

L. HOULLEVIGUE

L'Évolution des Sciences

Les tendances de la Chimie
La transmutation et les expériences de Ramsay.
La matière existe-t-elle? — L'intérieur de la terre.
Le soleil. — Les éclipses. — La voie lactée.
L'organisation de la matière.
Les frontières des sciences.



Librairie Armand Colin

Paris, 5, rue de Mézières

L'Évolution des Sciences

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

L. HOULLEVIGUE

Du laboratoire à l'usine. Un vol. in-18 jésus, broché. 3 fr. 50

Le rôle des machines. — Le moteur à gaz. — Le transport et la distribution de l'énergie. — Les Alpes industrielles. — L'électrochimie. — L'éclairage par incandescence. — La science et les applications du froid. — Molécules, ions, corpuscules.

L'Évolution des Sciences. Un vol. in-18 jésus, broché. 3 fr. 50

1855-07. — Coulommiers. Imp. PAUL BRODARD. — 3-08.

LOUIS HOULLEVIGUE

Professeur à l'Université d'Aix-Marseille.

L'Évolution des Sciences

LES TENDANCES DE LA CHIMIE.
LA TRANSMUTATION ET LES EXPÉRIENCES DE RAMSAY.
LA MATIÈRE EXISTE-T-ELLE? — L'INTÉRIEUR DE LA TERRE.
LE SOLEIL. — LES ÉCLIPSES. — LA VOIE LACTÉE.
L'ORGANISATION DE LA MATIÈRE.
LES FRONTIÈRES DES SCIENTIF



Librairie Armand Colin.

Paris, 5, rue de Mézières

1908

Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

PRÉFACE

Tout livre scientifique a trois sortes de lecteurs : les techniciens y puisent des renseignements et des faits ; les doctrinaires y trouvent des arguments ; les curieux y cherchent des idées.

Ce livre n'est pas fait pour les premiers ; il n'a point la prétention de présenter, même en raccourci, les résultats obtenus par les sciences, et les faits n'y sont cités qu'autant qu'ils concourent à préciser le sens et à montrer l'origine des idées scientifiques.

Je ne me suis pas davantage préoccupé de trancher l'éternelle dispute des doctrines philosophiques et religieuses, de juger les cosmogonies, d'éclairer les origines et les destinées de l'homme et de l'Univers. L'expérience a prouvé qu'en cette

matière, chacun n'écoute que les arguments favorables à sa thèse et ne lit que les livres de son bord. Heureusement, les doctrinaires sont gens faciles à contenter, pourvu qu'on ne les heurte pas de front; ils trouveront dans ces pages des arguments favorables à leurs idées, et ne verront pas ceux qui les contredisent.

Mais il y a aussi des hommes qui, sans partir d'un système, ni chercher les lumières éternelles, essaient seulement de faire un peu de clarté autour d'eux. Ils pensent que l'investigation méthodique et scientifique leur apportera la seule vérité qu'ils croient pouvoir atteindre; ils ne demandent à la science ni des recettes ni des arguments; ils y cherchent la satisfaction de leur curiosité naturelle; ils aiment à comprendre comment le chaos des faits s'organise peu à peu par l'effort des savants. C'est à leur intention que ce livre a été écrit; j'ai tâché de leur montrer comment les sciences étendent autour de nous une clarté sans cesse élargie. Après avoir analysé les faits que nos sens atteignent directement, elles nous en font connaître d'autres, qui leur avaient échappé; semblables à ces rayons qui, traversant l'intérieur des corps, nous en montrent la charpente et l'ossa-

ture, elles scrutent l'Univers en profondeur et nous en apprennent l'extraordinaire complexité. Mais elles nous en révèlent aussi les lois et l'harmonie ; le progrès scientifique est fait de cet affouillement incessant dans l'inconnu du monde et de la coordination, chaque jour plus serrée, de tous les faits acquis.

En même temps, l'unité de la Science se fait peu à peu par la pénétration réciproque des sciences qui, d'abord séparées, unifient progressivement leurs procédés expérimentaux, leurs méthodes et leurs principes. Mais cette évolution ne s'est pas faite au hasard. Entre toutes nos connaissances scientifiques, les mathématiques forment un premier lien ; il est tissé par notre esprit lui-même et révèle les conditions organiques de son fonctionnement : nous ne pouvons pas penser un triangle dont les angles auraient une somme différente de deux droits, ni une équation du second degré ayant trois racines. Mais il y a aussi une logique nécessaire entre les choses qui existent en dehors de notre pensée ; il est impossible de chauffer une barre de fer sans qu'elle s'allonge ; c'est une condition imposée au monde extérieur ; nous pouvons la connaître sans savoir ce que

c'est que la chaleur, comme nous pouvons raisonner juste sans connaître la nature de la pensée.

C'est la physique, la physique élargie d'aujourd'hui, qui nous enseigne les relations nécessaires entre les choses extérieures, comme les mathématiques nous révèlent les règles de la pensée; à ce point de vue, toutes les sciences expérimentales sont sous sa dépendance, comme nos raisonnements sont soumis à la logique mathématique. La mécanique a son origine dans des expériences sur l'équilibre et le mouvement des corps, et doit encore à la physique tous ses progrès ultérieurs, touchant par exemple le choc et le frottement; si, à l'heure présente, ses principes mêmes semblent se transformer, à tel point que la notion de masse perd le sens précis qu'elle avait jusqu'alors¹, il faut en chercher l'origine dans les recherches récentes sur les matières radio-actives. — L'astronomie, de son côté, après avoir longtemps vécu sur les lois expérimentales de la gravitation, a pris un essor nouveau en mettant à contribution toutes les ressources de la physique moderne pour l'étude des espaces

1. Voir le chapitre : « La matière existe-t-elle ? »

célestes, et la gravitation elle-même est devenue un des problèmes les plus actuels de la science. — La géologie ne se limite plus à l'étude des roches et des terrains; pour reconstituer l'histoire du globe, pour déterminer l'état présent de ses couches profondes, elle doit faire appel à notre science, chaque jour plus approfondie, des lois qui régissent la matière, la chaleur, le magnétisme. Il en va de même de toutes les sciences biologiques; elles s'attaquent au plus redoutable des problèmes, à la vie; elles le circonscrivent peu à peu, en ramenant certains phénomènes aux lois physico-chimiques; la science gagne progressivement sur le mystère et il n'est pas défendu d'espérer qu'un jour viendra où la grande énigme sera déchiffrée à son tour. — Mais nulle science n'a contracté alliance plus étroite avec la physique que la chimie : même objet, mêmes principes, mêmes méthodes; on ne peut dire où finit l'une, où commence l'autre; fondues l'une dans l'autre, elles collaborent aujourd'hui à une œuvre commune.

Ainsi, la physique a été le nerf des autres sciences; elle leur a imposé ses lois, ses méthodes, ses moyens expérimentaux; aujourd'hui, toute expérience bien faite est nécessairement une expé-

rience de physique. Voilà donc comment se fait l'unité de la science; voilà quel ciment en soude toutes les parties: il est utile de le constater, non seulement pour comprendre l'évolution si caractéristique de notre époque, mais encore pour résoudre une difficulté qui résulte de cette évolution même.

A mesure que l'unité se fait dans nos connaissances, une diversité plus grande sépare ceux qui les enseignent, ou qui ont la charge de les faire progresser. La spécialisation est le mal nécessaire de notre époque et la rançon du progrès. Les siècles passés ont connu les hommes universels, Léonard de Vinci, Newton, Leibniz, Laplace, dont l'esprit embrassait toutes les connaissances de leur époque. Berthelot a sans doute été le dernier de ces génies encyclopédiques et lui-même le constatait naguère avec un mélange de fierté et de regret. Notre cerveau est trop petit pour contenir l'afflux croissant de nos connaissances. Nous faudra-t-il, dès lors, creuser chacun notre trou dans la carrière, travaillant en aveugles et sans nous préoccuper du travail des autres? Tel est l'inquiétant problème qui se pose et qui, à tout prix, exige une solution.

Les observations qui précèdent nous montrent où se trouve cette solution ; puisqu'il est impossible, aujourd'hui, qu'un cerveau humain contienne l'universalité des sciences, il faut au moins qu'avant toute spécialisation on y verse ces sciences générales qui résument les conditions de nos raisonnements et du monde extérieur. Les mathématiques et la physique sont les véritables « humanités scientifiques » ; elles forment la base indispensable de toute étude portant sur une science quelconque et il est logique et nécessaire que notre enseignement soit organisé en conséquence.

Telles sont, en raccourci, les idées qui ont été développées dans ce livre et qui lui donnent, à lui aussi, son unité. Je souhaite qu'elles obtiennent l'assentiment des lecteurs auxquels je les ai destinées, de ceux qui regardent avec intérêt la machine du monde et qui pensent que la science seule nous permet de comprendre quelque chose à son fonctionnement.

COULOMMIERS
Imprimerie PAUL BRODARD.

L'ÉVOLUTION DES SCIENCES

LES TENDANCES SUCCESSIVES DE LA CHIMIE

Toutes les sciences expérimentales ont parcouru, jusqu'à présent, trois stades successifs. C'est d'abord et pendant longtemps une période chaotique, où les données d'observation et d'expérience flottent pêle-mêle et sans lien dans l'ensemble des connaissances humaines; le tout forme comme une grande nébuleuse qui, l'heure venue, se condense en noyaux distincts. Entre la Renaissance et la fin du xviii^e siècle, les sciences se séparent et cristallisent; chacune définit le but de ses recherches, délimite son domaine et s'organise intérieurement par l'acquisition, sans cesse accrue, de lois nouvelles. Actuellement, nous

abordons le troisième stade : les sciences, jadis séparées, se pénètrent et, à travers leurs cloisons percées à jour, nous voyons se faire peu à peu l'unité de la Science.

La Chimie n'a pas échappé à cette loi générale. Les connaissances chimiques de l'antiquité et du moyen âge, pour nombreuses qu'elles soient, ne méritent aucunement le nom de science. On peut, à volonté, faire remonter la première réaction chimique à Prométhée, l'inventeur du feu, ou à Tubalcaïn, le sixième homme après Adam, créateur de la métallurgie; mais mille réactions ne font pas plus la chimie que mille mots placés bout à bout au hasard ne font une phrase ni une pensée. Jusqu'au XVIII^e siècle, la chimie se réduit à une technique éparse dans tous les arts de la vie; on la retrouve dans les procédés des artisans, dans la pharmacopée des médecins, dans les opérations des magiciens, des thaumaturges et des alchimistes, dans les artifices des fraudeurs. Les chimistes professionnels ne sont que les compilateurs de ces procédés : Glazer, en 1670, définit la chimie « l'art d'ouvrir les mixtes par des opérations qui consistent à inciser, concuser, pulvériser, alkooliser, rasper, scier, lévirer, granuler, laminier, fondre, liquéfier, digérer, infuser, macérer, etc. »

On doit à Berthelot un exposé magistral¹ de cette longue période de gestation, où la pensée humaine, si vivante par ailleurs, semble au regard des sciences, plongée dans un sommeil entrecoupé de rêves. On lui doit surtout d'avoir montré par quels chemins cette poussière de science a pu se transmettre, d'âge en âge, entre ces civilisations indienne, égyptienne, gréco-romaine et européenne qui forment comme des oasis dans un désert de barbarie.

*
**

Dès le xvii^e siècle, sous l'effort de Galilée, de Torricelli, de Descartes, de Pascal et de Newton, la mécanique, l'astronomie, la physique existent; enfin l'heure sonne pour la chimie. Assurément, cette éclosion résulte d'un effort collectif. Quand on voit, dans un intervalle de vingt années, se presser des noms comme ceux de Priestley, Cavendish, Bergmann, Scheele, Fourcroy, Lavoisier, on comprend qu'une poussée de réalisme scientifique entraîne le monde. Mais jamais un homme ne fit pour aucune science ce que Lavois-

1. *Les Origines de l'alchimie*, 1885. *Introduction à l'étude de la chimie des anciens et du moyen âge*, 1889.

sier a fait pour celle-là. Lavoisier dégagea la chimie de toute métaphysique, donna à la notion de corps simple un sens précis et exprima un des éléments essentiels de la réaction par l'équation chimique. Encore quelques efforts, encore les travaux de Richter et de Proust, et la science chimique est constituée avec son ossature : l'existence de corps simples, la conservation de la matière et l'existence de rapports simples dans les combinaisons ; tout le restant n'est, à vrai dire, que de la physique.

Ainsi se crée, en peu d'années, la chimie classique ; c'est celle que nous avons étudiée ; c'est elle encore, à peu de chose près, qu'enseignent les traités les plus modernes.

Prenons au hasard un de ces traités. Nous trouvons au début quelques pages de généralités, où les principes expérimentaux de la science chimique sont, par l'intervention opportune des hypothèses atomiques, mis sous une forme plus claire et plus générale. Puis, l'étudiant est initié aux principes de la nomenclature, grâce auxquels la chimie peut désigner clairement les objets de son étude ; mais toute nomenclature suppose une classification et il apparaît, dès ce moment, que la chimie classique est, avant tout, descriptive. Elle se propose le même but, que visaient, avec

Buffon et Linné, les sciences naturelles. Les espèces chimiques, comme les espèces vivantes, sont désignées par la nomenclature binaire; on dit *sulfate de potasse* comme on dit *felis leo*. Ayant introduit dans la classification les ordres et les sous-ordres nécessaires à une organisation méthodique du travail, le chimiste se met à l'ouvrage; de même que le naturaliste classe des plantes entre les pages d'un herbier, ou range dans une vitrine des animaux naturalisés, le chimiste s'approvisionne de bocaux et son rêve va être dorénavant de remplir chacun d'eux avec un produit défini, cristallisé si possible (car les corps amorphes sont censés impurs et dénués d'intérêt); et le traité de chimie classique, interprète fidèle des préoccupations du laboratoire, renfermera, pendant des centaines et des centaines de pages, la description des espèces chimiques ainsi étiquetées. On y verra figurer, dans un ordre constant, le mode de préparation, l'analyse qui garantit la pureté du produit, les propriétés physiques, organoleptiques et enfin chimiques, c'est-à-dire le mode d'action sur divers autres corps. Ainsi le lecteur voit défiler devant ses yeux une série de gaz incolores, insipides et plus ou moins liquéfiables, et des corps qui colorent diversement la teinture de tournesol.

Que l'étudiant goûte médiocrement cet enseignement purement descriptif, cette longue et monotone revue de corps simples et composés, il ne faut pas trop s'en étonner. Mais l'enseignement officiel et les livres classiques servent au moins à nous montrer, grossi jusqu'à la difformité, le caractère essentiel de la chimie classique; cette science vise à être, avant tout, une description des espèces chimiques, une étude des formes d'équilibre de la matière à la température ordinaire; et cela est tellement vrai que l'un des ouvrages les plus justement estimés des chimistes, celui de Würtz, a pris tout naturellement la forme d'un dictionnaire : disposition logique pour une science faite d'une série de monographies, tandis qu'on concevrait mal un dictionnaire d'analyse, de mécanique ou de physique.

Il ne faut point s'étonner, et moins encore s'indigner devant le développement interminable des monographies chimiques. Il était nécessaire que la chimie prit d'abord cette route et qu'elle fit l'inventaire du domaine où elle devait évoluer. Les sciences naturelles aussi ont commencé par là, et Buffon ou Linné n'ont pas fait une besogne vaine, encore qu'elle nous paraisse aujourd'hui bien fastidieuse. Nous pensons aujourd'hui que ce qui fait l'intérêt essentiel de ces sciences, c'est

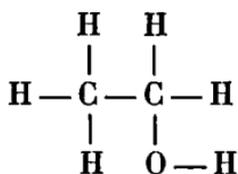
l'étude de la vie en acte, c'est-à-dire la biologie végétale et animale ; les mêmes raisons nous font dire que la chimie classique, limitée à la nomenclature et à l'étude des formes, laissait délibérément de côté le problème fondamental, qui est l'étude des réactions. Elle ne considérait la réaction que comme une période troublée qu'il était nécessaire de traverser pour arriver aux états d'équilibre, et elle la traversait aussi vite que certains historiens, épris d'ordre, passent sur l'histoire de nos révolutions. Quand, par exemple, elle résumait dans la formule



l'attaque du zinc par l'acide sulfurique, tout l'effort de son investigation portait sur l'état des corps avant et après la réaction ; elle nous disait tout de leurs propriétés et des masses réagissantes ; puis, d'un bref signe =, elle achevait la question.

Ainsi, la chimie classique se résume presque tout entière dans l'écriture chimique ; quand elle a écrit l'équation d'une réaction, elle juge nous en avoir assez dit, et les monographies successives qu'elle entreprend se condensent elles-mêmes dans les *formules de constitution*. C'est à l'établissement de ces formules que vise tout son effort,

c'est là qu'elle place son but suprême; de fait, impossible d'imaginer un mode plus souple et plus expressif de représentation du corps. Prenez la formule de l'esprit de vin,



elle révèle la composition qualitative et quantitative de ce corps et sa densité de vapeur; elle fait connaître l'essentiel de ses propriétés et l'action qu'il exerce sur la plupart des autres corps, et cela, sans l'intervention d'aucune hypothèse; si, en outre, on admet la conception atomique de la matière, on peut encore voir dans cette formule une image de l'édifice moléculaire construit avec les atomes des corps simples; et les conclusions qu'on peut tirer de tels algorithmes sont si abondantes et si précises, qu'il est des séries de corps dont on peut, au seul examen de leur formule, déterminer avec exactitude toutes les constantes physiques et prévoir jusqu'à la couleur.

La chimie descriptive n'est pas une science du passé; elle vit et se développe sous nos yeux. Sur les deux mille mémoires de chimie minérale qui résument chaque année l'activité des chimistes,

plus des trois quarts sont des monographies de composés nouveaux ou mal connus. C'est un travail relativement facile et, pour ainsi dire, mécanique, pour tout chimiste qui connaît son métier, que de compléter des lacunes dans des séries de composés ou d'étudier, dans un état de pureté plus grande, les corps déjà connus; enfin, le zèle des découvreurs de corps nouveaux est soutenu par l'espoir d'applications industrielles ou thérapeutiques; les quatre cents brevets pris annuellement pour les industries chimiques constituent la justification de ces espérances.

D'ailleurs, les récents progrès de la physique ont ouvert à la chimie classique un domaine plein d'intérêt. Les chimistes avaient dû, jusqu'à ces dernières années, réserver leur attention aux composés qui restaient stables à la température de leurs laboratoires, faute de pouvoir obtenir à l'état permanent les hautes et les basses températures. Aujourd'hui on peut maintenir aussi longtemps qu'on le veut, dans un espace de plusieurs décimètres cubes, des températures comprises entre deux cents degrés au-dessous de zéro et trois mille cinq cents degrés au-dessus : l'emploi des gaz liquéfiés et le four électrique ont rendu ce service à la science; aussi notre époque a-t-elle vu se créer la chimie des grands froids et celle des

hautes températures. C'est à la première que Ramsay et Dewar ont attaché leur nom par la découverte et la séparation des constituants de l'air, argon, néon, krypton, xénon, hélium ; et la seconde a suffi à illustrer un des deux noms dont la chimie et la science française portent aujourd'hui le deuil : Moissan, un des plus habiles expérimentateurs que la chimie ait connus, était vraiment un représentant de la chimie classique ; l'isolement du fluor, ses études sur le diamant, et surtout la merveilleuse série de carbures et d'azotures sortis du four électrique, ont acquis à son nom une juste renommée. Mais la réaction chimique n'était, pour Moissan, qu'un moyen ; son but, c'était d'obtenir des corps nouveaux ou de réaliser dans des conditions nouvelles et plus favorables des corps déjà connus.

S'il a volontairement limité sa tâche, il a su du moins l'accomplir tout entière, et les résultats acquis portent avec eux un enseignement. On inclinait trop, jusqu'ici, à penser qu'aux très basses températures la matière était comme gelée et incapable de manifester son activité en réactions chimiques, tandis qu'aux températures très élevées, les corps dissociés par la chaleur n'existaient plus qu'à l'état d'éléments simples, incapables de réagir les uns sur les autres. On sait aujourd'hui qu'il n'en est rien et que l'activité chimique n'est pas

confinée, comme la vie, entre des limites étroites. La matière présente, à chaque température, des formes différentes d'équilibre; le nombre et la variété des combinaisons chimiques se trouve ainsi accru à tel point qu'on ne peut s'empêcher de trouver grêle et étriquée la vieille loi des rapports simples qui prétendait limiter le nombre et la diversité des constructions moléculaires.

De fait, quand on considère les cinq cents combinaisons actuellement connues de deux corps seulement, le carbone et l'hydrogène, quand on pense aux millions de corps composés que nous réalisons actuellement à l'aide de soixante-douze corps simples, on doit constater que l'inventaire dressé par la chimie classique n'était pas une besogne oiseuse et inutile, car il en est résulté autre chose qu'une aride nomenclature : une connaissance plus profonde des propriétés de la matière et des conditions générales de l'association moléculaire.

*
* *

Dès les débuts de la science chimique, une distinction fondamentale s'était imposée entre les produits de la matière minérale et les produits de la vie, qu'élaborent les animaux et les végétaux,

Cette séparation entre la chimie minérale et la chimie organique était allée en s'accroissant avec les progrès de la science, au point d'imposer aux chimistes la conviction qu'elle reposait sur la nature même des choses. Ces deux branches issues d'un tronc commun allaient chaque jour en s'écartant davantage, mais aussi en acquérant des développements inégaux; l'une développait rapidement ses rameaux disposés dans un ordre impeccable, l'autre ne poussait que des branches irrégulières et courtes. Et pourtant la chimie organique, faite presque exclusivement avec quatre éléments, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, paraissait moins richement dotée que la chimie minérale, qui dispose de tout l'arsenal des corps simples. A quoi tient cette inégalité de développement?

A la nature même des forces mises en jeu, répondaient jadis les chimistes; la nature animée possède des ressources infinies dont le laboratoire ne pourra jamais disposer, et la vie s'accompagne d'actions spécifiques qui, par leur principe même, sont en dehors de notre atteinte; l'homme est un briseur de molécules, et la nature seule sait nouer les liens délicats des combinaisons organiques. Cette manière de voir s'appuyait sur l'autorité de Lavoisier lui-même, qui écrivait, quelques jours avant sa mort : « La Chimie, en soumettant à des

expériences les différents corps de la nature, a pour objet de les décomposer et de se mettre en état d'examiner séparément les différentes substances qui entrent dans leur combinaison. La chimie marche donc vers sa fin et vers sa perfection en divisant, subdivisant et resubdivisant encore. »

Les idées en étaient à ce point lorsque Berthelot inaugura, en 1851, comme préparateur de Balard au Collège de France, une carrière scientifique qui devait être si féconde. Il apportait à la science, outre une habileté technique et une puissance de travail qu'on trouve rarement au même point, une faculté plus rare encore dans les laboratoires et qui est vraiment la caractéristique de son génie : une forte éducation philosophique et un esprit orienté vers les idées générales. C'est à la clarté de ces idées philosophiques qu'il comprit *a priori* la faiblesse d'une doctrine qui restreignait la chimie au rôle de science de l'analyse et qui élevait une barrière infranchissable entre l'œuvre de la nature et celle du laboratoire. Certes, on avait fait, avant Berthelot, des synthèses organiques; mais il lui revient l'honneur, et c'est un des plus grands de sa carrière scientifique, d'avoir érigé en système et en doctrine ce qui n'était que hasard et heureuse réussite.

Il a créé l'ordre dans la chimie organique en

établissant par l'expérience la liaison des diverses séries de corps qui y figurent, mais surtout, en montrant par des exemples répétés qu'on peut passer de la matière brute aux produits de la matière organisée, il a constitué l'unité de la chimie et rayé du langage scientifique la « force vitale » et les actions mystérieuses derrière lesquelles se masquait notre ignorance. En même temps, il a ouvert à la science une large voie où s'est engagé tout un peuple de travailleurs; actuellement, c'est surtout en Allemagne que sont les continuateurs de son œuvre synthétique. Nous montrerons, dans un autre chapitre, comment se prépare aujourd'hui la synthèse des matières albuminoïdes qui sont, non plus des déchets ou des réserves comme l'alcool ou l'acide formique, mais le substratum même de la vie. Mais, en France même, à côté du maître qui introduisait dans la science une idée directrice, d'autres chimistes consolidaient sa doctrine par un apport de faits nouveaux; les uns rapprochaient la chimie organique de la chimie minérale en y introduisant le silicium, le soufre, les métaux; les autres, en développant « la théorie atomique », montraient que le mode de représentation qu'elle propose s'applique également bien à toutes les parties de la science chimique. Si bien qu'aujourd'hui la chimie tout entière se présente

comme un bloc, relève des mêmes principes et obéit aux mêmes lois.

*
* *

La description des espèces chimiques n'est pas toute la chimie; lentement et logiquement se développe une branche nouvelle de cette science, qui va chercher la matière là où elle est vraiment vivante, c'est-à-dire dans la réaction chimique. On a quelquefois reproché aux physiciens de « s'amuser à peser des œufs de mouche dans des balances en toile d'araignée »; mais quiconque a vu une réaction chimique, un corps qui brûle, un acide et une base qui réagissent, ne peut s'empêcher d'ouvrir les yeux et de se demander : Pourquoi ce trouble, pourquoi cette énergie dégagée? Que se passe-t-il derrière ces apparences? Ainsi, l'étude de la réaction est, non pas l'accessoire, mais l'essentiel de la chimie; c'est là qu'est le cœur de la science.

Telle est l'idée qui entraîne aujourd'hui la chimie vers de nouvelles destinées. Assurément, cette idée n'est pas neuve; elle s'est présentée sans doute à tous ceux qui ont vu la matière réagir; dès les débuts de la chimie, Boerhaave avait même créé un mot, *l'affinité*, pour désigner la

cause mystérieuse des réactions chimiques, et Bergmann, un peu plus tard avait dressé des tables d'affinité, en supposant que la puissance de combinaison de chaque corps pouvait être exprimée par un nombre. Mais, parmi ces initiateurs, il faut faire une place à part à un contemporain de Lavoisier, à Berthollet. Pendant l'expédition d'Égypte, où il avait accompagné Bonaparte, Berthollet conçut le plan de sa *Statique chimique*, ouvrage où l'on trouve, avec les premières idées saines sur la réaction chimique, l'origine de la chimie moderne. Berthollet n'eut d'autre tort que d'arriver trop tôt dans la science; toute la chimie classique, accrochée à la notion des combinaisons définies, était alors en train de se constituer; elle ne pouvait pas, sans danger, abandonner le terrain solide où Lavoisier l'avait placée; c'est pourquoi soixante années s'écoulèrent avant que les idées de Berthollet pussent à leur tour germer et grandir.

