et *βιος*, vie.
2. *Κοτυληδων*, écuelle.
3. *Κρυπτος*, caché; *γαμος*, mariage.

parce qu'elles n'ont que des organes sexuels cachés ou peu apparents, sans étamines ni pistils, tandis que les monocotylédones et les dicotylédones reçoivent le nom commun de *phanérogames*,¹ ou végétaux à fleur visible.

Ce n'est qu'exceptionnellement que la nature ancienne nous offre des plantes tout entières, comme dans le succin de Kœnigsherg ou les marnes d'Aix-en-Provence. Le plus fréquemment on ne retrouve que des empreintes de feuilles, parfois d'une admirable netteté, accompagnées d'un peu de matière charbonneuse qui représente le tissu primitif. Des troncs d'arbres, des racines qu'on a été longtemps à rapporter à la tige qui les continuait et qu'on prenait pour des végétaux distincts, gisent assez souvent au milieu des couches sédimentaires. Les fruits, les graines et surtout les fleurs, sont bien plus rares.

533. Acotylédones. — Les acotylédones se divisent en deux classes, les *amphigènes*² et les *acrogènes*.³ Dans les amphigènes, représentées actuellement par les lichens, les champignons, les algues, l'accroissement se fait dans tous les sens, et elles sont en général constituées uniquement par du tissu cellulaire. Les acrogènes, qui croissent seulement par le sommet, ont un axe distinct et souvent de véritables feuilles ; telles sont les fougères, les lycopodiacées, les mousses.

C'est à l'embranchement des acotylédones qu'appartiennent les plantes les plus anciennes. On a constaté des traces d'algues, parfois problématiques à la vérité, jusque dans les premiers sédiments de l'ère primaire. Les empreintes de feuilles de fougères abondent, avec d'autres restes de cryptogames, à l'époque houillère, si remarquable par l'exubérance de sa végétation.

534. Monocotylédones. — Les monocotylédones ont une tige herbacée dans nos climats, connue sous le nom de *chaume* chez les graminées, tandis qu'elle est souvent ligneuse sous

1. Φανερός, visible.

2. Αμφι, autour ; γενεα, naissance.

3. Ακρος, sommet.

les climats tropicaux, comme la *stipe* des palmiers. Cette tige n'est pas séparable en deux zones distinctes ; elle ne s'accroît pas par des couches concentriques et sa solidité diminue de la circonférence au centre.

Les monocotylédones ne remontent pas plus haut que la fin de l'ère secondaire. Il ne semble y avoir, parmi les espèces fossiles de cet embranchement, que peu de formes qui n'aient leurs analogues dans la flore actuelle.

535. Dicotylédones. — Les dicotylédones ont une tige séparable en deux parties, l'écorce et le ligneux, qui s'accroissent par couches concentriques dont la solidité va en augmentant de la circonférence au centre pour la seconde.

On les divise en deux classes : les *gymnospermes*¹, plantes à graine nue, comme les conifères et les cycadées, et les *angiospermes*², dont la graine est renfermée dans le fruit. Cette seconde classe est la plus importante, non seulement des dicotylédones, mais de tout le règne végétal, car elle comprend à elle seule plus des trois quarts des plantes connues.

Les gymnospermes ne paraissent pas remonter plus haut que la période carbonifère, c'est-à-dire vers le milieu de l'ère primaire ; mais les angiospermes ne se sont montrées que bien plus tard encore, un peu avant la fin de l'ère secondaire, et elles se sont dès lors multipliées avec une grande rapidité.

§ II

ÉTAT DES FOSSILES.

536. Parties des corps organisés qui se fossilisent. — Les animaux comprennent des parties molles, formant des tissus ou la substance vivante proprement dite, et des parties dures ; les premières ont presque toujours été décomposées et elles ont fourni fréquemment la matière bitumineuse qui im-

1. Γυμνος, nu ; σπέρμα, graine.

2. Άγκίστιον, capsule.

prègne certaines roches et leur donne, quand on les casse, une odeur fétide.

On peut citer cependant des cas où, grâce à des circonstances particulières, le corps de l'animal nous a été légué en tout ou en partie. Tels sont les mammouths enfermés dans les blocs de glace de la Sibérie, les insectes du succin de Kœnigsberg, les poissons et les insectes des marnes d'Aix en Provence où on retrouve tous les organes extérieurs de ces animaux. Tels sont encore les céphalopodes qui nous ont laissé complètement intacte leur *poche à encre*, contenant cette matière brun noirâtre que les aquarellistes emploient sous le nom de *sepia*, et on a pu peindre avec cette couleur, fabriquée à une date dont l'imagination se refuse à supputer l'éloignement. Mais ce sont là des exceptions.

Quant aux parties solides des animaux, dont les éléments sont pour la plupart empruntés à la nature inorganique, elles ont beaucoup mieux résisté à la destruction et nous en possédons de nombreux spécimens, soit à peu près avec leur composition originaire, ce qui arrive surtout chez les êtres les moins anciens, soit plus ou moins modifiés par le phénomène de la fossilisation. Ce sont les os et les dents des mammifères et des reptiles, les cornes des cerfs, les arêtes et les écailles des poissons, les œufs des oiseaux, les carapaces des crustacés, les coquilles des mollusques, les becs des céphalopodes, les piquants des oursins, les articulations des encrines, etc. Les plumes, les crins, les poils, les ongles, qui renferment une forte proportion de matière animale, se sont moins bien conservés ; aussi sont-ils extrêmement rares.

Au contraire des animaux, les plantes ont souvent gardé leur substance organique, modifiée à la vérité par des actions diverses, et c'est ainsi qu'elles ont formé ces immenses dépôts de combustibles fossiles qu'on exploite au grand profit de l'industrie.

Quoiqu'il en soit, on peut dire que nous n'avons guère à notre disposition, pour reconstituer les êtres disparus, que des fragments plus ou moins complets de leur corps. Il faut alors invoquer la *loi de la corrélation*. Comme une sorte de dépendance mutuelle existe entre tous les organes, on peut, d'après

la forme particulière et la position de l'un d'eux, ou même simplement d'après ses débris, deviner souvent la structure des autres organes. Cuvier, l'un des plus illustres fondateurs de la paléontologie moderne, est parvenu, à l'aide d'os isolés ou de dents, à établir avec précision les formes des mammifères éteints des terrains tertiaires de Paris.

Mais ce principe ne doit être appliqué qu'avec la plus grande circonspection. Des exemples récents ont montré quelles erreurs on peut commettre, quand on prétend interpréter la structure d'un animal en se servant simplement de quelques fragments de son corps.

537. Fossilisation par altération. — Il est rare que la composition primitive des parties dures des animaux se soit maintenue. Ainsi le sable d'Anvers, les sables de Beauchamp (Oise), les calcaires grossiers de Grignon (Seine-et-Oise), nous présentent une grande variété de coquilles qui, au premier abord, semblent aussi bien conservées que celles que nous voyons sur les plages de nos mers. Mais il est facile de remarquer qu'elles ont subi un commencement d'altération, dû surtout à la disparition d'une partie de leur matière organique. Elle n'ont plus l'éclat, les vives couleurs, la compacité des coquilles vivantes ; elles happent à la langue.

Ces coquilles ont subi la *fossilisation par altération*. Lorsque l'altération a été poussée assez loin pour que la substance organique ait complètement disparu, elles perdent toute solidité et deviennent friables. Tel est le cas des coquilles des sables de Châlons-sur-Vesle, près de Reims, qui se réduisent en poussière dès qu'on les touche et qu'on ne peut conserver qu'en les silicatisant au moyen d'une dissolution de silicate alcalin, par un procédé analogue à celui qu'a indiqué Kuhlmann pour le durcissement des pierres calcaires tendres.

Dans les argiles, les coquilles se conservent généralement beaucoup mieux que dans les roches sableuses, à cause de la compacité de la matière englobante qui les a mieux soustraites à l'action décomposante de l'atmosphère. Ainsi, au milieu de l'argile du gault de Machéroménil et de Vieil-Saint-Remy (Ardennes), célèbre par ses magnifiques gisements de fossiles, on

retrouve souvent des coquilles d'ammonites avec leur test irisé et nacré.

Les os subissent les mêmes phénomènes d'altération que les coquilles. La matière organique, qui entre dans leur constitution pour une proportion de 33 0/0, disparaît en grande partie ; ils deviennent par là même poreux et friables, et cela d'autant plus en général qu'ils sont plus anciens.

538. Fossilisation par transformation chimique. —

Le plus souvent, ce n'est pas par simple altération ou enlèvement de la substance organique que s'est faite la fossilisation. L'animal a été modifié profondément dans sa composition chimique et il a été plus ou moins complètement remplacé par des matières minérales étrangères, telles que le carbonate de chaux, la silice, la pyrite de fer, le phosphate de chaux, l'oxyde de fer, etc. Le corps organisé a été pour ainsi dire pétrifié, et c'est bien à ce genre de fossiles qu'on peut donner avec justesse le nom de *pétrification*, étendu souvent à tort à tous les restes d'espèces éteintes indistinctement.

Cette substitution d'une substance nouvelle à la matière constituante de l'animal s'est faite généralement par voie de concentration moléculaire. Certains éléments minéraux, disséminés dans les sédiments encore mous, ou bien formés par voie de réaction chimique entre la matière animale et les roches encaissantes, sont venus se réunir sur le fossile dont ils ont déplacé les molécules, comme on voit le chlorure de sodium mêlé intimement à l'argile se concentrer çà et là en cristaux dans la masse.

Dans la craie, par exemple, la silice, qui primitivement était mêlée intimement à la roche, a fréquemment pétrifié des spongiaires, des oursins, des coquilles, pour les transformer en silex. Dans l'argile du gault, des mollusques et des morceaux de bois se sont complètement phosphatisés.

L'agent pétrificateur a quelquefois été amené par des sources, et surtout des sources chargées de silicates alcalins, comme les geysers. Au contact de la matière végétale, il se produit un humate alcalin et la silice, mise en liberté, se substitue moléculairement à elle. Un exemple remarquable de silicification

par ce procédé nous est offert par les noyaux siliceux que l'on trouve à la surface du sol dans le bassin houiller de Saint-Etienne ; en taillant ces noyaux pour les réduire en lames minces et les étudier au microscope, on a reconnu qu'ils sont composés de feuilles, de fleurs, de fruits, transformés en silice et dont l'organisation s'est maintenue jusque dans ses détails les plus délicats.

539. Fossilisation par incrustation. — La matière fossilisante n'agit pas toujours par voie de substitution moléculaire et elle peut se contenter d'encroûter les corps organisés. C'est ainsi que la source Saint-Allyre, à Clermont-Ferrand, incruste tous les objets qui y sont plongés, comme des fleurs, des fruits, des nids d'oiseaux ; on n'a plus alors une pétrification comme dans le mode précédent. C'est ainsi également que le carbonate de chaux se dépose sur les organes des végétaux en formant des tufs et des travertins (n^o 87).

Dans le terrain houiller, des poissons ou des têtes de reptiles ont souvent servi de centre d'attraction au carbonate de fer, qui les a englobés en donnant ces masses arrondies, connues sous le nom de *sphérosidérites*¹, ou vulgairement de *cloches*, et qui, se détachant inopinément du toit des couches de houille, sont si dangereuses pour la vie des mineurs. De même, dans les argiles du lias de Normandie, se trouvent de grosses concrétions calcaires appelées *miches*, dont chacune enveloppe un poisson ou un céphalopode, généralement bien conservé.

Si plus tard la matière organique a disparu, il reste une cavité qui porte sur ses parois internes les détails de l'organisation extérieure de l'être qui a été incrusté. En examinant avec attention le travertin de Sézanne (Marne), M. Munier-Chalmas y remarqua une foule de vides, de formes capricieuses, dans lesquelles il eut l'idée du couler du plâtre, après quoi il fit dissoudre la roche dans l'acide chlorhydrique. Le plâtre, restant seul, reproduisit la forme extérieure de ces vides, et l'habile paléontologiste put ainsi reconstituer un petit crustacé, jusque dans ses parties les plus ténues, un in-

1. Σφαιροσίδηρος, fer.

secte ressemblant beaucoup à la punaise, une plante qui portait des boutons, des fleurs et des fruits. Ce procédé est, comme on voit, une imitation de celui qui est bien connu des fondeurs sous le nom de *fonte à moule perdu*.

540. Fossilisation par pénétration. — Les corps organiques dont l'enveloppe est munie d'une ouverture présentant une entrée facile aux matières des sédiments environnants peuvent se remplir par voie d'introduction mécanique. Avec la plupart des mollusques dont le test est assez résistant, on obtient ainsi un noyau de remplissage, qui est le *moule intérieur* de la coquille.

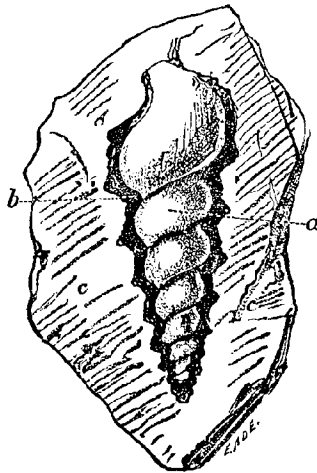


Fig. 187. — Moules de cérithes. — *a*, moule intérieur; *b*, vide laissé par la coquille disparue; *c*, moule extérieur.

Il peut arriver que la coquille ait été ensuite dissoute, par des eaux chargées d'acide carbonique ou par tout autre cause, et alors on a en outre son *moule extérieur*, comme dans le calcaire de Sézanne. Dans le calcaire grossier des environs de Paris, on remarque souvent ces deux moules provenant de fossiles disparus, qui ne sont autre chose que des *cérithes*, gastéropodes à coquille conique et turriculée (fig. 187).

Quand les matières minérales sont d'une ténuité extrême ou même à l'état de dissolution, elles pénètrent dans les vides des fossiles, mais sans s'y arrêter et en filtrant en quelque sorte à travers leur masse. Ainsi on rencontre parfois des ammonites dont la dernière loge, communiquant directement avec l'extérieur, se trouve remplie par la pâte plus ou moins grossière qui forme la couche sédimentaire où elles ont été déposées, tandis que les autres loges contiennent une pâte fine, ou sont même seulement tapissées de cristaux. Cette dernière loge a subi la pénétration par voie mécanique ; les autres ont été pénétrées par voie moléculaire.

Les procédés de fossilisation que nous venons de décrire sont d'ailleurs loin de s'exclure. Ils ont presque toujours exercé leur action successivement, de telle sorte qu'après l'altération, qui est le commencement de la fossilisation, sont venues l'incrustation, la pénétration mécanique ou moléculaire, puis la conversion chimique.

541. Fossilisation spéciale des végétaux. — Dans bien des cas, les plantes se sont fossilisées de la même manière et dans les mêmes conditions que les animaux. Mais à l'inverse de ce qui arrive pour ces derniers, elles nous ont souvent transmis leur matière organique sous forme de dépôts de combustibles minéraux, tourbe, lignite, houille, anthracite, dont la composition est en rapport avec l'ancienneté. Ces dépôts, qui peuvent être d'une étendue immense, sont dus à un procédé spécial de fossilisation qui, en raison de ses conséquences industrielles, mérite de nous arrêter quelques instants.

Nous avons déjà expliqué (n° 88) comment se forme la tourbe. Les choses se passant sous nos yeux, il était facile de se rendre un compte exact, jusque dans leurs moindres détails, des circonstances qui accompagnent le phénomène du tourbage. Il n'en est pas de même pour la formation de la houille, et peu de problèmes ont donné lieu à autant d'hypothèses. Nous ne pouvons les examiner toutes ici ; il nous suffira d'indiquer les trois principales.

On a d'abord émis l'idée que de vastes radeaux, analogues

à ceux que charrie encore le Mississipi, avaient été entraînés par des fleuves ou des courants et entassés sur certains points, où ils se sont progressivement transformés en charbon. Ce système est peu compatible avec la grande régularité des couches de houille dans la plupart des bassins ; il oblige d'ailleurs à donner aux radeaux des épaisseurs inadmissibles, car, ainsi que l'a montré Elie de Beaumont, pour obtenir une couche de charbon d'un mètre de puissance, il faudrait un amas de bois de plus de 26 mètres de hauteur.

Une seconde théorie, qui a été longtemps en faveur, consiste à attribuer à la houille une origine semblable à celle de la tourbe, en admettant qu'elle est le résultat de l'accumulation de végétaux qui se renouvelaient sans cesse et se décomposaient lentement. On se fondait sur les traces de racines qu'on trouve souvent en abondance dans les argiles inférieures aux couches de houille, sur les troncs d'arbres debout qui traversent les bassins houillers, sur des exemples de végétations observés dans les lagunes des régions équatoriales, qui ont produit de véritables amas de combustibles. On arrivait ainsi à assigner à la formation de chaque couche houillère une durée considérable, puisqu'un hectare de haute futaie ne donnerait pas, suivant les calculs d'Elie de Beaumont, plus d'un centimètre d'épaisseur de combustible uniformément réparti sur cette surface.