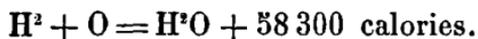
Il faut étudier la réaction chimique; mais comment l'étudier? Par où aborder le problème? Deux voies s'ouvraient devant les chercheurs; la première, indiquée par Bergmann, fut suivie en 1854 par le chimiste danois Julius Thomsen et largement frayée par Berthelot et ses continuateurs de l'école thermo-chimique française. La

seconde, issue des idées théoriques de Berthollet, a été percée en France par Henri Sainte-Claire Deville et continuée par l'école physico-chimique hollandaise et allemande, dont le chef incontesté est Van t'Hoff.

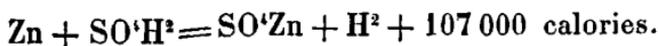
La notion d'affinité chimique a gardé quelque chose de vide et d'imprécis jusqu'au jour où la notion d'énergie et le principe de la conservation de l'énergie se sont introduits dans la science. Vers le milieu du XIX^e siècle, on a commencé à voir clairement que les phénomènes naturels comportaient toujours la transformation d'une même entité qui apparaît sous forme de travail mécanique, d'électricité ou de chaleur; il était tout indiqué de faire rentrer dans ce catalogue des formes diverses de l'énergie, la puissance qui éclate dans les réactions chimiques et qui se manifeste par ses effets mécaniques dans la déflagration de la poudre, par un courant électrique dans la pile et sous forme de chaleur dans la généralité des autres cas. Dès lors, l'affinité du zinc pour l'acide sulfurique prend un sens précis; elle est mesurée par la chaleur dégagée dans la réaction des poids moléculaires de ces deux corps; ainsi, la voie se trouve toute tracée; il n'y a plus qu'à refaire, à l'intérieur d'un calorimètre, toutes les réactions de la chimie et à mesurer les déga-

gements de chaleur correspondants; nous aurons remplacé les tables de Bergmann par quelque chose de précis et de scientifique; et nos résultats pourront se contrôler les uns par les autres, ou bien encore les uns pourront servir à calculer les autres.

Il nous est impossible, bien entendu, de mesurer l'énergie totale contenue dans les corps; nous ne pouvons connaître que les variations de cette énergie lorsqu'ils entrent en combinaison; ainsi, l'énergie du poids moléculaire $H^2=2$ grammes d'hydrogène nous est inconnue aussi bien que celle du poids moléculaire $O=16$ d'oxygène; mais nous savons que lorsque ces deux poids viennent à s'unir pour former de la vapeur d'eau, il se dégage 58 300 calories; nous avons donc le droit de dire que la molécule d'eau vaporisée a une énergie égale à 58 300 calories en moins de celle de ses constituants et de compléter l'équation chimique de Lavoisier en l'écrivant :



Considérons maintenant une réaction un peu plus compliquée, celle de l'acide sulfurique sur le zinc.



elle nous conduira au raisonnement suivant : la chaleur de formation de l'acide sulfurique à partir de ses constituants élémentaires étant de 123 000 calories, le mélange représenté par le premier membre de l'équation chimique possède une énergie égale à celle de ses constituants libres, diminuée de 123 000 calories; de même le groupement représenté par le second membre $\text{SO}_4\text{Zn} + \text{H}_2$ possède une énergie égale à celle de ces mêmes constituants, diminuée de 230 000 calories, ce nombre étant la chaleur de formation du sulfate de zinc à partir de ses éléments; or la différence de ces deux nombres 230 000 — 123 000 représente précisément les 107 000 calories dégagées dans la réaction de l'acide sur le zinc; voici donc trois nombres, qu'on peut déduire de mesures indépendantes, et entre lesquels existe une relation nécessaire; ainsi l'étude calorimétrique des réactions chimiques nous permet d'établir des relations entre différentes quantités de chaleur et, en particulier, de calculer l'une d'elle si les autres sont connues.

On peut concevoir, dès lors, qu'il soit possible de déterminer expérimentalement les chaleurs de formation de tous les composés de la chimie, et par suite de connaître par avance l'effet thermique de toute réaction dans laquelle ces corps se trans-

formeront les uns dans les autres. Ces tables de données thermo-chimiques existent; elles ont été dressées par Berthelot d'après ses innombrables expériences personnelles et celles de ses élèves; la question qui se pose maintenant est de savoir ce qu'on en peut tirer.

Un recueil de nombres n'a de valeur scientifique que s'il peut servir à formuler des lois ou à prévoir des faits nouveaux. Ainsi, aucune science n'a accumulé autant de données numériques que la météorologie; mais tant qu'il n'est rien sorti de tous ces documents, on a eu le droit de dire que la météorologie n'avait pas le caractère d'une véritable science. Si la thermo-chimie se réduit à un recueil de constantes, elle méritera un jugement aussi sévère. Or, dans la pensée de Thomsen et de Berthelot, les données thermo-chimiques doivent permettre de prévoir quelles réactions sont possibles, quelles autres sont irréalisables; elles le permettent à l'aide du *principe du travail maximum*.

Considérons une pierre placée sur la déclivité d'une colline; le moindre choc pourra déterminer sa chute. A mesure qu'elle tombe, son énergie, c'est-à-dire sa capacité de travail, diminue de tout le travail qu'il faudrait accomplir pour la ramener à son niveau primitif; elle pourra ainsi descendre

plus ou moins suivant qu'un obstacle aura plus ou moins tôt arrêté sa chute, et sa stabilité sera d'autant plus grande qu'elle sera plus rapprochée du fond du ravin, c'est-à-dire qu'elle aura épuisé une plus grande part de son énergie.

Telle est l'analogie qui a servi de point de départ aux thermochimistes; ils comparent un système de corps en réaction à une pierre qui tombe, et pensent que le sens de la transformation doit toujours être tel que le système perde de l'énergie, c'est-à-dire dégage de la chaleur; et la transformation la plus stable du système, celle qui tendra en général à se produire, est celle pour laquelle le plus de chaleur possible aura été libéré. Ce principe, énoncé d'abord par Thomsen, reçut ensuite de Berthelot tous les développements nécessaires pour en préciser le sens et la portée; mais cette précision même permet de le soumettre à une critique sévère.

On peut remarquer tout d'abord que l'application des principes thermochimiques n'a de sens qu'autant qu'on définit avec soin toutes les conditions du phénomène; suivant la température, la pression et l'état physique des corps réagissants, l'énergie libérée varie; de telle sorte que, pour pouvoir appliquer le principe du travail maximum, il faudrait posséder plus de données numériques

qu'on n'en connaît généralement. Mais cela n'est rien, car les lacunes de cet ordre peuvent se combler. Il y a quelque chose de plus grave : le principe du travail maximum est inexact.

On aurait pu s'en douter rien qu'à voir telle réaction chimique qu'accompagne, non un dégagement, mais une absorption de chaleur. Si, par exemple, on mélange de l'alcool et de l'acide acétique et qu'on maintienne le système à 100°, au bout de quelques heures, une fraction notable du mélange aura été convertie en éther acétique, et la réaction, loin de dégager de la chaleur, en aura absorbé. Voilà donc, pour reprendre notre comparaison initiale, une pierre qui, d'elle-même, remonte la côte. Les exemples analogues pullulent dans la chimie ; pourtant, les chimistes ne se sont pas rendus, et le cas est typique, parce qu'il montre l'éternelle et dangereuse tendance qu'ont toutes les sciences à s'isoler des autres sciences, et tous les hommes, fussent-ils même de grands savants, à se séparer en castes. Donc, les chimistes prétendaient que le principe du travail maximum s'appliquait toujours, à condition qu'on ne tint compte que des énergies purement chimiques des réactions et qu'on mît de côté, comme étrangères, celles qui relevaient de causes extérieures ou physiques.

Raisonnement ainsi, c'était supposer qu'on pouvait établir, entre la chimie et la physique, une cloison étanche; mais la nature ne connaît pas de semblables démarcations; les phénomènes forment un bloc qui ne se laisse pas séparer au gré de nos désirs. Une dissolution, une fusion, une transformation polymérique, sont-ils des phénomènes physiques ou chimiques? Nous n'en savons absolument rien. Comment fait-on intervenir une énergie étrangère en maintenant à cent degrés le mélange d'alcool et d'acide acétique dont nous parlions tout à l'heure? en quoi cela est-il différent du fait de le maintenir à la température ordinaire, ou à toute autre température? Enfin, et l'exemple est typique, de quel droit prétendre que le courant électrique, quand il décompose le sulfate de zinc dans un voltamètre, agit comme énergie physique, alors que, dans la pile, ce même courant, engendré par l'action de l'acide sulfurique sur le zinc, se présente comme le résidu énergétique de la réaction, c'est-à-dire comme une énergie purement chimique! Il faut donc renoncer à ces distinctions subtiles qui ne répondent ni à des raisons théoriques, ni à un critérium pratique.

Quand une fois on s'est bien pénétré de l'impossibilité de séparer les effets chimiques des

effets physiques, il devient clair, par la leçon même des faits, que la loi des phénomènes est plus complexe que ne l'indique le principe du travail maximum. Il est trop simple d'assimiler un système en réaction à une pierre qui tombe ; la vérité est plus compliquée et c'est à la science de l'énergie, à la thermodynamique de Mayer, de Carnot et de Clausius qu'il appartient de la dégager.

L'œuvre a été accomplie d'abord par un des plus grands physiciens des temps modernes, par Helmholtz, et complétée par Gibbs et par Duhem. J'emprunterai à ce dernier, un des maîtres incontestés de la physique contemporaine, la comparaison suivante :

Les données actuelles de la thermochimie expérimentale ressemblent à la carte sommaire dressée par les premiers explorateurs d'un massif montagneux ; les principaux sommets y sont marqués, avec une cote approximative ; nous connaissons, plus ou moins exactement, les quantités de chaleur mises en jeu par les principales modifications physiques ou chimiques, accomplies dans des conditions plus ou moins bien déterminées ; mais nous ne pouvons, entre ces sommets, suivre les ondulations de la chaîne ; ce qui nous manque, c'est ce que les géographes nomment le figuré du terrain.

La quantité de chaleur mise en jeu par une réaction ou une transformation donnée varie avec toutes les circonstances qui entourent la réaction ou la transformation : température, pression, état plus ou moins grand de dilu-

tion des corps qui réagissent; la thermodynamique a besoin de connaître, pour toutes les réactions importantes de la chimie, l'expression de la chaleur de réaction en fonction de toutes ces variables; ce n'est plus une expérience unique qu'elle demande au thermochimiste qui étudie une réaction : c'est une monographie détaillée et, souvent, très étendue ¹.

Ainsi l'intervention de la physique a permis de mettre les choses au point : le principe du travail maximum ne serait vrai, en toute rigueur, qu'au zéro absolu de température, c'est-à-dire à 273 degrés au-dessous du zéro centigrade. En dehors de ce cas limite, le sens de la réaction n'est pas déterminé par l'énergie totale, telle que la donnent les tables thermochimiques, mais par une partie de cette énergie, qu'Helmholtz a appelée *énergie libre*, dont on connaît l'expression et qu'on sait déterminer. La voie ouverte, après Bergmann, par Thomsen et Berthelot, est donc aujourd'hui jalonnée tout entière; on sait où elle peut mener et au prix de quels efforts elle peut être parcourue. Mais on voit aussi que le raccourci ouvert par le principe du travail maximum n'était qu'une fausse piste : la vraie route est autrement longue et pénible, mais elle a pour elle la vérité scientifique.

1. *Thermochimie (Revue des questions scientifiques, t. XII, 1897, p. 361).*

*
* *

Il est une autre voie pour étudier la réaction chimique; au lieu de regarder de loin la bataille et d'en juger d'après la fumée et le bruit du canon, on peut pénétrer au cœur de la mêlée, dénombrer les combattants, assister à leur corps à corps et juger, sur place, des résultats. C'est à Berthollet que revient l'honneur de cette méthode nouvelle.

Lorsque dans une solution d'azotate de potasse on verse de l'acide sulfurique, aucun phénomène apparent ne se manifeste, et beaucoup de gens pourraient dire que les deux liqueurs se mêlent sans réagir chimiquement; pour Berthollet, il y a eu réaction et les deux acides se sont en réalité partagé la base, si bien que la liqueur renferme quatre corps : de l'azotate de potasse, du sulfate de potasse, de l'acide sulfurique et de l'acide azotique; entre ces corps s'établit un équilibre qui pourrait se maintenir indéfiniment.

Mais supposez qu'une cause quelconque élimine l'un des quatre antagonistes, l'équilibre sera dérangé, puis rétabli par une nouvelle transformation chimique, et la réaction marchera ainsi de proche en proche. Si, par exemple, on chauffe le mélange, l'acide azotique, plus volatil que ses con-

currents, se dégagera; alors, l'influence de l'acide sulfurique, n'étant plus équilibrée, déterminera la formation d'une nouvelle quantité de sulfate de potasse et d'acide azotique libre; celui-ci se volatiliserà encore et les choses continueront jusqu'au point où, tout l'acide azotique étant éliminé, il ne restera plus dans la liqueur que du sulfate de potasse et de l'acide sulfurique, si ce dernier a été mis en excès.

Cet exemple, pris entre mille, résume la doctrine de Berthollet. Elle avait déjà pour elle un grand intérêt pratique, puisqu'elle permettait de prévoir, presque à coup sûr, les réactions d'après l'insolubilité ou la volatilité d'un des résultants possibles de ces réactions; elle expliquait, par exemple, pourquoi le sulfate de chaux et le carbonate d'ammoniaque réagissent à froid pour donner du carbonate de chaux insoluble et du sulfate d'ammoniaque, tandis qu'à chaud la réaction inverse se produit par suite de la volatilité du carbonate d'ammoniaque. Mais les grands prêtres de la chimie classique ont, pendant de longues années, écrasé de leur mépris les lois de Berthollet en les traitant de règles empiriques. Nul qualificatif n'était plus déplacé, car ces règles étaient, dans la pensée de leur auteur, et nous y voyons aujourd'hui la conséquence des premières

idées saines sur les réactions. Berthollet comprit le premier ce qu'était un équilibre chimique, et il vit aussi, dans un cas particulier, comment cet équilibre pouvait être détruit et aboutir à une réaction achevée.

Les idées si philosophiques de Berthollet attendirent longtemps leur développement logique, qu'elles durent enfin à Henri Sainte-Claire Deville. C'est dans le laboratoire de l'École normale, tout voisin de celui où Pasteur découvrait un monde nouveau, que Deville établit, par des expériences indiscutables et répétées, les lois de la dissociation. Quand on chauffe en vase clos de la craie, ou carbonate de chaux, ce solide se décompose en chaux et en gaz carbonique jusqu'à ce que ce dernier gaz ait acquis dans le récipient une pression qui dépend de la température et qui ne dépend que d'elle : c'est la *tension de dissociation*.

Enlève-t-on du gaz carbonique, il s'en reforme de nouveau par la décomposition du carbonate ; vient-on, au contraire, à en introduire dans le récipient, il s'unit à la chaux libre jusqu'à ce que la tension de dissociation soit rétablie. Ainsi, comme le veulent les idées de Berthollet, la volatilité du gaz carbonique est bien la cause déterminante de la réaction. Mais, cette fois, il s'agit d'expériences, et non plus d'hypothèses, et ces expériences nous

montrent, sur le vif, un état d'équilibre qui peut être rompu, soit dans un sens, soit dans un autre; et le signe =, qui, dans la vieille équation chimique, exprimait seulement la conservation des masses dans la réaction



prend ici un sens nouveau et le plus saisissant; il marque un équilibre entre des forces antagonistes.

Il faut maintenant comprendre pourquoi la Chimie doit tant à l'étude de ces états d'équilibre et de ces réactions qui peuvent se faire, soit dans un sens, soit dans l'autre, et qu'on nomme les réactions *réversibles*; c'est parce qu'en toute science la connaissance de la statique précède et facilite celle de la dynamique. Mis en présence d'une de ces réactions qui nous frappent par leur brutalité même, comme l'attaque du zinc par l'acide sulfurique, nous ne pouvons que constater le phénomène et nous sommes hors d'état d'agir sur lui pour modifier son allure : or c'est l'expérimentation méthodique qui est la mère de toute connaissance scientifique. Si les réactions fortes se prêtent mal à l'expérimentation, il en va tout autrement des réactions lentes et faibles et surtout des réactions réversibles qui se passent sur la frontière

des états d'équilibre; le chimiste peut alors faire agir séparément chacune des variables qui définissent le système, masses des corps en présence, état de dilution, température, durée de réaction, et il peut déterminer le sens et la grandeur de l'action résultante. Ainsi, alors que les premiers chimistes étaient attirés par la fougue des réactions violentes, la chimie moderne s'intéresse surtout aux actions lentes, dont il est plus aisé de démontrer le mécanisme et de mettre à nu les ressorts; c'est la pensée qu'exprimait, avec une prescience géniale, le grand chimiste J.-B. Dumas lorsqu'il écrivait¹ : « On peut prédire que si nous avons quelque jour des idées nettes, sur la nature de l'affinité chimique, nous les devons bien plutôt à l'étude des actions chimiques les plus faibles qu'à celle des actions chimiques énergiques ».

La direction imprimée par Deville aux recherches chimiques s'est montrée de jour en jour plus féconde. Pendant une vingtaine d'années, l'école française, qui avait ouvert la voie, s'y distingua par son ardeur laborieuse; Berthelot lui-même, avant d'être entraîné vers les recherches thermo-chimiques, qu'il croyait plus fructueuses, avait apporté sa contribution aux idées nouvelles sur

1. *Leçons de Philosophie chimique*, professées au Collège de France, 1836, p. 195.

les équilibres chimiques en montrant le rôle qu'ils jouent dans la formation des éthers par l'action des acides sur les alcools. Puis, peu à peu, cette belle flambée s'éteignit en France, mais pour se rallumer ailleurs, surtout en Hollande, en Allemagne, en Amérique, par les soins de Van t'Hoff, de Hortsman et de Gibbs.

Les causes de cette émigration scientifique sont malheureusement trop claires : nos grands chimistes de la fin du XIX^e siècle étaient trop exclusivement chimistes ; ils avaient trop de confiance dans la sûreté de leurs méthodes, et le souvenir des élucubrations des alchimistes les rendait méfiants vis-à-vis des abstractions et des généralisations de la physique mathématique. Aussi, après avoir posé, avec une netteté parfaite, les termes et les éléments du problème, ils ont dû s'arrêter à mi-chemin : ce problème exigeait maintenant l'emploi des méthodes que la thermodynamique avait déjà mises en œuvre et éprouvées dans l'étude des équilibres purement physiques. Ainsi, pendant que la science française s'attardait à d'autres recherches, des laboratoires physico-chimiques se fondaient à Amsterdam, à Leyde, à Göttingue, à Leipzig, à Berlin, à Ithaca, prenant pour tâche le perfectionnement théorique et expérimental de la mécanique chimique. Aujourd'hui,

grâce à ces efforts, les lois de l'équilibre chimique sont connues, au moins en partie. Quant à la dynamique chimique, elle est à peine ébauchée; elle se borne jusqu'à présent à une simple classification des réactions que l'on observe lorsqu'on fait varier dans un système la température et la pression; on peut toutefois faire une exception en faveur des réactions explosives; l'étude nécessaire des poudres de guerre a profité à la chimie en accumulant sur ce point de nombreux travaux; chacun sait quelle part éminente MM. Vieille et Berthelot ont prise dans ces études.

*
* *

A cause même de tous ces progrès, la chimie souffre du mal de croissance : elle ne connaît plus les limites de son domaine; les barrières qui la séparaient des autres sciences sont tombées les unes après les autres et, à la place de chacune d'elles, grandissent et prospèrent d'autres branches de la science universelle : la chimie biologique qui s'applique à débrouiller les réactions de la matière vivante, — la minéralogie et la géologie chimique, qui font appel aux ressources du laboratoire pour expliquer la formation des minéraux et des terrains, — enfin la physicochimie, qui

cherche à résoudre le problème fondamental de la chimie, l'étude de la réaction chimique, en y apportant toutes les ressources théoriques et expérimentales de la physique.

En même temps qu'elle voit disparaître ses limites, la chimie évolue intérieurement, en faisant chaque jour plus intime son union avec la physique. On pouvait jadis, de la porte et rien qu'à l'odeur, reconnaître un laboratoire de chimie d'un laboratoire de physique; la distinction devient, chaque jour, plus malaisée. On a dit que Lavoisier avait fondé la chimie en lui apportant la balance; on peut dire encore que chacun des progrès de cette science est lié à l'introduction d'un nouvel appareil de physique : le calorimètre et le thermomètre avec Lavoisier, Berthelot, Raoult; le manomètre avec Gay-Lussac et Sainte-Claire Deville; le courant électrique avec Davy et Moissan; le spectroscope avec Kirchhoff et Bunsen; le polarimètre avec Biot et Faraday; l'électroscope avec Curie.

En grandissant, la chimie a perdu son objet, car personne aujourd'hui ne peut définir avec précision le but de ses recherches. Elle ne place plus ce but dans l'étude des espèces chimiques; nous dire que le chlore est un gaz liquéfiable, ou que le soufre est un cristal octaédrique, c'est faire

de la physique ou de la minéralogie. Et si on définit, ce qui est plus logique, la chimie comme l'étude des réactions, nul ne peut dire où finit la réaction et où commence le phénomène physique. Celle-là, dira-t-on, entraîne des modifications permanentes, celui-ci non : à ce compte, l'aimantation de l'acier est un phénomène chimique, puisqu'elle persiste après la cause qui l'a déterminée. La première, dit-on encore, entraîne des modifications moléculaires, tandis que le second laisse la molécule intacte : opinion tout aussi hasardée, puisqu'elle ferait rentrer dans le cadre de la chimie les changements d'état et les anomalies de l'eau au voisinage de son maximum de densité ; il est donc impossible de s'arrêter à une définition précise.

Enfin, la chimie est en train de voir ses lois fondamentales perdre leur caractère de nécessité absolue et de rigoureuse exactitude. A la base de l'édifice construit par Lavoisier et ses successeurs se plaçaient la croyance à l'existence de corps simples non transmutables entre eux, la loi de la conservation de la matière et la loi des rapports simples. Nous avons vu que cette dernière loi ne nous apparaît plus aujourd'hui avec le caractère de nécessité qu'elle avait au début. La loi de la conservation de la matière a été, de son côté, l'objet d'attaques sur lesquelles il est difficile de se

prononcer : Landolt, en pesant, avec les plus minutieuses précautions, des systèmes chimiques avant et après réaction, a cru constater des variations systématiques de poids de l'ordre du millièmième. Mais, surtout, les expériences de Curie et de Ramsay ont jeté le trouble dans les esprits : la multiplicité des corps radioactifs et leurs métamorphoses, la transformation du radium, corps simple et bien défini, en hélium, autre corps simple, enfin les transmutations réalisées dès à présent par Ramsay, donnent à penser que nous ne sommes pas au bout de nos étonnements.

Mais parce que la chimie actuelle n'est plus en état de définir ni son but, ni ses moyens, ni ses principes, s'ensuit-il qu'elle ait disparu du nombre des sciences? Bien loin de là; c'est le propre de toute science d'arriver d'abord par des moyens grossiers à des résultats simples, qui servent ensuite d'amorce à des études plus complètes. L'astronomie de Képler et de Newton était plus simple que celle d'aujourd'hui, mais le but des sciences n'est pas la simplicité.

La nature veut que la science soit une, comme elle-même; elle nous refuse le droit de verser nos connaissances dans des vases séparés. L'évolution dont nous sommes les témoins est donc logique et nécessaire; mais l'infirmité de notre esprit nous

oblige, malgré tout, à maintenir des classifications. Seulement, les classifications actuelles sont mauvaises. Il est permis de penser que la science de l'avenir, malgré qu'elle tende chaque jour vers l'unité, se laissera diviser en trois larges groupes : sciences de l'éther, sciences de la matière non vivante, sciences de la vie; ainsi la chimie, la mécanique et une partie de la physique actuelle paraissent destinées à se fondre dans une large synthèse; et, sans doute, le groupement nouveau des sciences fera apparaître, à son heure, des harmonies que nous ne soupçonnons pas.

LA TRANSMUTATION ET LES EXPÉRIENCES DE RAMSAY

Le mot de transmutation évoque dans notre esprit les spéculations des alchimistes, la pierre philosophale, la quintessence de Raymond Lulle, l'Alcaest de Paracelse et toutes ces mystérieuses recettes sur lesquelles la raison triomphante des temps modernes croit pouvoir porter un jugement sans appel; c'est pour cela que la recherche de la transmutation paraît à beaucoup d'esprits, ennemis des rêveries inconsistantes, aussi vaine que celle du mouvement perpétuel ou de la quadrature du cercle. Il faut pourtant distinguer; si le mathématicien a le droit de dire « jamais », le physicien et le chimiste doivent se contenter de formules moins absolues et moins ambitieuses, sous peine

de recevoir de l'expérience de cruels démentis. Il y a peu d'années, la question de l'unité de la matière et de la transformation des éléments les uns dans les autres était de celles qu'on ne devait plus poser. Pourtant elle se pose d'elle-même, depuis quelque temps, avec une telle insistance qu'il faut bien enfin la regarder en face, et se rendre compte qu'une révolution se prépare dans nos doctrines chimiques, au moment où elles paraissaient le plus solidement établies.

Fontenelle avait coutume de dire : « Quand une théorie paraît probable, soyez sûr qu'elle est fausse! » Ceci n'est point une simple boutade de théoricien désabusé; nous accédons à la vérité sur le monde extérieur par échelons successifs; à chaque marche gravie, l'aspect de l'univers s'élargit et se modifie. Aujourd'hui le grand chimiste anglais Sir William Ramsay nous entraîne sur une nouvelle plate-forme; nous devons essayer de comprendre comment le panorama nouveau développe et continue celui auquel nous étions accoutumés.