D'après des travaux récents, et notamment ceux de MM. Grand'Eury et Fayol, ce n'est pas ainsi que la houille aurait pris naissance.

Quand on examine cette substance avec attention, on remarque en effet qu'elle a une structure organisée et qu'elle est constituée par des résidus végétaux posés à plat, tels que des fragments de troncs, d'écorces, de tiges et de rameaux et des lambeaux de feuilles ; de plus, ces débris appartiennent à des plantes vivantes dans l'air et non à des plantes aquatiques, comme la plupart de celles qui se développent dans les marais tourbeux actuels. Il a donc fallu que les matériaux constitutifs de la houille fussent charriés, mais ce charriage ne s'est pas fait par radeaux, comme dans la première des deux théories précédentes ; l'eau courante emportait les débris végétaux qui

tombaient sur le sol et allait les porter dans les lagunes ou les lacs intérieurs, à une distance qui ne devait pas être considérable, si l'on s'en rapporte au bon état de conservation de la plupart de ces fragments.

La présence de tiges dressées, que l'on invoque comme un argument décisif en faveur de la théorie du tourbage, n'est nullement en opposition avec cette manière de voir. Il convient, en effet, de remarquer que ces tiges ne se montrent jamais dans la houille elle-même, mais toujours dans les grès ou les schistes qui l'encaissent. Or, il est possible que des végétaux aient poussé dans les sédiments qui recouvraient le combustible minéral ; de plus, la position verticale n'implique pas nécessairement le développement sur place, car on sait que des arbres entraînés par des courants peuvent conserver longtemps cette position et être, par suite, enfouis dans la vase sans s'en dé ranger. Enfin, il y a en réalité beaucoup plus de troncs couchés que de troncs debout.

La houille serait donc ainsi un dépôt sédimentaire, tout comme les argiles, les calcaires, les grès. Les restes de la végétation exubérante qui croissait sur les bords des lagunes ou des lacs, entraînés pêle-mêle avec des galets, des graviers et des vases, arrivaient dans l'eau tranquille, où toutes ces matières se séparaient suivant leurs densités. Les galets et les graviers se déposaient à peu de distance des bords, tandis que les vases allaient plus loin et que les fragments organiques s'étalaient à leur pied. A chaque irruption se reproduisaient les mêmes faits et, si l'on songe que le fond du bassin qui recevait ces sédiments pouvait s'affaisser plus ou moins, on s'explique la grande puissance qu'atteignent certaines formations houillères.

Ces produits végétaux ont d'abord subi sous l'eau une sorte de fermentation qui a en partie désorganisé les tissus, puis, sous l'influence de la pression et de la chaleur, ils se sont transformés en combustibles variés. La nature des espèces végétales a dû elle-même jouer un rôle dans la composition du charbon minéral qu'elles ont formé.

542. Empreintes et vestiges physiologiques. — Les

êtres organisés ne nous ont souvent laissé, comme nous venons de le dire, que des empreintes de leur corps. Les empreintes des mollusques sont généralement assez nettes ; cependant, quand le moule extérieur et le moule intérieur d'une coquille se trouvent séparés dans une même roche, il faut parfois une grande attention pour ne pas être tenté de les rapporter à des animaux distincts.



Fig. 188. *Monograptus priodon*.



Fig. 189. *Monograptus turriculatus*.

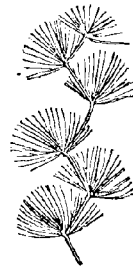


Fig. 190. *Oldhamia antiqua*.

En dehors des mollusques, les empreintes physiologiques se remarquent surtout dans les fossiles plats susceptibles d'être écrasés par la pression ou de s'intercaler entre les strates, comme les graptolites, dont les empreintes ressemblent à des coups de crayon (fig. 188 et 189), les algues (fig. 190), les feuilles des végétaux, les poissons (fig. 191), etc.

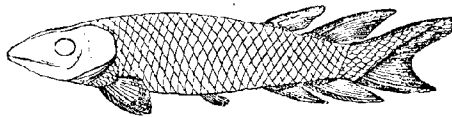


Fig. 191. — Poisson ganoïde

Souvent nous ne possédons, de plusieurs animaux éteints, que des traces bien plus vagues. Il est arrivé que des êtres organisés ont témoigné de leur existence dans certaines périodes géologiques par les vestiges de leur activité, qu'ils ont imprimés sur les roches en traits ineffaçables.

Les plus curieux de ces vestiges sont les pistes de reptiles ou d'oiseaux que l'on remarque sur des grès à grain fin de la période du trias (fig. 192).

On peut ranger dans la même catégorie les trous dus à des coquilles perforantes, comme les mollusques lithophages qui se sont attaqué aux calcaires et les tarets qui ont creusé le bois (fig. 193). On a quelquefois l'heureuse chance de retrouver au fond du trou la coquille perforante.

L'homme fossile se révèle à nous par des incisions très nettes qu'on constate sur des os et qui ne peuvent avoir été faites que par une main habile, par des dessins gravés sur des plaques d'ivoire ou de schiste et représentant des mammifères disparus, par des armes ou des outils en silex, etc. Ce sont bien là encore des vestiges organiques.



Fig. 192. — Traces de pas du *Cheirotherium* sur le grès avec fissures de retrait.

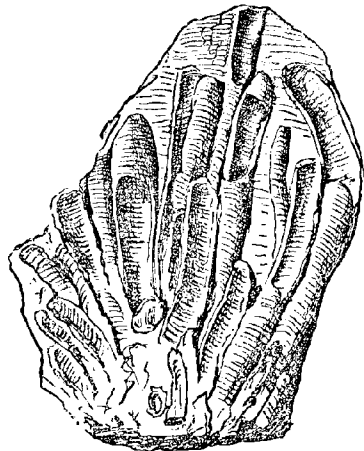


Fig. 193. — Bois perforé par des tarets.

Mais à l'encontre des anciens, pour qui les fossiles les mieux caractérisés n'étaient que des jeux de la nature, *ludi naturæ*, les paléontologistes ont parfois une trop grande tendance à voir partout des restes ou des empreintes d'êtres organisés.

Ainsi les trous cylindriques qui traversent les schistes bleu noirâtre de Laifour (Ardennes) et de Saint-Lô (Manche) ont été

regardés par quelques personnes comme des trous de vers. Il y a au moins autant de raison de les attribuer à des bulles de gaz, qui traversaient la roche quand elle était encore vaseuse.

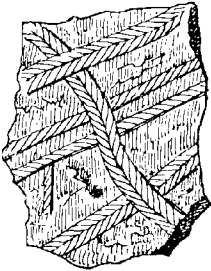


Fig. 194. — *Cruziana bagnolensis*.

Les *bilobites* du grès armoricain, vulgairement connus sous le nom de *pas de bœuf* (fig. 194), qui simulent deux demi-cylindres accolés à surface plus ou moins régulièrement striée, où l'on a cru reconnaître des algues, peuvent être tout simplement la trace d'un animal dont il reste à déterminer la nature. Il en est peut-être de même des *Oldhamia* (fig. 190). En tout cas, M. Nathorst a

reproduit des empreintes semblables en faisant cheminer sur du plâtre mou des vers et des crustacés.

Ces traces fugitives ne peuvent donc pas toujours conduire à des déterminations précises. On a même souvent beaucoup varié sur la nature véritable d'empreintes remarquables par leur netteté. C'est ainsi que les graptolites ont été successivement colportés à différents degrés de l'échelle des êtres avant d'être fixés dans la classe des polypiers.

M. Zeiller a cité une observation qui montre dans quelles illusions on peut tomber et qui est de nature à inspirer des doutes sur bien des interprétations paléontologiques. La courtilière, genre d'insecte orthoptère qui vit aux alentours des mares, va parfois y étendre ses incursions quand ces mares sont à sec et elle creuse au-dessous du sol des conduits cylindriques, parallèles à la surface et qui se ramifient. L'argile relevée forme, sur toute la longueur de ces galeries, des mamelons saillants d'une grande régularité, dont il est impossible de méconnaître l'analogie avec certaines empreintes de conifères ou d'algues.

Quoiqu'il en soit, ces traces ou vestiges plus ou moins nets, pour douteux qu'on les tienne, n'en sont pas moins, dans bien des cas, spéciaux aux formations géologiques où on les observe, et ils atteignent alors la valeur d'un véritable caractère paléontologique. L'*Oldhamia antiqua*, par exemple, ne se montre que

dans le système cambrien, le premier des quatre systèmes entre lesquels on partage le groupe primaire ; les bilobites sont caractéristiques du système suivant ou système silurien.

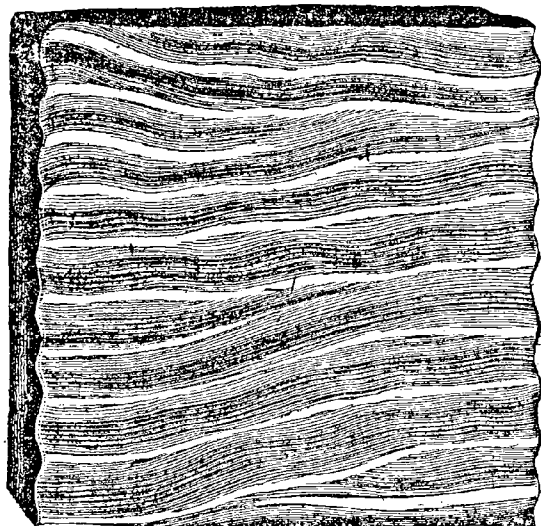


Fig. 195. — Plaque ondulée du grès du Cheshire (d'après Lyell).

543. Empreintes physiques. — Les roches nous montrent parfois des empreintes purement physiques, qui n'ont rien à voir avec la paléontologie et qui sont dues à des phénomènes tout à fait étrangers à la nature vivante. Ainsi sur des grès argileux, aux environs de Boulogne-sur-Mer, à Vireux (Ardenes), on observe des reliefs ondulés, ou *ripple marks*,¹ analogues aux ridements que les vents ou les eaux de la mer produisent sur une plage. Ailleurs, comme à Schrewsbury, à Storetton-Hill en Angleterre, ce sont des globules arrondis semblables à ceux que forment les gouttes de pluie quand elles tombent sur un sol meuble. Tantôt ces globules sont hémisphériques, ce qui est un signe que la pluie était tranquille ; tantôt ils sont larges et sans profondeur, et alors c'était une pluie d'orage à grosses gouttes ; tantôt ils sont dans un sens oblique,

1. Marques de clapotement.

et la pluie qui leur a donné naissance devait être accompagnée d'un vent violent.

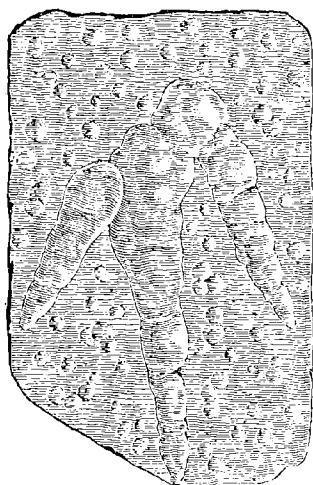


Fig.196. Empreintes de gouttes de pluie avec traces de pas d'un reptile bipède.

514. Habitat des fossiles. — L'habitat des fossiles, c'est-à-dire le milieu dans lequel ils gisent, a une grande importance en géologie. A cet égard on distingue les *fossiles terrestres*, *lacustres* ou *marins*.

Les fossiles terrestres proviennent d'êtres qui habitaient exclusivement les continents, comme les mastodontes, les cyclostomes, les limaçons, la plupart des plantes.

Les fossiles lacustres, fluviatiles ou palustres, vivaient dans les eaux douces, lacs, rivières ou marais. Tels sont certains poissons, les planorbes, les paludines, les lymnées, les cyclades, etc. Ces coquilles se distinguent des coquilles marines en ce qu'elles sont généralement moins épaisses et moins ornées et qu'elles appartiennent à des genres beaucoup moins nombreux. On retrouve souvent d'ailleurs aussi dans les dépôts lacustres des fossiles terrestres amenés par les cours d'eau.

Les fossiles marins, qui sont de beaucoup les plus abondants et les plus variés, habitaient la mer. On les divise en *fossiles côtiers*, qui ne s'éloignaient guère des rivages, comme

les grands sauriens, les huîtres, quelques oursins, les polypiers, et les *fossiles pélagiens*, animaux nageurs ou doués de puissants moyens de locomotion, qui fréquentaient la haute mer, comme les cétacés, les céphalopodes, beaucoup de poissons.

A l'aide de ces différences sur le milieu dans lequel vivaient les êtres organisés, on peut arriver à résoudre bien des problèmes intéressants. Elles nous permettent de fixer l'origine lacustre ou marine des sédiments dans lesquels on constate les débris fossiles, de reconstituer les rivages ou les fonds des anciennes mers géologiques, etc.

Il faut toutefois bien faire attention que les fossiles ne gisent pas toujours sur les points où ils ont vécu. S'il en est ainsi pour la plupart d'entre eux, les polypiers, les bivalves, que nous retrouvons en place, il en est d'autres qui, enlevés par voie de désagrégation à des roches anciennes, ont été englobés par des roches plus récentes; ce sont des *fossiles remaniés*. Ces derniers n'appartiennent pas en réalité au terrain sédimentaire dans lequel ils sont empâtés; ils n'ont pas de valeur paléontologique et ils peuvent au contraire être la source de grandes erreurs.

545. Distribution des fossiles. — Il s'en faut que les fossiles soient répartis uniformément dans les diverses couches sédimentaires du globe et même dans les diverses parties d'une couche déterminée. Il y a, à cet égard, de très grandes différences entre les roches.

Nous n'avons pas besoin de rappeler que les roches cristallisées sont absolument dépourvues de débris organiques. Si on en a trouvé quelquefois dans ces roches, comme dans les trapps de Bohême, c'est qu'ils ont été arrachés à des terrains sédimentaires au milieu desquelles s'insinuaient la matière fluide, qui les a englobés ensuite dans sa masse.

Mais il y a un grand nombre de roches sédimentaires qui n'en renferment pas non plus la moindre trace: les marnes irisées de la Lorraine, le gypse des environs de Paris, certains schistes de l'Ardenne, etc. Il ne faudrait pas pourtant conclure de là que les mers où se déposaient ces sédiments fussent dépourvues d'êtres vivants, car il existe des animaux qui ne lais-

sent aucun vestige ou dont les débris peuvent avoir été complètement dissous ou décomposés.

D'autres roches sont peu fossilifères, comme les conglomérats, les arkoses, les grès vosgiens et bigarrés, un grand nombre d'argiles, la plupart des calcaires compacts à pâte fine.

Dans une même couche sédimentaire, la répartition est elle-même très variable. Les fossiles y forment souvent des agglomérations à divers niveaux, surtout quand ce sont des espèces sociales, tandis que les intervalles sont à peu près stériles.

Enfin on connaît des roches qui présentent des accumulations réellement prodigieuses de fossiles, entiers ou en débris. Nous avons déjà eu l'occasion de mentionner les calcaires grossiers des environs de Paris, formés de fragments triturés de coquilles et de polypiers, les calcaires à mummulites des pyramides d'Égypte, les marbres lumachelles, les calcaires à entroques. Nous citerons encore, pour les animaux plus élevés, les amas ossifères de la colline de Sansan (Gers), où Lartet a reconnu 74 espèces de mammifères, 18 d'oiseaux, une trentaine de reptiles et quelques poissons; les couches pétries de débris de poissons de Neauphle près de Gisors (Eure); les sables d'Anvers, véritable ossuaire marin où l'on trouve une immense quantité de dents de squales, d'ossements de baleine et de phoques, etc.; et pour les plantes, le travertin de Sézanne, les tufs calcaires de Meximieux (Ain), les schistes de tant de gisements houillers, qui nous offrent de nombreuses empreintes végétales très bien conservées.

Nous avons indiqué, dans la première section de cet ouvrage, à quelles causes peuvent être attribuées de telles accumulations. Tantôt ce sont des transports mécaniques et des triages semblables à ceux qui s'exercent au bord de la mer sur les fragments arrachés aux falaises. Tantôt des générations qui se sont succédé et se sont superposées les unes aux autres ont élevé de véritables constructions, telles que les banes d'huîtres et les récifs de polypiers.

§ III

CONSÉQUENCES DES ÉTUDES PALÉONTOLOGIQUES.

516. Importance de la paléontologie. — La paléontologie est un complément indispensable de l'histoire naturelle. Elle élargit son domaine en faisant défiler sous nos yeux cette série innombrable et variée des êtres qui ont peuplé le monde dans les temps anciens. En étudiant le développement de la vie à travers les âges géologiques, elle fournit au naturaliste les moyens d'établir de quelle manière les espèces animales ou végétales se sont succédé et se sont renouvelées.