*
* *

Avant de penser à transmuter les corps, il faut d'abord constituer pour chacun d'eux une fiche indi-

viduelle qui permette de le reconnaître à des caractères indiscutables ; c'est là ce qui a manqué aux alchimistes pour faire œuvre utile. Pour eux, tout ce qui était lourd, brillant et jaune, était de l'or ; ainsi s'expliquent toutes leurs confusions. Le grand effort de la chimie moderne a permis d'établir un signalement précis de chaque corps ; ce travail, qui a exigé tant de labeurs, est analogue à celui par lequel les naturalistes sont arrivés à distinguer et à classer les espèces. Dans la foule des caractères, il a fallu trier ceux qui n'étaient qu'accessoires ; on a reconnu que la couleur, l'éclat, la densité, la forme, qui avaient tant d'importance aux yeux des anciens, sont loin d'être caractéristiques : si l'on s'en rapportait à eux, combien aurait-il d'espèces de carbone, de soufre, de sélénium ou de phosphore ? C'est dans la réaction chimique qu'il a fallu trouver le critérium indiscutable, la marque d'authenticité de chaque espèce chimique : nous appelons *carbone* tout corps qui se combine à l'oxygène en donnant exclusivement du gaz carbonique. Ainsi, nous marchons sur un terrain solide. A défaut de celui-là, un caractère d'importance fondamentale est fourni par l'analyse spectrale. Tout élément rendu lumineux par la décharge électrique se caractérise par l'émission de raies brillantes dont la place dans le spectre

permet de le reconnaître et de le différencier; et ce qui fait l'importance toute spéciale de ce caractère, c'est son exquise sensibilité; dans ses récentes recherches, Ramsay opérait avec de minuscules tubes de Geissler, contenant 4 millimètres cubes de gaz; il pouvait déceler des traces d'éléments dont le poids total ne surpassait certainement pas un dix-millième de milligramme.

L'étude systématique des réactions, en même temps qu'elle fournit le moyen de caractériser les espèces chimiques, permet de les classer en deux groupes : les corps qui peuvent être obtenus par les réactions synthétiques, ou bien séparés en plusieurs autres par les réactions analytiques, sont dits corps composés. D'autres, qui ont résisté jusqu'ici à tous nos efforts pour les briser, sont réputés, jusqu'à nouvel ordre, corps simples ou éléments; cette conclusion, justifiée par des milliers d'expériences, n'est pourtant que provisoire, et il convient d'avoir toujours présentes à l'esprit les sages paroles de Lavoisier :

Si nous attachons au nom d'éléments ou de principes l'idée du dernier terme auquel parvienne l'analyse, toutes les substances que nous n'avons pu encore décomposer par aucun moyen sont pour nous des éléments; non pas que nous puissions assurer que ces corps, que nous regardons comme simples, ne soient pas eux-mêmes composés de deux ou même d'un plus grand nombre de principes;

mais puisque ces principes ne se séparent jamais, ou plutôt, puisque nous n'avons aucun moyen de les séparer, ils agissent à notre égard à la manière des corps simples et nous ne devons les supposer composés qu'au moment où l'expérience et l'observation nous en auront fourni la preuve.

Nous sommes amenés ainsi à considérer les corps composés comme formés par l'association d'un certain nombre de corps simples et les contenant : nous sortons ici du domaine des faits pour admettre une hypothèse qui a été contestée par des chimistes notoires, et entre autres par Ostwald : que l'oxyde de fer puisse toujours être décomposé en oxygène et en fer, et obtenu par la combinaison de ces éléments, c'est un fait indiscutable ; mais que ce même oxyde de fer contienne effectivement de l'oxygène et du fer, cela n'est plus assuré : un mouvement circulaire peut être décomposé en deux mouvements oscillatoires suivant deux diamètres de la circonférence, et être produit par la superposition de ces deux mouvements, et pourtant il ne contient réellement ni l'un ni l'autre.

En fait, tous les chimistes admettent implicitement cette hypothèse que les millions de corps, actuellement reconnus, sont faits de l'association de 72 éléments différents, irréductibles les uns aux autres : tel est l'aspect sous lequel nous apparaît le monde de la matière. Que les chimistes

soient profondément attachés à cette doctrine et ne soient nullement disposés à l'abandonner pour des spéculations aventureuses, leur attitude n'est que trop justifiée; d'ailleurs, si, à la lumière des découvertes nouvelles, l'indestructibilité des éléments ne nous apparaît plus comme une vérité indiscutable, du moins elle garde son caractère de vérité pratique. Mais à aucun moment les chimistes, j'entends ceux qui prennent la peine de penser, n'ont considéré comme un dogme intangible l'existence de 72 corps simples. Ce nombre est loin d'être fixé à tout jamais; il n'est presque point d'année où l'on ne trouve, ou croie trouver un élément nouveau: tout le monde se souvient encore de la découverte retentissante, faite il y a peu d'années par Lord Rayleigh et Ramsay, d'une série de gaz élémentaires, *hélium*, *néon*, *argon*, *krypton* et *xénon*, soit 5 corps simples, contenus dans l'air que nous respirons et que nous croyions si bien connaître.

Le nombre des corps classés comme simples augmente constamment. Il y a là quelque chose d'étrange et notre sens intime proteste contre l'existence d'un si grand nombre d'éléments irréductibles; nous sentons confusément que cette complication doit nous cacher une vérité plus simple. Pourtant nous ne croyons plus, comme

les hommes du XVIII^e siècle, que les lois vraies sont nécessairement simples. Nous avons trop de preuves de la complexité de la nature; seulement nous croyons savoir que cette complexité est faite, non par juxtaposition, mais par combinaison d'éléments peu nombreux : c'est ainsi que la chimie organique tout entière s'échafaude sur quatre corps simples et que les mouvements si compliqués des astres obéissent à la loi unique de la gravitation universelle. C'est pour cela, sans doute, que l'hypothèse d'une matière unique, primordiale, couve au fond de tant d'esprits; à la moindre occasion, elle jaillit comme une flamme mal éteinte. Voici deux exemples typiques.

En 1815, le chimiste anglais Prout avait émis l'idée que les poids atomiques de tous les corps devaient être des multiples de celui de l'hydrogène. Cette proposition, que n'appuyait aucune preuve expérimentale, était tombée dans l'oubli. Jean-Baptiste Dumas, le grand chimiste dont l'esprit était si largement ouvert à la philosophie scientifique, la reprit trente ans plus tard et lui donna l'appui de nombreuses expériences; il crut pouvoir affirmer que, l'atome d'hydrogène étant pris pour unité, ceux du carbone, de l'azote, de l'oxygène, du soufre, devaient peser exactement 12, 14, 16 et 32. Un tel résultat pouvait-il

s'expliquer autrement qu'en considérant les éléments comme des états de condensation successifs d'une même matière primordiale, qui était peut-être l'hydrogène lui-même? Mais, une fois encore, la réalité a brisé les ailes du rêve; l'analyse chimique, en développant ses ressources, a permis une détermination plus précise des poids atomiques; il a fallu remplacer les nombres indiqués par Dumas par des nombres plus compliqués, 11,97 — 14,01 — 15,88 — 31,98, si bien que la simplicité entrevue s'évanouit et qu'il devient impossible de tirer des déterminations de cet ordre aucun argument pour ou contre l'unité de la matière.

Cette même préoccupation se retrouve encore dans des considérations d'un autre ordre. Les espèces chimiques, telles qu'on les a définies, sont loin d'être fixes; il semble qu'elles puissent, comme les espèces vivantes, exécuter des oscillations d'amplitude variable autour d'un type moyen. Pour chacune d'elles, les constantes physiques comme la couleur, la densité, la solubilité dans les dissolvants, les coefficients de dilatation et d'élasticité, la chaleur spécifique sont variables; parfois même les propriétés chimiques sont modifiées. Ainsi, l'ozone diffère nettement de l'oxygène; le carbone, le soufre, le sélénium, le phos-

phore peuvent exister sous des formes et avec des propriétés bien différentes. Cette variabilité des espèces est de nature à suggérer l'idée d'un transformisme chimique, analogue au transformisme biologique. On peut, il est vrai, envisager ces variétés comme provenant d'états différents d'agrégation moléculaire : la molécule d'ozone, par exemple, serait constituée par trois atomes alors que la molécule d'oxygène n'en contiendrait que deux ; ainsi l'on sauvegarde provisoirement, et par une hypothèse vraisemblable, l'individualité des éléments. Mais il y a d'autres cas où ce mode de raisonnement paraît inacceptable.

Considérons, par exemple, les oxydes dont les métaux forment ce qu'on est convenu d'appeler les *terres rares*. Ces corps étaient rares, en effet, et mal connus, jusqu'au moment où les besoins de l'industrie moderne, en invitant à les rechercher, ont montré leur abondance relative et, en tous cas, leur extrême dissémination dans l'écorce terrestre. On a tiré de ces corps un nombre considérable, et encore aujourd'hui mal déterminé, de métaux, *thorium*, *cérium*, *lanthane*, *didyme*, *yttrium*. En 1842, Mosander établit que ce dernier métal était en réalité constitué par trois corps distincts, *yttrium* proprement dit, *terbium* et *erbium* ; depuis, le travail acharné de nombreux

chimistes a encore extrait des mêmes corps de nouveaux éléments, *scandium*, *ytterbium*, *holmium*, *gadolinium*, auxquels il faut peut-être ajouter le *thulium*, le *néo-erbium*, le *néo-holmium*, le *dysprosium*¹. Tous ces corps, de propriétés si voisines que leur séparation est à peine possible, viennent allonger la liste, déjà si chargée, des corps simples. A les voir si voisins les uns les autres et associés dans les mêmes minéraux, on croira difficilement qu'ils ne proviennent pas d'une origine commune; et c'est ce qui a amené le physicien Crookes à sa célèbre théorie des « méta-éléments ».

D'après Crookes, les divers corps simples résulteraient de la condensation progressive d'une même matière primitive; mais, à un moment donné, le refroidissement de cette matière primitive ayant été trop rapide, il se serait produit une série d'éléments dont le développement aurait été arrêté. La nature aurait accouché avant terme, peuplant l'espace de monstres mal venus, voisins des formes normales et pourtant reconnaissables; ainsi l'*holmium*, l'*erbium*, le *gadolinium* et le *dysprosium* ne seraient que des « méta-éléments » de l'*yttrium*, et chacun des corps simples que nous connaissons pourrait, si

1. Tout récemment encore M. Urbain a réussi à dédoubler l'*ytterbium* en deux éléments, le *néo-ytterbium* et le *lutécium*.

nous étions assez habiles à effectuer les séparations chimiques, nous fournir toute une lignée de satellites.

Même en laissant de côté ces éléments rares, sur l'identité desquels plane peut-être encore quelque doute, comment ne pas être frappé de l'analogie profonde de certains corps? Il y a longtemps que Dumas, traduisant ces analogies, avait groupé dans une même famille naturelle le fluor, le chlore, le brome et l'iode, ou encore le soufre, le sélénium et le tellure. Des associations aussi naturelles unissent les gaz inertes de l'air dont nous donnions tout à l'heure l'énumération, les métaux alcalins, les métaux du groupe du fer. Il n'y a pas un chimiste qui ne sente la valeur de ces analogies, aucun qui ne pense qu'entre les corps d'une même famille existent des liens et une dépendance nécessaire.

Le chimiste russe Mendeleef a eu l'heureuse fortune de présenter cette dépendance sous une forme saisissante, qui s'est imposée depuis longtemps à l'attention des chimistes et qui va recevoir des découvertes de Ramsay un regain d'intérêt. Imaginez qu'on range les corps simples par ordre de poids atomiques croissants, comme on l'a fait dans le tableau ci-joint; on constate que les propriétés des éléments successifs présentent

une certaine périodicité et le tableau est divisé en lignes et colonnes de façon à mettre cette périodicité en évidence; on s'est arrangé de telle sorte que les corps d'une même colonne verticale présentent entre eux d'étroites analogies, si bien que ces colonnes reproduisent, à peu près, les familles naturelles déjà observées par les chimistes. Il est vrai qu'on a usé d'un artifice, en laissant des places vides dans les cases, mais on peut supposer que ces lacunes correspondent à des éléments encore inconnus; de fait, les corps découverts depuis la publication du tableau de Mendeleef sont venus tout naturellement remplir les cases vides; tel est le cas pour le *germanium*, isolé par Winckler, et pour le *gallium*, obtenu par Lecoq de Boisbaudran; de même, les gaz inertes de l'atmosphère ont trouvé leur place dans le tableau. Des critiques nombreuses et justifiées peuvent être adressées à l'œuvre de Mendeleef; mais il n'est presque point de chimiste qui ne la considère comme le canevas sur lequel viennent se grouper les propriétés les plus générales de la matière; elle donne une forme précise, trop précise peut-être et trop simple, à la dépendance incontestable qui relie tous les éléments.

TABLE DE MENDELEEF

L'ÉVOLUTION DES SCIENCES.	Hydrogène 1	Hélium 4	Lithium 7	Glucinium 9,3	Bore 11	Carbone 12	Azote 14	Oxygène 16				
	Fluor 19	Néon 20	Sodium 23	Magnésium 24	Aluminium 27,5	Silicium 28	Phosphore 31	Soufre 32				
	Chlore 35,5	Argon 40	Potassium 39,1	Calcium 40	Scandium 44	Titane 48	Vanadium 51,3	Chrome 52,4	Manganèse 55,2	Fer 55,9	Cobalt 58,6	Nickel 58,7
			Cuivre 63,5	Zinc 65	Gallium 68	Germanium 71	Arsenic 75	Sélénium 78				
	Brome 80	Krypton 82	Rubidium 85,4	Strontium 87,3	Yttrium 89,6	Zirconium 90	Niobium 94	Molybdène 95,8		Ruthénium 103,5	Rhodium 104,1	Palladium 105,2
			Argent 107,9	Cadmium 112	Indium 113	Étain 118	Antimoine 120	Tellure 126,3				
	Iode 126,6	Xénon 128	Cæsium 132,6	Baryum 137	Cérium 137	Lanthane 139	Didyme 147					
					Erbium 170,6	Ytterbium 173	Tantale 182	182,4 182,4		Osmium 190	Iridium 192	Platine 194
			Or 197	Mercure 200	Thallium 204	Plomb 206,9	Bismuth 210					
		Émanation 215		Radium 225		Thorium 233,9		Uranium 240				

LES EXPÉRIENCES DE RAMSAY

*
* *

Ainsi la chimie moderne, tout en admettant la notion de corps simples, constatait entre ces corps des solidarités qui rendaient vraisemblable la possibilité d'une transmutation; mais les moyens dont elle disposait étaient insuffisants pour réaliser cette transmutation¹.

La découverte des corps radio-actifs est venue fournir le levier nécessaire. Ces corps, *uranium*, *thorium*, *radium*, *actinium*, sont une source merveilleuse et, en apparence, intarissable d'énergie. Le *radium*, en particulier, le mieux connu de tous, émet incessamment de la lumière, de la chaleur et trois espèces de radiations qu'on a désignées par les lettres α , β et γ . Les rayons α sont constitués par des masses matérielles, de dimensions comparables à celles d'une molécule d'hydrogène, électrisées positivement et animées d'une médiocre vitesse. Les rayons β forment la trajectoire de projectiles deux mille fois plus légers que les précédents, chargés d'électricité négative et lancés avec une vitesse formidable comprise entre cent

1. En 1900, Fittica, professeur à l'Université de Marbourg, crut avoir réussi à transformer le phosphore en arsenic. Mais, en définitive, sa tentative échoua, comme toutes celles de ses devanciers.

mille et trois cent mille kilomètres à la seconde; ces derniers projectiles sont appelés *corpuscules* ou *électrons*. Enfin les radiations γ , analogues aux rayons X, sont sans doute constituées, comme eux, par des perturbations de l'éther qui ne transportent ni masses matérielles, ni charges électriques.

Mais ce n'est pas tout ce qui se dégage des corps radio-actifs; dans le voisinage d'un échantillon de *radium*, un corps quelconque, fer, caoutchouc, bois, devient actif à son tour, c'est-à-dire émet toutes les radiations que nous venons d'énumérer; mais sa radio-activité, au lieu d'être permanente, décroît peu à peu jusqu'à devenir insensible au bout de quelques minutes, ou de quelques jours, suivant les cas. Tel est le phénomène auquel M. et M^{me} Curie, qui l'ont découvert, ont donné le nom de *radio-activité induite*. Cette forme nouvelle d'énergie, produite par le *radium*, n'est plus rayonnée, comme les précédentes; elle paraît se diffuser à la manière d'un gaz, qui, émané du *radium*, se répandrait progressivement dans l'espace environnant en imprégnant les corps qu'il rencontre et en leur communiquant l'activité qu'il tient lui-même du *radium*.

Cette explication de la radio-activité induite, proposée par Rutherford, a cessé d'être une hypo-

thèse le jour où Ramsay et Soddy purent recueillir l'« émanation » du *radium*, l'isoler et en faire l'étude. L'émanation est un véritable gaz, qui obéit à la loi de Mariotte et se liquéfie lorsqu'on le refroidit au contact de l'air liquide; elle se caractérise par un spectre lumineux qui rappelle celui des gaz de la série de l'argon; d'autre part, son inactivité chimique paraît absolue, puisqu'on peut la chauffer, sans l'altérer, au contact des oxydants et des réducteurs les plus énergiques; c'est pourquoi Ramsay la considère comme un gaz simple, de poids atomique voisin de 215 et qui, dans la classification périodique, prendrait place au-dessous du xénon.

Voici donc un fait dont on ne trouve l'analogue nulle part en chimie : le *radium*, corps très bien défini comme élément par son spectre et l'ensemble de ses propriétés chimiques, se décompose spontanément en un autre corps qui apparaît à son tour comme simple, et si la vitesse de transformation restait celle qui a été mesurée dans les expériences, chaque gramme de *radium* donnant dans une année un milligramme d'émanation, la transmutation serait intégralement accomplie en quelques milliers d'années.

Mais nous ne sommes pas au bout des complications. Ramsay conserve quelques millimètres

cubes de sa précieuse émanation sur le mercure, dans une minuscule éprouvette de verre, où elle forme une colonne lumineuse. Quelques jours après, il constate que le gaz diminue de volume; la diminution continue régulièrement, si bien qu'au bout de trois semaines il ne reste plus dans l'éprouvette qu'un point lumineux; au bout d'un mois, toute trace d'émanation a disparu; cependant, en abaissant ensuite le mercure, de façon à faire le vide dans l'appareil et en chauffant légèrement l'éprouvette, il se produit un gaz qui représente quatre fois environ le volume initial de l'émanation : ce gaz est de l'hélium.

Un résultat aussi inattendu n'acquiert droit de cité dans la science qu'après de sérieuses vérifications; outre celles de Ramsay lui-même, la question a été reprise, en France et en Allemagne, par sept observateurs, entre autres par Curie : on a pu constater que, non seulement le *radium*, mais encore le *thorium* et l'*actinium* se transforment finalement en *hélium*, par l'intermédiaire de l'émanation. D'ailleurs le fait s'accorde avec ce que nous savons déjà de l'origine de l'*hélium* sur la terre : ce gaz a toujours été trouvé dans les minéraux radio-actifs, et sa présence a encore été constatée dans les gaz dégagés par les sources minérales d'origine profonde, qui ont dû prendre

contact, à l'intérieur du globe, avec de semblables minéraux¹.

Le fait actuellement indiscutable est donc celui : le *radium* et ses congénères sont des éléments en voie constante de désintégration : spontanément, sous les yeux de l'observateur, ils se transforment en émanation, et celle-ci donne à son tour de l'hélium. Cette évolution est fatale, nous sommes incapables de l'accélérer ou de la ralentir, plus incapables encore de l'effectuer en sens inverse et de revenir de l'hélium à l'émanation ou au *radium*. Comme le fait remarquer Ramsay lui-même, « quoique les analogies tirées de la chimie ordinaire ne suffisent pas pour représenter complètement ces phénomènes nouveaux, elles peuvent néanmoins nous servir à préciser nos idées : il est possible d'enlever le chlore du chlorure d'ammonium AzH^+Cl ; dans ce cas, on devrait obtenir le groupement AzH^+ ; mais ce groupement est peu stable, même en présence du mercure ; il ne tarde pas à se décomposer en ammoniaque AzH^3 et en hydrogène. Pour reconstituer le composé AzH^+Cl , il est nécessaire de suivre un chemin beaucoup plus long ; il faut d'abord combiner le chlore avec l'hydrogène, puis

1. La source de Bourbon-Lancy dégage annuellement dix mille litres d'hélium.

faire réagir l'acide chlorhydrique sur l'ammoniaque; nous pouvons pourtant opérer ces transformations, mais jusqu'ici nous sommes incapables d'opérer des changements semblables avec le *radium* et ses produits de décomposition. »

Nous ne connaissons pas d'agents capables de modifier l'évolution du *radium*; il est probable cependant que de tels agents existent. Les substances radio-actives étant enfermées dans le sein de la terre depuis des milliers de siècles, si leur transmutation s'y était effectuée d'après le taux constaté par Ramsay, il y a longtemps qu'elles auraient disparu intégralement. Il doit donc exister une action retardatrice, ou même un processus de rétrogradation encore inconnus de nous.

*
* *

L'*hélium* n'est pas le seul produit de la désintégration des corps radio-actifs : en même temps est libérée une quantité d'énergie extraordinaire et dont rien, dans les réactions chimiques que nous connaissons, ne peut nous donner une idée. Il résulte des mesures de M. et M^{me} Curie et de Rutherford qu'un centimètre cube d'émanation dégage, en devenant *hélium*, une énergie 3 600 000 fois plus grande que celle qui est fournie

par l'explosion d'un égal volume de gaz tonnant, mélange d'hydrogène et d'oxygène. Mais ce dégagement est progressif, puisqu'il dure environ un mois; de plus il apparaît, non seulement sous forme de chaleur, mais encore comme lumière et rayons α , β et γ .

Ce résultat est d'une haute importance : il met à notre disposition une énergie plus puissante que toutes les autres et dont la forme est nouvelle. Il est donc légitime d'espérer que la puissance libérée par la désintégration du *radium* pourra imposer à la matière des modifications profondes et que ce corps, assez énergique pour se décomposer lui-même, sera capable de transformer tous les éléments mis en sa présence. Telle a été la pensée directrice de Sir William Ramsay et la raison d'être d'expériences patiemment poursuivies depuis trois années, avec une habileté aussi rare que nécessaire en ces recherches, où on opère sur un poids minime de substance, où il faut manipuler pendant des mois, sans les perdre, quelques millimètres cubes de gaz, l'opérateur doit donc pousser à ses extrêmes limites l'habileté expérimentale. Que cette grande difficulté du sujet ne nous détermine pas, cependant, au scepticisme; ceux qui ont vu Ramsay dans son laboratoire savent que nul n'était mieux préparé à une

tâche aussi ardue. Ils savent avec quelle conscience, quelle défiance de lui-même il avance dans la voie qui est tracée :

Lors de ma dernière visite à Ramsay, il y a déjà plus d'un an, — écrit le chimiste allemand Ostwald, — il me montra, dans le laboratoire particulier qu'il s'est fait construire dans sa maison de Regents Park, quelques cristaux blancs sur un petit verre de montre. Cette substance avait été obtenue en faisant agir l'émanation du radium sur une solution de sulfate de cuivre. Après avoir éliminé le cuivre par l'hydrogène sulfuré, le résidu laissé par l'évaporation de la liqueur claire montre nettement au spectroscope la raie du lithium, ainsi que j'ai pu m'en assurer grâce à l'obligeance de Ramsay. Ce fait étant absolument extraordinaire, Ramsay me pria de ne pas le livrer à la publicité avant qu'il ne fût parfaitement confirmé. Mais aujourd'hui cette réserve n'est plus nécessaire; il y a déjà quelques jours que j'ai reçu les épreuves de la publication de Ramsay au monde savant. Les résultats antérieurs ne sont pas seulement confirmés, mais ceux que cet habile expérimentateur a pu obtenir depuis justifient pleinement ses espérances primitives.

Nous pouvons donc, à l'exemple d'Ostwald, faire confiance à l'homme qui a déjà donné à la science tant d'admirables découvertes. Nous le pouvons d'autant mieux qu'il règne dans les résultats nouveaux un ordre que notre imagination n'aurait jamais pu prévoir, mais qui satisfait notre raison.

Nous savons déjà que l'émanation, isolée et

pure, se transforme spontanément en *hélium*. Enfermons maintenant, dans une petite ampoule en verre, cette même émanation avec un peu d'eau; pendant un mois, période de la transformation, on verra l'eau se décomposer progressivement en ses constituants, oxygène et hydrogène, mais, contrairement au cas précédent, il ne se forme que peu d'*hélium*: on trouve surtout du *néon*, gaz appartenant à la même série que l'*hélium*, mais dont l'atome est cinq fois plus lourd. D'autre part, emprisonnons l'émanation avec une dissolution de sulfate ou d'azotate de cuivre; il ne se forme plus ni *hélium*, ni *néon*, mais exclusivement de l'*argon*, gaz encore plus lourd que les précédents, et appartenant à la même famille. En même temps, on trouve dans la liqueur, outre le sel de cuivre inaltéré, une quantité notable de sels de *sodium* et des traces très nettes de *lithium*¹; l'expérience a été répétée quatre fois, toujours avec les mêmes résultats. De plus, Ramsay l'a contrôlée avec une solution d'azotate de cuivre traitée de la même façon sous tous les rapports, avec cette seule différence qu'elle n'avait pas été mise en contact avec l'émanation; dans ces conditions

1. Le poids de lithium formé a pu être évalué d'après l'intensité des raies spectrales observées, à un vingt-millième de milligramme environ.

nouvelles, on n'a obtenu aucune trace de *lithium*, et on a constaté la présence d'une quantité de *sodium* moitié moindre que dans le cas précédent.