On a cru que, remontant jusqu'aux premières manifestations organiques, elle permettrait d'aller plus loin encore et de saisir l'origine de la vie. Mais il est à supposer que ce n'est là qu'un vain espoir, et il ne sera sans doute jamais donné à l'homme de dissiper les ténèbres épaisses qui enveloppent cette origine.

Pour le géologue, la paléontologie est également une science du plus haut intérêt et dont il ne peut se passer sous peine de tomber dans de graves erreurs. La constitution minéralogique des couches, leur ordre de superposition, sont souvent en effet impuissants à fixer leur âge relatif, et ce n'est que par l'étude des formes organiques spéciales à chacune d'elles qu'on peut arriver à résoudre bien des questions douteuses.

517. Lois de la paléontologie. — Tout d'abord on peut dire d'une manière générale que, dans une région déterminée, une couche bien définie a partout la même ensemble de fossiles animaux et végétaux ; elle offre, en d'autres termes, la même faune, la même flore. Au contraire, pour des couches différentes, la faune et la flore ne sont plus les mêmes.

Il résulte de cette loi, l'une des plus importantes de la paléontologie, que si, en parcourant l'Europe par exemple, on rencontre en divers points des fossiles identiques, on est en

droit d'assimiler les couches qui affleurent en ces points et de conclure qu'elles sont *synchroniques*. On a donc déjà un premier élément de classification chronologique de sédiments.

Il faut toutefois faire ici une réserve essentielle. Le synchronisme de la géologie n'est pas identique à celui de l'histoire humaine, c'est à-dire que des dépôts synchroniques pour le géologue ne se sont pas nécessairement formés à la même époque; ce sont simplement des dépôts *équivalents*, qui correspondent à une même phase de développement organique dans chaque partie du monde; car ce développement dans les diverses régions n'a pas suivi la même marche.

Les études paléontologiques ont conduit à une seconde loi qui peut se formuler de la manière suivante: si l'on considère la série des êtres qui s'est déroulée depuis l'époque où la vie a pris naissance jusqu'à nos jours, il y a progrès continu dans l'ensemble.

Dès le début de l'ère primaire, la terre ne nourrissait que des êtres inférieurs, aux formes indécises. Bientôt ont apparu des mollusques, des crustacés, et, vers le milieu de cette ère, des poissons, qui sont les vertébrés de la classe la plus basse, d'abord à squelette cartilagineux, puis à squelette osseux; ensuite sont venus les reptiles amphibies. Les premiers mammifères ne se montrent qu'au début de l'ère secondaire; mais ils sont encore bien imparfaits, car ils appartiennent à l'ordre des marsupiaux, animaux intermédiaires pour ainsi dire entre les vivipares et les ovipares, qui sont représentés actuellement par la sarigue. Les vrais mammifères ne sont arrivés que bien plus tard et ils caractérisent l'ère tertiaire tout entière. Enfin l'être le plus parfait, l'homme, apparaît avec l'ère quaternaire quand la terre était préparée à la recevoir.

Ce perfectionnement graduel du monde organique consiste surtout en ce que les organes se spécialisent de plus en plus. Les êtres informes qui occupent les degrés les plus infimes de l'échelle animale, tels que les éponges, n'ont pour ainsi dire qu'un organe unique et leur corps possède la faculté de s'assimiler, dans toutes ses parties, les objets qu'il embrasse. Dans les êtres de plus en plus élevés, la complication augmente et on voit successivement apparaître des organes affectés à des

fonctions déterminées. C'est chez l'homme que cette spécialisation se manifeste au plus haut degré et que la loi de la division du travail est le mieux satisfaite, puisqu'il a poussé le principe jusqu'à choisir l'une des moitiés du cerveau pour parler et agir, tandis que l'autre paraît être surtout consacrée à la vie végétative.

Mais s'il y a, d'une manière générale, progrès ininterrompu dans les générations qui ont successivement peuplé le globe, il n'en est pas toujours de même quand, au lieu d'embrasser l'ensemble, on se borne à considérer un groupe d'animaux ou de plantes, genre, famille ou ordre.

On relève alors bien des faits divergents. On constate que, si certains types ont continuellement progressé, d'autres sont restés stationnaires, d'autres mêmes ont rétrogradé. Ainsi les foraminifères des plus anciennes époques ne diffèrent guère de ceux de nos jours ; les trilobites, dont nous n'avons plus maintenant aucun représentant, ont débuté par leurs formes les plus perfectionnées et ils sont entrés rapidement en décadence, les serpents, les plus imparfaits des reptiles, paraissent être les derniers en date ; les cryptogames de l'époque houillère sont d'une organisation supérieure à celle des cryptogames actuels.

Cette inégalité de développement des diverses classes d'êtres est d'ailleurs, ainsi que l'a fait remarquer avec une haute compétence M. Gaudry, nécessaire au maintien de l'harmonie du monde organique. Si les créatures avaient toutes changé également vite, s'il ne s'était produit çà et là quelques retours en arrière, les animaux supérieurs auraient pris peu à peu la prédominance sur les inférieurs et tous ceux qui vivent aujourd'hui ne seraient que des êtres élevés.

Quoiqu'il en soit, la loi que nous venons de formuler a une grande valeur géologique. Ses corollaires sautent aux yeux : plus une faune se rapproche de la faune actuelle, par l'ensemble de ses caractères, plus la formation à laquelle elle appartient est récente ; plus il y a de différence entre les fossiles de deux couches sédimentaires, plus est grand l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre leur dépôt. Cette seconde loi, jointe à la première, permet donc de procéder à un classement chronologique certain des terrains stratifiés.

518. Origine des espèces. — Les lois précédentes sont la traduction de faits observés par la paléontologie : l'hypothèse n'y a aucune part. Mais ce n'est pas assez que d'enfermer des faits dans une formule plus ou moins rigoureuse ; il faut en donner les causes en recherchant comment les espèces ont pris naissance.

Pour l'ancienne école de géologie, les diverses périodes de l'histoire du globe étaient séparées par de grands cataclysmes qui avaient complètement anéanti toute vie à la surface de la terre, en sorte qu'il y aurait eu autant de créations que de périodes. Alcide d'Orbigny, l'un des derniers et des plus fervents adeptes de cette théorie, distinguait vingt-sept faunes distinctes, dont chacune, en progrès sur la précédente, caractérisait une période.

On trouvait la cause de ces cataclysmes dans les soulèvements de chaînes de montagnes. Mais, ainsi que nous l'avons déjà dit, de semblables bouleversements, forcément localisés, n'ont pu avoir assez de puissance pour qu'aucun point du globe n'échappât à leur action. Depuis que la vie a apparu, elle n'a en réalité quitté ni le sein des mers, ni la surface des continents ; l'étude des êtres fossiles prouve d'une manière irréfutable qu'elle a été continue pour l'ensemble du globe et que, si elle a été momentanément suspendue sur un point, elle n'a cessé de se manifester sur un autre.

Cette théorie écartée, nous n'en restons pas moins en présence de deux hypothèses contradictoires : l'une, celle des *créations successives*, d'après laquelle les espèces auraient été créées isolément, indépendamment l'une de l'autre ; la seconde, celle des *transformations*, dans laquelle on soutient que toutes les espèces actuellement vivantes dérivent par voie de filiation d'un petit nombre de types très simples, peut-être même d'un seul.

Les partisans de la première hypothèse, les *créationnistes*, comme on les appelle, considèrent l'espèce comme immuable. Ils font surtout remarquer que l'on n'a pu saisir encore sur le fait la transformation d'une espèce dans une autre et que l'on n'a trouvé jusqu'à présent que des intermédiaires entre les classes, les ordres ou les genres, intermédiaires qui n'ont pas

grande signification, puisqu'ils laissent encore subsister d'énormes hiatus.

Les *transformistes*, de leur côté, allèguent que si on n'a pas vu de métamorphose d'une espèce dans une autre, cela tient à la durée limitée du temps dont nous disposons et qu'il est difficile d'échapper à l'idée que les variations des milieux, la lutte pour l'existence ou *struggle for life* de Darwin, la sélection naturelle, n'aient amené dans le monde organique de lentes modifications qui se sont traduites par l'évolution des espèces.

Nous nous garderons bien de nous prononcer dans une matière aussi délicate, et nous dirons avec M. Contejean qu'en l'absence de faits précis, adopter l'une des deux hypothèses de préférence à l'autre, c'est faire acte de foi et non de raisonnement.

Cependant on ne peut méconnaître que la théorie des transformations est plus simple et plus naturelle que celle des créations séparées et qu'elle satisfait beaucoup mieux l'esprit. Il n'y aurait pas eu d'ailleurs une série linéaire unique, condamnée par la grande majorité des naturalistes, mais des séries multiples divergentes. En d'autres termes, les êtres qui peuplent actuellement la terre, de même que les êtres disparus, descendraient, non pas d'un seul ancêtre, mais de plusieurs ancêtres représentant les grandes divisions du monde organique.

L'embryogénie, cette science qui étudie les animaux depuis le moment où ils apparaissent dans le sein de la mère, et où ils ne consistent encore qu'en cellules, jusqu'à leur naissance, est ici d'accord avec les idées de la plupart des paléontologistes ; l'étude du développement embryogénique des mammifères, qui sont les plus perfectionnés des vertébrés, n'a pas fait découvrir, en effet, qu'ils aient passé avant leur naissance par l'état poisson et par l'état oiseau.

Si, dans les diverses divisions du règne animal et du règne végétal, il y a eu de grandes inégalités de développement, comme nous l'avons déjà fait remarquer précédemment, cela n'a rien qui doive surprendre. Certains animaux, et ils sont toujours les plus élevés de la série, sont

arrivés très vite à la perfection de leurs types ; tels sont plusieurs genres de trilobites. D'autres, au contraire, à personnalité moins accusée, comme la plupart des brachiopodes, ont évolué plus lentement et ont traversé les âges géologiques sans modifications notables.

La théorie des transformations assigne nécessairement une immense durée aux temps géologiques, beaucoup plus grande que celle que leur attribuent les physiciens, puisque de nos jours on n'a pas observé le plus léger changement dans les espèces connues ; mais cette considération n'est pas de celles qui font reculer le géologue.

549. Utilité industrielle de la paléontologie. — La paléontologie n'a pas seulement une haute portée scientifique ; c'est encore une science d'un grand intérêt pratique, car, en permettant d'établir des assimilations de couches, elle fournit des indications précieuses pour la recherche des matières utiles. Mais pour appliquer le caractère paléontologique, il

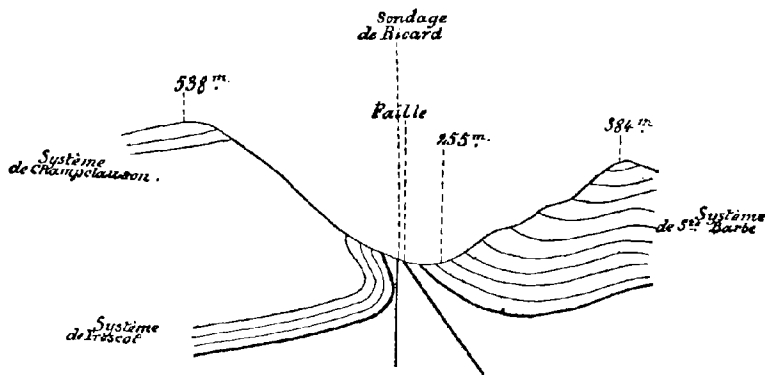


Fig. 197. — Coupe N. O. — S. E. de la Grand'Combe.

faut une grande sagacité. Ce n'est pas à l'aide de quelques fossiles isolés que l'on peut fixer avec certitude l'âge de la strate où on les trouve ; il est indispensable de considérer tout l'ensemble de la faune ou de la flore, si l'on ne veut pas s'exposer à formuler des conclusions erronées, ou tout au moins aventurées.

Nous trouvons un exemple éclatant du secours que l'art du mineur peut attendre de la paléontologie, dans une tentative qui vient de faire la Compagnie houillère de la Grand'Combe (Gard) et qui a été couronnée d'un plein succès.

Les travaux d'exploitation de cette Compagnie portent sur deux groupes séparés par une grande faille, orientée N. 25° E., qui correspond à deux vallons placés dans le prolongement l'un et l'autre, le vallon de la Grand'Combe et le vallon du Pontil (fig. 197). Sur la rive gauche du premier de ces vallons, du côté du toit de la faille, s'élève la montagne Sainte-Barbe, siège des travaux les plus anciens, dans laquelle on connaît un grand nombre de couches de houille d'excellente qualité. Sur la rive droite, c'est-à-dire au nord-ouest, se trouve la montagne de Champclauson, à la base et sur les flancs de laquelle affleurent plusieurs couches de houille qu'on peut grouper en deux systèmes principaux : un système supérieur, dit de Champclauson, et un système inférieur ou de Trescol, séparés par une zone stérile de grès et schistes de 320 mètres d'épaisseur.

L'examen stratigraphique n'a jamais permis de décider d'une façon positive s'il y a eu affaissement ou, au contraire, relèvement d'un des bords de la faille par rapport à l'autre, de dire, en d'autres termes, quel est l'âge du système de Sainte-Barbe par rapport à ceux de Champclauson et de Trescol. Cette question, si importante pour l'avenir de la Société de la Grand'Combe, était restée sans solution jusque dans ces dernières années.

En étudiant avec soin et en comparant les nombreuses empreintes de plantes recueillies dans ces trois groupes, M. Zeiller reconnut que, si la flore de Champclauson diffère de celle de Trescol, il y a une différence encore plus accentuée entre cette dernière flore et celle de Sainte-Barbe, qui contient les espèces les plus anciennes. Il fut ainsi conduit à regarder les couches de Sainte-Barbe comme inférieures, au point de vue géologique, aux couches de Trescol.

Il fallait donc renoncer à l'espoir de retrouver au-dessous des couches de Sainte-Barbe celles des systèmes de Champclauson et de Trescol, dont on avait cru découvrir la trace dans quelques affleurements charbonneux observés du côté de Pradel.

Les couches de Sainte-Barbe étant reconnues par leur flore comme les plus anciennes de toutes, on pouvait au contraire espérer qu'on en trouverait le prolongement au-dessous du système de Trescol. Aussi le Conseil d'administration des mines de la Grand'Courbe décida qu'un sondage serait exécuté dans ce but. Ce sondage fut commencé le 26 juillet 1881, au lieu dit Ricard, près de la Verrerie, sur un diamètre de 0^m 40 et poursuivi jusqu'au 22 avril 1882, date à laquelle il fut arrêté à la profondeur de 400 mètres, après avoir traversé des schistes et des grès houillers avec de minces filets charbonneux ; mais on commençait à désespérer du succès.

Sur ces entrefaites, M. Grand'Eury, ayant fait une étude générale du bassin houiller, confirma l'exactitude des conclusions de M. Zeiller et montra en outre qu'il devait exister entre le faisceau de Trescol et celui de Sainte-Barbe une épaisseur stérile d'au moins 600 mètres, très supérieure par conséquent à ce qu'on s'était borné à percer.

Sur cette nouvelle indication, on reprit le sondage le 1^{er} mars 1884, au diamètre de 0^m50, et on le poursuivit ainsi jusqu'au 30 septembre à la profondeur de 600 mètres, à laquelle on fut obligé de réduire le diamètre à 0^m48. On le continua dans ces nouvelles conditions, et, à la profondeur de 734 mètres, on rencontra une première couche de 5^m27 d'épaisseur, puis, à 778 mètres, une seconde couche de 10^m67. Après avoir traversé cette dernière couche, on fut obligé d'interrompre le travail, qu'on n'eût pu continuer sans un nouveau tubage, nécessitant un élargissement du diamètre.

Mais le but que l'on avait en vue était atteint, et la Compagnie résolut de foncer immédiatement deux puits pour l'exploitation des nouvelles couches qui venaient accroître l'importance de sa richesse minérale.

Au point de vue géologique, cette brillante découverte soulève une question intéressante. Ces deux couches puissantes ne présentent en effet aucune analogie avec celles de la montagne Sainte-Barbe, qui sont relativement minces et assez rapprochées. Comment expliquer une telle dissemblance, qui se produit sur une si faible distance ? On peut faire deux hypothèses : ou bien le mode de groupement des veines charbon-

neuses et des bancs stériles a subi, en allant du nord au sud, une modification très notable, consistant dans la division des grosses couches en bancs moins épais ; ou bien les couches traversées par le sondage de Ricard sont encore supérieures à celles qui affleurent sur les flancs de la montagne Sainte-Barbe, et elles auraient été détruites sur ce point par des érosions.

Cette dernière hypothèse est la plus favorable aux intérêts de la société de la Grand'Combe, car, si elle se réalisait, on devrait rencontrer à leur tour, au-dessous de la seconde des deux grosses couches, toutes celles de la montagne Sainte-Barbe.

FIN DU PREMIER VOLUME

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

- Aar (glacier de l'), 24.
 Aatvidaberg, 350.
 Abbaye-du-Val (l'), 513.
 Ablation glaciaire, 23, 24.
 Abyssinie, 114.
 Acalèphes, 557.
 Acéphales, 555.
 Acérdèse, 333.
 Acétylène 426.
 Acides (essais par les), 258.
 Acides (roches), 422.
 Acide arsénieux, 331.
 Acide azotique, 13.
 Acide borique, 300.
 Acide carbonique, 13, 540, 541.
 Acide molybdique, 346.
 Acide sulfurique, 124.
 Açores, 114.
 Acotylédones, 560, 561.
 Acrogènes, 561.
 Actinote, 291, 292.
 Adélogènes (roches), 393.
 Aden, 78, 114.
 Adour, 16, 17.
 Adulaire, 277.
 Affectement, 170.
 Afrique, 18, 42, 105, 206, 352.
 Agate, 269, 270.
 Agde, 471.
 Age des éruptions, 427.
 Age des montagnes, 196.
 Aigue-Marine, 294.
 Agram, 335.
 Aimant naturel, 335.
 Ain (département de l'), 379, 500.
 Aisne (département de l'), 84, 501.
 Aix-la-Chapelle, 481.
 Aix-en-Provence, 455, 525, 526, 535, 551, 561.
 Aix-les-Bains, 97, 98.
 Aizac, 176.
 Alabandicus, 295.
 Albâtre calcaire ou antique, 312, 528.
 Albâtre gypseux, 319, 534.
 Albite, 279, 280.
 Alcoutiennes (lacs), 115.
 Alep (brèche de), 526.
 Alci, 526.
 Alexandrie, 71.
 Algérie, 14, 98, 100, 351, 466, 520, 521, 522, 528.
 Algues, 72, 561, 571.
 Allier, 551.
 Alignements, 114, 115, 117, 197.
 Alimentation glaciaire, 23, 24.
 Alios, 59.
 Alise-Sainte-Reine, 435.
 Allauch, 302.
 Alleghanys, 126, 199.
 Allemagne, 89, 334, 343, 350, 376, 385, 495.
 Allemagne du Nord, 12, 81, 84, 141, 382.
 Allemagne (carrières de), 503.
 Allemont, 331, 343, 347.
 Allévard, 97, 338.
 Allier (département de l') 99, 376.
 Alluvions, 35, 38, 39.
 Almandin (grenat), 295, 296.
 Alpes, 20, 90, 97, 141, 184, 185, 191, 194, 195, 204, 268, 277, 315, 321, 435, 448, 449, 462, 512, 523, 529, 534.
 Alpes (Basses), 379.
 Alpes Bernoises, 24.
 Alpes (Hautes), 473.
 Alpes occidentales, 200.
 Alquifoux, 354.
 Alsace, 34.
 Altérabilité naturelle, 416, 417.
 Altération (fossilisation par), 564.
 Altissimo (mont), 518.
 Aluminates, 303, 304.
 Alumine, 301, 302.
 Alumine phosphatée, 325, 326.
 Aluminium, 540, 543.
 Alun, 319.
 Alunite, 319.
 Amas de coquilles, 75, 76.
 Amas de végétaux, 80.
 Amas d'ossements, 76.
 Amazones (fleuve des), 42.
 Ambre, 390.
 Amélie-les-Bains, 97.
 Amérique, 79, 141, 199, 358, 388, 475.
 Amérique du Nord, 43, 115, 125, 130, 387.
 Amérique du Sud, 124, 128, 133, 148, 352, 358.

- Améthyste, 268.
 Amiante, 292.
 Ammonites, 554.
 Amont-pendage, 470.
 Amorphe (état), 211, 423.
 Ampélite, 494.
 Amphibole, 289, 291, 292, 293.
 Amphibolite, 293, 446, 497.
 Amphigène, 282.
 Amphigènes (plantes), 561.
 Amygdales (texture), 423.
 Anagénite, 477.
 Analcime, 299.
 Analyse des minéraux, 238
 Analyse des roches, 395.
 Anatase, 300.
 Anatase (île d'), 76.
 Andalousie, 129, 133.
 Andalousite, 273.
 Audernach, 471.
 Andes, 20, 60, 102, 133, 140, 148, 467.
 Andreasberg, 359.
Andrias Sheuchzeri, 592.
 Angers, 559.
 Angiospermes, 562.
 Angleterre, 61, 67, 89, 320, 339, 345,
 348, 354, 377, 389, 434, 480, 495,
 496, 523.
 Anhydrite, 56, 317, 536, 537.
 Anjou, 493, 495, 496.
 Anneaux colorés, 249, 250.
 Annelides, 552.
 Annonay, 439.
 Anorthique (système), 224.
 Anorthite, 282.
 Anthracite, 366, 367.
 Anticlinal (pi), 166.
 Antilles, 42, 77.
 Antimoine (minerais d'), 347.
 Antimoine oxydè, 348.
 Antimoine sulfuré, 347.
 Autin (marbre), 522.
 Antique (marbre), 515.
 Antrim, 183.
 Anvers, 564, 577.
 Apatite, 321, 322.
 Apennins, 133, 195, 527.
 Appareil littoral, 63.
 Arabie, 206.
 Arabique (marbre), 520.
 Arachnides, 552.
 Aragon, 313.
 Aragonite, 312, 313, 314.
 Aral (mer d'), 206.
 Arbois, 521.
 Archipel grec, 114, 203.
 Arcis-sur-Cure, 77.
 Ardèche, 337, 404, 439, 511.
 Ardennes, 53, 167, 185, 188, 195, 201,
 284, 320, 336, 476, 480, 483, 493,
 495, 496, 564.
 Ardoise, 167, 494, 495, 496.
 Ardoise émaillée, 495, 497.
 Arènes, 433.
 Arendal, 321.
 Argent (minerais d'), 357.
 Argent allié, 358.
 Argent chloruré, bromuré, ioduré, 360.
 Argent natif, 358.
 Argent noir, 359.
 Argent rouge, 359.
 Argentat, 418.
 Argile, 274, 275, 486.
 Argile bitumineuse, 492.
 Argile calcaire, 490.
 Argile ferrugineuse, 490.
 Argile plastique, 275, 489, 490.
 Argile réfractaire, 490.
 Argile rouge marine, 70.
 Argile sableuse, 492.
 Argile schisteuse, 492.
 Argile smectique, 275.
 Argileux (calcaire), 509, 510, 511.
 Argilophyre, 433.
 Argonne, 485.
 Argonne (marbre de l'), 528.
 Ariège (dépt de l'), 37, 345, 449, 525.
 Ariège (rivière), 362.
 Arkose, 483.
 Arles, 41, 455.
 Armentières, 506.
 Armorique, 194.
 Arqueros, 359.
 Arsenic, 330, 331.
 Arsenic (sulfures d'), 331.
 Arsénieux (acide), 331.
 Artésiens (sondages), 52.
 Articulés, 551.
 Artois, 52.
Arunda arenaria, 17.
 Asbeste, 292.
 Ascension (île de l'), 114.
 Asie, 206.
 Asie mineure, 142, 288, 520.
 Asphalté, 388, 389.
 Asphaltite (lac), 388.
 Assemblage réticulaire, 213.
 Astrakan (lumachelle d'), 528.
Astrea pallida, 72.
 Asymétrique (système), 224.
 Athènes, 519.
 Atlantique, 28, 68, 150, 206.
 Atmosphère (action de l'), 12.
 Atolls, 72, 74, 75.
 Attique, 519.
 Aubert, 525.
 Auckland, 130.
 Aude, 173, 380, 521, 525, 529.
 Audierne, 64.
 Augite, 290.
 Aulus, 98.
 Aure, 522.
 Australie, 206, 334, 348, 362.
 Autriche, 334, 358, 385.
 Autunois, 494.
 Auvergne, 58, 96, 112, 113, 116, 120,
 125, 127, 274, 465, 469.
 Auxerre, 77.
 Auxois, 321.
 Avalanches, 20.
 Avallon, 514.
 Aval-pendage, 170.

Aventurine, 268.
 Aventurinés (minéraux), 255.
 Aveyron, 339, 474.
 Axes de symétrie des cristaux, 221.
 Axes optiques, 247.
 Axe volcanique méditerranéen, 114, 204.
 Azotique (ère), 157.
 Azote, 13, 543.
 Azotique (acide), 13.
 Azotate d'ammoniaque, 13.
 Azotite d'ammoniaque, 13.
 Azurite, 331.

B

Bade, 34, 481.
 Bagnères de Bigorre, 400.
 Bagnères de Luchon, 97, 437.
 Bagnoux, 512.
 Bahia, 70, 364.
 Baïa, 102.
 Baïkal (lac), 298.
 Bains, 98.
 Bakou, 127.
 Balaruc, 98.
 Bâle, 34, 193.
 Baléares, 148.
 Baltique, 64, 145, 390, 552.
 Baltoro, 24.
 Banat, 80.
 Banca, 347.
 Bancs, 162.
 Bancs francs, 305.
 Bancs royaux, 505.
 Bancs de foraminifères, 71.
 Bancs d'huîtres, 76.
 Bancs de peignes, 76.
 Bancs de roche, 505, 506.
 Bardiglio (marbre), 521, 537.
 Barousse (la), 527.
 Barrancos, 199.
 Barre, 42.
 Baryte carbonatée, 306.
 Baryte sulfatée ou barytine, 182, 315, 316.
 Basalte, 176, 183, 184, 468, 469, 470.
 Basalte égyptien, 447.
 Basiques (roches), 422.
 Bassin de réception, 31.
 Bastia, 463.
Bathybius, 559, 560.
 Batriaciens, 550.
 Baume-Ponterry, 77.
 Baux (les), 302.
 Bauxite, 302, 303.
 Bavière, 186, 461, 500, 558.
 Bayonne, 17.
 Beauchamp, 564.
 Bec de céphalopode, 554.
 Bees d'étain, 347.
 Bélemnites, 553, 555.
 Belgique, 55, 141, 334, 337, 344, 345, 354, 372, 385, 496, 509, 523, 524, 529.
 Bellière (la), 437.
 Bellignies, 523.

Bengale, 304.
 Bergamasque, 523.
 Bergame, 537.
 Berlin, 81, 89, 149.
 Berne, 482.
 Beryl, 294.
 Béloires, 53.
 Beyrède, 522.
 Bianco di Genova (marbre), 520.
 Biarritz, 69.
 Biborate de soude, 305.
 Bigarré (grès), 480, 481, 497.
 Bilobites, 573.
 Biotite, 285.
 Biréfringence, 246.
 Bismuth (minerais de), 355.
 Bismuth natif, 355.
 Bismuth hydrocarbonaté, 356.
 Bitume, 125, 385, 388.
 Bitumineuse (argile), 492.
 Bitumineux (calcaire), 508.
 Bitumineux (schiste), 494.
 Bivince (le), 463.
 Blanc d'Espagne, 507.
 Blanz, 375, 376.
 Blende, 182, 345.
 Bleu turquin (marbre), 521.
 Roghead, 387.
 Bohême, 99, 271, 272, 299, 335, 340, 354, 355, 356, 359, 365, 379, 380, 436, 469.
 Böhmisch-Eisenberg, 446.
 Bois (accumulations de), 80.
 Bois fossile, 379.
 Bois silicifié, 272.
 Bojador (cap), 16.
 Bolivie, 20, 76, 145, 304, 349.
 Bollène, 490.
 Bombes volcaniques, 104.
 Bône, 336.
 Bonjean (le), 435.
 Boort, 363.
 Borates, 305.
 Borate de chaux, 305.
 Borax, 305.
 Bordeaux, 17, 42.
 Borique (acide), 300.
 Borréze, 419, 420.
 Borrowdale, 365.
 Boscherville, 417.
 Botomie (golfe de), 446.
 Bouches-du-Rhône, 16.
 Boue glaciaire, 27.
 Boues marines, 68.
 Boueuses (pluies), 104.
 Boueux (volcans), 126.
 Bouleversements de terrain, 56.
 Boulogne-sur-Mer, 18, 521, 575.
 Boulogne (brocatelle de), 526.
 Bourbon (île), 297.
 Bourbon-l'Archambault, 98, 99, 100.
 Bourbonne-les-Bains, 98, 100, 328.
 Bourgogne, 497.
 Bournonite, 354.
 Bourrasques séismiques, 142.
 Bousin, 401.

- Boussolc, 469.
 Brachiopodes, 556.
 Brassac, 461.
 Braunau, 335.
 Braumite, 332.
 Braunsbach, 311.
 Brauvilliers, 514.
 Brèches, 477, 477.
 Brèche africaine, 525.
 Brèches antiques, 524, 525.
 Brèche rouge violacé de Vizille, 478.
 Brèche universelle, 477, 478.
 Brésil, 70, 294, 336, 364, 441.
 Bresse, 43, 200.
 Brest, 62, 447, 456, 521.
 Bretagne, 17, 62, 66, 68, 147, 185, 273, 274, 360, 432, 434, 436, 440, 447, 448, 456, 480, 494, 495.
 Bretagne (Grande), 334, 385.
 Briare, 36.
 Brie, 36.
 Brisés, 441.
 Brocatelle, 526.
 Brookite, 301.
 Brousse, 305.
 Bruxelles, 509.
 Bryozoaires, 72, 557.
 Burgbrohl, 427.
- C**
- Cacérés, 321, 324.
 Caen, 44, 431.
 Caen (calcaire de), 502.
 Cahors, 490.
 Caillasse, 484.
 Caillou du Rhin, 268.
 Caillouteuse, 438.
 Cailloux impressionnés, 476, 477.
 Cailloux striés, 26.
 Calabre, 130, 132, 135, 137, 302.
 Calamine, 344.
 Calais, 54.
 Calcaire, 497, 498.
 Calcaire argileux, 509, 510, 517.
 Calcaire bitumineux, 508.
 Calcaire compact, 499.
 Calcaire corallien, 74.
 Calcaire à entroques, 503, 557.
 Calcaire grossier, 504, 505, 506.
 Calcaire lithographique, 500.
 Calcaire magnésien, 511.
 Calcaire oolithique, 75, 502.
 Calcaire spathique, 482.
 Calcaire terreux, 506.
 Calcédoine, 269.
 Calcéoles, 556.
 Calcite, 306.
 Calcium, 540.
 Calédonie (nouvelle), 75, 341, 342, 343.
 Californie, 206, 300, 305, 352, 357, 362.
 Caltanisetta, 330.
 Calvados, 67, 70.
 Camargue, 41.
 Campan (marbre de), 516, 526.
- Canada, 425, 486, 292, 321, 349, 362, 387, 432, 436, 443, 461, 493.
 Canaries, 114.
 Canaux d'écoulement des torrents, 31.
 Canigou, 338.
 Cannel-coal, 389.
 Cañons, 199.
 Cantal, 14, 37, 98, 100, 348, 467, 468, 469.
 Cap de Bonne-Espérance, 364.
 Capella (la), 521.
 Cappadocien (marbre), 520.
 Cap Vert (îles du), 114.
 Caracas, 140.
 Caractères chimiques des minéraux, 258.
 Caractères des roches, 399.
 Carbonado, 363.
 Carbonates, 303.
 Carbone, 363, 542.
 Carbonique (acide), 13, 540, 541.
 Carburé (schiste), 494.
 Carcassonne, 524.
 Cardites, 556.
Cardium, 556.
 Cardone, 44.
Carex arenaria, 17.
 Cargueule, 512.
 Carlsbad, 99, 312, 314, 324, 328.
 Carnallite, 327.
 Carniole, 14, 356.
 Carolines, 73.
 Carrare (marbre de), 442, 518, 519.
 Carthagène, 126, 127.
 Carton de montagne, 292.
 Casamicciola, 129, 132, 140, 145.
 Cascalet, 525.
 Caspienne, 42, 69, 125, 127, 206.
 Cassiterite, 346, 347.
 Cassure des minéraux, 257.
 Castel-Nuovo, 124.
 Castets, 42.
 Catalogne, 44, 330, 526.
 Caucase, 332, 387.
 Caunes, 521, 524.
 Cauterets, 97, 99.
 Caux (les), 455.
 Caux (pays de), 484.
 Cava dell' Africano, 527.
 Célestine, 316.
 Cémentation, 185.
 Cendres (défaut des pierres), 401.
 Cendres de houille, 368, 369, 370.
 Cendres volcaniques, 14, 104, 105.
 Centres de symétrie des cristaux, 221.
 Centre d'impulsion d'un tremblement de terre, 133, 134.
 Céphalopodes, 554.
 Cercles auxiliaires, 203.
 Cercles dérivés, 203.
 Cercles primitifs, 203.
 Cérithie, 535, 567.
 Cervelas (marbre), 524.
 Ceylan, 106, 255, 296, 301, 302, 304, 305, 365.