La présence du *sodium* est un phénomène normal : le verre, à base de soude, employé pour faire les ampoules, abandonne toujours des traces de sa substance au liquide avec lequel on le maintient en contact. En revanche, rien, sinon une transmutation, ne peut expliquer la présence du *lithium*. D'autres expériences, répétées par trois fois à six mois d'intervalle, manifestent un autre phénomène du même ordre : une solution d'azotate de *thorium*, abandonnée à elle-même en vase clos, dégage continuellement du gaz carbonique : le carbone apparaîtrait donc ici comme élément nouveau ; toutefois Ramsay attend, pour affirmer, le résultat de déterminations actuellement en cours.

On peut croire que toutes ces expériences seront soigneusement contrôlées. Acceptons, sous ce bénéfice, les faits nouveaux. La classification périodique de Mendeleef va nous permettre, suivant les vues de Ramsay, d'y mettre un ordre au moins provisoire. Quand l'émanation, que nous considérons comme un gaz de la famille de l'hélium, est abandonnée seule à elle-même, son atome, lourd et chargé d'énergie, éclate comme

une bombe et se pulvérise; de là naît l'*hélium*, qui est le premier terme de la série. Si, au contraire, cette émanation est mise en présence d'autres corps, une partie de son énergie de désintégration leur sera appliquée : en présence de l'eau, l'émanation se divise en parcelles plus grosses que précédemment, et on obtient le second terme de la même série, qui est le *néon*. Si, enfin, on met l'émanation en présence d'un sel de cuivre, celui-ci est ramené aux formes moins pesantes de son propre groupe, c'est-à-dire au *lithium*, peut-être aussi au *sodium*, tandis que l'émanation, recevant pour sa part un effort moindre encore que dans le cas précédent, ne peut être dégradée qu'à l'état d'*argon*. Ce serait par un processus analogue que le carbone résulterait de la désintégration du *thorium*, élément appartenant à la même famille, mais de masse atomique vingt fois plus grande.

On peut dire, après cela, que les rayons α , β et γ , cette puissante artillerie des corps radio-actifs, agissent sur ce que nous appelons les corps simples à la manière de l'obus sur la plaque de blindage; l'énergie se dépense à la fois sur le projectile et sur l'obstacle, si bien que, plus grand est le dommage sur la plaque, moindre est la dégradation de l'obus.

Un tel raisonnement ne peut être considéré, de l'aveu même de Ramsay, que comme une première et très grossière approximation, mais c'est la seule idée générale dont on puisse actuellement envelopper les faits nouveaux. Ce qui est acquis, en tous cas, c'est que l'idée que nous nous faisons des corps simples va être profondément modifiée. Nous sommes certains que la transmutation n'est pas un mythe, depuis que nous avons vu l'*hélium* naître sous nos yeux, et nous avons de très fortes raisons de croire que d'autres éléments, tout aussi bien définis, *néon*, *argon* et *lithium*, peuvent également se créer par désagrégation atomique. Mais nous ne savons encore agir sur les éléments que dans un seul sens, en passant des atomes les plus lourds aux plus légers; il a toujours été plus facile de démolir que de reconstruire et, d'après les énergies formidables qu'il a fallu mettre en jeu pour la démolition, on peut juger de ce qu'il faudra pour agir en sens inverse, par exemple pour faire de l'or avec du cuivre.

C'est une constatation bien remarquable, que les éléments les plus lourds soient en même temps les plus instables, puisque les seuls qui se désintègrent spontanément forment la dernière ligne de la table de Mendeleef, et que les autres se décomposent toujours en donnant des corps plus légers

qu'eux-mêmes. Déjà, la chimie classique nous avait habitués à cette notion, que les composés les plus complexes, qui sont aussi ceux dont la molécule est la plus lourde, sont en même temps les plus instables; ceux qui figurent dans les êtres vivants, et dont la complication est extrême, paraissent même incapables d'exister à l'état d'équilibre; ils sont si intimement associés à la vie, qu'ils évoluent sans cesse avec elle. Ainsi paraît se créer une chimie des éléments, sur le modèle de la chimie classique des composés. L'atome n'est plus le dernier terme; les chimistes, après les physiiciens, sont amenés à le dissocier et se demandent à leur tour quel jeu joue la Nature, en nous donnant tant de raisons de croire à la discontinuité de la matière, et tant de raisons d'en douter.

LA MATIÈRE EXISTE-T-ELLE ?

Nous croyons à l'existence de la matière, automatiquement et d'instinct; nous y croyons sur les témoignages concordants de tous nos sens. Mais les philosophes et les savants nous ont appris depuis longtemps que les sens étaient souvent de faux témoins; l'art des prestidigitateurs et des baraques foraines nous en fournit la preuve quotidienne. Et, au fond, nous serions tous bien embarrassés de dire ce qu'est cette matière à laquelle nous croyons si fort. Elle se présente à nous, comme Protée, sous mille aspects divers. Quelles sont les qualités qui la définissent, qui forment véritablement son essence? Question souvent débattue et peu facile à résoudre.

Pour beaucoup, l'impénétrabilité est l'essence

même de la matière. L'enseignement classique nous a dit et répété que deux corps ne peuvent occuper en même temps la même région de l'espace, comme s'il s'agissait là d'une chose évidente ou constatée expérimentalement; mais rien n'est moins assuré; l'oxygène et l'azote sont confondus dans l'air que nous respirons, l'eau et l'alcool dans le vin que nous buvons, de telle sorte que nous sommes incapables, par aucun moyen logique ou expérimental, de définir un volume, si petit qu'il soit, où il y aura de l'azote et pas d'oxygène, de l'eau et pas d'alcool. Et inversement, on peut réaliser un espace dépourvu de toute matière et qui jouit d'une impénétrabilité presque absolue. Imaginons un puissant électro-aimant, dont les deux pôles de fer sont distants de quelques centimètres. Armons-nous d'un sabre de l'acier le meilleur et le mieux aiguisé, et essayons de trancher cet espace, cet entrefer. Eussions-nous la force de Samson, nous n'y parviendrions pas, et ce n'est pas le peu d'air placé entre les pôles qui brise notre effort; si on enlevait cet air, l'entrefer n'en resterait pas moins infranchissable pour notre épée. Laissons donc de côté, comme inaccessible à la raison et à l'expérience, cette antique notion d'impénétrabilité, qui n'est qu'un legs de la métaphysique car-

tésienne et qui encombre inutilement nos cerveaux modernes.

Négligeons, du même coup, toutes les propriétés de la matière dont aucune n'est générale ni essentielle, pour arriver droit au but : l'accord s'est fait entre les diverses sciences mathématiques, physiques et chimiques, pour caractériser la matière par trois propriétés fondamentales : toute matière a une masse, est pesante et inerte¹. C'est évidemment un phénomène imposant que l'accord de ces savants de tant de siècles, habitués à des disciplines différentes, et qui se rencontrent dans une commune affirmation. Voici un morceau de craie ; je puis le mettre dans un des plateaux d'une balance ; il est équilibré par 20 grammes, placés dans l'autre plateau, et alors je conclus qu'il y a autant de matière dans ce bloc de craie que dans les 20 grammes de cuivre, bien que ce ne soit pas la même espèce de matière, et je dis que la masse de la craie est de 20 grammes. Qu'il s'agisse de l'or, du platine ou bien du plus

1. Il est intéressant de remarquer que, sur cette question de l'essence de la matière, les idées des scientifiques et des métaphysiciens ont subi des évolutions parallèles : aux hypothèses cartésiennes qui voient dans l'étendue la qualité première des corps, Leibniz substitue une conception du monde fondée sur l'existence de la force ; or la notion de force est associée à celles de masse et d'inertie aussi intimement que l'idée d'étendue est liée à celle d'impenétrabilité.

léger des gaz, l'hydrogène, je puis le faire passer à la balance et mesurer la quantité de matière qu'il contient. Voilà donc une propriété commune à toute espèce de matière, qui est d'avoir de la masse, et cette propriété est caractéristique, car si on répète l'opération au pôle, à l'équateur, voire à l'intérieur de la terre ou sur la lune, on trouvera toujours la même masse pour le même bloc. En revanche, que la craie soit chaude ou froide, et si grande que soit la précision des mesures, on ne trouvera jamais la moindre différence; donc, la chaleur est quelque chose d'immatériel, puisque, en l'ajoutant à la matière, on retrouve toujours la même masse; et je puis, tout pareillement, électriser mon bloc de craie sans constater aucune modification dans l'équilibre; donc, l'électricité, non plus, n'est pas de la matière.

Voilà donc trouvé le critérium souverain qui nous permettra de définir la matière, de la suivre partout, et si on complète cette notion par celle que Lavoisier a introduite dans la science, on conclura que la matière est indestructible et impérissable et qu'elle constitue l'élément primordial, peut-être l'élément unique du monde. C'est là, en effet, qu'est le donjon de la citadelle, c'est là qu'il faut frapper si on veut jeter à terre la con-

ception matérialiste de l'univers ; mais il faut, avant l'assaut final, démolir quelques ouvrages avancés : qu'on excuse une comparaison si belliqueuse dans un sujet aussi pacifique.

*
**

Si nous laissons à la notion de masse un répit momentané, il nous sera bien permis, en revanche, de dire un mot de la pesanteur et de l'inertie. Toute matière, nous dit-on, est pesante. Or, ce morceau de craie, dont nous parlions tout à l'heure, cesserait d'avoir du poids si nous l'amè-nions au centre de la terre ; il ne pèserait pas davantage, si nous le placions à une distance convenable entre la terre et la lune, entre la terre et le soleil ; cesserait-il alors d'être de la matière ? Voilà déjà de quoi vous faire réfléchir ; mais le plus grave est que tout ce qui touche à la pesanteur est voilé d'un profond inconnu. Qu'est-ce que la pesanteur ? Nous l'ignorons absolument. Nous savons qu'une pierre tombe, nous ne savons pas pourquoi elle tombe. Ces forces que nous imaginons accrochées, comme des ressorts, entre tous les objets matériels, sont une hypothèse enfantine. Et si nous ne connaissons pas la nature vraie de la pesanteur, pourtant, nous sentons

confusément qu'elle ne réside pas dans les corps pesants, mais en dehors d'eux, autrement dit, qu'elle résulte d'une pression exercée sur les corps par le milieu immatériel dont nous parlerons tout à l'heure, et que nous appellerons l'éther.

Nous disons encore, sur la foi de la science officielle, que la matière est inerte et que c'est là une de ses propriétés caractéristiques. Cette croyance à l'inertie résulte d'une observation superficielle des choses. Il est bien vrai que ce morceau de craie, dont nous parlions tout à l'heure, posé sur la table, y resterait indéfiniment si un autre corps en mouvement, la main de l'opérateur, par exemple, ne venait pas à le rencontrer, et que, si on le lance dans l'espace, il y continuera son mouvement après que l'opérateur aura cessé de faire effort. C'est encore en vertu de son inertie, dit-on, que la masse du pendule remonte la seconde partie de sa trajectoire. De même, si l'on ouvre brusquement le robinet d'une conduite d'eau, le liquide ne prendra pas immédiatement sa vitesse de régime, et si on vient à fermer aussi brusquement ce même robinet, le liquide, entraîné par son mouvement, viendra frapper contre le tuyau qu'il pourra même briser : c'est le coup de bélier, bien connu de tous les hydrauliciens.

Tous ces effets se coordonnent et s'expliquent ingénieusement par les principes de la mécanique fondés sur l'existence de forces et sur l'inertie de la matière. On pense bien que ces idées, sur lesquelles l'esprit humain se repose depuis des siècles, sont loin d'être sans mérites et qu'il ne saurait être question de les traiter avec dédain; tout de même, il ne faut pas que la puissance de l'habitude transforme de simples hypothèses en principes indiscutables; il faut voir aussi que le monde que nous connaissons commence à être trop vaste et trop compliqué pour elles. Aussi notre croyance à l'inertie ne tient plus, aujourd'hui, que par paresse d'esprit et par l'absence d'un système coërdonné d'hypothèses mieux choisies.

Ceux qui croient à l'inertie de la matière comme à un dogme scientifique feront bien d'étudier le mouvement brownien, en observant, dans un microscope à fort grossissement, un peu d'encre de Chine délayée dans de l'eau. Ils verront dans le champ de l'appareil des grains solides animés d'un mouvement incessant, qui vont, viennent, tournent sur eux-mêmes comme des Derviches, puis s'arrêtent pour repartir; cela dure des années, et nos observations montrent que cela peut durer éternellement : il existe en effet des cristaux de

crystal de roche dont l'intérieur présente une petite cavité entièrement close; au sein du liquide qui remplit cette cavité, on observe une petite bulle gazeuse qui s'y agite incessamment, et ce frémissement dure sans doute depuis les premiers âges du monde, où cette bulle a été enfermée dans sa prison de quartz.

D'ailleurs, tout ce que nous savons de la nature nous confirme dans cette opinion que les derniers éléments de la matière sont dans un état d'agitation perpétuel et spontané; une lampe, un corps chaud (et tous les corps sont plus ou moins chauds) émettent autour d'eux des ondes qui forment la lumière ou la chaleur rayonnée : comment en émettraient-ils si leurs éléments étaient figés dans un repos sans fin? Si nous croyons que la matière est morte, c'est que nous la regardons de trop loin, ou avec des yeux trop grossiers; de même, si quelqu'un pouvait voir, à dix kilomètres de distance, un amphithéâtre et le public qu'il contient, l'ensemble lui apparaîtrait comme une masse immobile. Le fait d'expérience est donc que la matière ne se repose jamais, et si nous admettons que son mouvement est dû à des forces que nous n'avons jamais vues et que nous ne pouvons définir que comme cause de ce mouvement, cela n'est qu'une hypothèse, hypothèse que

nous avons assurément le droit de faire, mais dont nous devons sentir toute la fragilité.

A tous ces arguments, on peut encore ajouter quelque chose : la science classique nous dit : tout ce qui a de l'inertie est de la matière, tout ce qui n'a pas d'inertie n'est pas de la matière ; la chaleur est immatérielle, parce qu'elle est incapable de dépasser son état d'équilibre, de remonter d'un corps froid à un corps chaud, après être descendue d'un corps chaud à un corps froid. Mais que devons-nous alors penser de l'électricité ? L'électricité n'est pas de la matière, tout le monde est d'accord là-dessus, et pourtant, elle possède une véritable inertie. Prenez une pile, avec un fil de cuivre à chaque borne ; réunissez les deux extrémités libres des fils ; un courant passera, mais il n'atteindra pas instantanément sa valeur de régime ; il lui faudra pour cela un certain temps, comme si la pile avait à vaincre une certaine inertie ; et quand vous viendrez à séparer les deux fils de cuivre, le courant ne s'arrêtera pas instantanément, il sera même capable de se frayer un chemin à travers l'air qui sépare les fils en donnant naissance à une étincelle. Ne voit-on pas l'analogie frappante entre ce phénomène et ce que nous disions tout à l'heure de l'inertie d'un courant d'eau ? Pourtant, on a longtemps fermé

les yeux, on a méconnu cette analogie, on a placé les deux phénomènes aux deux bouts de la science et on les a désignés par des noms différents, afin qu'on fût moins tenté de les rapprocher. Aujourd'hui, plusieurs savants, et entre autres sir Oliver Lodge, le célèbre physicien de Birmingham, nous ont ôté la taie des yeux; ils vont même plus loin et pensent qu'il n'y a en réalité d'autre inertie que celle de l'électricité, et que l'inertie de la matière est due aux charges électriques qu'elle transporte.

*
**

Tout ceci montre bien qu'en essayant d'approfondir notre notion originelle de la matière, nous sommes loin d'aboutir à quelque chose de précis et de cohérent. Mais les difficultés ne font que de commencer : avec la matière, même en y joignant autant de forces qu'on voudra, il est impossible d'expliquer nombre de phénomènes. Considérons, par exemple, la lumière; nous savons, à n'en pouvoir douter, qu'entre la terre, le soleil et les étoiles, il n'y a aucune trace de matière, sauf la couche très mince qui forme l'atmosphère de chacun de ces astres; et nous savons aussi que la lumière n'est qu'un mouvement vibratoire, qui se propage

à raison de trois cent mille kilomètres à la seconde. Pourtant, entre le moment où la lumière part de Sirius et celui où elle arrive jusqu'à nous, il s'écoule huit années. Pendant ce long voyage sur les chemins du ciel, la lumière n'était plus sur l'étoile, elle n'était pas encore dans notre atmosphère. Où était-elle alors ? Qu'est-ce qui vibrait ? Et alors notre esprit, notre misérable esprit qui se débat contre des problèmes trop grands pour lui, en vient nécessairement à imaginer l'éther, ce milieu qui remplit les mondes, et dont les vibrations transportent les radiations lumineuses, calorifiques, électriques et peut-être les actions à distance comme l'attraction qui s'exerce entre les astres.

Je sais très bien que, dès qu'on parle d'éther, ceux qui ne vivent pas en contact incessant avec les idées scientifiques ne peuvent s'empêcher d'être incrédules. Ils ont peine à admettre la réalité de ce milieu que nos sens n'atteignent pas directement et se demandent si nous ne nous laissons pas duper par des rêveries de philosophes. De leur côté, les physiciens en sont arrivés, par la force de l'habitude, à croire à l'éther comme nous croyons à notre propre existence. Cette foi profonde ne prouve pas qu'ils aient raison, mais le désaccord s'aplanit si on prend soin de bien s'expliquer sur la valeur

et la portée de nos hypothèses scientifiques. Qu'il soit bien entendu que nous ne prétendons rien connaître sur la réalité du monde extérieur; nous ne connaissons que nos propres sensations, acquises par l'observation ou par l'expérience; aussi, nous cherchons tout simplement à nous former une image cérébrale qui soit d'accord avec ces sensations; nos prétentions ne vont pas plus loin. Nous sommes comme des gens qui regardent marcher une montre, sans avoir le droit d'en ouvrir le boîtier, et qui imaginent comment cette montre pourrait bien marcher; tout ce que nous pouvons demander à une hypothèse, c'est de relier les faits connus en un système cohérent, sans heurter aucune de nos connaissances: il nous est impossible d'aller au delà.

Dès lors, il n'y a plus à se demander si l'éther existe ou non réellement, mais quelles propriétés il faut lui attribuer pour expliquer les faits connus. Si nous imaginions l'éther comme un gaz encore plus subtil que l'hydrogène, nous ferions fausse route et n'expliquerions rien. Assurément, l'éther doit avoir une densité très faible; d'après les calculs de M. Brillouin, un gramme d'éther peut occuper approximativement le volume d'un kilomètre cube. Si nous considérons que le même volume d'air pèse un million trois cent mille

tonnes de mille kilos, l'éther nous apparaîtra comme pratiquement impondérable ; mais il n'est pas fluide. On peut dire, si extraordinaire que cela paraisse, qu'il a plutôt les propriétés d'un solide. Lord Kelvin, cet admirable physicien dont les yeux voyaient plus loin que les yeux des autres hommes, le comparait soit à une gelée, soit à de la poix. Comme une gelée, il frémit au moindre choc, et les vibrations s'y propagent comme les ronds se développent dans l'eau frappée par une pierre, avec la vitesse formidable de trois cent mille kilomètres à la seconde. Et l'éther est, en même temps, visqueux comme la poix : quand, sur un gâteau de poix, parfaitement solide en apparence, on pose une balle de plomb, on constate qu'elle s'y enfonce peu à peu, si bien que, dans la durée d'une année, elle a pénétré de cinq à six centimètres dans son intérieur. Pareillement, les corps matériels plongés dans l'éther peuvent s'y déplacer en vertu de sa viscosité ; mais avec des vitesses bien plus grandes que la balle dans le gâteau de poix. Ainsi, la terre, dans son mouvement annuel, s'enfonce dans l'éther à raison de trente kilomètres à la seconde.

Au fond, toutes ces comparaisons sont boiteuses ; l'éther diffère profondément de la matière, et c'est une infirmité de notre nature, que nous soyions obligés d'emprunter nos comparaisons à cette

matière, seule connue de nos sens. En réalité, le langage des mathématiques est le seul qui permette de donner une expression précise des propriétés de l'éther. Cette expression a été donnée par Maxwell, Hertz et leurs continuateurs ; elle résume nos connaissances, encore bien incomplètes, sur la nature de l'éther.

*
* *

La matière et l'éther, tels sont les matériaux avec lesquels nos théories scientifiques ont essayé de construire l'image du monde. Cette construction s'échafaudait peu à peu, méthodiquement, lorsque, à la fin du XIX^e siècle, un événement, dont nul n'a perdu le souvenir, est venu donner à l'évolution scientifique une tournure imprévue et un mouvement accéléré. La grande découverte de Röntgen et celles de Becquerel et de Curie, qui l'ont suivie, nous ont révélé un monde nouveau. D'abord frappés de stupeur devant l'X mystérieux des radiations nouvelles, les savants se sont, peu à peu, ressaisis : grâce surtout, il faut le déclarer, à l'audace des physiciens de l'école de Cambridge, en tête desquels se place le professeur J.-J. Thomson, dont les travaux ont reçu dernièrement, par l'attribution d'un prix Nobel, une récompense

méritée. Et aujourd'hui toutes nos idées sur la matière sont tellement remaniées que nous devons, avant toutes choses, consacrer quelques minutes à l'explication de cette métamorphose.

Considérons une ampoule radioscopique de Röntgen; c'est un récipient en verre, de forme quelconque, dans lequel pénètrent deux fils métalliques reliés à deux disques de platine, l'anode et la cathode; on a fait à l'intérieur un vide presque parfait, ne laissant guère qu'un millionième du gaz primitif, puis on a fermé l'ampoule. Si alors on y fait passer le courant électrique de l'anode vers la cathode, on observe des choses merveilleuses. La merveille, à l'extérieur du tube, c'est celle que tout le monde connaît sous le nom de rayons X ou de rayons Röntgen. Nous nous contenterons, sans la décrire, de rappeler que les physiciens considèrent aujourd'hui les rayons X comme dus à des mouvements de l'éther, se propageant par ondes isolées tandis que les ondes lumineuses se propagent en séries régulières et équidistantes : il y a donc entre la lumière et les rayons X la même différence qu'entre le son régulier d'un instrument de musique et le crépitement d'une mousquetade.

Mais des phénomènes aussi extraordinaires, quoique d'une nature entièrement différente, se

produisent à l'intérieur de l'ampoule. De la cathode s'échappe, perpendiculairement à son plan, un flux de quelque chose qui continue son chemin en ligne droite tant qu'il rencontre, dans le tube, de l'espace devant lui. Ce flux *cathodique* transporte avec lui de l'électricité négative; on peut la recueillir et en mesurer la quantité. En même temps, derrière la cathode, se propage un autre flux qui transporte des charges électriques positives. Or, depuis qu'on connaît l'électricité, jamais on n'a vu des charges électriques exister indépendamment d'un support matériel; alors, on est amené logiquement à supposer que ces charges électriques émanées de la cathode sont transportées par des grains de matière; le gaz du tube a dû se diviser en deux parts, qui cheminent en sens inverses avec des charges contraires. Il se passerait donc dans la masse gazeuse quelque chose de très analogue à ce qui se produit dans l'électrolyse de l'eau acidulée ou d'une lessive de soude, et cette analogie n'est pas une des moindres raisons qui nous portent à envisager les phénomènes sous l'aspect que nous venons d'indiquer. Mais l'hypothèse peut se préciser, et c'est là son principal mérite; on va pouvoir déterminer la vitesse et la masse des éléments matériels qui cheminent ainsi à l'intérieur du tube de Röntgen.

Pour nous en rendre compte, examinons le problème analogue de balistique. Voici un boulet, qui sort du canon en faisant avec l'horizon un certain angle; sa trajectoire est une courbe, une parabole que je puis déterminer; la connaissance de cette trajectoire suffit pour faire connaître la vitesse initiale du boulet. Or, je puis aussi, connaissant la force explosive de la poudre, mesurer la force vive de ce boulet, qui est égale à sa masse multipliée par le carré de sa vitesse; la force vive et la vitesse étant connues, la masse du boulet se trouve déterminée.

L'étude des rayons cathodiques nous met en présence d'un problème analogue. La vitesse de nos petits projectiles cathodiques est trop grande pour que la pesanteur ait sur eux une action sensible, mais nous connaissons d'autres forces capables de détendre leurs trajectoires : sous l'action d'un aimant ou d'un corps électrisé, on voit les rayons cathodiques s'incurver notablement, et, d'autre part, on peut mesurer la force vive communiquée par la décharge électrique qui met en branle les corpuscules.

La comparaison ci-dessus, encore qu'un peu vague, nous fait au moins concevoir la possibilité d'expérimenter sur ces poussières atomiques. En fait, les expériences ont été nombreuses, distinctes

dans leur principe comme dans leur dispositif expérimental. Pourtant, les résultats obtenus sont en remarquable concordance; il n'en a pas fallu moins pour rallier les physiciens, d'abord sceptiques, aux vues théoriques de l'école anglaise. Ils sont tous d'accord aujourd'hui pour admettre que le flux cathodique est constitué par des particules matérielles, dont chacune a pour masse le millième de la masse d'un atome d'hydrogène; nous voilà donc en présence d'un nouvel élément matériel, que nous appelons l'électron, ou encore le *corpuscule*; et cet *électron* se retrouve toujours avec la même masse, quel que soit le gaz laissé dans l'ampoule de Röntgen; il apparaît, toujours le même, dans tous les autres phénomènes dont je dirai un mot tout à l'heure : émission des corps radio-actifs, des flammes, des étincelles, des métaux frappés par la lumière; seule sa vitesse diffère; il semble donc constituer l'unité primordiale de la matière désagrégée.

On voit par là combien nos théories sont choses fragiles. Les savants avaient mis des siècles à trouver les atomes, éléments derniers et indivisibles de la matière; ils étaient arrivés à les compter et à les peser, à savoir que dans l'air qui nous environne chaque millimètre cube en renferme dix millions de milliards, qui s'agitent en tous sens avec des

vitesse voisines de cinq cents mètres à la seconde. Tout d'un coup, le spectacle change, l'atome tombe en poussière, et l'électron apparaît en scène, l'électron mille fois plus léger que le plus léger atome ! En présence d'un tel cataclysme, le premier mouvement, bien naturel, a été de recoller ces débris et d'essayer de refaire l'atome avec les électrons ; on y est parvenu tant bien que mal. Aujourd'hui, l'atome de matière nous apparaît, non plus comme un bloc indestructible, mais comme une sorte de système solaire formé d'un groupement central, ou noyau, chargé d'électricité positive, autour duquel gravitent suivant des orbites fermées des électrons négatifs. Il y a quelques centaines d'électrons dans l'atome d'hydrogène, quelques milliers dans l'atome de sodium ou de mercure, et ils sont d'une petitesse extrême par rapport aux dimensions atomiques : Représentons, nous dit Lodge, l'électron par un point d'imprimerie ; l'atome sera alors un édifice de 50 mètres de long, 30 mètres de large et 12 mètres de haut. Aussi, les électrons n'occupent-ils cet espace que comme les soldats occupent un pays ; ils le parcourent en tous sens, à des vitesses énormes ; c'est leur énergie et non pas leur masse, qui fait l'unité de l'atome.