- Chabasic, 299.
 Chaleur interne, 87.
 Châlifert, 36.
 Chalkopyrite, 350.
 Châlons-sur-Vesle, 564.
 Chalumeau (essais au), 259.
 Chambéry, 443.
 Chamoisite, 339.
 Chamonix, 443.
 Champ de fractures, 178.
 Champs Phlégréens, 112, 114.
 Champagne, 5, 36, 46, 47, 507.
 Chancelade, 474.
 Charbons fossiles, 365.
 Charenton, 512.
 Charleroi, 371.
 Charleville, 204.
 Château-Landon, 504, 513.
 Châteauroux, 500.
 Châtel-Guyon, 127.
 Châtillon-sur-Seine, 402, 514, 521.
 Chatoyants (minéraux), 255.
 Chaudesaigues, 98, 100.
 Chaudières, 38.
 Chaume, 564.
 Chaussey (îles), 147.
 Chauvigny, 514.
 Chaux carbonatée, 306.
 Chaux fluatée, 327.
 Chaux grasse, 510.
 Chaux hydraulique, 510.
 Chaux limite, 510.
 Chaux maigre, 510.
 Chaux phosphatée, 310.
 Chaux sulfatée, 535.
Cheirotherium, 572.
 Cheminée de volcan, 111.
 Cherbourg, 147, 336, 483.
 Cheshire (grès ondulé du), 574.
 Chessy, 351.
 Cheswring, 432.
 Chevillon, 514.
 Chiavenna, 288, 436.
 Chien (grotte du), 127.
 Chili, 143, 146, 140, 148, 298, 348, 350, 352, 359, 360, 362.
 Chinchas (îles), 76.
 Chine, 125, 298, 301.
 Chio, 128, 129.
 Chlore, 542.
 Chlorite, 286, 287.
 Chloritoschiste, 443.
 Chlorures, 326, 327.
 Christian-Malfort, 533.
 Chrome (minerai de), 341.
 Chromé (fer), 341.
 Chrysoprase, 269.
 Ciment de Portland, 510.
 Ciment romain, 510.
 Cimentation des couches, 164.
 Cimentation par l'eau de mer, 69.
 Cinabre, 356, 357.
 Cipolin, 441, 442, 527.
 Cirque, 32.
 Clamecy, 514.
 Classification des fossiles, 545.
 Classification des minéraux, 263.
 Classification des roches, 157, 421.
 Clastiques (roches), 472.
 Clausthal, 177.
 Clefey, 446.
 Clermont-Ferrand, 15, 112, 127, 471, 566.
 Clinorhombique (système), 224.
 Clintonites, 284.
 Cliquant, 501.
 Clivage des minéraux, 217, 218.
 Clivage des roches, 167.
 Cloches, 566.
 Clous, 401.
 Cluses, 199.
 Cobalt (minerais de), 344.
 Cobalt arsénical, 342.
 Cobalt gris ou cobaltine, 342.
 Coefficient de dérivation des faces cristallines, 229.
 Coke, 368.
 Colettes (des), 438.
 Colmars (source de), 49.
 Cologne, 468, 472.
 Colombie, 80, 130, 350, 362.
 Colon, 138.
 Colonne de fumée, 102.
 Coloration des minéraux, 254, 255.
 Combes, 165, 166, 199.
 Comblanchien, 501.
 Combustibles minéraux, 362.
 Commentry, 375, 376, 461, 551.
 Commercy, 503.
 Conchoïde (cassure), 257.
 Concordance de stratification, 168.
 Concrétions ferrugineuses, 59.
 Conductibilité thermique des roches, 94, 410, 411.
 Cônes adventifs, 106.
 Cônes de déjection, 32, 33, 40.
 Cônes volcaniques, 101, 120.
 Conflans, 513.
 Conglomérats, 476, 477, 499.
 Connemara, 527.
 Consolidation des roches, 163.
 Constance (lac de), 34, 550.
 Constantine, 100, 348.
 Constantinople, 455.
 Contre-passes, 516.
 Contrexeville, 98.
 Coprolithes, 323, 325.
 Coquille, 553.
 Coquilles (amas de), 75, 76.
 Coquins, 320.
 Corail, 312.
 Coralliticus lapis, 520.
 Coralliens (recifs), 71.
 Corallines, 72.
 Coraux, 73.
 Corbières, 173.
 Cordiérite, 255.
 Cordillère, 60, 115, 199.
 Cordon littoral, 40, 63; 64, 65.
 Corindon, 301.
 Cornaline, 269.
 Cornéenne, 457.

- Cornouailles ou Cornwall, 67, 179, 180, 315, 343, 350, 432, 453.
 Corocoro (minerai de), 349.
 Corrèze, 37, 495.
 Corrélation (loi de la), 563.
 Corse, 148, 292, 348, 454, 462, 524, 527.
 Côte-d'Or, 185, 435, 500, 501.
 Côtes-du-Nord, 458.
 Cotentin, 62, 68.
 Cotriculaire (schiste), 493.
 Côtiers (fossiles), 575.
 Cotopaxi, 102, 115.
 Cotylédons, 560.
 Coubre (la), 18.
 Couches, 162, 163.
 Couches (allure des), 164, 165, 166, 169.
 Couches ondulées, 165.
 Couches plissées, 166.
 Couches redressées, 164.
 Couleur des roches, 409, 410.
 Couloirs, 32, 33.
 Couperose verte, 340.
 Courants littoraux, 63.
 Courlande, 52, 65.
 Coutances, 147, 527.
 Craie, 43, 46, 47, 183.
 Craie blanche, 51, 506, 507.
 Craie de Briançon, 288.
 Craie glauconieuse, 287.
 Craie tuffeau, 507.
 Cransac, 98.
 Cratère, 101.
 Cratères adventifs, 106.
 Cratères d'explosion, 120.
 Cratères de soulèvement, 120.
 Cratères-lacs, 120.
 Créations successives (théorie des), 581.
 Creuse, 413.
 Creusot (le), 372.
 Crevasses de glaciers, 23.
 Crimée, 127, 288.
 Cristal de roche, 268.
 Cristalline (texture), 423.
 Cristallisé (état), 211.
 Cristallites, 241, 242.
 Cristallographie, 210.
 Cristaux, 211.
 Cristaux biaxes et uniaxes, 247.
 Croatie, 99, 335.
 Croisements de filons, 179.
 Cronstadt, 432.
 Croûte primitive, 133, 186, 190.
 Crustacés, 552.
Cruziana bagnolensis, 573.
 Cry, 514.
 Cryolite, 328.
 Cryptogames, 560.
 Cube, 221.
 Cubo-octaèdre, 231.
 Cuir de montagne, 292.
 Cuivre (minerais de) 348.
 Cuivre arsenié, 352.
 Cuivre carbonaté, 351.
 Cuivre chloruré, 352.
 Cuivre gris, 351.
 Cuivre hydrosilicaté, 352.
 Cuivre natif, 349.
 Cuivre oxydulé, 351.
 Cuivre panaché, 349.
 Cuivre pyriteux, 350.
 Cuivre sulfuré, 349.
 Cumberland, 337, 365.
 Curaçao, 77.
 Cyclopes (îles), 299.
 Cynopolis, 523.
 Cyclostomes, 555.
Cypris, 552.
- D**
- Damarastica, 523.
 Damparis, 500.
 Danemark, 61, 83.
 Dantzick, 390.
 Danube, 42.
 Dauphiné, 200, 277, 292, 295, 301, 347, 482.
 Débit des rivières, 36.
 Débit des sources, 50.
 Dégâts des torrents, 33.
 Degré hydrotimétrique, 51.
 Déjection (cônes de), 32, 33, 40.
 Déjections d'oiseaux, 76.
 Delta, 40, 41, 42.
 Dendrites, 269, 358.
Dendrophylia nigrescens, 72.
 Denodur, 136.
 Densité des minéraux, 255.
 Densité des roches, 422.
 Densité réticulaire, 219.
 Départ (gîtes de), 182.
 Déperdition de la chaleur interne, 94.
 Dépôts alluviaux, 39.
 Dépôts côtiers, 65.
 Dépôts d'eau profonde, 63, 67.
 Dépôts d'estuaire, 42.
 Dépôts de plage, 63, 65.
 Dépôts de sources, 58, 59.
 Dépôts littoraux, 68.
 Dépôts marins, 162.
 Dépôts meubles sur les pentes, 30, 31.
 Dépôts sédimentaires, 161, 162.
 Derby (comté de), 377.
 Dérivation des cristaux, 226.
 Désagrégation des roches, 12, 45.
 Détritiques (roches), 472.
 Devonshire, 67.
 Dhuis, 48.
 Diabase, 448.
 Diallage, 291.
 Dialogite, 333.
 Diamant, 363, 364.
 Diamantina, 364.
Dianthus gallicus, 17.
 Diatomées, 80, 272, 559.
 Dichroïsme, 255.
 Dicotylédones, 560.
 Diélette, 336, 412.
 Dilatabilité des roches, 411, 412.
 Dimorphisme, 239.
 Dinan, 458.
 Diopside, 290.

- Diorite, 445, 446.
 Diorite micacée, 446.
 Diorite orbiculaire, 446.
 Diorite schistoïde, 497.
 Direction des chaînes de montagnes, 197, 198.
 Direction des couches, 169.
 Discordance de stratification, 168.
 Dislocations anciennes, 194, 195.
 Dissymétrie des montagnes, 191.
 Disthène, 273.
 Djebel Dokhan, 455.
 Dodécaèdre pentagonal régulier, 202.
 Dodécaèdre pentagonal symétrique, 202, 235.
 Dodécaèdre rhomboïdal régulier, 231, 232.
 Dodécaèdre triangulaire scalène, 310.
 Dôle, 500.
 Dolérite, 469.
 Dolomie, 182, 184, 314, 315, 511, 512.
 Domfront, 448.
 Dômite, 465.
 Dordogne (département de la), 332, 500.
 Dordogne (rivière), 37.
 Dore (mont), 14, 272, 319, 466, 467, 468.
 Douarnenez, 62, 447.
 Doubs (rivière), 201.
 Doux, 38.
 Dragées de Tivoli, 58.
 Draguignan, 77.
 Drap mortuaire (marbre), 528.
 Drujon (le), 201.
 Druses, 181.
 Duclair, 417.
 Dunes, 15, 64, 65.
 Dunkerque, 51.
 Durance, 460.
 Durée des temps géologiques, 157.
 Dureté des minéraux, 236, 257.
 Dureté des roches, 403, 404.
 Dusseldorf, 34.
 Dyke, 178.
- E**
- Eau de carrière, 414.
 Eau solide (action de l'), 19.
 Eaux-Bonnes (les), 97.
 Eaux courantes (action des), 29.
 Eaux de mer (action chimique des), 68.
 Eaux de pluie, 29.
 Eaux jaillissantes, 54.
 Eaux sauvages, 30.
 Eaux souterraines, 52, 54.
 Eboulements, 56, 489.
 Ecaussines (les), 509.
 Echaillon (l'), 514.
 Echinodermes, 557.
 Eclogite, 449.
 Ecobuage, 488.
 Ecorce terrestre, 151.
 Ecosse, 389, 432, 434.
 Ecoulement (texture d'), 424.
 Ecume de mer, 288.
- Eddystone, 60.
 Effondrements, 53, 192, 193.
 Egypte, 478.
 Eifel, 116, 183.
 Ekaterinenbourg, 457.
 Elasticité des roches, 404, 405.
 Elbe (fleuve), 71.
 Elbe (île d'), 336, 462, 466.
Elephas primigenius, 548.
 Elfdalen, 457.
 El-Goleah, 18.
 Ellipsoïde isothermique, 411.
 Eloyes, 463.
 Elvan, 455.
 Emanation (gîtes d'), 182.
 Emanations volcaniques, 109, 110.
 Embâcles de glaces, 28.
 Embrun, 56.
 Embues, 55.
 Émeraude, 294.
 Émeraude orientale, 301.
 Émeri, 302.
 Émission de lave, 106, 118.
 Empreintes physiologiques, 570, 571, 572, 573.
 Empreintes physiques, 574, 575.
 Encrines, 557.
 Enghien, 97.
 Ensablement des oasis, 18, 19.
 Entonnoirs des torrents, 31, 33.
 Entroques, 503, 557.
 Epernay, 36, 189.
 Epicentre, 432.
 Epidote, 295.
 Epidotite, 450.
 Epierre, 443.
 Epigénie, 244.
 Epinal, 445.
 Epoméo, 114.
 Éponges, 559.
 Epontes, 477.
 Équateur (République de l'), 115.
 Equisétacées, 369.
 Équivalence des dépôts, 579.
 Erebus, 116.
 Ères géologiques, 157.
 Érié (lac), 37.
 Érosions souterraines, 53.
 Éruptions, 153, 193, 195.
 Éruptions volcaniques, 101, 102.
 Erzgebirge, 179, 346, 379.
 Escaut, 447.
 Espagne, 129, 191, 321, 324, 334, 344, 348, 350, 353, 354, 355, 356, 378, 434, 520.
 Espagne (brocaille d'), 526.
 Espaly, 298, 302.
 Espèce minérale, 209.
 Espèces (origine des), 581.
 Esquilleuse (cassure), 257.
 Essen, 503.
 Esterel, 194, 455, 459.
 Estramadure, 321.
 Estuaire, 42.
 Etain (minerai d'), 346, 347.
 Etain de bois, 347.

Etain de roche, 347.
 Etain oxydè, 346, 347.
 Elangs, 43, 44.
 Etats-Unis, 80, 126, 188, 334, 341, 348,
 350, 353, 354, 355, 358, 362, 385, 386,
 387.

Ethiopie, 466.
 Etna, 105, 109, 113, 119, 184, 203.
 Etréat, 507.
 Etrurie, 534.
 Eubée, 344.
 Euganéens (monts), 466, 467.
 Euphotide, 291, 448.
 Europe, 16, 206.
 Euville, 503.
 Evaporation de l'eau, 29.
 Evaux, 98.
 Eventail (plis en), 166.
 Explosions volcaniques, 104.
 Extinction des torrents, 33.

F

Fahlun, 440, 350.
 Falles, 470, 471, 172.
 Falaise basse, 61.
 Fallowfield, 306.
 Faluns, 499, 548.
 Farine siliceuse, 272.
 Feldspaths, 275.
 Feldspathides, 276.
 Feldspathoïdes, 282.
 Fépin, 476.
 Fer, 544, 542.
 Fer (minerais de), 334.
 Fer arsénical, 340.
 Fer carbonaté, 338.
 Fer chromé, 341.
 Fer de lance (gypse), 238, 318, 534.
 Fer natif, 335.
 Fer oligiste, 336.
 Fer oxydè anhydre, 335.
 Fer oxydè hydraté, 337.
 Fer oxydulé, 335.
 Fer phosphaté, 339.
 Fer silicaté, 339.
 Fer sulfuré, 339.
 Feroë (îles), 299.
 Ferté-sous-Jouarre (la), 270, 484.
 Feu (action du), 412, 413.
 Feuille morte (syénite), 445.
 Figuline (argile), 487.
 Filôla, 520, 521.
 Filons, 154, 177.
 Fils, 401.
 Finistère, 17, 67, 435.
 Finlande, 412, 434, 483.
 Fissilité, 167.
 Flandre, 5, 84, 146.
 Flénu, 375.
 Flexibilité des roches, 404, 405.
 Florence, 449, 456, 464, 482.
 Floride (la), 76, 206.
 Fluidale (texture), 424.
 Fluor, 542.

Fluorine, 327.
 Fluorures, 327.
 Fonds de bateau, 165.
 Fontainebleau, 18.
 Fontainebleau (sables et grès de), 51,
 474, 475, 482.
 Fontaine-Ronde (la), 49.
 Fontenay-aux-Roses, 475.
 Foraminifères, 71, 74, 558.
 Forêt-Foire, 192, 193.
 Forges-les-Eaux, 490.
 Forgets (les), 513.
 Forio, 140, 145.
 Formose, 116.
 Formules minéralogiques, 261.
 Fort-de-France, 144.
 Fossile, 545.
 Fossiles caractéristiques, 546.
 Fossiles remaniés, 576.
 Fossiles (distribution des), 576.
 Fossilisation, 564.
 Foyer initial d'un tremblement de
 terre, 133, 134.
 Fractures (champ de), 178.
 Fragmentaires (roches), 472.
 Framont, 336, 447.
 Franche-Comté, 497, 500.
 Franchimont, 524.
 Francs (banes), 505.
 Fréjus, 455.
 Freyberg, 350, 359.
 Froid-Puits (source de), 49.
 Fulgurites, 12.
 Fumay, 167, 495.
 Fumerolles, 409, 410.
 Fusain minéral, 377.
 Fusion des glaciers, 23.
 Fusi-Yama, 115.
Fusus, 555.
 Fuveau, 378.

G

Gabas, 520.
 Gabian, 388.
 Gaize, 485, 486.
 Galène, 182, 353.
 Galles (pays de), 366, 371, 372, 495.
 Galway, 527.
 Gange, 42.
 Gangues, 184.
 Gard (département du), 302, 345, 372,
 584.
 Garnièrite, 344.
 Garonne, 37.
 Garonne (Haute), 527.
 Gascogne, 16, 17, 326.
 Gastéropodes, 555.
 Gault, 53.
 Gavarnie, 32, 458.
 Gélivité, 417.
 Gemmes, 293.
 Genève, 482.
 Genève (lac de), 43.
 Genevreville (tunnel de), 56.
 Genoux d'étain, 343.

Géodes, 388, 422.
 Géogénie, 1.
 Géognosie, 4.
 Géolite, 149.
 Géologie (applications de la), 3.
 Géologie (définition de la), 4.
 Géologie descriptive, 1.
 Gers, 577.
 Gerzat, 15.
 Geysers, 95, 121.
 Geysérite, 121, 272.
 Giobertite, 314.
 Girgenti, 330.
 Girolata, 454.
 Gironde, 16, 42, 150.
 Givel, 308.
 Glaces (embâcles de), 28.
 Glaces des lacs et rivières, 28.
 Glaces flottantes, 27.
 Glaces polaires, 27.
 Glaciers, 21.
 Glaçons, 28.
 Glaize, 489.
 Glauconie, 287.
 Globulaire (texture), 425.
 Globuleux (zoophytes), 537.
 Globulites, 241.
 Gneiss, 175, 183, 185, 186, 435, 497.
 Gneiss granitoïde, 436.
 Golconde, 364.
 Gonitiles, 555.
 Goudron, 368.
 Goulet de torrent, 32.
 Gouttes de pluie (empreintes de), 574.
 Grand antique (marbre), 525.
 Grand deuil (marbre), 525.
 Grand Combe (la), 584.
 Grand-Filon, 332.
 Grand Morin (le), 36.
 Granite, 174, 253, 427.
 Granite amphibolifère ou égyptien, 428, 429.
 Granite à grandes parties, 429.
 Granite à mica blanc, 431.
 Granite à pélite, 429.
 Granite normal, 430.
 Granite porphyroïde, 429.
 Granite régénéré, 483.
 Granite schisteux, 435.
 Granite (petit), 509, 517, 528.
 Granites marbres et granites pierres, 431.
 Granitella, 429.
 Granitoïdes (roches), 426.
 Granulite, 431.
 Graphite, 364, 365.
 Graphiteux (schiste), 494.
 Graptolites, 571, 573.
 Grauwacke, 479.
 Gravier, 473, 499.
 Gravier calcaire, 499.
 Gravier de fond, 39.
 Gravier de torrents, 43.
 Gravier quartzeux, 473, 474, 475.
 Grèce, 125, 130, 478, 523.
 Greenstone, 448.

Greison, 439.
 Grenade, 521.
 Grenade (Nouvelle), 115, 127, 294.
 Grenat, 295.
 Grenat noble, 296.
 Grenatite, 449.
 Grenelle, 53, 89.
 Grès, 478.
 Grès bigarré, 480, 481, 497.
 Grès flexible, 404.
 Grès houiller, 480.
 Grès vosgien, 480, 481.
 Griffon, 96.
 Grignard, 534.
 Grignon, 564.
 Grimaux, 514.
 Griotte (marbre), 524.
 Grisons (montagnes des), 34.
 Grison, 143, 386.
 Groenland, 135, 328, 335, 469.
 Grossier (calcaire), 504, 505, 506.
 Grossulaire (grenat), 295.
 Grottes, 55, 58.
 Groupements des cristaux, 236.
 Grünstein, 448.
 Guadalcanal, 359.
 Guadarrama, 432.
 Guadeloupe (la), 70.
 Guanaxuato, 132, 360.
 Guano, 76, 77.
 Guebwiller, 478.
 Gulf-Stream, 28, 60, 80.
 Gunung-Api, 116.
 Guyane, 362.
 Gymnospermes, 562.
 Gypse, 55, 56, 184, 317, 533, 534.

II

Habitat des fossiles, 575.
 Hainaut, 456, 478, 509.
 Halle, 381.
 Hammam-Meskoutine, 98, 99, 100.
 Hamme (la), 84.
 Han, 55.
 Hanovre, 272.
 Harlem, 65.
 Hartz, 177, 179, 327, 350, 354, 523.
 Haussmannite, 332.
 Haüyne, 298.
 Havre (le), 42, 61, 320.
 Hawaï, 116.
 Hecla, 114.
 Heligoland, 61.
Helix, 555.
 Hématite, 336, 337.
 Hémitropes (lamelles), 253, 280, 515.
 Hémitropie, 237, 238.
 Hérault, 471.
 Herculanum, 105, 111.
 Hève (la), 62, 320.
 Hexham, 306.
 Himalaya, 24, 60, 195.
 Hollande, 34, 64, 81, 83, 84, 141, 146.
 Hollande (Nouvelle), 175.

Homo diluvii testis, 350.
 Homogénéité des minéraux, 211.
 Homogénéité des roches, 401.
 Homologues (points), 212.
 Hongrie, 80, 271, 304, 319, 331, 333, 334, 348, 354, 359, 362, 468.
 Hornblende, 291, 292, 293.
 Hornfels, 457.
 Houille, 183, 367.
 Houille (formation de la), 568, 569, 570.
 Houiller (grès), 480.
 Huelgoat, 354, 360.
 Huelva, 350.
 Huitres (bancs d'), 76.
 Humus, 78, 79.
 Hyacinthe de Compostelle, 255, 268.
 Hyalomite, 439, 440.
 Hyalotourmalite, 449.
 Hydrocarbures, 126, 127, 386.
 Hydrogène, 544.
 Hydrogène carboné, 125.
 Hydrophane, 271.
 Hydrosilicate de nickel, 343.
 Hydrotimétrique (degré), 51.
 Hymette, 519.
 Hypérite, 291, 449.
 Hypersthène, 291.

I

Ice-bergs, 27.
 Ichthyosaure, 350.
 Idria, 336, 337.
 Ile-et-Villaine, 67, 345.
 Impressionnés (cailloux), 476, 477.
 Impressions musculaires, palléales, 533.
 Incarnat du Languedoc (marbre), 524.
 Inclinaison des couches, 169.
 Inclusions des cristaux, 242, 243, 244.
 Incrustation par les sources, 58.
 Incrustation (fossilisation par), 566.
 Inde, 206, 297, 304, 305, 347, 364, 479.
 Indes Néerlandaises, 105.
 Indices des faces cristallines, 229.
 Indien (océan), 75, 206.
 Indo-Chine, 206.
 Indre (département de l'), 500.
 Indus, 135.
 Infiltration de l'eau, 20, 45, 56.
 Infusoires, 559.
 Insectes, 551.
 Interférences, 249.
 Intrusion des roches, 175, 184.
 Ioniennes (îles), 125.
 Iridium, 360.
 Irisés (minerais), 255.
 Irkoutsk, 365.
 Irlande, 83, 84, 183, 184, 469, 470, 527.
 Ischia, 114, 129, 140, 144, 145.
 Isère, 331, 338, 366, 379, 478, 523, 537.
 Islande, 80, 102, 104, 105, 114, 121, 467.
 Isle-Adlam (l'), 513.
 Isoclinal (pli), 166.
 Isomorphisme, 239, 240.
 Istrie, 14.

Itabirite, 441.
 Italie, 14, 123, 132, 133, 142, 147, 319, 334, 378, 522, 524, 526, 529.
 Ivoire fossile, 548.

J

Jade, 281.
 Jais, 380.
 Jamaïque (la), 135.
 Japon, 115, 139, 144, 334, 358.
 Jaspe, 270.
 Jaspe de Saint-Gervais, 484.
 Jaune antique (marbre), 522.
 Jaune de Sienne (marbre), 522.
 Java, 106, 116, 127, 129.
 Jayet, 380.
 Jean Mayen (île), 114.
 Jersey, 147.
 Joints, 172, 173.
 Jougne (la), 201.
 Joux, 201.
 Jura, 55, 58, 85, 185, 192, 195, 199, 201, 500, 521, 526, 529.
 Jura suisse, 165.

K

Kaafjord, 350.
 Kalmar, 146.
 Kamtschatka, 115.
 Kaolin, 45, 275, 437, 438.
 Kaolinisation, 45.
 Karst, 14.
 Kène, 477.
 Kent (comté de), 320.
 Kentucky, 55.
 Kersanton, Kersantite, 447.
 Kieselguhr, 272.
 Klaprothine, 326.
 Kolyvansk, 456.
 Kœnigsberg, 552, 561.
 Kongsberg, 359.
 Kouriles (îles), 115.
 Krageroe, 321.
 Krakatoa, 106, 120, 129, 138.
 Kreutznach, 455, 456.
 Kupfernickel, 343.
 Kutch, 136.

L

Laber, 435.
 Labrador, 281.
 Lac Baikal, 298.
 Lac Majeur, 520.
 Lac Supérieur, 43, 349, 351, 352, 461.
 Lacédémone, 522.
 Lacédémonien (marbre), 459.
 Lacs, 42, 43.
 Lacco-Ameno, 129, 140, 145.
 Laconie, 459.
 Lacquedives, 75.
 Lacustres (fossiles), 575.
 Lagéa, 524.

- Lagny, 534.
 Laguni, 124.
 Lagunes, 64, 65.
 Laifour, 572.
 Lamballe, 440.
 Lambourdes, 505.
 Lamellaire (cassure), 257.
 Lamellibranches, 556.
 Lames minces, 251, 253.
 Laminaire (cassure), 257.
 Landes, 15, 52, 59.
 Languedoc, 64, 524.
 Laon, 188.
 Lapilli, 104.
 Lapis calaminaria, 344.
 Lapis lazuli, 297, 298.
 Lapis phrygius, 527.
 Laponie, 135.
 Larmes du Vésuve, 104.
 Lave, 101, 106, 174, 184, 470.
 Laves (calcaires), 497.
 Lazulite, 297.
 Leipzig, 89.
 Lépidoïte, 235.
Leptæna, 536.
 Leptynite, 438, 439.
 Lérrouville, 503.
 Lesse (grottes de la), 55.
 Lessines, 456.
 Leucite, 282.
 Leucitophyre, 471.
 Levées de sables et de galets, 63, 64.
 Lèvres d'une faille, 170.
 Lherzolite, 449.
 Liais, 501.
 Libelle, 243, 244.
 Liège, 373.
 Liège de montagne, 292.
 Lignite, 377, 389.
 Lille, 54.
 Lima, 141.
 Limagne, 14.
 Limés, 401.
 Limoges, 294.
 Limon, 39, 492.
 Limonite, 337, 338.
 Limousin, 432, 436, 456.
 Lingules, 556.
 Lipari (îles), 112, 114, 465, 467.
 Liparite, 465.
 Lisbonne, 132, 133, 139.
 Lits, 162.
 Lit majeur et lit mineur, 35.
 Lithographique (calcaire), 500.
 Lithologie, 2.
 Lithophages (mollusques), 71, 372.
 Lithuanie, 84.
 Littoral (appareil), 63.
 Liver-Roch, 412.
 Lodosa, 315.
 Löss, 492.
 Loire (fleuve), 28, 36, 53.
 Loire (département de la), 375, 452, 480.
 Loire (Haute), 348, 468, 477.
 Loire-Inférieure, 449.
 Lombardie, 191.
 Londres, 42, 54, 70, 416, 435.
 Longrain, 167.
 Longulites, 241.
 Lorraine, 56, 193, 326, 533.
 Louèche, 437.
 Lourdines (des), 514.
 Louvres, 513.
 Lozère, 302, 441.
 Lucrin (lac), 102.
 Lumachelles, 528.
 Lumbock, 106.
 Luxembourg, 334.
 Lure, 56.
 Luxeuil, 98.
 Lychnite, 519.
 Lydie, 271.
 Lymnées, 555.
 Lyon, 29, 30, 200, 443.
- MI**
- Machéroménil, 564.
 Macigno, 482.
 Mâcle, 236.
 Mâcle de Carlsbad, 238.
 Mâcle des spinelles, 304.
 Mâcon, 332.
 Madagascar, 114, 268.
 Madrid, 429.
 Magdebourg, 327.
 Magnésic carbonatée, 314.
 Magnésien (calcaire), 511.
 Magnésite, 288.
 Magnésium, 540.
 Mailles réticulaires, 214.
 Majorque, 430.
 Malacca, 347.
 Malachite, 351.
 Maldives, 73.
 Malte, 105.
 Maltie, 388.
 Mammifères, 548, 549.
 Mammoth, 548.
 Mammoth (grotte du), 55.
 Manche (dép. de la), 445, 527.
 Manche (mer), 61, 66, 67.
 Mandchourie, 116, 120.
 Manganèse, 542.
 Manganèse (minerais de), 331.
 Manganèse carbonaté, 333.
 Manganèse silicaté, 333.
 Manganite, 333.
 Mansouque, 379.
 Manteau des mollusques, 553.
 Marais (gaz des), 386.
 Marais (minerais des), 80, 81.
 Marais salants, 69.
 Marathon, 459.
 Marbre, 514.
 Marbre antique, 515.
 Marbres blancs, 518.
 Marbres bleus, 521.
 Marbres brèches, 524.
 Marbres composés, 526.
 Marbres gris et cendrés, 521.

- Marbres jaunes, 522.
 Marbres lumachelles, 528.
 Marbres noirs, 523.
 Marbres rouges, roses, roux, violets, 523.
 Marbres simples, 518.
 Marcasite, 340.
 Mares, 43, 44.
 Marécages, 43.
 Maremmes, 124.
 Marmara (mer de), 303, 520.
 Marseille, 150.
 Mariannes (îles), 116.
 Marienberg, 140.
 Marins (fossiles), 575.
 Marne (dép. de la), 475.
 Marne (rivière), 36.
 Marne (roche), 491.
 Marnes du gypse, 51.
 Marnes irisées, 533.
 Marnes vertes, 51.
 Maroc, 135.
 Marquise, 521.
 Martinique (la), 135, 144.
 Massif corallien, 72.
 Matières dissoutes dans les sources, 51.
 Mauna-Loa, 109, 116, 204.
 Maurins, 463.
 Mayence, 34.
 Mayenne, 413, 495, 522, 529.
 Méandres des rivières, 35.
 Meaux, 36, 506.
 Méditerranée, 41, 64, 68, 113, 142, 143, 147, 150.
 Meissen, 438.
 Mélanies, 555.
 Mélanite (grenat), 295.
 Mélaphyre, 458, 459.
 Memel, 390.
 Ménapiens (pays des), 146.
 Menaf, 494.
 Ménilite, 271.
 Menilmontant, 271.
 Mer (action de la), 59.
 Mers (étendue des), 59.
 Mers (profondeur des), 59, 60.
 Mer Morte, 123, 388.
 Mer Noire, 42, 69.
 Mer Rouge, 199.
 Mercure (minerais de), 356.
 Mercure natif, 357.
 Merl, 66, 67.
 Mésotype, 299.
 Métamorphisme, 182.
 Météorites, 335.
 Meudon, 507, 512.
 Meulière, 270, 484.
 Meurthe-et-Moselle, 334, 338.
 Meuse (dép. de la), 321, 503.
 Meuse (rivière), 146, 200.
 Mexico, 471.
 Meximieux, 577.
 Mexique, 120, 132, 199, 350, 352, 358, 359, 360, 471, 535.
 Mexique (golfe du), 42, 64, 75, 80, 115
- Meymac, 356.
 Mica, 284, 285, 286.
 Micaschiste, 175, 186, 440, 441, 497.
 Miches, 366.
 Microcline, 278.
 Microgranite, 451.
 Microlithes, 241, 242.
 Micropegmatite, 451.
 Microscope, 251, 252, 253, 254, 398.
 Microsismiques (mouvements), 128, 142, 143.
 Miliolithique (calcaire), 502.
 Minas Geraes, 364.
 Mine de plomb, 364.
 Minerais métalliques, 328.
 Minéral (définition du), 209.
 Minéralisateurs, 329.
 Minéralogie (définition de la), 2, 209.
 Minette, 447.
 Miroir d'âne, 534.
 Miroirs, 170, 177.
 Mispickel, 331, 340.
 Mississipi, 41, 42, 80, 123.
 Mistral, 14.
 Modifications sur les cristaux, 227.
Modiola lithophaga, 136.
 Mofettes, 110, 127.
 Moies, 401.
 Mokta-el-Hadid, 336.
 Moldavie, 80.
 Molécule cristalline, 219.
 Mollasse, 481, 482.
 Molle (la), 463.
 Mollusques, 533.
 Moluques, 116.
 Molybdène (minerais de), 346.
 Molybdénite, 346.
 Molybdique (acide), 346.
 Monocotylédones, 560, 561, 562.
Monograptus, 571.
 Monoréfringence, 246.
 Mons, 373, 375.
 Montagnes (formation des), 189.
 Mont-Blanc, 20, 24, 91, 346, 442, 484.
 Mont-Cenis, 90, 91.
 Mont-Dore, 14, 272, 319, 466, 467, 468.
 Monte-Catini, 350.
 Monte-Cerboli, 124.
 Montélimart, 470.
 Montemayor, 324.
 Monte-Nuovo, 101, 112.
 Monte Rotondo, 124.
 Montmartre, 271, 535.
 Montmirail, 484.
 Montreuilton, 453.
 Montrouge, 512.
 Monts morts, 463.
 Moraines, 24, 25, 26.
 Moravie, 441.
 Morbihan, 339, 347.
 Morvan, 37, 51, 448, 455, 483.
 Moules de fossiles, 567.
 Moulins (brocatelle de), 526.
 Moutonnées (roches), 27.
 Mouvements lents du sol, 145.
 Mouvements orogéniques, 187, 189.