Voici donc que l'infiniment petit, auquel nous avons cru pouvoir nous arrêter, s'élargit à son

tour comme un monde, et que l'expérience, en nous conduisant par la main, nous présente à nouveau la vision de Pascal :

Qu'est-ce que l'homme dans l'infini? Qui peut le comprendre? Mais, pour lui présenter un autre prodige aussi étonnant, qu'il recherche dans ce qu'il connaît les choses les plus délicates. Qu'un ciron, par exemple, lui offre dans la petitesse de son corps des parties incomparablement plus petites, des jambes avec des jointures, des veines dans ces jambes, du sang dans ces veines, des humeurs dans ce sang, des gouttes dans ces humeurs, des vapeurs dans ces gouttes; que, divisant encore ces dernières choses, il épuise ses forces et ses conceptions et que le dernier objet où il peut arriver soit maintenant celui de notre discours. Il pensera peut-être que c'est là l'extrême petitesse de la nature. Je veux lui faire voir là-dedans un abîme nouveau. Je veux lui peindre, non seulement l'univers visible, mais encore tout ce qu'il est capable de concevoir de l'immensité de la nature, dans l'enceinte de cet atome imperceptible. Qu'il y voie une infinité de mondes, dont chacun a son firmament, ses planètes, sa terre, en la même proportion que le monde visible; dans cette terre des animaux, et enfin des cirons, dans lesquels il retrouvera ce que les premiers ont donné, trouvant encore, dans les autres, la même chose, sans fin et sans repos.

*
**

Voilà, présentement, où nous en sommes. Pourtant, essayons de voir, avec les yeux de l'esprit, ces atomes complexes où gravitent des milliers

d'électrons. Tout cela vit d'une vie intense, tout cela s'agite au sein de l'éther. Et alors, il est facile de concevoir que, de temps à autre, un corpuscule dénoue sa trajectoire et s'élançe dans l'espace, semblable à la pierre lancée par une fronde. Il suffira pour cela que dans l'éther ambiant vienne à passer une onde plus brusque et plus rapide, et c'est l'effet que produisent les rayons X et certaines radiations lumineuses ; il suffit d'une élévation de température qui augmente les vitesses des corpuscules et tend leurs trajectoires jusqu'à les rompre, comme le fait se produit dans les flammes et les solides incandescents. Il y a même des corps, et ce sont ceux qu'on nomme radio-actifs, qui se décomposent spontanément et bombardent incessamment l'espace avec leurs électrons.

Pour toutes ces causes, le monde est rempli de corpuscules errants ; les eaux thermales, un grand nombre de minéraux, les flammes, les métaux frappés par la lumière solaire, voire la neige, la pluie qui tombe, les feuilles des arbres, en émettent incessamment. Les expériences qui mettent en évidence cette émission sont d'une simplicité extrême ; aussi est-ce un sujet d'étonnement de penser que tout cela a pu, si longtemps, échapper à notre attention. Mais c'est l'éternelle histoire du progrès des sciences, et le monde est encore rempli

de choses mystérieuses, que nos yeux ne voient pas, mais que les yeux de nos successeurs verront comme les nôtres distinguent la lumière du jour.

Le physicien possède donc aujourd'hui de nombreux moyens de produire des corpuscules ; il sait définir leur trajectoire et déterminer leur vitesse ; il dispose ainsi d'une artillerie dont les projectiles, tous de même masse, compensent l'exiguité de leurs dimensions par la grandeur de leur vitesse : ainsi les électrons qui s'échappent d'une lame métallique frappée par la lumière ultra-violette se meuvent à raison de mille kilomètres à la seconde, ceux qui se propagent dans les tubes de Röntgen et qui forment les rayons cathodiques peuvent atteindre, suivant les cas, vingt mille à cent mille kilomètres ; ceux qui se dégagent du radium sont encore plus rapides ; leur vitesse est comprise entre cent mille et deux cent quatre-vingt-dix-sept mille kilomètres à la seconde : presque la vitesse de la lumière. Notons ce résultat ; il mérite de retenir notre attention, puisqu'il nous montre que la plus grande vitesse que nous puissions donner à la matière paraît être la vitesse même des ondes de l'éther. Il est peu scientifique de supposer que cette coïncidence soit l'effet du hasard ; nous allons voir, en effet, qu'on peut lui trouver une explica-

tion et, en même temps, préciser nos connaissances sur la nature des électrons.

Reprenons, pour cela, et poussons jusqu'au bout notre comparaison entre les corpuscules et des projectiles en mouvement. Considérons un boulet qui se propage dans l'air ; se contente-t-il de fendre un milieu inerte et immobile ? Chacun sait qu'il n'en est rien et qu'un sillage accompagne le boulet et se propage dans l'air à sa suite ; ce sillage est une région troublée dont les mouvements sont alimentés par l'énergie du projectile, si bien que la puissance de la bouche à feu, au lieu de se dépenser sur la masse seule du boulet, s'applique aussi à la zone d'air troublée par le sillage. Les choses se passent donc comme si le projectile avait une masse apparente, plus grande que sa masse réelle ; l'excès de la masse apparente sur la masse vraie est insignifiant aux faibles vitesses, mais il croît avec la vitesse, en même temps que l'énergie communiquée à l'air ambiant.

Nous n'avons plus maintenant qu'à appliquer cette observation aux boulets infiniment petits que sont les corpuscules et à l'éther dans lequel ils progressent. La charge électrique portée par le corpuscule crée un véritable courant électrique qui, en chaque point de la trajectoire, apparaît avec cette charge et disparaît en même temps qu'elle ; or, un

semblable courant produit dans l'éther ambiant des perturbations qu'on nomme, en langage de physicien, des courants induits, et ces courants induits, qui accompagnent l'électron dans sa route, absorbent une part de son énergie, part qui va en croissant avec la vitesse. Le corpuscule a donc, comme le boulet, une masse vraie et une masse apparente, celle-ci croissant avec la vitesse. Le physicien J.-J. Thomson, dont j'ai déjà cité le nom, a su calculer la loi de cette variation, et il a trouvé que la masse apparente de l'électron devait devenir infinie pour une vitesse égale à celle de la lumière : qu'est-ce à dire, sinon que cette vitesse constitue une limite qu'un corpuscule ne pourra jamais atteindre, puisque, quelle que soit l'énergie mise en jeu, elle ne pourrait jamais ébranler une masse devenue infinie ?

Ces prévisions théoriques du savant anglais ont été pleinement confirmées par les expériences de Simon et Kaufmann ; ces deux physiciens ont pu mesurer, pour des corpuscules animés de vitesses différentes, la masse apparente, et ils l'ont vue croître rapidement pour les vitesses approchant de trois cent mille kilomètres à la seconde.

Ainsi, nous sommes déjà à peu près sûrs que tout n'est pas d'origine matérielle dans la masse de nos corpuscules. Mais sommes-nous bien sûrs

qu'il y ait une part due vraiment à la matière? Un physicien allemand, M. Max Abraham, se l'est demandé et, pour en avoir le cœur net, il a traité par le calcul le cas d'un corpuscule hypothétique qui ne posséderait qu'une charge électrique, sans aucune masse matérielle; il aurait encore une masse apparente, due à son seul sillage, et on peut calculer, pour les différentes vitesses, la loi de variation de cette masse; or, il arrive que les résultats obtenus dans cette hypothèse représentent fort bien les expériences de Simon et de Kaufmann¹.

On voit maintenant la conclusion logique de tout ceci : le corpuscule n'a rien de matériel : il n'est rien de plus qu'une charge électrique en mouvement dans l'éther. Nous ne savons encore pas grand'chose du noyau positif qui constitue le restant de l'atome, mais M. Poincaré, qui est à la fois un grand mathématicien et un physicien éminent, nous affirme que s'il n'y a pas de matière dans les charges négatives, il ne peut pas y en avoir davantage dans les charges positives. Ainsi, voilà l'atome dématérialisé, si l'on peut dire, et

1. Si on représente par m la masse du corpuscule animé d'une faible vitesse, la masse apparente mesurée est :

Pour une vitesse de	220 000	kilomètres par seconde....	1,32
—	240 000	— —	1,53
—	260 000	— —	1,78
—	288 000	— —	2,44
—	297 000	— —	3,16

avec lui les molécules et tout l'univers. La matière disparaît et nous ne sommes plus, nous et tout ce qui nous entoure, que des régions troublées de l'éther, déterminées par des charges électriques en mouvement : conclusion logique, mais pourtant imprévue, puisque c'est en développant leur connaissance de la matière que les physiciens en sont venus à douter de la réalité de cette matière.

Tout cela est-il assuré? Il faudrait se garder de le croire; demain peut-être le vent d'une théorie nouvelle viendra balayer toutes ces hypothèses; nous sommes sur des alluvions scientifiques de trop fraîche date, et le terrain est trop peu stable pour qu'on y puisse élever des constructions solides. Mais il est curieux de constater que toutes ces théories modernes nous ramènent aux idées d'un homme qui fut un des plus grands génies du XIX^e siècle; je veux parler d'Helmholtz. Helmholtz était fumeur, mais les grands hommes tirent parti même de leurs défauts; il réfléchissait en regardant les anneaux de fumée qui, parfois, sortaient du fourneau allumé de sa pipe et s'élevaient lentement en s'enroulant sur eux-mêmes. Et il eut l'idée que, peut-être, les atomes n'étaient que de semblables tourbillons formés dans le sein de l'éther et avec l'éther lui-même; il soumit le

problème à l'analyse; elle lui montra que, dans un milieu dénué de viscosité, ces tourbillons se conservent indéfiniment : n'est-ce pas là un des caractères de l'atome ou du corpuscule? Et est-il absurde de supposer que les deux sens de rotation possibles du tourbillon sur lui-même correspondent aux charges positive et négative électriques que nous avons trouvées attachées aux derniers éléments matériels? Nous réaliserions ainsi une unité vers laquelle tend la logique de notre esprit, puisque nous aurions ramené à un élément unique, l'éther, la trinité de la matière, de l'éther et de l'électricité avec laquelle la science avait cherché jusqu'ici à construire l'image du monde... Mais il faut couper court à ces fantaisies de notre imagination : Toute théorie qui est en dehors des atteintes de l'expérience ne mérite pas le nom de théorie scientifique.

Et maintenant, il faut finir, et conclure. A mesure que des expériences plus nombreuses et plus délicates viennent compléter notre connaissance du monde, nous voyons la notion première donnée par nos sens se transformer profondément, alors que se dessinent dans l'espace d'autres formes. Songez combien se modifieraient les idées d'un homme qui, n'ayant connu le monde que par le toucher, acquerrait progressivement

l'ouïe, puis la vue; or, chaque grande découverte de la science nous dote d'un sens nouveau; et le monde qu'elle nous fait connaître n'est ni plus ni moins réel que celui que nos mains peuvent palper, que nos yeux peuvent voir, car il est révélé, comme lui, par l'observation et l'expérience, et il est infiniment plus vaste et plus étendu. Quant à ces théories scientifiques qui se succèdent très rapidement les unes aux autres, nous n'avons pas le droit d'exiger qu'elles nous fassent connaître ce qu'il y a au-dessous des apparences et le plan intime de l'Univers. Pourtant, elles ne sont pas que du vent et de la fumée; elles respectent les faits établis, et si elles ne les expliquent pas, du moins elles les classent; c'est là leur grand, peut-être leur seul mérite : elles sont des essais de classification rationnelle, essais qu'il faut remanier chaque fois qu'une moisson nouvelle a enrichi nos connaissances; les moissons s'accroissent sans cesse, et il faut indéfiniment reconstruire le palais de l'hypothèse où nous les engrangeons; c'est justement pour cela que la science est vivante.

L'INTÉRIEUR DE LA TERRE

Le rayon de la terre est d'environ 6 350 kilomètres. Sur cette énorme épaisseur, quelques mètres nous suffisent pour vivre et mourir, et nous n'avons jamais pénétré plus bas que deux kilomètres. Qu'y a-t-il au delà? Reposons-nous sur un bloc solide? Flottons-nous sur un radeau? C'est chose à peine croyable qu'après tant de siècles de civilisation nous soyons encore, sur ce point, si peu avancés, que nous sachions tant de choses sur les mondes lointains et si peu sur l'intérieur du nôtre! Mais il suffit que le sol se mette à trembler, que les volcans s'insurgent, pour que notre pensée soit ramenée vers le mystère inquiétant des profondeurs et les hypothèses cosmogoniques.

Nous conservons encore la conception de Descartes et de Newton, fixée par Laplace en une admirable synthèse. Nous voyons dans la terre un morceau de la primitive nébuleuse solaire condensé en une sphère liquide qu'un refroidissement continu a recouverte d'une scorie solidifiée. Mais où sont les bases expérimentales de cette croyance? L'*Exposition du système du monde* a paru en 1795 et la *Mécanique céleste* a été publiée de 1799 à 1825 : c'était à peine l'aurore des sciences expérimentales. Depuis, la géologie et la physique ont pris une extension merveilleuse. Si elles nous fournissent peu d'arguments nouveaux, du moins elles nous permettent de peser mieux la valeur des arguments anciens et d'atteindre, non pas la certitude, mais un degré élevé de probabilité. Toutefois, il importe de ne pas nous laisser troubler par les spéculations théoriques qui abondent dans la science, et surtout dans la science anglaise. Ni l'autorité de noms justement célèbres, ni la rigueur de l'appareil mathématique ne doivent nous faire illusion. Que Darwin et lord Kelvin, imaginant un fluide central incompressible et recouvert d'une enveloppe élastique, qu'Hopkinson, supposant ce fluide intérieur dépourvu de viscosité, soient parvenus à des résultats inconciliables avec la théorie

de Laplace : cela ne prouve rien, sinon l'inexactitude des hypothèses initiales. La vérité n'est pas sortie de ces spéculations, elle ne pouvait pas en sortir. Pour la connaître, il faut interroger directement la nature, classer et analyser les faits connus pour en faire sortir les inductions que l'état actuel de la science rend le plus vraisemblables.

*
* *

Une chose d'abord est certaine : la terre a été fluide à un moment de son évolution. Nous avons, pour l'affirmer, deux preuves dont chacune entraîne la conviction.

La première, que Newton connaissait déjà, est fondée sur l'aplatissement de la terre; mais encore convient-il de bien s'entendre pour en apprécier la valeur. Les océans recouvrent les trois quarts du globe et leur surface d'équilibre se place sur un ellipsoïde de révolution, qui diffère très peu d'une sphère puisque l'excès du rayon équatorial sur le rayon polaire atteint tout juste 21 kilomètres : cela ne prouve rien, sinon que la terre tourne. Cette rotation développe une force centrifuge croissant du pôle à l'équateur avec le rayon de rotation. Par suite, la masse des

eaux équatoriales, allégées par cette force contraire à leur poids, s'élève plus haut que celle des eaux polaires, et la différence de niveau constatée est précisément telle qu'on peut la calculer d'après la vitesse de rotation.

Mais supprimons, par la pensée, tout ce liquide, ou siphonnons-le sur quelque autre planète et laissons à notre globe son écorce toute sèche. Elle nous paraît rugueuse et irrégulière, creusée d'abîmes profonds, surélevée par d'énormes montagnes. Si pourtant nous réduisons toutes ces dimensions à celles d'un globe d'un mètre de diamètre, montagnes et abîmes nous apparaissent comme d'imperceptibles rides, comme de faibles sillons ayant un demi-millimètre au plus en hauteur ou en profondeur. Encore les uns et les autres ne sont-ils que des accidents sur la surface : la forme générale apparaît nettement et cette forme est encore celle d'une sphère légèrement aplatie aux extrémités de l'axe polaire ; le diamètre équatorial surpasse le diamètre polaire de trois à quatre millimètres.

Ainsi, malgré l'érosion des eaux, malgré les dislocations produites par les convulsions souterraines, la terre n'a pas été tellement remaniée qu'on ne puisse connaître avec certitude sa forme primitive, et quand même notre globe serai

actuellement solidifié jusqu'au cœur, il faut, pour avoir pris cette figure, qu'il ait été fluide dans le passé.

Une autre preuve, tout aussi convaincante, est fondée sur la répartition des densités à l'intérieur du globe. Chacun connaît la loi de la gravitation universelle que Newton eut la gloire de tirer des lois, énoncées par Képler, des mouvements planétaires : elle nous apprend qu'entre deux objets matériels quelconques existe une force attractive, qui est proportionnelle à leurs masses et qui agit en raison inverse du carré de leurs distances. S'il avait pu subsister, après Newton, quelques doutes au sujet de cette attraction, Cavendish les aurait dissipés en 1798, en la mesurant directement à l'aide de balances très sensibles. L'expérience a été reprise depuis en maintes occasions ; on sait aujourd'hui avec précision que deux masses, valant chacune un kilogramme et placées à un mètre l'une de l'autre, s'attirent avec une force égale à 6,7 millièmes de milligramme. Or, l'attraction de la terre sur un kilogramme placé à sa surface est précisément égale au poids de ce kilogramme ; cela suffit pour déterminer, par une simple proportion, la masse de la terre, qu'on trouve ainsi être de 5 875 milliards de milliards de tonnes. Divisant par le volume, on obtient la

densité moyenne du globe, que les plus récentes déterminations fixent ainsi à 5,56 : la terre en moyenne pèse cinq fois et demie plus que l'eau. Mais ce n'est qu'une densité moyenne, et il est bien facile de voir que, dans les couches superficielles du globe, le poids des matières les plus lourdes est notablement inférieur à cette densité moyenne. Ainsi, le marbre a pour densité 2,7, la lave 2,4, le granit 2,6; il faut donc, par compensation, que les couches profondes soient plus lourdes. Certains calculs de Roche, certaines expériences d'Airy rendent probable que cette densité intérieure serait voisine de 7 : c'est approximativement la densité des métaux communs, zinc, fer, cuivre. L'ensemble des faits connus porte même à admettre que les métaux plus denses encore, l'argent, le mercure, l'or, le platine, doivent se confiner dans les régions les plus centrales du globe, et c'est pourquoi les perturbations et les remous qui ont pu les amener à la surface ont été beaucoup plus rares; on comprendrait ainsi comment les métaux les plus précieux sont en même temps les plus lourds.

En tout cas, un point reste acquis : c'est que, sur une épaisseur considérable, de beaucoup supérieure à celle de l'écorce remaniée par les actions extérieures, la densité des matériaux terrestres

croît avec la profondeur. Ce résultat serait inexplicable si la fluidité de ces matières n'avait, à un moment quelconque, permis leur classement par densités croissantes. Nous sommes donc assurés que la terre a été liquide; c'est un globe qui se refroidit, et les plissements de son écorce traduisent le retrait de son volume.

*
* *

Mais alors une autre question se pose : A quel point de son refroidissement la terre est-elle parvenue actuellement? Est-elle liquide encore à l'intérieur, et, dans ce cas, quelle peut être l'épaisseur de la couche solidifiée? ou reste-t-il seulement, de place en place, des poches encore liquides? ou enfin la masse entière est-elle solidifiée?

Pour tâcher d'apporter quelque clarté dans l'examen de cette question, nous allons nous adresser exclusivement aux faits et rechercher quels sont les moyens dont nous disposons actuellement de savoir ce qui se passe à l'intérieur du globe. On peut citer, parmi les principaux, l'étude des stratifications, celle du magnétisme, celle des variations de température en profondeur, enfin celle des mouvements du sol et des éruptions.

Différencier les divers terrains, reconnaître l'ordre chronologique de leur formation, leur forme et leur superposition : telle a été jusqu'ici l'œuvre principale des géologues, et ce qu'il y a, peut-être, de plus admirable en cette œuvre, c'est la certitude avec laquelle elle a permis de déduire, de l'étude des terrains superficiels, la connaissance de ce qui se passe en profondeur. On peut suivre, dans l'intérieur de l'écorce terrestre, les couches géologiques emboîtées les unes dans les autres et déterminer, sur chaque rayon du globe, l'ordre et l'épaisseur des assises qu'on rencontrerait en y perçant un puits. Chaque jour nous montre l'application de la stratigraphie aux recherches minières ou hydrologiques. Mais toute cette science s'arrête au granit; quelle est l'épaisseur de cette première assise? Qu'y a-t-il au-dessous? La paléontologie est muette et la pétrographie nous enseigne bien peu de choses.

J'en dirai tout autant de l'étude magnétique du globe, science encore au berceau, mais dont il faut beaucoup attendre pour l'avenir. Elle s'est limitée jusqu'ici à déterminer les constantes magnétiques en chaque point de la surface terrestre, et déjà elle a pu révéler des failles et des dislocations intérieures qui eussent longtemps échappé à la perspicacité des géologues. Le jour

viendra, sans doute, où l'on saura faire la part de ce qui, dans les manifestations magnétiques, revient aux courants électriques telluriques et au magnétisme propre des roches ; on pourra alors aborder avec fruit l'étude du magnétisme en profondeur et déterminer les surfaces dont les courbes de nos cartes magnétiques ne sont que les traces superficielles. La stratigraphie recevra, de ce chef, un précieux concours. Mais nul ne saurait dire, actuellement, si ce moyen d'investigation permettra d'étudier les masses métalliques que nous soupçonnons au-dessous de la scorie silicatée qui forme la surface du globe.

Si l'aiguille aimantée ne fournit pas, actuellement, d'indications utiles sur les régions profondes du globe, le thermomètre, en revanche, nous donne des renseignements du plus haut intérêt. On sait que la température superficielle du sol varie avec le lieu, la saison, le jour, l'heure, et dépend étroitement de la chaleur reçue du soleil et de celle que la terre rayonne vers l'atmosphère. Mais cette couche superficielle du sol, à température variable, n'a qu'une très faible épaisseur, en relation avec l'écart des températures extrêmes de l'année : elle est inférieure à vingt mètres. Au-dessous de cette pellicule sensible aux actions extérieures, la température en chaque point du

globe est rigoureusement fixe : c'est ainsi qu'un thermomètre, placé depuis plus d'un siècle dans les caves de l'Observatoire de Paris, n'a pas cessé d'indiquer rigoureusement la même température, 11 degrés 82.

Mais cette température, fixe en chaque point, croît avec la profondeur : cette augmentation a été constatée dans les conditions les plus diverses, sondages, puits de mines, etc. ; elle se manifeste encore par la température élevée des eaux sorties des couches profondes du sol : les eaux de Hammam-Meskoutine, en Algérie, sourdent à 95 degrés, et celles du grand geyser d'Islande, mesurées à l'intérieur de la cheminée, atteignent jusqu'à 126 degrés. C'est encore en vertu du même phénomène qu'on a trouvé, en Sibérie, l'eau liquide à 125 mètres de profondeur sous une couche de glace dont la température extérieure atteint dix degrés au-dessous de zéro. La loi de l'accroissement de température en profondeur est donc générale, et les très rares exceptions constatées s'expliquent toujours aisément par des circonstances locales.

Cette variation thermique a pour conséquence nécessaire un transport continu de chaleur entre les parties chaudes de l'intérieur et les parties froides de la superficie. Donc la terre se refroidit

et rayonne sans cesse vers les espaces extérieurs une quantité de chaleur qu'on peut évaluer grossièrement à une calorie¹ par mètre carré et par minute. Le soleil, par les belles journées d'été, envoie sur la même surface et dans le même temps une énergie calorifique vingt mille fois plus grande. Ainsi, l'apport de la chaleur centrale nous est insensible, d'abord en raison de son extrême petitesse, ensuite parce qu'il est constant; nous ne sommes impressionnés que par les variations de température.

Ces résultats numériques permettent, malgré leur médiocre précision, de juger en passant une idée souvent formulée : celle d'emprunter au foyer qui brûle sous nos pieds la chaleur nécessaire à l'entretien de la vie industrielle². Il n'est

1. Rappelons que la calorie est la chaleur nécessaire pour élever un gramme d'eau d'un degré.

2. On se rappelle les paroles prononcées en 1894 par M. Berthelot (*Science et Morale*, p. 508) dans une évocation pleine d'humour de l'état du monde en l'an 2000 : « Pour capter la chaleur centrale, il suffirait de creuser des puits de quatre à cinq mille mètres de profondeur, ce qui ne surpasse peut-être pas les moyens des ingénieurs actuels et surtout des ingénieurs de l'avenir. On trouverait là la chaleur, origine de toute vie et de toute industrie. Ainsi l'eau atteindrait au fond de ces puits une température élevée et développerait une pression capable de faire marcher toutes les machines possibles... On aurait donc la force partout présente sur tous les points du globe, et bien des milliers de siècles s'écouleraient avant qu'elle éprouvât une diminution sensible. » Dans l'esprit de l'éminent chimiste, il ne s'agit pas d'une simple fantaisie, car la même idée sur « les

pas douteux qu'on ne puisse atteindre par sondages des couches où la température sera supérieure à cent degrés; mais la question n'est pas là. Quelle que soit la température obtenue, on ne pourra jamais utiliser plus de chaleur qu'il n'en arrive des régions centrales, et il résulte du nombre donné tout à l'heure pour cet apport que, si on voulait produire une puissance de dix chevaux avec une machine à vapeur à rendement normal, chauffée par le foyer terrestre, il faudrait capter toute la chaleur qui traverse un kilomètre carré de son écorce.