Mouvements séculaires, 187, 188, 189.
 Mur de filon, 177.
 Murcie (province de), 321.
 Mure (la), 366.
 Muscovite, 285.
 Musculaires (impressions), 553.
 Myriapodes, 552.

N

Nagelfluh, 482.
 Namur, 337, 523.
 Nantes, 268, 347.
 Naphte, 126, 387.
 Naphtoschiste, 494.
 Naples, 104, 124, 127, 471.
 Napoléon (marbre), 521.
 Nappes d'eau, 45.
 Narbonne (lumachelle de), 528.
 Nassau, 96, 380.
 Natices, 555.
 Nautile, 554.
 Naxos, 302.
 Neauphle, 577.
 Nectique (silex), 271.
 Neige, 19.
 Neiges persistantes, 19.
 Néphéline, 282.
 Nérinées, 555.
 Neufchâtel (Suisse), 149.
 Nevé, 21.
 Newcastle, 375, 490.
 New-Hampshire, 294.
 New-York (Etat de), 125.
 Niagara, 37.
 Nickel (minerais de), 342, 343.
 Nicol, 248, 249.
 Nièvre, 455.
 Nil, 39, 40, 41.
 Nitrates, 304.
 Niveau de la mer (variations du), 149.
 Noir antique (marbre), 523.
 Noir français (marbre), 523.
 Nord (départ. du), 523, 529.
 Nordstrand, 61.
 Normandie, 61, 66, 287, 432, 434, 507, 566.
 Northumberland, 306.
 Norvège, 60, 281, 295, 321, 334, 336, 350, 437.
 Notation des faces des cristaux, 228.
 Novaculite, 493.
 Noyant, 461.
 Noyau fluide du globe, 94, 190.
 Nucules, 556.
 Nueva-Valencia, 50.
 Nullipores, 72.
 Numidie (marbre de), 523.
 Nummulites, 558.
 Nummulitique (calcaire), 558.
 Nyons, 125.

O

Oasis (ensablement des), 48.
 Oberstein, 270, 461.

Obsidienne, 466.
 Ocres, 337, 338, 490.
 Octaèdre régulier, 229, 230.
 Odontolite, 326.
 Oeningen, 550.
 Offenbanya, 177.
 Oisans, 295.
 Oise (département de l'), 552, 564.
 Oise (rivière), 84.
 Oiseaux, 549.
Oldhamia antiqua, 571, 573.
 Oléfiant (gaz), 386.
 Olette, 98, 100.
 Oligiste, 336.
 Oligoclase, 280, 281.
 Olivine, 297.
 Onde sismique, 132, 133.
 Ontario (lac), 37.
 Onyx, 269.
 Onyx d'Algérie, 528.
 Oolithes, 502.
 Oolithique (calcaire), 75, 502.
 Oolithique (minerai de fer), 338.
 Opale, 271.
 Ophicalce, 462, 527.
 Ophite, 457.
 Or (minerais d'), 361.
 Oran, 528.
 Orange, 455.
 Orcades (les), 62.
 Orezza, 98.
 Organismes animaux (action des), 70.
 Organismes végétaux (action des), 77.
 Orientation des montagnes, 196.
 Orne, 415, 448.
Orthos, 556.
 Orthocères, 555.
 Orthorhombique (système), 222.
 Orthose, 276.
 Osmium, 360.
 Ossements (amas d'), 76.
Ostrea, 556.
 Oitrelite, 284.
 Ouessant, 62.
 Oural, 42, 206, 351, 360, 362, 364.
 Outremer, 297.
 Ovifak, 335, 469.
 Ovipares, 548.
 Oxydes, 300.
 Oxygène, 13, 539.

P

Pacifique (océan), 73, 74, 75, 76, 114, 115, 148, 206, 558.
 Palatinat, 270, 455.
 Paléontologie (définition de la), 545.
 Paléontologie (importance et lois de la), 578.
 Paléontologie (utilité pratique de la), 583.
 Palerme, 148.
 Palladium, 361.
 Palléales (impressions), 553.
 Panama, 115.
 Panopées, 556.

- Pappenheim, 500.
 Paracé, 124.
 Parc national des Américains, 123.
 Paris, 18, 30, 35, 36, 44, 49, 52, 53, 87, 188, 200, 482, 505, 507, 512, 535.
 Parmain, 513.
 Paros (marbre de), 519.
 Pas de bœuf, 573.
 Pas-de-Calais, 59, 64, 66, 373, 375, 521, 529.
 Passes, 516.
 Passy, 53, 137, 512.
 Patagonie, 115.
 Pavin (lac), 120.
 Pays-Bas, 146.
 Pechblende, 356.
 Pech-David (le), 37.
 Pechstein, 454.
 Pegmatite, 436, 437.
Pecten, 556.
 Pegmatite graphique, 437.
 Peignes, 556.
 Peignes (banco de), 76.
 Pelagiens (fossiles), 575.
 Pelew (îles), 148.
 Pénétration (fossilisation par), 567.
 Pensylvanie, 125, 366, 367, 386, 387.
 Pentagonal (réseau), 201.
 Pentagone européen, 204.
 Pente des cours d'eau, 34.
 Pentélique, 519.
 Pépites, 361.
 Périidot, 296, 297.
 Périgieux, 171.
 Perlite, 466.
 Perméabilité des roches, 45.
 Pérou, 76, 115, 139, 304, 305, 359, 360.
 Perse, 305, 326.
 Pétalite, 283.
 Petit Morin, 36.
 Pétrographie, 2.
 Pétrole, 125, 126, 127, 386.
 Petit antique (marbre), 525.
 Petit deuil (marbre), 525.
 Pétrification, 565.
 Pétrosilex, 278, 453.
 Petunzé, 437.
 Phalsbourg, 481.
 Phanérogames, 561.
 Phanérogènes (roches), 393.
 Phénomènes geysériens, 121.
 Philippeville, 522.
 Philippines, 116.
 Phillipsite, 349.
 Phlégréens (champs), 112, 114.
 Pholadomyes, 556.
 Phonolite, 466, 497.
 Phosphates, 319.
 Phosphore, 542.
 Phosphorite, 321, 322.
 Phyllade, 494, 495, 496.
 Phyllade satiné, 495.
 Phyllites, 284.
 Physes, 555.
 Picardie, 5, 146, 484.
 Pied de faille, 170.
 Piémont, 288, 315, 343, 448, 450.
 Pierre à fusil, 270.
 Pierre à Jésus, 534.
 Pierre à plâtre, 317.
 Pierre blanche, 439.
 Pierre d'aimant, 336.
 Pierre de croix, 185, 236.
 Pierre de glace, 328.
 Pierre de lard, 288.
 Pierre de lune, 279.
 Pierre de soleil, 279.
 Pierre de touche, 270.
 Pierre des amazones, 279.
 Pierre ollaire, 288.
 Pierres orientales, 301.
 Pignatore, 132.
 Pince à tourmaline, 247, 248.
 Pinite, 274.
 Pise, 482.
 Pisé, 488.
 Pisolithique (calcaire), 502.
 Pisolithique (minéral de fer), 338.
 Pissasphalte, 388.
 Pistes de reptiles, 572.
 Pitcairn (îles), 148.
 Plages soulevées, 145.
 Plagioclases, 283.
 Plaques minces, 251, 252.
 Plasticité de la glace, 22, 23.
 Plastique (argile), 275, 489, 490.
 Plateau central, 36, 37, 85, 97, 186, 192, 194, 195, 435, 436.
 Platine (minéral de), 360.
 Plâtre, 535, 536.
 Plésiosaure, 550.
 Pleurotomaires, 555.
 Plicatules, 556.
 Plis, 166.
 Plissements (régions de), 192.
 Plomb (minerais de), 352.
 Plomb natif, 356.
 Plomb sulfuré, 253.
 Plombagine, 254.
 Plombières, 97, 99, 100, 185.
 Plombifères (filons), 354.
 Plougastel, 521.
 Pluie, 29, 30.
 Pluies boueuses, 104.
 Pô, 40, 41.
 Poche à encre, 563.
 Poils, 401.
 Poissons, 550, 551, 571.
 Poitou, 147.
 Poix minérale, 388.
 Poix (puy de la), 388.
 Polarisation, 246.
 Polarisation chromatique, 250.
 Polders, 65.
 Polignac, 477.
 Pologne, 81, 330.
 Polychroïsme, 255.
 Polyèdre moléculaire, 219.
 Polynésie, 73.
 Polypiers, 72, 73, 74, 558.
 Pompéi, 105, 111.

- Ponapé, 73.
 Ponce, 467.
 Ponces (fles), 467.
 Pontarlier, 49, 201.
 Popocatepetl, 120.
 Porcelanite, 184.
 Porphyre, 431.
 Porphyre amphibolique, 457.
 Porphyre feldspathique, 453.
 Porphyre pyroxénique, 458.
 Porphyre quartzifère, 452.
 Porphyroïde (granite), 429.
 Porphyroïde (texture), 424.
 Portland (ciment de), 310.
 Portor (marbre), 527.
 Porto-Venere, 527.
 Port-Royal, 435.
 Portugal, 129, 522.
 Port-Vendres, 16.
 Possession (baie de la), 148.
 Potassium, 540.
 Potton, 443.
 Poudingue fleuri de Tholonet, 525.
 Poudingues, 68, 476.
 Pouffes, 461.
 Pougues, 98.
 Poullaouen, 354.
 Poussières de l'atmosphère, 13.
 Poussières volcaniques, 14.
 Pouzzolane, 511.
 Pozzoles, 124, 136.
 Prato (le), 462.
 Préparation mécanique des roches, 395.
 Prismatique (division), 176, 177.
 Prisme droit à base carré, 222.
 Prisme droit rectangulaire, 222.
 Prisme hexagonal régulier, 232, 233.
 Prisme oblique à base parallélogrammique, 224.
 Prisme rhomboïdal oblique, 223.
 Proconèse, 520.
Productus, 556.
 Profil des cours d'eau, 34, 35.
 Progression des glaciers, 22.
 Projections volcaniques, 104.
 Protogine, 442, 443.
 Protozoaires, 557.
 Provence, 14, 64.
 Prusse, 52, 342, 344, 345, 348, 353, 354, 384, 468.
 Pseudomorphoses, 244.
 Psitomélane, 333.
 Puebla (la), 535.
 Puits artésiens, 52, 89.
 Puy de-Dôme, 14, 97, 99, 272, 354, 413, 465.
 Puy de la Poix, 388.
 Puy (le)-en-Velay, 297, 298, 302, 429, 468.
 Puy-les-Vignes, 345.
 Puy-Marmant, 299.
 Puy (chaîne des), 14.
 Pyrénées, 32, 97, 100, 137, 141, 184, 191, 194, 195, 197, 435, 457, 495, 529, 533.
 Pyrénées (Basses), 330, 520, 525.
 Pyrénées (Hautes), 449, 526, 527.
 Pyrénées-Orientales, 98, 338.
 Pyriac, 347.
 Pyrite blanche, 340.
 Pyrite de cuivre, 182.
 Pyrite de fer, 182, 339, 340.
 Pyrite jaune, 340.
 Pyrite nickelifère, 343.
 Pyrolusite, 332.
 Pyroméride, 454.
 Pyrosphère, 92.
 Pyroxène, 289, 290, 291.
- Q**
- Quadratique (système), 222.
 Quartz, 182, 264, 449.
 Quartz hyalin, 265.
 Quartz lydien, 270.
 Quartzite, 449, 483.
 Queenstown, 37.
 Quenast, 456.
- R**
- Rabotage par les glaciers, 26, 27.
 Randonite, 272.
 Raon-l'Étape, 461.
 Rappakivi, 442.
 Ravaccione, 519.
 Ravenne, 435.
 Rayon ordinaire et extraordinaire, 246.
 Rayonnés, 537.
 Réalgar, 331.
 Récifs annulaires, 72.
 Récifs-barrières, 72, 73.
 Récifs coralliens, 71, 72, 73, 75.
 Récifs côtiers, 72, 75.
 Récifs frangés, 72.
 Redruth, 180.
 Réfraction, 245, 246.
 Refroidissement du globe, 153, 158.
 Regel, 22, 23.
 Régime des cours d'eaux, 36.
 Régime des glaciers, 24.
 Régime des torrents, 31.
 Régime des volcans, 110.
 Règne animal, 547.
 Règne végétal, 560.
 Règneville, 527.
 Reichenstein, 341.
 Rémayes, 23.
 Remiremont, 445.
 Rempli, 190.
 Remplissage des filons, 177, 179, 180, 181.
 Reptiles, 549.
 Réseau pentagonal, 201.
 Résina, 108, 112.
 Résines fossiles, 390.
 Résinite, 271, 454.
 Résistance à la traction et à la flexion, 408.

- Résistance à l'écrasement, 405.
 Reticulaire (assemblage), 213, 214.
 Rétinite, 454.
 Réunion (la), 408, 414, 471.
 Revest, 302.
 Rheinbreitbach, 352.
 Rhin, 34, 35, 362.
 Rhin (vallée du), 193.
 Rhomboèdre, 223.
 Rhomboèdre equiaxe inverse, 308, 309.
Rhinoceros tichorhinus, 548.
 Rhône, 14, 33, 41, 43, 200.
 Rhône (bassin du), 141.
 Rhône (départ. du), 340.
 Rhynchonelles, 556.
 Richmond, 54.
 Rie, 520.
 Ricchelsdorf, 342.
 Righi (le), 57.
 Rilly-la-Montagne, 475.
 Rimogne, 496.
 Rio-Bamba, 130, 132.
 Rio-Tinto, 350.
 Rio-Vinagre, 124.
 Ripple marks, 575.
 Rivières, 34.
 Rivière-Rouge, 80.
 Roannais, 371.
 Roche (définition), 291.
 Roche (banc de), 505, 506.
 Rochelle (la), 70, 147.
 Rochemaure, 299.
 Roches acides, 422.
 Roches argileuses, 486.
 Roches basiques, 422.
 Roches calcaires, 497.
 Roches éruptives, 154, 157, 175.
 Roches granuloïdes, 427.
 Roches ignées, 157, 173, 421.
 Roches métamorphiques, 157, 421.
 Roches moutonnées, 27.
 Roches noires, 461.
 Roches porphyriques, 451.
 Roches primitives, 157, 174.
 Roches sédimentaires, 157.
 Roches siliceuses, 473.
 Roches stratiformes, 174.
 Romainville, 335.
 Romanèche, 332, 333.
 Rome, 455, 471, 529.
 Røraas, 350.
 Rosières, 514.
 Rouge antique (marbre), 523.
 Rouge français (marbre), 524.
 Rouge royal (marbre), 524.
 Rouge turquin (marbre), 524.
 Royals (bancs), 505.
 Rossberg (le), 57.
 Rouen, 33.
 Rouge de Mars, 490.
 Roule (montagne du), 483.
 Rouvre (le), 53.
 Royat, 99.
 Rubis, 301.
 Rubis balais, 304.
 Rubis spinelle, 304.
- Ruhr (la), 337, 373.
 Russie, 79, 188, 334, 361, 362, 382, 385.
 Rutile, 300.
- S**
- Sable (pluies de), 14.
 Sable, 366.
 Sables, 38, 40, 473.
 Sables calcaires, 499.
 Sables gras, 40.
 Sables quartzeux, 473, 474, 475.
 Sables terreux, 40.
 Sables verts, 51, 53, 287, 320, 474.
 Sables volcaniques, 104.
 Sablonneuse (kaolin), 438.
 Sahara, 14, 16, 18, 78, 437.
 Saillancourt, 513.
 Sain-Bel, 340.
 Saint-Allyre, 58, 312, 566.
 Saint-Austell, 438.
 Saint-Béat (marbre de), 517, 520.
 Saint-Cloud, 512.
 Saint-Crépin, 523.
 Saint-Dizier, 36.
 Saint-Domingue, 140.
 Saint-Eloi de Verberie, 513.
 Saint-Etienne, 372, 373, 443, 480, 566.
 Saint-Florent, 527.
 Saint-Galmier, 97.
 Saint-Gervais, 484.
 Saint-Girons, 525.
 Saint-Gothard, 90, 91, 274, 277, 291.
 Saint-Jean-de-Maurienne, 535.
 Saint-Leu, 412, 512.
 Saint-Lô, 572.
 Saint-Nectaire, 58.
 Saint-Nom, 513.
 Saint-Paul (île), 28.
 Saint-Petersbourg, 402, 412, 432.
 Saint-Pol-de-Léon, 17.
 Saint-Raphael, 433.
 Saint-Sauveur, 97.
 Saint-Tropez, 463.
 Saint-Véran, 463.
 Saint-Yrie, 500.
 Saint-Yrieix, 438.
 Sainte-Anne (marbre), 523.
 Sainte-Colombe-sur-l'Her, 380.
 Sainte-Hélène (île), 114.
 Sainte-Luce, 523.
 Sainte-Marie-aux-Mines, 448.
 Saintonge, 147.
 Sais, 402.
 Salbandes, 177.
 Salins, 521.
Salix arenaria, 17.
 Salpêtre, 304.
 Salses, 126, 127.
 Salure des mers, 68, 150.
 Saïndres, 303.
 Sandstein, sandstone, 478.
 Sandwich (îles), 109, 116, 204.
 San-Filippo, 312.
 San-Juliano (marbre de), 520.

- Sangay, 115.
 Sanguine, 490.
 Sanidine, 278.
 Sansan, 577.
 Santander, 344.
 Santorin, 114.
 Saône, 28.
 Saône-et-Loire, 332, 376, 480.
 Saône (Haute), 445, 459.
 Saphir, 301.
 Saphirine, 269.
 Sardaigne, 148, 354.
 Sarrancolin (marbre), 522.
 Sardoine, 269.
 Sarrebrück, 375, 376.
 Sarthe, 366.
 Sauriens, 340.
 Sauvages (eaux), 30.
 Sauveterre, 325, 327.
 Savoie, 98, 443, 482.
 Savon des verriers, 332.
 Savonnières-en-Perthois, 514.
 Saxe, 140, 204, 271, 274, 294, 340, 341, 342, 343, 355, 356, 359.
 Scalénoédres, 309, 310, 311.
 Scandinavie, 145, 146, 186, 434, 436, 538.
 Scanie, 146, 321.
 Schiste, 493.
 Schiste amphibolique, 446.
 Schiste ardoisier, 167, 185, 494, 495, 496.
 Schiste argileux, 184, 493.
 Schiste bitumineux, 494.
 Schiste carburé, 494.
 Schiste cotriculaire, 493.
 Schiste cristallin, 183.
 Schiste graphiteux, 494.
 Schiste quartzeux micacé, 440.
 Schisteuse (argile), 492.
 Schistosité, 167, 168.
 Schladebach, 89.
 Schmidt (règle de), 179.
 Schneeberg, 342, 355.
 Schwartzbach, 365.
 Scories volcaniques, 104.
 Sédimentation, 154.
 Sédiments fluviaux, lacustres, 161.
 Sédiments marins, 161, 162.
 Sein, 62.
 Seine, 28, 29, 35, 36, 37, 42, 53, 200.
 Seine-et-Marne, 475, 484, 534.
 Seine-et-Oise, 501, 564.
 Séismiques (phénomènes), 128.
 Séismographe, 131.
 Sélénitiques (eaux), 52.
 Sélénium, 350.
 Sel gemme, 55, 56, 326.
 Selles, 165.
 Seltz, 96.
 Sepia, 553, 563.
 Sérapis (temple de), 136.
 Séricite, 441.
 Serpentine (roche), 461.
 Serpentine noble, 288.
 Serraggio, 521.
 Serravezza, 518, 524, 526.
 Servance, 445, 459.
 Séville, 129.
 Seyssel, 508.
 Sezanne, 566, 577.
 Sheffield, 492.
 Shetland, 62, 116.
 Shrewsbury, 575.
 Sibérie, 87, 91, 268, 286, 292, 295, 298, 301, 350, 351, 352, 362, 365, 429, 548.
 Sicile, 113, 142, 148, 316, 329.
 Siebengerbigge, 468.
 Siegen (pays de), 339, 342.
 Sienna (brocatelle de), 526.
 Sierra de Bacarès, de Orio, 520.
 Silésie, 271, 333, 344, 375, 377.
 Silex, 270, 483, 484.
 Silicate de fer, 339.
 Silicates trappéens, 289.
 Silice, 264, 539.
 Siliceux (calcaire), 511.
 Silicification, 184.
 Silicium, 539.
 Simorre, 326.
 Simplon, 91.
 Sinuosités des cours d'eau, 35.
 Smaltine, 342.
 Smectique (argile), 275.
 Snarum, 321.
 Sodium, 544.
 Soignies, 509.
 Soissonnais, 381, 514.
 Solenhofen, 500, 553.
 Solfatares, 124, 329, 330.
 Sologne, 43.
 Solvitzborg, 146.
 Sombrière, 77.
 Somma, 111, 120, 282, 298, 471.
 Somme (département de la), 54.
 Somme (rivière), 83, 84.
 Sondages artésiens, 52.
 Sonde (détroit de la), 106, 116.
 Soufflards, 124.
 Soufre, 329, 544.
 Soufrières, 124.
 Souillac, 414.
 Soulèvement (cratères de), 120.
 Soulèvements de montagnes, 190, 193, 496.
 Souppes, 504.
 Sources, 47.
 Sources bitumineuses, 125.
 Sources incrustantes, 58.
 Sources intermittentes, 49.
 Sources jaillissantes, 53, 54.
 Sources minérales, 51, 95.
 Sources thermales, 95.
 Sparte, 459.
 Spath, 287.
 Spath brun, 311.
 Spath d'Islande, 307.
 Spath fluor, 182, 327, 328.
 Spath perlé, 315.
 Spath pesant, 256.
 Spathique (calcaire), 182.

- Spereberg, 89.
 Spezia (la), 54.
 Sphaignes, 82, 84.
 Sphérosidérites, 566.
 Spiegeleisen, 339.
 Spilite, 459.
 Spinelle, 303, 304.
Spirifer, 556.
Spirorbis helicteras, 553.
 Spitzberg, 20, 146.
 Spongiaires, 559.
 Squelettes de cristaux, 242.
 Stabies, 111.
 Stafford (comté de), 377.
 Stahlberg, 339.
 Stalactites, stalagmites, 58, 312.
 Stassfurt, 327.
 Stassfurtite, 327.
 Staurotide, 236, 273.
 Stéatite, 287.
 Stipe, 562.
 Stockholm, 105.
 Storeton-Hill, 575.
 Strasbourg, 35, 481.
 Strates, 162.
 Stratification, 162, 163.
 Stratification entrecroisée, diagonale, 163.
 Stratigraphie, 2.
 Stries du quartz, 267.
 Stries des plagioclases, 280, 281.
 Stries glaciaires, 26.
 Strokk, 122.
 Stromboli, 112, 114.
 Strontiane carbonatée, 306.
 Strontiane sulfatée, 306.
 Strontianite, 306.
 Structure des cristaux (particularités de la), 241.
 Structure des roches, 175, 176, 399.
 Stubensandstein, 481.
 Stuc, 536.
 Styrie, 288, 338, 339, 343.
 Succin, 390.
 Suddètes, 446.
 Suède, 140, 145, 281, 295, 334, 336, 342, 343, 345, 350, 352, 355, 441.
 Suffioni, 124, 300.
 Suintements, 47.
 Suisse, 89, 137, 343, 482.
 Sulfates, 315.
 Sulfurique (acide), 124.
 Sumbava, 106.
 Surfusion, 28.
 Surmelin, 36.
 Surrey (comté de), 320.
 Suze, 448.
 Syène, 429, 434, 443.
 Syénite, 429, 443, 444, 445.
 Syénite schisteuse, 444.
 Syénite zéolonne, 444.
 Silvanès, 98.
 Sylvine, 327.
 Symétrie des cristaux, 220.
 Symétrie de la molécule cristalline, 224.
 Synchronisme des dépôts, 579.
 Synclinal (pli), 166.
 Syrie, 142, 526.
 Système pentagonal, 201.
 Système tétraédrique, 205.
 Systèmes cristallins, 221.
 Systèmes de montagnes, 197.
 Szutschuan, 125.
- T**
- Tables de glaciers, 24.
 Tacarigua (lac de), 50.
 Tachydrite, 327.
 Takali, 535.
 Talc, 287.
 Talcshiste, 441, 497.
 Tamise, 42, 54.
 Tangué, 66, 67.
 Tarapaca, 304.
 Tarentaise, 292.
 Tarets, 572.
 Tarn, 38.
 Tchernozem, 79.
 Teil (le), 511.
 Teintes de polarisation, 250.
 Tellure natif, 177, 330.
 Telok-Betoung, 106.
 Temboro, 105.
 Température de l'air, 87.
 Température des sources, 50.
 Température du sol, 87.
 Temps géologiques, 157.
 Ténacité des roches, 404.
 Ténériffe, 114, 203.
 Tengger, 116.
 Térébratules, 556.
 Terrains ignés, 173.
 Terrains primitifs, 186.
 Terrains sédimentaires, 161.
 Terrasses, 401.
 Terre arable, 77.
 Terre à foulon, 275.
 Terre de Cologne, d'Ombre, 381.
 Terre franche, 488.
 Terre noire, 79, 80.
 Terre végétale, 77, 78, 79.
 Terreau, 78.
 Terre-Neuve, 28.
 Terreux (calcaire), 506.
 Terror, 116.
 Tête de faille, 170.
 Tête de filon, 178.
 Tétraèdre régulier, 205, 234, 235.
 Tétraédrique (système), 205.
 Texture des roches, 400, 423.
 Tezontle, 471.
 Thann, 478.
 Thasos, 520.
 Thermales (sources), 95.
 Thermalité, 96.
 Thibet, 43, 298, 300, 305.
 Tholonet (poudingue fleuri de), 525.
 Thonporphyr, 453.
 Titane oxyde, 300.
 Titanique (acide), 300, 337.
 Toit de filon, 177.

- Tolfa (la), 319.
 Tonnerre, 501.
 Topaze, 294, 295.
 Topaze (fausse), 268.
 Topaze orientale, 301.
 Torneo, 146.
 Torre del Greco, 409.
 Torrents, 31.
 Tortose, 526.
 Toscane, 124, 300, 305, 318, 348, 350,
 440, 462, 518, 526, 534.
 Toulouse, 37, 191, 520.
 Tour-du-Pin (la), 379.
 Touraine, 5, 507, 548.
 Tourbe, 81, 82, 381, 382, 383.
 Tourbières, 81.
 Tourmaline, 247, 296.
 Tours, 507.
 Trachyte, 183, 464.
 Transformation chimique (fossilisation
 par), 565.
 Transformations (théorie des), 581.
 Transgressivité, 469.
 Transport par les glaciers, 24.
 Transylvanien, 477, 330, 331.
 Trapézien (gypse), 318.
 Trapézoèdre, 231.
 Trapp, 483, 289, 460, 461.
 Trass, 471, 472.
 Travertin, 80, 81, 503, 504.
 Tremblements de terre, 55, 128.
 Tremblores, 128.
 Tremolite, 291.
 Trentin, 526.
 Trez, 66, 67.
 Trichites, 241.
 Triclinique (système), 224.
 Tridymite, 271.
 Trigonies, 556.
 Trilobites, 352.
 Trinidad (la), 388.
 Triphane, 283.
 Tripoli, 80, 272.
 Trituration par les glaciers, 27.
 Troncatures des cristaux, 226, 227.
 Troncatures rationnelles (loi des), 226.
 Trossy, 512.
 Troubat, 527.
 Tufs, 58, 184, 504.
 Tufs volcaniques, 471.
 Tufeau (craie), 507.
 Tuilière (Roche), 466.
 Tunaberg, 342.
 Tungstène (minerais de), 345.
 Tuniciens, 554.
 Tunnels (températures dans les), 90,
 91.
 Turamah, 296.
 Turin, 449.
 Turquoise, 326.
 Turrillites, 555.
 Turritelles, 555.
 Types cristallins primitifs, 226.
 Tyrol, 184, 299.
 Tyrrhénienne (mer), 467.
- U**
- Uchaux, 552.
 Unio, 556.
 Uranic (minerais d'), 356.
- V**
- Valais, 55, 339, 441.
 Val, 97, 199.
 Val del Bove, 113.
 Val-de-Travers, 508.
 Vallée de la Mort, 127.
 Vallées (formation des), 198.
 Vallées (profil des), 39.
 Vallées de déclivement, 198.
 Vallées d'effondrement, 193, 199.
 Vallées d'érosion, 199, 200.
 Vallées de ploiement, 199.
 Vallées mixtes, 200.
 Valparaiso, 148.
 Valsaline, 436.
 Vanne (la), 49.
 Var (département du), 302.
 Variolite, 460.
 Vases marines, 68.
 Vaucluse (département de), 552.
 Vaucluse (source de), 49.
 Végétation (son influence sur les sources), 50.
 Végétaux (amas de), 80.
 Velay, 116.
 Vendée, 54.
 Venezuela, 50, 362.
 Venise, 64, 132.
 Verdon (le), 42.
 Vergelés, 505.
 Verne (la), 463.
 Vêrone (brèche de), 526.
 Vers, 79, 552, 553.
 Vers, 552.
 Versailles, 457.
 Vert (cap), 16.
 Vert antique (marbre), 527.
 Vertébrés, 548.
 Vesoul, 49.
 Vestiges physiologiques, 570, 571,
 572, 573.
 Vésuve, 78, 103, 104, 108, 109, 111,
 112, 114, 120, 282, 297, 298, 331, 467,
 471.
 Vialas, 354.
 Vichy, 97, 99.
 Vieil-Saint Remy, 564.
 Vieille-Montagne, 344.
 Vienne (Autriche), 38.
 Vienne (Dauphiné), 354.
 Villeder (la), 347.
 Villefort, 354.
 Villeneuve-le-Comte, 484.
 Villette-en-Tarentaise, 525.
 Villeveyrac, 303.
 Vines, 471.
 Vire, 437.
 Vireux, 575.
 Virginie, 125, 387.

Visp, 55.
 Viti (îles), 116.
 Vitreuse (cassure), 257.
 Vitreuses (rochers), 464.
 Vitry-le-François, 36.
 Vivarais, 116.
 Vivipares, 548.
 Vizille, 478, 537.
 Volcaniques (rochers), 426, 464.
 Volcanisme (cause du), 117.
 Volcans, 101.
 Volcans boueux, 126.
 Volga, 42.
 Volterra, 124, 534.
 Volutes, 555.
 Volvic, 471.
 Vosges, 97, 188, 192, 193, 194, 195,
 321, 336, 432, 435, 441, 443, 453, 454,
 455, 458, 459, 461, 462, 463, 478, 481,
 483, 497, 529.
 Vosgien (grès), 480, 481.
 Vulpinite, 537.

W

Wacke, 469.
 Warasdin-Teplitz, 99.
 Wavellite, 326.
 Weisstein, 439.
 Westphalie, 324, 337, 338, 372.

Wissant, 66.
 Withérite, 306.
 Woëvre, 43.
 Wolfram, 345.
 Wurtemberg, 193, 434, 481.
 Wurtemberg (marbre bleu du), 537.

Y

Yakoutsk, 87.
 Yellowstone, 123.
 Yonne (départ. de l'), 490, 501.
 Yorkshire, 373.
 Ys, 147.
 Ysser (l'), 528.
 Yverdun, 201.
 Yvette, 482.

Z

Zante, 125.
 Zélande (Nouvelle), 116, 123, 130, 358,
 362.
 Zéolithes, 298, 299.
 Zéolithe radiée, 299.
 Zinc (minerais de), 344.
 Zircon, 298.
 Zirconienne (syénite), 444.
 Zoophytes, 557.

ERRATA

Page 215, au lieu de « assemblage réticulaire », lisez « plan réticulaire », dans la légende de la figure.

Page 231, au lieu de « trapeozèdre », lisez « trapézoèdre », dans la légende de la figure.

Page 433, ligne 9, au lieu de « elles ont été gravées », lisez « ils ont été gravés ».

Laval. — Imprimerie E. Jamin, 41, rue de la Paix.