Mais si nous savons, à n'en pouvoir douter, que la terre se refroidit, nous aurions autant d'intérêt à déterminer la loi de progression des températures à son intérieur. Ici nous allons être forcés d'abandonner la certitude pour ne plus connaître que des probabilités. Au-dessous de deux kilomètres, les documents nous manquent et nous ne pouvons procéder que par induction. Mais la vraisemblance de cette induction dépend elle-même de la certitude des résultats connus dans la mince couche terrestre que l'on a pu étudier. L'idéal serait de rencontrer une couche

énergies gratuites empruntées à la chaleur centrale du globe terrestre » se retrouve dans une publication plus récente (*Science et Libre-Pensée*, p. 192).

de terrain assez homogène pour que sa conductibilité calorifique demeurât constante, et assez épaisse pour qu'on y pût mesurer avec précision ce qu'on appelle le *degré géothermique*, c'est-à-dire l'épaisseur de terre qui correspond à un accroissement de température égal à un degré.

Cette condition s'est trouvée bien près d'être satisfaite dans un sondage effectué à Sperenberg, au sud de Berlin. Sur une épaisseur totale de 1 260 mètres, la sonde est restée pendant près d'un kilomètre dans un banc de sel gemme : la température au fond atteignait 48 degrés, donnant 33 mètres pour le degré géothermique moyen. Toutefois, malgré l'homogénéité relative des terrains, les mesures faites à différentes profondeurs étaient loin d'indiquer une progression régulière de la température ; en particulier la partie la plus profonde, comprise entre 1 064 et 1 219 mètres, donnait un degré géothermique de 132 mètres. Ces résultats furent d'abord interprétés comme peu favorables à la théorie de la chaleur centrale : Carl Vogt s'en autorisait pour traiter cette hypothèse d'« avatar de l'ancien mythe du Tartare » et Mohr écrivait que l'ancienne doctrine de la chaleur centrale avait été cruellement anéantie par les résultats du sondage de Sperenberg.

Il était prématuré de tirer de cette expérience des conclusions aussi formelles, surtout quand on sait combien la conductibilité calorifique varie, même pour des terrains en apparence homogènes ; à Sperenberg même, n'avait-on pas vu une mesure faite entre trois et quatre cents mètres donner un degré de 140 mètres, entre deux mesures donnant 21 et 28 mètres ? Le plus sage était donc de pousser plus loin l'expérience. C'est ce qui a été fait : à Schladebach, en Saxe, on a creusé jusqu'à 1748 mètres. La température du fond atteignait 56 degrés et le degré géothermique moyen avait pour valeur 36 mètres. Enfin, à Paruchowitz, en Silésie, un sondage a été mené jusqu'à 2 003 mètres de la surface ; au ras du sol, la température était de 12 degrés ; elle atteignait au fond 69 degrés 3, ce qui donne un degré géothermique de 34 mètres.

Ces déterminations paraissent indiquer une régularité assez grande dans la progression thermique, sans laisser voir, aux profondeurs extrêmes, de tendance au ralentissement. Il semble donc incontestable que l'accroissement de température doit continuer longtemps encore : à six kilomètres de profondeur, la température est certainement, comme l'a affirmé M. de Lapparent, très voisine de 170 degrés. Mais s'élève-t-elle jamais assez

pour permettre la fusion des roches intérieures? Tel est le point qu'il nous faut examiner avec quelques détails.

La progression d'un degré par 35 mètres donnerait une température de 2000 degrés à une profondeur de 70 kilomètres, et cette température suffit pour fondre, dans les creusets de nos laboratoires, tous les métaux et presque tous les corps réfractaires. On connaît actuellement avec précision les températures de fusion des principales roches, surtout depuis les recherches entreprises par le *Geological Survey* des États-Unis : le basalte, l'élément le plus commun des laves rejetées par les volcans, fond à 880 degrés, et les éléments du granit, mica, feldspath et quartz, ont leurs points de fusion à 1440, 1520 et 1775 degrés.

Mais ces points de fusion ne restent certainement pas les mêmes sous les énormes pressions auxquelles sont soumises les roches intérieures par suite du poids des matières sus-jacentes ; à 70 kilomètres de profondeur, la pression doit être voisine de 20000 atmosphères. De telles pressions n'ayant jamais été atteintes dans les laboratoires, on ne sait pas comment elles peuvent modifier les propriétés de la matière ; il y a pourtant de grandes probabilités pour qu'elles

n'accroissent pas la température de fusion de plus de 4 ou 500 degrés.

D'après les déterminations du *Geological Survey*, la diabase, qui fond normalement à 1 170 degrés, n'aurait son point de fusion qu'à 1 420 sous une pression de 10 000 atmosphères, en supposant que la progression des points de fusion fût celle qu'on mesure aux pressions inférieures; mais d'autres expériences montrent qu'en réalité la progression devient de moins en moins rapide à mesure que la pression s'élève davantage.

Si l'on tient compte de toutes ces données expérimentales, on peut conclure avec quelque vraisemblance, mais sans nulle certitude, que, pour les roches qui constituent les assises inférieures du globe, la température de fusion peut être atteinte à des profondeurs comprises entre 60 et 100 kilomètres : telle serait donc l'épaisseur moyenne de la croûte solide du globe; or, cette hypothèse est appuyée par des constatations d'un autre ordre.

*
* *

Ceux qui croient la terre invariable dans sa forme se trompent étrangement. Leur erreur n'est pas partagée par les habitants de certaines pro-

vinces de l'Amérique Centrale, qui n'ont jamais vu s'écouler une année sans que le sol tremblât sous leurs pas. Dans notre pays, les trépidations, pour être moins fortes, n'en sont pas moins fréquentes. M. Fuchs a compté 1184 tremblements de terre entre 1865 et 1873, et une commission scientifique en a enregistré 166 en Suisse, pour la seule année 1881. C'est qu'en outre des dislocations brutales qui s'imposent à notre attention par les désastres qu'elles provoquent, des frémissements plus légers parcourent incessamment le sol. Ils sont enregistrés, dans de nombreux observatoires, par des instruments appelés *séismographes*; le plus simple de tous consiste en un pendule, libre d'osciller dans toutes les directions, et dont la pointe terminale porte un style enregistreur. Dès que le sol est agité, le pendule oscille et marque, sur une feuille de papier placée au-dessous, une trace d'amplitude variable, et dans la direction même du mouvement.

Ces ondulations viennent de loin. Tantôt elles paraissent émaner d'un centre unique; tantôt elles sont émises à la fois par tous les points d'une même ligne; d'autres fois, c'est dans une région plus ou moins étendue que prennent naissance les secousses, qui se propagent ensuite en s'affaiblissant progressivement. Nous nous occuperons seu-

lement du cas le plus simple, celui où les ondes proviennent d'un centre unique.

Supposons qu'un tel ébranlement se produise dans un pays où la structure interne du sol est aussi uniforme que possible. A la première secousse, toutes les horloges s'arrêtent et marquent ainsi, en tous les points d'un vaste territoire, l'instant précis où le sol a tremblé. Parmi toutes ces horloges, il y en aura une qui se sera arrêtée avant les autres; le point où elle se trouve est l'*épicentre* du séisme, c'est-à-dire que la secousse originelle s'est produite au-dessous de ce point, à une profondeur qu'il s'agit de déterminer. Or, les indications des diverses horloges font connaître les points où l'onde séismique est parvenue, une, deux, trois, quatre secondes après sa naissance. Si le centre d'ébranlement était à la surface et si le sol était homogène, ces positions de l'onde superficielle dessineraient autour de l'épicentre des cercles concentriques et *équidistants*. Si, au contraire, l'origine de l'ébranlement était au centre même de la terre, tous les points de la surface seraient atteints simultanément par l'onde. Dans la réalité, les cas se placent toujours entre ces deux extrêmes, et beaucoup plus près du premier que du second; les cercles d'ébranlement vont en se resserrant de plus en

plus à mesure qu'ils s'éloignent de l'épicentre; d'après leurs positions, il est possible d'apprécier avec quelque précision la profondeur originelle de l'ébranlement. Le procédé que nous venons d'indiquer n'est d'ailleurs pas le seul, et l'ingéniosité des géologues a multiplié, sur cette question si importante, les méthodes et les observations.

Or, il est un point sur lequel tous les observateurs sont d'accord : c'est que *le centre d'ébranlement est toujours situé à une faible distance de la surface*; tel est le résultat de cent cinquante observations, faites avec le plus grand soin, et parmi lesquelles on nous permettra de rappeler les suivantes¹ :

Époque	Lieu du tremblement de terre.	Profondeur du centre d'ébranlement.
—	—	Kilomètres.
1884	Ischia.	1
1857	Calabre	5,5 à 15
1872	Allemagne centrale . . .	18
1884	Andalousie	18
1887	Rivière de Gènes.	18
1886	Charleston.	29
1869	Cachar	48

Ainsi, tous les tremblements de terre étudiés ont pris naissance dans l'épaisseur où nous avons été amenés à localiser la partie solide du globe.

1. De Lapparent, *Traité de géologie*.

Est-ce là un simple effet du hasard? Il semble bien que non. Qu'on attribue les séismes à l'effondrement soudain de cavités creusées par l'érosion des eaux souterraines; qu'on y voie des ruptures et des dislocations produites par la poussée des laves intérieures qui cherchent à se frayer un passage dans les fissures de l'écorce : il faut toujours faire intervenir un milieu solide. Les récents tremblements de terre en Californie, qui ont partiellement détruit San-Francisco, ont permis, une fois de plus, de constater que ces cataclysmes sont toujours liés à une dislocation de l'écorce solide; et alors le fait qu'on n'a jamais constaté de semblables effondrements ayant leur origine dans les régions intérieures du globe, constitue un nouvel et puissant argument en faveur de la fluidité interne.

Mais il y a plus, et mieux que ces raisonnements, car nous pouvons faire un appel direct à l'expérience et, par les tremblements de terre, procéder à l'auscultation profonde du globe. Parmi les oscillations enregistrées par les sismographes, les unes se propagent avec des vitesses de 5 à 6 kilomètres par seconde; celles-ci peuvent bien s'être transmises par l'écorce solide du globe : des expériences exécutées au Japon à l'aide des explosifs ont montré que la vitesse de

propagation des ondes par la surface de la terre est d'environ 3,3 kilomètres par seconde; dans le granit, la vitesse est voisine de 5 kilomètres. Mais les enregistreurs reçoivent en outre des ondes beaucoup plus rapides (12 kilomètres à la seconde environ); ces frémissements, qui mettent moins d'une demi-heure à traverser la terre d'outre en outre, doivent progresser à travers des milieux tout différents de ceux qui forment l'écorce; il faut ajouter, toutefois, que la physique n'est pas actuellement en état de nous renseigner sur la nature de ces milieux intérieurs.

*
* *

Ainsi, l'étude des convulsions brusques du sol vient confirmer les hypothèses admises sur l'épaisseur probable de l'écorce solide. Mais le sol éprouve encore d'autres mouvements, qui nous échapperaient certainement si une étude attentive et prolongée ne les rendait indiscutables : ce sont, en effet, des variations séculaires, exhaussements, affaissements, déplacements latéraux, qui remanient sans cesse la configuration générale de notre globe.

La mer nous fournit, par la constance de son niveau, une surface de référence qui nous permet

d'apprécier ces déplacements. La masse totale des eaux marines n'a pas varié, en effet, d'une façon sensible depuis le début des âges historiques, sans quoi on constaterait, soit un exhaussement d'ensemble, soit un abaissement général de la ligne du rivage. Or, tel n'est pas l'effet qu'on observe, et nous ne pouvons pas admettre l'opinion des anciens, d'après laquelle la terre n'aurait été qu'une petite île, accrue progressivement par l'apport des flots. En tous temps, les mouvements du sol ont eu le caractère d'oscillations, faisant émerger certaines régions tandis que d'autres s'enfonçaient progressivement.

Il n'est pas d'exemple plus connu de ces variations à longue période, que celui de la région de Pouzzoles. Là se dressent encore trois colonnes, restes d'un temple de Sérapis, dont les pieds trempent aujourd'hui dans la mer. Ces colonnes ont été criblées de trous par les mollusques marins, sur une hauteur qui dépasse de trois mètres le niveau actuel de la mer; elles témoignent ainsi des variations successives du niveau de la mer dans cette région : en fait, l'affaissement du sol, autour de Pouzzoles, fut continu depuis l'époque romaine jusqu'au xv^e siècle; en 1538, une éruption du Monte Nuovo causa un relèvement brusque et, depuis cette

époque, le sol recommence à s'affaisser peu à peu. Ainsi, une circonstance tout accidentelle nous force à constater les mouvements progressifs du sol; mais l'aire affectée, autour de Pouzzoles, par ces mouvements, est trop restreinte pour qu'on y puisse voir autre chose qu'une manifestation purement locale du volcanisme. Nous allons trouver un phénomène plus typique dans l'étude des régions boréales, dans la partie du monde la plus anciennement consolidée, où n'existent ni phénomènes volcaniques, ni secousses brusques du sol. La péninsule scandinave et le Canada éprouvent, depuis des siècles, de lentes variations de niveau, déjà manifestes à la fin de l'époque glaciaire. Nous ne parlerons pas des mouvements de cette primitive époque, parce qu'une théorie, parfaitement défendable d'ailleurs, les attribue à une simple dilatation du sol causée par le réchauffement qui a suivi la période glaciaire. Mais reportons-nous à des documents plus récents.

Dès 1702, le physicien Hjärne avait eu l'idée de faire entailler des repères dans les rochers de la côte suédoise. Linné et Celsius en établirent d'autres en 1728 sur une falaise de l'île de Loeffgrund et, dès 1748, ils constatèrent un abaissement apparent du niveau de la mer, c'est-à-dire un relèvement effectif du sol, de 18 centimètres :

en 1849, l'émersion verticale avait atteint 0 m. 915. Tandis que le sol se relève au voisinage du golfe de Bothnie, en revanche, la pointe méridionale de la Suède plonge peu à peu dans les eaux; le niveau moyen du sol s'est abaissé de 1 m. 50 depuis les observations de Linné, et plusieurs rues de la ville de Malmoë ont disparu dans la mer Baltique.

D'un bout à l'autre du monde, on fait de semblables constatations. En France même, la Picardie gagne sur la mer, tandis que la Normandie et certaines parties de la Bretagne s'enfoncent; l'Aunis et la Saintonge s'exhaussent, tandis que la Gascogne s'abaisse.

Certains de ces déplacements peuvent s'expliquer par des causes locales et superficielles, ou par une modification dans le régime des marées. Mais, pour beaucoup d'autres, il faut toujours en revenir à l'hypothèse de la fluidité interne du globe. Une masse entièrement solide, qui se refroidit et se contracte par à-coups, cède brusquement dès que la limite d'élasticité est dépassée; seule, une masse fluide peut éprouver ces mouvements lents et continus, dont l'observation vient de nous révéler l'universalité. Et ne semble-t-il pas, dès lors, que nous assistions, presque sans nous en douter, au travail qui, continué depuis

des milliers d'années, a constitué nos grandes chaînes de montagnes et creusé les gouffres de la mer? A mesure que le globe se refroidit, la masse fluide de l'intérieur se contracte plus vite que l'écorce, parce que les liquides sont toujours plus dilatables que les solides; et c'est pourquoi cette écorce se plisse, comme l'épiderme devenu trop grand d'un fruit qui se dessèche; des rides et des sillons s'y dessinent, tantôt par une flexion lente de l'écorce, tantôt, quand une cause locale vient à agir plus brutalement, par une rupture qui détermine dans la masse solide des failles et des dislocations. Ainsi, les forces intérieures et les forces extérieures agissent simultanément, et c'est leur double action qui vieillit et ride peu à peu ce que Suess appelle si justement la « face de la terre ».

*
* *

De tous les arguments qui plaident en faveur de la fluidité interne du globe, il n'en est aucun qui, dans l'opinion courante, soit plus démonstratif que l'existence des volcans. Rien n'est plus naturel que de voir dans ces volcans les exutoires naturels du liquide central. Il ne faudrait pourtant pas accepter cette explication sans l'examiner de près et sans connaître les objections qu'elle a fait naître.

Si l'on admet la solidité intérieure du globe, il faut bien, pour expliquer l'expulsion de matières fondues et l'énorme dégagement de chaleur qui se produisent lors des éruptions, mettre en cause quelque source d'énergie. On a cru la trouver dans le travail produit par la contraction du globe : cette contraction déterminerait, dans la masse solide, des fractures à la suite desquelles certaines roches se trouveraient écrasées par le poids des terrains sus-jacents : ce travail mécanique deviendrait ainsi une source de chaleur, dont Sir Robert Mallet a cherché, en 1872, à évaluer l'importance. Ses expériences l'amènèrent à conclure que la pulvérisation d'un mètre cube de roche peut produire assez de chaleur pour fondre trois cents kilogrammes de glace : il en conclut que l'écrasement annuel d'un quart de kilomètre cube de granit suffirait à fournir toute l'énergie actuelle du volcanisme.

Si nous citons cette explication, c'est surtout pour montrer à quelles impossibilités flagrantes on se heurte dès qu'on se représente la terre comme entièrement solide. Comment, en effet, expliquer dans cette hypothèse qu'une action purement locale, rejetant les matières du sous-sol pour les reporter à la périphérie, ait pour conséquence la production de montagnes énormes, voire d'îles

entières comme les Hawaï ou l'Islande? Ne devrait-on pas plutôt constater, autour des centres éruptifs, de gigantesques effondrements? Ainsi, une coulée de lave comme celle du Jökull, en Islande, une fois expulsée au dehors, aurait produit un vide capable d'affaisser le sol de plus de cent mètres sur une surface de cent kilomètres carrés; répartie sur la masse entière du globe, elle n'aurait pas diminué son rayon d'un cinquantième de millimètre. La théorie de Mallet est tout aussi incapable de justifier les énormes dégagements de gaz qui accompagnent les éruptions et qui transforment les cheminées des volcans en véritables bouches à feu, braquées sur le ciel et lançant leurs projectiles à plusieurs kilomètres de hauteur. Au contraire, il est logique d'admettre que, sous la pression de la primitive atmosphère, laquelle devait dépasser trois cents fois la pression actuelle, la masse fondue du globe ait dissous ces gaz, qui se dégagent aujourd'hui par les fractures de l'écorce.

Plus habile et plus souvent présentée est l'hypothèse qui cherche dans des réactions chimiques l'origine des manifestations volcaniques. Déjà, à la fin du xvii^e siècle, Nicolas Lémery avait imaginé d'enterrer dans le sol un mélange de fer en limaille et de soufre en poudre; en l'arrosant d'eau tiède,

on provoquait la combinaison du soufre et du fer ; la matière s'échauffait, le sol se boursouflait ; on voyait de la vapeur d'eau s'échapper par une sorte de cratère : c'était le volcan de Lémery. Cent ans plus tard, en 1780, Volta expliquait d'une manière analogue les mofettes de Toscane, par la décomposition des matières animales et végétales de la surface, enfouies depuis des siècles sous les éboulements des Apennins ; Werner, à la même époque, professait à Freiberg la même opinion.

Il ne reste plus rien aujourd'hui de ces explications rudimentaires, et ce serait peine perdue que de démontrer leur inanité. On peut, il est vrai, rattacher à l'hypothèse chimique celle qui cherche l'explication des paroxysmes volcaniques dans l'infiltration progressive des eaux de la mer et leur mise en contact avec les matières brûlantes de l'intérieur ; nous n'avons pas, heureusement, besoin de nous prononcer sur ce point si controversé : quelle que soit la solution qu'on adopte, la probabilité pour la fluidité intérieure du globe n'en sera aucunement modifiée.

Mais si l'étude du volcanisme conduit à admettre l'existence de masses fondues à l'intérieur du globe, on peut encore supposer que, ne formant pas un tout continu, ces masses liquides se concentrent dans de grandes poches, dont chacune

alimente un seul volcan ou tous les volcans d'une même région. On pourrait expliquer ainsi l'indépendance des paroxysmes et la différence des produits émis par deux volcans voisins. Les volcans italiens, tout rapprochés qu'ils soient, se comportent habituellement comme s'ils étaient à des milliers de kilomètres les uns des autres; leurs périodes éruptives n'ont, en général, aucune correspondance, et les laves qu'ils émettent sont loin d'avoir la même composition chimique, comme cela devrait être, semble-t-il, s'ils communiquaient avec des points très voisins de la même masse intérieure. De même, on n'a pas trouvé de relation entre les périodes d'activité des deux volcans d'Hawai, dont les cratères ne sont distants que de 32 kilomètres.

Examinons pourtant les choses de plus près. Et d'abord, si l'indépendance des volcans est de règle, cette règle n'est pas sans exceptions : en 1865, l'Etna, le Vésuve et le Stromboli ont été simultanément en activité, et des éruptions se sont produites peu de mois après, en janvier 1866, à Santorin, dans les Cyclades. De semblables coïncidences ont été constatées assez fréquemment pour les volcans de l'Amérique Centrale. Actuellement, il est difficile de ne pas rattacher à une même cause les récentes convulsions de la Calabre,

l'effondrement de l'île d'Ustica, voisine de la Sicile, et l'éruption du Vésuve.

Or, il suffit d'une seule constatation de ce genre, pour établir la communauté d'origine de plusieurs volcans. D'autre part, il est logique que les volcans d'une même région soient, en général, indépendants les uns des autres : si une cause quelconque vient à engendrer une rupture d'équilibre dans une partie de la masse intérieure, la surpression provoquera la rupture de l'écorce au point de plus faible résistance, et toute l'activité volcanique se concentrera dans cette fracture; c'est pourquoi, lors des paroxysmes, ce sont presque toujours les mêmes régions qui, comme des plaies mal fermées, servent d'exutoire au flux intérieur. Mais que les convulsions de l'écorce créent une autre ligne de fracture, ou que les laves solidifiées viennent consolider l'ancienne, et c'est sur un autre point que se portera, la fois suivante, l'activité éruptive.

Ainsi, il ne faut pas nous étonner de voir très rarement des volcans voisins en activité simultanée. Il ne faut pas non plus tirer argument de la différence des produits qu'ils émettent, puisque nous voyons un même volcan donner les produits les plus variés : à Ténériffe, les laves supérieures renferment plus de 58 p. 100 de silice; celles des

régions moyennes n'en contiennent plus que 52 p. 100 et la teneur descend à 47 p. 100 pour celles du bord de la mer; la proportion de fer varie en sens inverse. C'est qu'il ne faut pas considérer les laves qui sortent du cratère d'un volcan comme venues telles quelles du centre du globe; elles ont dû refondre et entraîner sur leur passage les parois solides entre lesquelles elles ont cheminé pendant de nombreux kilomètres. De plus, ce serait une supposition enfantine que d'imaginer les masses fluides intérieures comme une sphère régulière; les plissements de l'écorce ont dû se faire sentir à l'intérieur peut-être plus encore qu'à l'extérieur, où des causes diverses tendent à raboter et à égaliser la surface; si bien que certains volcans peuvent s'alimenter en des régions peu profondes, tandis que d'autres peuvent prendre naissance dans des régions plus surbaissées et puiser leurs laves dans des couches plus profondes, et par suite de constitution différente.

Il semble donc impossible qu'à chaque volcan corresponde une poche liquide indépendante; il faut au moins admettre l'existence de vastes poches liquides sous chacune des principales régions volcaniques. Mais il y a plus; on compte trois cent vingt volcans ayant donné, depuis trois siècles,

des preuves de leur activité; ils sont répartis sur tous les continents, et les océans en recouvrent peut-être davantage, car presque tous les dragages faits dans le Pacifique y ont révélé l'existence de tufs volcaniques. Et si, à ces centres d'activité récente, nous ajoutons tous les volcans éteints, tous ces furoncles à peine guéris qui couvrent la face de la terre, nous voyons combien de poches distinctes il nous faudrait imaginer pour expliquer leur existence. Comme le fait remarquer M. de Lapparent, on serait conduit à admettre, en particulier, que le Pacifique tout entier, avec les terres qui l'avoisinent, repose sur un lac de lave. Dans ces conditions, l'existence de cloisons solides entre de pareilles masses liquides semble assez invraisemblable. On conçoit difficilement que des inégalités de constitution chimique ou de température aient pu élever de semblables murailles au sein d'une masse totalement liquide à l'origine. En revanche, l'allure générale des phénomènes s'interprète assez bien si l'on imagine que les plissements de l'écorce ont créé à l'intérieur du globe des alvéoles profondes, communiquant entre elles et divisant la terre en régions assez indépendantes les unes des autres, pour que les convulsions dont chacune est le siège n'affectent que faiblement les autres; cette supposition paraîtra

encore plus vraisemblable si on considère que ces convulsions qui épouvantent notre petitesse ne sont, par rapport aux dimensions du globe, que d'imperceptibles frémissements.

*
* *

Ainsi, toutes les données positives de la science nous ramènent toujours au même point. La certitude que notre globe a été autrefois liquide se continue par une probabilité très grande pour qu'il le soit encore en partie, et nous avons même quelques données, bien plus hypothétiques il est vrai, sur l'épaisseur possible de la croûte actuellement solidifiée.

Par là se trouve confirmée, dans une de ses parties essentielles, la grande synthèse de Laplace qui constitue, depuis cent ans, la base de toutes nos cosmogonies scientifiques. Cette synthèse aura eu ainsi le double mérite de rassembler les faits connus en un corps de doctrine, et de satisfaire notre raison : car, en prolongeant la géologie comme la géologie prolonge l'histoire, elle a reculé à l'infini le problème des origines ; elle a délivré notre esprit de l'obligation de concevoir un instant avant lequel rien n'aurait existé ; elle l'a

libéré dans le temps, comme Galilée, deux siècles auparavant, l'avait libéré dans l'espace en nous montrant toujours d'autres étoiles derrière les étoiles, et en brisant la sphère de diamant dans laquelle les Anciens voulaient enfermer le Monde.

LE SOLEIL

Pour la plupart des hommes, le soleil est encore un « globe de feu ». Les savants les mieux informés n'en savent guère davantage ; pourtant, notre ignorance nous paraît moindre, quand nous nous rappelons celle des âges antérieurs : Anaxagore attribuait au soleil la grandeur du Péloponèse, tandis qu'Anaximandre en faisait un cercle vingt-huit fois plus grand que la terre et percé en son centre d'une ouverture par laquelle passaient ses rayons ; Xénophane croyait le soleil formé par des nuages embrasés, alors que Parménide pensait qu'il s'alimente par les vapeurs sèches de la voie lactée et que Cléanthe le supposait nourri par les exhalaisons qui s'élèvent de la terre. Pour tous, d'ailleurs, la lumière et la chaleur du soleil et des

astres étaient incorruptibles, c'est-à-dire d'une essence bien supérieure à celle des chaleurs et des lumières que nous produisons sur la terre. Nous pouvons, aujourd'hui, sourire de ces chimères, mais il est plus utile d'apprendre comment la science a permis de les écarter en établissant un certain nombre de faits précis ; et cela nous sera d'autant plus facile que nos connaissances touchant la nature du soleil nous sont venues par un petit nombre de voies : par l'astronomie de position, par la mesure du rayonnement solaire, par l'étude directe dans les lunettes et télescopes, par la spectroscopie, et enfin par l'observation des éclipses de soleil.

*
* *

L'astronomie de position a pour but essentiel de déterminer la carte du ciel et les mouvements des astres. Elle nous montre le soleil comme une sphère, dont le volume est 1 300 000 fois plus grand que celui de la terre ; autour du soleil, notre globe et les autres planètes tournent suivant les lois trouvées par Képler et ramenées par Newton à l'admirable synthèse de la gravitation universelle. Ces résultats, qui résument un nombre infini d'observations et de mesures, ont permis

d'en obtenir d'autres, fort importants pour notre objet; en effet, la trajectoire elliptique des planètes peut être considérée comme due à une chute de ces astres, causée par l'attraction solaire, de même que l'orbe d'un projectile lancé par un canon résulte de l'attraction terrestre; ainsi, la connaissance des lois de Képler nous permet de calculer la vitesse et l'accélération de cette chute et d'en déduire la force qui la produit. Cette force, l'attraction solaire, dépend des deux masses qui s'attirent, et sa mesure permettra, si l'une d'elles est connue, de calculer l'autre. Or, nous connaissons actuellement la masse de la terre, grâce à une expérience du physicien anglais Cavendish, reprise et perfectionnée par de nombreux expérimentateurs; la masse du soleil pourra s'en déduire.

Voici donc que nous savons peser les astres ou, pour mieux dire, comparer leurs masses à celle de notre kilogramme. Je ne reproduirai pas les nombres formidables qu'on obtient par cette suite d'opérations, car, ce qui nous importe, c'est moins leur valeur absolue que leur rapport au volume de l'astre, c'est-à-dire la densité. On trouve ainsi que, la densité de la terre étant 5,5 environ, — c'est-à-dire quintuple de celle de l'eau, — celle du soleil est voisine de 1,45, c'est-à-dire presque

quatre fois moindre. Il ne s'agit, bien entendu, que de moyennes; pour la terre, par exemple, les corps les plus légers constituent la croûte superficielle, tandis que, dans les couches profondes, la densité peut atteindre 7, à peu près celle du fer, et il est vraisemblable que, pour le soleil, les choses se passent d'une manière analogue.

Cette faible densité moyenne du soleil est déjà de nature à nous faire réfléchir, car elle rend peu probable que la masse de cet astre soit à l'état liquide, moins encore à l'état solide; au contraire, d'après les calculs de Schuster, si l'on portait un gaz à la température élevée que nous supposons régner dans la masse solaire, il acquerrait, par suite des pressions qui règnent dans l'intérieur, une densité voisine de celle que l'expérience nous indique. Certes, nous ne pouvons guère nous faire illusion sur le caractère très aléatoire de cette hypothèse¹; elle est seulement vraisemblable, et les savants ont éprouvé par expérience que la vraisemblance est un médiocre critérium; pourtant, mettons en réserve cette première idée, que la masse solaire est probablement constituée par des gaz ou des vapeurs portés à une haute température et soumis à une énorme compression.

1. Un physicien éminent, lord Kelvin, considérait encore en 1887 le soleil comme à l'état liquide.

*
* *

La connaissance de la densité moyenne du soleil est, à très peu de chose près, la seule notion expérimentale que nous possédions sur sa nature interne. Faut-il nous en étonner, alors que nous ignorons tout de l'intérieur de la terre que nous habitons? Désormais, tout ce que nous allons apprendre du soleil ne se rapportera qu'à sa surface, la seule partie qui nous envoie des radiations; ces radiations forment actuellement le seul intermédiaire connu entre nous et les espaces planétaires. Par bonheur, nous savons les interroger de bien des façons.

Un premier procédé consiste à déterminer ce qu'on appelle la *constante solaire*, c'est-à-dire la quantité totale d'énergie rayonnée par le soleil à la surface de la terre. On y parvient assez aisément en exposant au soleil des *actinomètres*, c'est-à-dire des thermomètres dont la boule, recouverte de noir de fumée, absorbe tous les rayons qui tombent à sa surface; l'élévation de température indiquée par ces appareils nous permet de mesurer la quantité de chaleur rayonnée par le soleil; c'est en procédant de la sorte que Pouillet, Crova et Violle nous ont appris que l'énergie solaire tom-

bant annuellement sur notre globe serait capable de fondre une couche de glace qui en recouvrirait la surface sur une épaisseur de quarante mètres. Partant de là, rien de plus simple que de calculer la chaleur totale rayonnée par le soleil dans tout l'espace, mais le nombre colossal qu'on trouve en effectuant les calculs n'a pas grand intérêt par lui-même. Il pose seulement une question à laquelle rien, jusqu'ici, n'a permis de répondre : par quels moyens le soleil subvient-il, depuis tant de siècles, à cette dépense d'énergie? Son éclat, à peu près constant depuis bien des siècles, ne permet pas de l'imaginer uniquement comme un corps chaud qui se refroidirait peu à peu : à ce régime, trois mille ans suffiraient pour l'éteindre. On a cherché l'appoint qui maintient la constance de sa température, soit dans une chute incessante de météorites à sa surface, soit dans les réactions chimiques entre les éléments qui le constituent, soit dans une compression progressive de son noyau. De ces hypothèses, la dernière est la seule qui ne se heurte pas à des difficultés insurmontables, mais elle reste suspendue dans l'espace, sans que rien la contredise formellement, mais aussi sans qu'aucune constatation expérimentale vienne lui donner son appui. D'ailleurs, la découverte des matières radio-actives a suscité une nou-

velle hypothèse, tout aussi invérifiable que la précédente; il suffirait d'admettre l'existence de deux grammes de radium par tonne de substance solaire pour expliquer quantitativement l'émission d'énergie de l'astre central, et en même temps la constance remarquable de cette émission.

Ce qui nous importerait surtout, ce n'est pas tant de connaître le rayonnement total du soleil que de savoir déterminer sa température, élément essentiel pour nous fixer sur l'état des matières qui le constituent. Les physiciens résolvent couramment le problème de déterminer la température d'un corps d'après la grandeur et la nature de son rayonnement, mais il se présente, pour le soleil, des conditions qui rendent la solution très incertaine; il est dangereux d'appliquer les lois de nos médiocres et ternes foyers à cette puissante et radieuse fournaise; de plus, il est nécessaire, et bien difficile, de tenir compte de l'absorption exercée sur les rayons par les deux atmosphères qui entourent le soleil, d'une part, et notre globe, de l'autre. C'est pour cette double raison que les évaluations de la température solaire oscillent entre les limites les plus surprenantes : Waterston proposait le nombre de dix millions de degrés centigrades, et le père Secchi, en 1875, se croyait raisonnable en s'arrêtant à la moitié de ce chiffre,

tandis que Pouillet et, en 1875, Violle, concluaient à une température de quinze cents degrés. Pourtant, depuis, l'accord s'est fait entre les observateurs; les recherches du physicien américain Langley ont ouvert la voie à des déterminations plus certaines; en prenant pour base, non plus la quantité, mais la qualité et la répartition des radiations diverses qu'émettent les corps d'après leurs températures, on arrive à admettre, pour le soleil, une température voisine de sept mille degrés.

Qu'on se rappelle que la température d'une coulée d'acier Bessemer est d'environ dix-huit cents degrés et que celle de la partie la plus chaude de l'arc électrique atteint quatre mille degrés; on comprendra que la température probable du soleil, bien que supérieure à toutes celles que nous pouvons réaliser dans nos laboratoires, n'en est pas tellement éloignée que nous ne puissions nous faire une idée des propriétés de la matière portée à cette température; si la température solaire était telle que l'annonçaient Waterston et Secchi, nous n'aurions qu'à nous taire, et à désespérer de jamais rien comprendre à la nature du soleil. Toutefois, il ne faut pas oublier que nous ne savons rien sur la température des régions intérieures de l'astre; l'évaluation de Lan

gley porte uniquement sur la couche lumineuse qui, seule, rayonne jusqu'à nous; on peut seulement présumer que la température du globe solaire diminue, en général, du centre à la périphérie.

*
* *

Les plus grands progrès qu'on ait atteints dans la connaissance du soleil sont dus à l'étude directe de sa surface, faite à la lunette et au télescope. Tant qu'on se contente de regarder l'astre à l'œil nu ou protégé par un verre coloré, son disque paraît doué d'un éclat uniforme, à peine moins vif sur les bords qu'au centre; quelquefois, mais rarement, on y peut distinguer une tache de grandeur exceptionnelle; la lunette et le télescope permettent seuls de pousser plus loin les investigations. C'est de Galilée que date cet immense progrès dans la connaissance des espaces célestes : par la juxtaposition de deux lentilles, Galilée trouva, ou retrouva après les opticiens hollandais, la lunette terrestre et la lunette astronomique; par l'emploi de ces instruments, encore bien imparfaits et d'un grossissement médiocre, il rénova les études de physique solaire qui devaient lui coûter la vue.

Une seconde étape fut franchie par l'invention

du télescope, où l'une des lentilles est remplacée par un miroir concave, invention que perfectionnèrent successivement Gregory, Newton et surtout William Herschell. Nul n'a mieux connu et plus minutieusement décrit les chemins du ciel que le célèbre astronome de Slough; nul n'a disposé de moyens plus puissants; Herschell trouva en Angleterre un appui qui lui permit de construire des appareils dont le grossissement n'a jamais été dépassé, tel le fameux télescope, long de douze mètres et large de un mètre cinquante centimètres, qui fut achevé en 1789. Herschell avait, d'ailleurs, éprouvé avec cet instrument que les télescopes les plus puissants ne sont pas ceux qui permettent les meilleures observations : leur masse énorme rend leur maniement très délicat et impose au miroir des flexions qui déforment les images; le courant d'air qui se produit dans le tube, l'agitation incessante et inévitable de l'atmosphère, les dilatations produites par la chaleur solaire, viennent troubler la marche normale des rayons. Aussi les observateurs modernes ont-ils recours à des appareils d'apparence plus modeste, mais qui, pourtant, donnent d'aussi bons résultats. Parmi ceux qui nous ont fait connaître la face du soleil, il faut citer, au premier rang, le père Secchi, directeur de l'observatoire du Collège Romain,

dont les observations, dirigées inlassablement vers le même objet, se sont condensées en un livre admirable ¹.

Il faut ajouter que la photographie est venue, depuis trente ans, apporter une aide considérable aux observateurs : en leur permettant de fixer les détails les plus passagers des phénomènes, elle leur a donné le moyen de les étudier à loisir et de procéder à de fructueuses comparaisons.

Voyons maintenant quels faits a pu révéler l'étude de la surface solaire. On constate tout d'abord que cette surface, loin d'être uniforme, paraît au contraire irrégulière et ondulée : observée à un fort grossissement, elle semble couverte d'une multitude de petits grains brillants, analogues à des grains de riz, que sépare un réseau sombre; par endroits, on rencontre des masses lumineuses plus étendues, auxquelles on a réservé le nom de *facules* : les grains peuvent avoir deux à trois cents kilomètres de longueur, et les *facules* dix fois plus environ. Mais ce qui frappe le plus dans le disque solaire, ce sont les *taches*; elles forment vraiment, dans la monotonie éclatante de la surface, l'élément caractéristique; si elles n'existaient pas, ou si nous ne pouvions les

1. *Le Soleil*, Gauthier-Villars, éditeur, 1875.

étudier, nos idées sur la nature du soleil seraient bien incertaines.

Rien de plus irrégulier que les taches; elles ont toutes les dimensions, toutes les positions, toutes les formes. Il en est qui, aux plus forts grossissements, apparaissent comme de simples points noirs qu'on appelle *pores*; d'autres, visibles à l'œil nu, ont une surface grande plusieurs fois comme celle de la terre. Leur formation et leurs changements sont, tantôt lents, tantôt d'une rapidité déconcertante :

Le 28 juillet 1865, raconte Secchi, on n'apercevait rien d'extraordinaire, ni pores, ni facules; le 29, il y avait simplement trois points noirs; le 30, à dix heures trente minutes, nous fûmes bien surpris de trouver une tache énorme, correspondant à peu près au centre du disque. Le diamètre moyen de la partie troublée était quatre fois et demie environ le diamètre de la terre. Au centre, nous apercevions une masse de matière lumineuse qui semblait tourbillonner et autour de laquelle s'étaient produites de nombreuses déchirures. Au milieu de ce chaos, on pouvait distinguer quatre centres principaux de mouvement. A gauche, se présentait une vaste ouverture; autour d'elle, des langues de feu tournoyaient en différents sens, et au milieu de ces langues on distinguait nettement des voiles à moitié lumineux qui environnaient une cavité plus noire. Au dessus se trouvait un second centre, plus petit que le premier; à droite, une large fente présentait grossièrement la forme d'un S. Enfin, à la partie inférieure, on voyait une autre fente allongée et recourbée, offrant à l'œil un désordre qui défie toute des-

cription. Entre ces quatre cavités, il y avait un amas de facules et de matière lumineuse présentant l'aspect d'une masse en ébullition.

Tout cet ensemble était animé de mouvements tumultueux et extrêmement rapides. Le lendemain, l'aspect était entièrement changé; la longueur avait presque doublé. Les jours suivants, la masse qui séparait les quatre ouvertures se transforma peu à peu en une pénombre sur laquelle étaient dispersés des grains lumineux. Puis, les centres s'isolèrent et se prononcèrent de plus en plus. Le 27 août, la grande ouverture en forme d'S subsistait encore; le 17 septembre, on voyait simplement des pores et des facules; enfin, en octobre, il ne restait plus de traces de cette immense perturbation qui avait agité l'atmosphère du soleil.

Toutes les taches ont une histoire analogue; pourtant, à travers cette infinie variété de formes et d'évolutions, certains éléments demeurent constants. En premier lieu, on peut constater que toutes les taches sont constituées par une partie centrale presque complètement obscure, nommée *noyau*, entourée d'une zone grise, la *pénombre*, qui, vue à un fort grossissement, se décompose en une série d'éléments allongés, alternativement obscurs et brillants, laissant l'impression d'un talus raviné, au centre duquel s'ouvre un trou béant et noir.

Un autre fait d'une haute importance est la révolution des taches autour du soleil. Certaines taches, surtout celles dont la forme est régulière

et sensiblement ronde, évoluent très lentement et peuvent être observées pendant plusieurs mois; mais elles ne gardent pas toujours la même place; on les voit traverser le disque solaire, du bord oriental au bord occidental. Cette demi-révolution dure quatorze jours en moyenne, puis la perturbation passe sur la face invisible du soleil, réapparaît quatorze jours après sur le bord oriental, pour faire une seconde, parfois même une troisième et une quatrième révolution avant de se dissoudre dans le néant.

Ces apparences avaient été attribuées par les premiers observateurs à des planètes passant sur le soleil, mais on sait depuis Galilée que cette hypothèse est inacceptable, car on voit fréquemment plusieurs taches simultanées, qui décrivent dans le même temps sur le soleil des trajectoires parallèles; et, d'autre part, les facules elles-mêmes semblent entraînées par le même mouvement de rotation. Enfin tous les détails de ce mouvement ne peuvent admettre qu'une seule explication; c'est que la surface lumineuse du soleil, à laquelle appartiennent ces taches, est animée d'une rotation d'ensemble autour d'un axe, qui est la ligne des pôles du soleil, rotation dont la période est voisine de vingt-cinq jours et demi¹.

1. Et non pas vingt-huit jours, comme on pourrait le conclure

Du reste, cette rotation de la surface solaire s'est trouvée confirmée par des expériences précédant d'un principe entièrement différent, et qu'une comparaison va rendre compréhensible : lorsque deux trains se déplacent en sens contraire et se croisent, le voyageur emporté par l'un d'eux constate que le son rendu par le sifflet de l'autre est plus aigu quand les deux trains se rapprochent, et plus grave quand ils s'éloignent. La raison de ce fait d'expérience a été donnée par Doppler en 1842 : tant que l'observateur va à la rencontre des ondes vibrantes émanées du sifflet, il en reçoit un plus grand nombre par seconde que s'il restait immobile ; il en reçoit moins quand, au contraire, il fuit ces ondes sonores en s'éloignant de leur source. Cette proposition s'applique tout aussi bien aux vibrations lumineuses : quand un corps lumineux, donnant une radiation simple, se rapproche ou s'éloigne de l'observateur avec une grande vitesse, cette lumière paraît correspondre, dans le premier cas, à des vibrations plus rapides, à des vibrations plus lentes dans le second ; or, comme chaque radiation est définie par sa position dans le spectre, qui s'étend du

de la durée du déplacement apparent d'un bord à l'autre du soleil, parce qu'il faut tenir compte de la translation de la terre pendant le même temps.

rouge pour les vibrations lentes au violet pour les vibrations plus rapides, on verra cette position se déplacer vers le violet, si la source se rapproche, et vers le rouge si elle s'éloigne.

Qu'on vise, dès lors, successivement le bord oriental, puis le bord occidental du soleil, en notant la place qu'occupe dans le spectre une radiation déterminée émise par ces deux bords : on trouvera entre ces deux places un léger, mais sensible écart, dont la mesure permettra de connaître la vitesse avec laquelle le bord oriental du soleil se rapproche de nous, tandis que l'autre bord s'en éloigne par suite de la rotation de l'astre sur lui-même. Les résultats trouvés par cette voie concordent avec celui qu'on peut déduire du déplacement des taches.

Cette connaissance de la rotation solaire, pour intéressante qu'elle soit par elle-même, n'aurait pas arrêté notre attention si longtemps, si nous ne devions, par elle, acquérir une notion du plus haut intérêt : les astronomes ont observé des milliers de taches; ils ont toujours constaté que les taches équatoriales tournaient plus vite que les taches voisines de l'un ou l'autre pôle; la durée de rotation atteint 24 jours 9 à l'équateur, 25 jours 7 à la latitude de 20 degrés, et 26 jours 7 à la latitude de 35 degrés. Ainsi la surface du

soleil ne tourne pas d'un seul bloc, comme il arriverait si cette surface formait une croûte solide; et nous devons rapprocher de ce résultat, acquis avec une pleine certitude, un autre fait qui en complétera la portée. En discutant les variations de l'aiguille aimantée à la surface de la terre, on y a constaté une périodicité, dont la durée est très voisine de la durée de rotation de la zone équatoriale solaire; il est vraisemblable que cette coïncidence n'est pas fortuite et que le soleil modifie le magnétisme terrestre.

Ainsi, nous avons acquis, par l'observation attentive des taches, la certitude que la surface extérieure, brillante, du soleil est fluide, et des raisons nouvelles de penser qu'il en est de même des régions centrales; ces résultats sont en parfait accord avec ce que nous avons présumé d'après la densité moyenne et la température.

Mais nous avons encore beaucoup à apprendre en étudiant attentivement les taches; nous ne connaissons encore ni leur nature ni leur origine, et la question est restée longtemps indécise, car Galilée les prenait pour des nuages flottant dans l'atmosphère solaire, et de Lalande pour des montagnes dont les flancs plus ou moins escarpés produisaient le phénomène de la pénombre; Derham y voyait des fumées sorties des cratères

volcaniques du soleil, et beaucoup de savants les considéraient comme des scories flottant sur un océan embrasé. Mais depuis les observations de Wilson, qui datent de 1774, corroborées par William Herschell, le doute n'est plus permis sur leur véritable forme : les taches sont des cavités à pans inclinés, percées à travers la zone lumineuse extérieure, et s'ouvrant sur une région intérieure obscure. En effet, lorsqu'on suit dans son déplacement une tache régulière, arrondie et à variation lente, on la voit, à mesure qu'elle se rapproche du bord, prendre une forme ovale, puis se rétrécir au point de devenir linéaire, et la suite des apparences observées concorde absolument avec les effets de projection donnés par un trou observé d'abord normalement, puis sous des obliquités croissantes ; cette observation, contrôlée à mainte reprise par divers astronomes, nous force à rejeter toute autre explication que celle de Wilson.

*
* *

Jusqu'ici nous avons examiné, en bloc, la lumière émise par les différents points du soleil ; nous allons maintenant analyser les radiations complexes qui émanent de l'astre. On sait que

l'emploi du prisme permet d'effectuer ce classement; Ktrchhoff et Bunsen, les véritables créateurs de l'analyse spectrale, ont créé un appareil, le spectroscopé, fondé sur cette propriété et dont l'emploi a permis de caractériser les différentes sources lumineuses par la nature de leurs radiations. Il ne sera pas inutile de résumer brièvement les vérités acquises dans les laboratoires, avant d'en faire l'application aux recherches astronomiques.

Rappelons d'abord que les corps solides ou liquides incandescents, examinés au spectroscopé, donnent un spectre continu, formé par toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, étalées du rouge jusqu'au violet; telle sera la lumière émise par les charbons de l'arc électrique ou par une coulée d'acier au sortir du creuset; mais nous retrouvons le même spectre continu dans la flamme d'une bougie, d'une lampe ou du gaz d'éclairage. Il importe de ne pas perdre de vue que ce qui, dans ces flammes, nous éclaire et nous donne ce spectre est encore un solide constitué par des parcelles de carbone en suspension dans la masse gazeuse et échauffées par elle. Au contraire, les corps qui sont vraiment à l'état de gaz ou de vapeurs, sans inclusion d'éléments plus condensés, se caractérisent par la pauvreté de

leur émission lumineuse; leur spectre, lorsqu'ils sont portés à haute température, est constitué par un certain nombre de raies très fines, caractéristiques de leur nature chimique; ces raies, séparées par des intervalles obscurs, occupent dans le champ de vision du spectroscopie des places bien déterminées. Cette propriété, particulièrement nette pour l'hydrogène et les vapeurs des métaux, a permis de reconnaître et de caractériser chaque corps simple par les raies qu'il fournit à haute température; le sodium en vapeur, par exemple, donne deux raies jaunes très rapprochées; l'hydrogène émet quatre radiations principales : une rouge très brillante, une bleue et deux autres violettes; la vapeur de fer fournit un spectre admirable formé par plusieurs centaines de raies.

Ce n'est pas tout : on peut caractériser les corps, non seulement par la lumière qu'ils émettent, mais aussi par celle qu'ils arrêtent, qu'ils absorbent; un verre rouge nous paraît tel parce qu'il est opaque pour toutes les lumières, la rouge exceptée; si on place un corps transparent et coloré entre une source de lumière blanche et le spectroscopie, le spectre continu donné par la source paraîtra traversé par une série de larges bandes sombres ou de fines raies noires, suivant le cas; bandes et raies représentent les radiations

manquantes, absorbées par le corps interposé, et la nature de ce corps se trouvera révélée par elles, comme tout à l'heure les vapeurs métalliques incandescentes l'étaient par leur spectre d'émission ; ainsi les gaz de l'atmosphère, principalement l'oxygène et la vapeur d'eau, pris sous une grande épaisseur, se caractérisent chacun par de nombreuses raies noires.

Pendant longtemps, on n'a soupçonné aucune relation entre les spectres d'émission et d'absorption ; leur étude formait deux chapitres séparés de la spectroscopie, lorsque les travaux de Foucault et de Kirchhoff établirent entre eux la relation suivante : les radiations émises par une vapeur incandescente sont absorbées par la même vapeur moins chaude. Il nous est impossible d'examiner les problèmes que soulève cette propriété ; nous nous contenterons d'en fixer le sens en rappelant l'expérience caractéristique par laquelle on l'établit d'ordinaire : si l'on examine au spectroscopie la lumière jaune très brillante obtenue en volatilissant un grain de sodium dans la flamme très chaude d'une lampe d'émailleur, elle paraît constituée, comme nous l'avons déjà dit, par deux raies jaunes très voisines. Interposons maintenant entre cette flamme et le spectroscopie une flamme d'alcool, moins chaude que la précédente, et con-

tenant également du sodium vaporisé; nous verrons, aux deux raies brillantes de tout à l'heure, se substituer, place pour place, deux raies sombres découpées dans le champ faiblement éclairé du spectroscopé : tel est le phénomène du *renversement des raies*.

*
* *

Toutes ces propriétés vont nous servir dans notre étude du spectre solaire. Pour procéder à cette étude, on forme, à l'aide d'une combinaison appropriée de lentilles, une image du soleil ayant vingt à vingt-cinq centimètres de diamètre et on en examine au spectroscopé les différentes régions. Dans la majeure partie des cas, c'est-à-dire tant qu'on ne pointe ni sur une tache, ni sur le bord extrême de l'astre, on observe le spectre bien connu du soleil, celui qui constitue la majeure partie de sa radiation; il comprend toute la gamme des couleurs étalées du rouge au violet, sans compter les prolongements invisibles, le spectre calorifique ou infra-rouge et le spectre chimique ou ultra-violet. C'est, à n'en point douter, le spectre d'émission commun à tous les corps solides ou liquides portés à une haute température. Nous sommes donc amenés à cette conclusion que

la surface extérieure brillante de l'astre, à laquelle on donne le nom de *photosphère*, contient des solides ou des liquides; comme, d'autre part, nous savons de façon non moins certaine qu'elle ne forme pas un tout cohérent, nous ne pouvons la concevoir que formée de particules fort ténues, en suspension dans une masse gazeuse, où elles jouent le même rôle que le carbone en poussière dans la flamme d'une bougie.

Quelle est l'épaisseur de la photosphère, et qu'y a-t-il à son intérieur? La seule manière de s'en faire une idée consiste à regarder à travers ces fenêtres ouvertes vers l'intérieur de l'astre et qui constituent les taches; or les mesures effectuées par Wilson et Secchi indiquent que la profondeur moyenne des taches est d'environ deux à trois mille kilomètres, grandeur insignifiante par rapport aux dimensions du soleil; nous sommes donc portés à conclure que la photosphère n'est qu'une pellicule à la surface de l'astre. Quant aux couches profondes, il paraît indiqué, pour en déterminer la nature, de diriger le spectroscopie vers le centre des taches, mais les résultats obtenus jusqu'ici sont d'une complexité qui défie l'analyse et qui ne laisse place qu'à de bien faibles probabilités. La médiocre intensité du spectre continu donné par ces taches, la présence de plusieurs

raies brillantes, sont d'accord avec l'hypothèse, déjà émise, d'après laquelle le noyau solaire serait à l'état gazeux; on est obligé, jusqu'à présent, de s'en tenir à ces vagues suppositions.

Nous pouvons, en portant notre attention sur un autre point, acquérir des connaissances mieux assurées. Nous avons dit que le soleil est moins lumineux sur les bords qu'en son centre; c'est là un fait qui peut échapper à l'observation courante parce que l'éclat incomparable de l'astre fait perdre à notre rétine toute sensibilité, mais il est manifesté, soit par la photographie, soit par des comparaisons photométriques faites sur l'image, suffisamment agrandie, du soleil. On trouve ainsi que le centre du disque solaire est environ cinq fois plus lumineux que sa périphérie; d'autre part, le contour de l'astre a une couleur nettement rougeâtre; de semblables particularités seraient inexplicables si le soleil était limité à sa photosphère; elles ne peuvent s'expliquer que par l'existence d'une atmosphère absorbante qui diminue les rayons émanés obliquement du contour de l'astre plus que ceux qui proviennent des régions centrales; au contraire, la lune, qui est dépourvue d'atmosphère, nous apparaît comme une surface à peu près plane, c'est-à-dire également éclairée sur toute sa surface.

Nous voici donc prévenus en faveur de l'existence d'une atmosphère gazeuse extérieure à la photosphère, et nous sommes en état de comprendre et d'interpréter la propriété caractéristique du spectre solaire. Ce spectre brillant n'est pas rigoureusement continu; il est traversé par une multitude de raies noires qui y occupent des positions fixes; les physiciens ont repéré des milliers de ces raies, qui proviennent évidemment de l'absorption exercée par les milieux gazeux placés entre nous et la photosphère. Il est d'abord un de ces milieux dont les propriétés nous sont bien connues, c'est l'atmosphère terrestre; de fait, nous retrouvons dans le spectre solaire toutes les raies d'absorption de l'oxygène et de la vapeur d'eau, avec les caractères qui nous en garantissent l'origine : elles sont plus marquées quand le soleil est près de l'horizon, parce qu'alors sa lumière traverse notre atmosphère sous une épaisseur plus grande; et, d'autre part, toutes les raies spéciales à la vapeur d'eau disparaissent lors des grands froids, c'est-à-dire quand notre atmosphère est parfaitement privée d'eau en vapeur.

Mais, en dehors de ces raies, dites raies *telluriques*, qui ne peuvent rien nous apprendre de bien original, il en est beaucoup d'autres, peut-être les deux tiers du nombre total, qui ont néces-

sairement une origine toute différente. Or les premiers spectroscopistes, entre autres Kirchhoff, n'avaient pas tardé à reconnaître que presque toutes ces autres raies noires occupent, dans le champ du spectroscope, la même place qu'y tiendraient les raies brillantes d'émission de l'hydrogène et d'un certain nombre de vapeurs métalliques : ainsi, quatre cent quatre-vingt-dix raies du fer ont pu être identifiées avec autant de raies noires du spectre solaire. Un pareil nombre de coïncidences ne saurait être fortuit et nous amène à conclure qu'autour de la photosphère se trouve une couche gazeuse absorbante moins chaude et contenant, outre l'hydrogène, des vapeurs de nombreux corps simples : sodium, baryum, calcium, magnésium, fer, manganèse, chrome, cobalt, nickel, zinc, cuivre, titane, strontium, etc. C'est une grande partie des matériaux avec lesquels est pétrie notre terre. Voici donc, établie sans contestation, l'existence d'une couche gazeuse extérieure à la photosphère, couche à laquelle les astronomes ont donné le nom de *chromosphère*.

Nous verrons, dans un autre chapitre, comment l'observation des éclipses totales du soleil a permis d'observer à l'œil nu l'atmosphère solaire ; mais ce moyen exceptionnel n'est pas le seul qui nous permettra d'en faire l'étude. En 1868, M. Janssen

et Sir Norman Lockyer trouvèrent simultanément la méthode qui a permis l'observation quotidienne de la chromosphère : elle consiste à former une image agrandie du disque solaire, contre le bord de laquelle on place la fente du spectroscopie, c'est-à-dire l'ouverture rectiligne très étroite par laquelle entre dans l'instrument la lumière qu'il analyse. L'expérience est délicate, car la zone à observer forme une couche très mince autour de la photosphère. Tant qu'on vise le disque lui-même, on obtient le spectre brillant accoutumé, traversé de raies noires, mais au moment précis où l'on a dépassé la photosphère, l'aspect change du tout au tout; le champ du spectroscopie devient obscur, à l'exception de quelques raies brillantes, qui caractérisent une masse gazeuse portée à haute température. Nous voilà donc assurés, par une expérience directe et décisive, de l'existence de la chromosphère; il s'agit maintenant de savoir quels éléments la constituent, quelles sont sa forme et ses dimensions.

*
* *

Le spectroscopie répond immédiatement à la première question; il suffit de déterminer la position des raies brillantes émises par la chromo-

sphère, et de chercher à les identifier avec les raies des corps connus. Or, on reconnaît sans hésitation les raies caractéristiques de l'hydrogène; leur éclat et leur présence constante nous prouvent que l'hydrogène est l'élément fondamental de la chromosphère; c'est à lui que cette couche gazeuse doit la coloration rouge qui lui a valu son nom, et dont nous constatons l'effet par la teinte rougeâtre des bords du soleil; mais cet effet se fait sentir sur la surface entière de l'astre; la chromosphère est comme un voile rouge étendu sur son disque; si nous pouvions l'arracher et mettre la photosphère à nu, celle-ci nous paraîtrait bleue¹.

Outre l'hydrogène, la chromosphère est injectée, mais d'une façon plus irrégulière, de nombreuses vapeurs métalliques de magnésium, sodium, calcium, fer, chrome, etc. Elle renferme un autre élément encore : parmi les raies brillantes de la chromosphère, une raie jaune s'est longtemps refusée à toute identification avec celles des corps terrestres connus : les astronomes, en désespoir de cause et après avoir rejeté toutes les autres hypothèses, l'attribuèrent à un corps inconnu, sans

1. On sait, en effet, que la couleur des solides incandescents vire du rouge au blanc, puis au bleu à mesure que leur température s'élève : c'est ainsi que l'arc électrique, à 4 000 degrés, est déjà nettement bleuâtre. Cette couleur bleue doit être encore plus accentuée pour la photosphère, portée à 7 000 degrés.

doute analogue à l'hydrogène et qu'ils appelèrent l'*hélium*. Mais on a constaté, depuis, que l'hélium existe sur notre planète : sa présence a été reconnue dans un minéral du Groenland nommé la clévéite, dans certaines eaux minérales et même dans notre atmosphère; l'ensemble de ses propriétés le rapproche de l'hydrogène : exemple vraiment admirable de la certitude des méthodes spectroscopiques!

La chromosphère n'est pas une couche uniforme; il est intéressant de déterminer sa répartition. Le spectroscope, qui ne paraissait nullement destiné à cet objet, a fourni cependant la solution la plus élégante du problème, solution indiquée d'abord par Huggins, et employée depuis par tous les astronomes. Il suffit, en effet, de placer la fente, suffisamment élargie, du spectroscope tangentiellement au bord de l'image du soleil pour apercevoir dans le champ de l'appareil une image de la partie visée de la chromosphère; cette image se forme à l'endroit où fut apparue, avec une fente étroite, la raie rouge caractéristique de l'hydrogène. La chromosphère nous était normalement invisible parce que son éclat très restreint, sauf pour cette radiation rouge, était noyé dans la lumière aveuglante de la photosphère; mais le spectroscope, en remettant chaque radia-

tion à sa place, permet l'observation de la chromosphère à la lumière qui lui est le plus favorable.

Le procédé d'observation découvert par Huggins a permis une exploration méthodique de la chromosphère; nous connaissons maintenant en détail cette couche du soleil; nous savons que son épaisseur moyenne est très restreinte, voisine de huit mille kilomètres; elle n'augmente donc que d'un cent soixante-quinzième le diamètre du soleil. Moulée d'un côté sur la photosphère, elle présente sur sa face extérieure les formes les plus irrégulières et les plus variables : tantôt plane comme la surface d'une mer, plus souvent garnie de filaments lumineux semblables à des poils brillants tous inclinés dans le même sens, du moins au même instant et dans une même région; parfois enfin, elle se soulève au-dessus de son niveau général en amas monstrueux, auxquels on a donné le nom de *protubérances*.

Les protubérances prennent les formes les plus variables, dont on a essayé de distinguer les principaux types par les noms d'*amas*, de *jets* et de *panaches*; mais ce qui frappe le plus l'observateur, c'est l'agitation incessante qui brasse toute cette masse gazeuse et la soulève, aux instants de violentes éruptions, à plusieurs centaines de mille

kilomètres, avec des vitesses qui peuvent atteindre et dépasser deux cents kilomètres par seconde. Donnons en exemple une observation de Secchi :

Le 16 octobre 1871, à neuf heures dix, la partie occidentale du soleil ne présentait rien de remarquable; à neuf heures trente, il se manifesta une flamme conique très vive, située à l'ouest, à 85 degrés du pôle; près de là, à une distance de 5 degrés environ, il y avait un cumulus large et diffus; à neuf heures trente six, la flamme avait doublé en hauteur et en largeur, elle semblait avoir absorbé le cumulus dont nous venons de parler. A neuf heures quarante-trois, tout est changé : la flamme a pris la forme d'un éventail formé de jets très vifs, terminés à leur sommet par des langues de feu. A neuf heures quarante-neuf, il se produit une dilatation très considérable en largeur et hauteur; c'est une véritable gerbe de feu d'artifice; on voit, à gauche, une masse énorme de rayons paraboliques retombant sur le soleil; quelques masses brillantes sont suspendues et complètement isolées de la chromosphère, elles ressemblent à des fusées qui viennent d'éclater. A neuf heures cinquante-six, les masses continuent à s'élever, mais la lumière devient plus rare; on distingue trois jets principaux. Plusieurs langues de feu, formées par des filets interrompus, restent isolées dans les régions supérieures; la plus grande hauteur du jet vertical est de dix fois environ le diamètre de la terre. A dix heures douze, tout était fini; il ne restait plus que deux petites flammes, et il ne se produisit rien de nouveau pendant le reste de la journée.

Ainsi, ces éruptions trahissent l'activité de la chromosphère, tandis que celle de la photosphère se manifeste par les variations des taches et des

facules, et la question se pose immédiatement de savoir si ces deux phénomènes n'ont pas une commune origine. On a remarqué, depuis longtemps, qu'ils se produisent l'un et l'autre de préférence dans la zone équatoriale du soleil, et que les périodes où il y a le plus de taches sont aussi celles où la chromosphère paraît le plus agitée. En général, il est difficile de comparer les taches, visibles dans l'intérieur du disque, et les protubérances, observables seulement sur son contour. Cependant on est assuré aujourd'hui qu'elles sont, en général, les effets d'une même perturbation : quand on observe une violente éruption en un point du bord oriental du soleil, on est à peu près assuré de voir, le lendemain, une tache à l'endroit où ce point a été transporté, à l'intérieur du disque, par la rotation solaire; inversement, une tache de forme variable et tourmentée, en abordant le contour occidental de l'astre, se trahit par le soulèvement de la chromosphère. On remarque aussi que les facules, qui semblent être des régions en relief de la photosphère, paraissent en général accompagner les mouvements ascendants d'hydrogène à peu près pur, tandis que les éruptions qui recouvrent les taches paraissent, d'après leur examen spectroscopique, formées d'hydrogène injecté de nombreuses vapeurs métalliques.

*
* *

Nos connaissances ne seraient peut-être pas étendues au delà de la chromosphère et des protubérances, si les éclipses totales de soleil n'avaient réalisé devant nous une gigantesque expérience. En faisant passer, de temps en temps, l'écran de la lune devant le disque du soleil, la nature nous protège, pour un instant, contre l'éclat de la photosphère et nous permet d'observer les zones qui l'entourent. Alors apparaissent, visibles à l'œil nu, les protubérances de la chromosphère. Mais, par delà cette couche, la lumière ne cesse pas brusquement; une lueur continue et dégradée s'étend autour du soleil, sur une épaisseur supérieure au diamètre de la photosphère, et constitue ce qu'on appelle la *couronne*. Cette lueur n'est pas exactement concentrique à l'astre; elle est plus étroite dans les régions polaires et beaucoup plus large en face des protubérances; observée au spectroscopie, elle donne un double spectre, formé, d'une part, d'une lumière continue allant du rouge au bleu, et, d'autre part, de raies brillantes et séparées. Ces raies prouvent que la couronne est lumineuse par elle-même; leur examen manifeste la présence de

différents corps, dont le principal est encore l'hydrogène. Quant au spectre continu, il prouve l'existence d'une poussière solide, peu dense, nous envoyant de la lumière, soit par émission directe, soit par diffusion de la lumière reçue de la photosphère.

L'étude de la couronne constitue une des principales occupations des physiciens et des astronomes, lors des éclipses totales; à ce titre, nous aurons l'occasion de l'étudier plus en détail dans le prochain chapitre. Nous en avons assez dit, cependant, pour qu'on puisse prendre, maintenant, une idée sommaire de la constitution générale du soleil. Nous nous représentons cet astre comme une masse fluide, vraisemblablement gazeuse dans son ensemble, animée d'un mouvement de rotation qui va en diminuant des régions centrales vers les zones périphériques, et portée à une température très élevée, qui varie, en général, dans le même sens. Peut-être les matières dont la densité de la vapeur est la plus grande, comme l'or, le platine, occupent-elles le centre de l'astre, tandis que les plus légères, l'hydrogène, le sodium, s'étagent vers la périphérie; ainsi s'expliquerait l'absence des raies caractéristiques des métaux lourds, que constatent les observations spectroscopiques de la zone super-

ficielle. La température du noyau central est assez élevée pour que la matière n'y puisse exister qu'à l'état de corps simples isolés ; mais les variations de la température, jointes sans doute à d'autres actions, déterminent sans cesse un brassage vertical qui amène la matière de l'intérieur dans une zone relativement plus froide, la zone des réactions chimiques ou photosphère : c'est là, sans doute, que se forment à l'état de poussière impalpable la chaux, la magnésie, le carbone : c'est là aussi peut-être que les métaux réfractaires se condensent pour un instant en fines gouttelettes incandescentes ; puis tout retombe dans l'abîme surchauffé des régions intérieures pour s'y gazéifier derechef, en attendant qu'un nouveau tourbillon le ramène dans la photosphère.

Par endroits, les éruptions de la matière centrale atteignent assez d'ampleur et de violence pour percer la photosphère et, à travers la masse brûlante des gaz projetés, nous apercevons la profondeur obscure du noyau ; souvent, des mouvements tourbillonnaires assurent à la tache ainsi formée une permanence et une régularité plus grandes ; d'autres fois le trou se referme après l'éruption et la photosphère reprend sa continuité. Mais, même en dehors des taches, la surface n'est jamais tranquille ; les granulations de cette sur-

face montrent son irrégularité, et les facules constituent des boursouflures plus étendues et assez hautes, parfois, pour traverser entièrement la couche chromosphérique. Celle-ci, dont la température est inférieure d'un ou deux milliers de degrés à celle de la photosphère, est constamment ébranlée par l'agitation des couches sous-jacentes ; sa masse hydrogénée s'injecte à chaque instant de vapeurs métalliques, échappées par tous les pores de la photosphère. Elle se prolonge à son tour par la couronne, mélange d'hydrogène, de gaz et de poussières incandescents, dont la température et la densité diminuent peu à peu, à mesure qu'on s'avance dans le vide interplanétaire.

*
* *

Telle est, en gros, l'idée que nous pouvons nous faire actuellement du « globe de feu » qui guide et réchauffe le cortège des planètes. Il ne restera peut-être pas, dans un siècle, grand'chose de nos théories, car l'attaque du problème solaire est menée vigoureusement. D'ailleurs, les découvertes faites sur le soleil se contrôlent et s'enrichissent par tout ce qu'on peut trouver de nouveau dans le ciel ; cet astre n'est, après tout,

qu'une étoile comme les autres; il est un des milliards de points brillants qui scintillent dans le ciel; l'astronomie nous a montré que sa grandeur, sa position, ses mouvements, sont loin d'en faire un monde à part, et l'analyse spectrale a confirmé ces résultats en nous montrant que les mêmes corps simples se retrouvent dans tous les astres; il est donc légitime de demander aux nébuleuses de nous renseigner sur le passé du soleil, et même de chercher à pénétrer son avenir, d'après l'état présent des astres éteints qui errent sur les chemins du ciel.

LES ÉCLIPSES

Le travail des astronomes est loin d'être monotone; chaque jour, chaque nuit surtout, l'aspect du ciel est modifié et se prête à des observations et à des mesures nouvelles. Mais c'est surtout pour les éclipses de soleil que sonne le grand branle-bas. Alors, plusieurs mois à l'avance, les astronomes et les physiciens ont dressé leur plan de bataille, et tout préparé pour tirer le meilleur parti des quelques minutes que va durer l'occultation; puis, le moment venu, ils n'hésitent pas à quitter la paix de leurs laboratoires pour se placer dans les conditions les plus favorables à leurs observations, et les grandes nations civilisées, tout obérées qu'elles soient, trouvent encore dans leurs coffres l'argent nécessaire à ces entreprises.

Si tant d'efforts doivent converger vers un même but, c'est à cause de la rareté et de la courte durée des éclipses. Si la lune tournait autour de la terre dans le plan que la terre parcourt dans sa rotation annuelle autour du soleil, c'est-à-dire dans le plan de l'écliptique, il y aurait éclipse de lune à chaque pleine lune, éclipse de soleil à chaque nouvelle lune. Il s'en faut de bien peu qu'il n'en soit ainsi, puisque le plan de l'orbite lunaire n'est incliné que de cinq degrés sur celui de l'écliptique; mais cette faible inclinaison suffit pour tout déranger, puisqu'elle fait dépendre la possibilité de l'éclipse d'une coïncidence assez rare : l'éclipse n'est possible que si, à l'instant de la pleine ou de la nouvelle lune, notre satellite traverse le plan de l'orbite terrestre, qui justifie par là son nom d'écliptique.

Et cette condition nécessaire, puisqu'elle place les trois astres en ligne droite, n'est même pas suffisante. En effet, pour les éclipses de lune, si on calcule, d'après la distance de la terre au soleil et le diamètre de ces deux astres, la longueur du cône d'ombre projeté par la terre, on trouve que cette longueur vaut au minimum 210 rayons terrestres; comme la lune n'est, en moyenne, qu'à 60 rayons terrestres de notre globe, elle devrait fatalement pénétrer dans ce cône d'ombre toutes

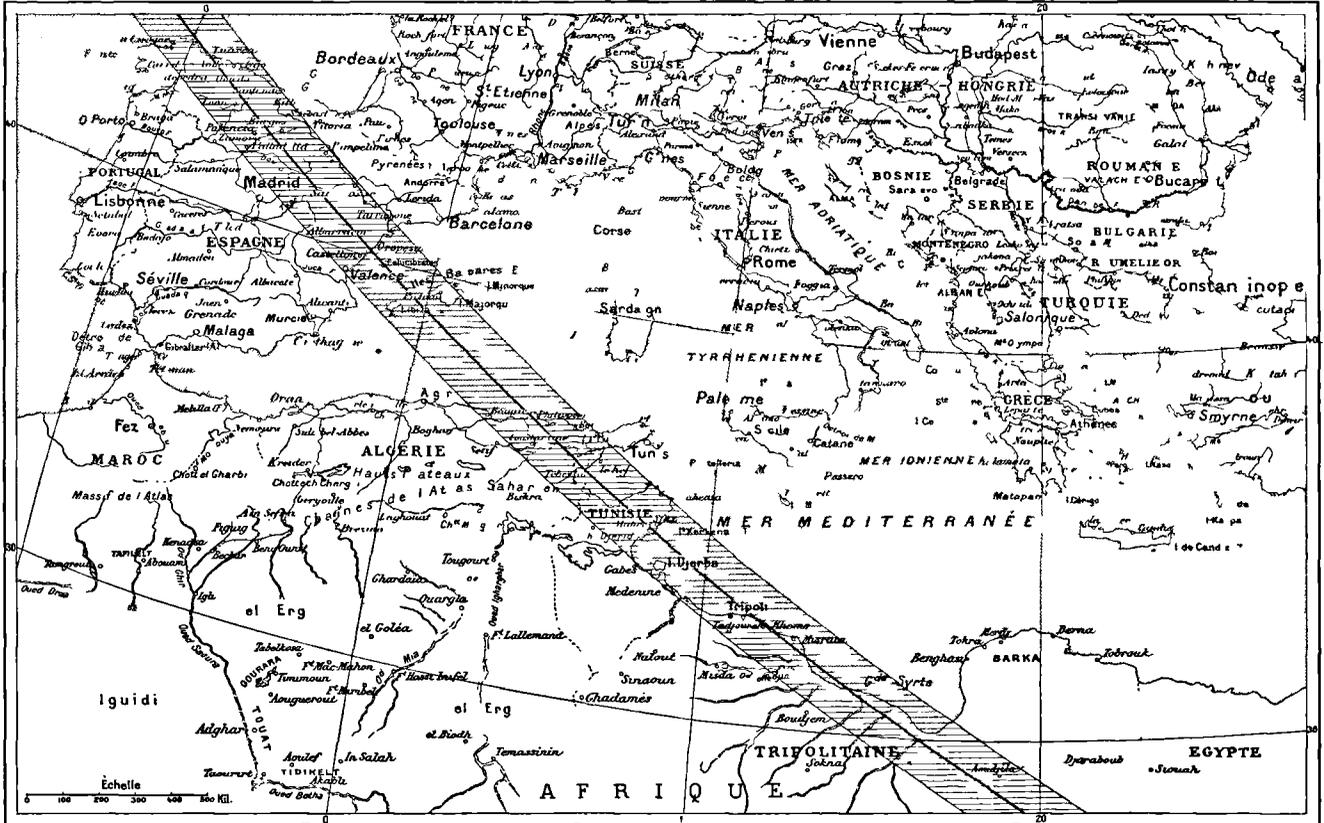
les fois que les conditions indiquées plus haut seraient réalisées.

Pourtant, les choses ne se passent pas aussi simplement, par suite de la réfraction causée par notre atmosphère, qui agit sur les rayons solaires comme une véritable lentille convergente : le sommet du cône d'ombre se trouve ainsi reporté à quarante-deux rayons au lieu de deux cent dix ; par suite, il ne peut jamais y avoir éclipse complète d'une partie quelconque de la lune, mais seulement diminution d'éclat, puisque le soleil n'est jamais caché en totalité pour un point quelconque de notre satellite : un observateur placé sur la lune et regardant le phénomène qui est pour nous une éclipse de lune, mais qui serait pour lui une éclipse de soleil, verrait encore, à l'instant le plus favorable, les trois quarts de l'astre qui nous éclaire. D'ailleurs, l'atmosphère terrestre absorbant principalement les rayons bleus et violets, cet observateur ne recevrait guère que de la lumière rouge comme celle que le soleil nous envoie à son couchant ; et c'est pourquoi la lune, qui ne brille que de la lumière reçue, nous paraît colorée en rouge lors de ses éclipses.

Les choses se passent tout autrement pour les éclipses de soleil : la distance de la terre à la lune

varie entre 55 et 62 rayons terrestres; d'autre part, la longueur du cône d'ombre porté par la lune varie entre 57 et 60 rayons terrestres, et n'est atténuée par aucune réfraction, puisqu'il n'existe pas d'atmosphère lunaire; on voit donc que ce cône peut, ou non, atteindre la terre, et, par suite, il n'y aura pas nécessairement éclipse totale. Supposons, pourtant, que les conditions favorables soient réalisées : si quelque géant, errant à travers les mondes, pouvait contempler ce qui se passe alors, il verrait le cône d'ombre qui traîne derrière la lune aborder notre planète et marquer à sa surface une tache noire circulaire, de deux cents kilomètres environ de diamètre, qui se déplace avec une extrême vitesse dans la direction générale de l'ouest à l'est; cette tache, où ne pénètre aucune lumière du soleil, est elle-même entourée d'une zone plus étendue, où l'éclaircissement décroît progressivement de l'intérieur vers les bords; c'est la zone de *pénombre*, qu'éclaire une fraction variable du disque solaire. En fait, un observateur placé en ballon, ou sur une montagne élevée, voit très nettement se mouvoir le cône d'ombre lunaire, qui s'avance comme un orage sombre et menaçant et envahit la plaine avec une vitesse voisine d'un kilomètre par seconde.

ÉCLIPSE DU 30 AOÛT 1905. - ZONE DE TOTALITÉ.



HOULEVIGUE, Évolution des Sciences.

LIBRAIRIE ARMAND COLIN.

Nous avons dit que la totalité de l'éclipse exige que le cône d'ombre lunaire ait une longueur supérieure à la distance qui nous sépare de la lune ; si, comme il arrive fréquemment, cette condition n'est pas satisfaite, l'éclipse sera seulement annulaire pour les régions les plus favorisées ; on verra alors, à l'instant le plus favorable, le disque solaire débordant de tous côtés celui de la lune, et l'obscurité ne sera jamais complète.

Tous ces phénomènes peuvent être prévus sans difficulté par les astronomes, puisque les mouvements des astres sont connus avec une extrême précision. Actuellement, les prédictions des éphémérides sont faites à un dixième de seconde près, mais ce n'est que peu à peu, et par une connaissance de plus en plus approchée des constantes du système solaire, qu'on a pu atteindre cette approximation. Au début du xix^e siècle, les éclipses n'étaient annoncées qu'à quelques secondes près ; cent ans plus tôt, les tables de prévision de La Hire présentaient des erreurs de 4 à 5 minutes et, avant l'apparition de ces tables, la précision était bien moindre encore : on cite le cas de l'éclipse de 1684, annoncée comme devant être totale à Rome, et durant laquelle, en réalité, les trois quarts seulement du soleil furent occultés.

Mais, bien avant Képler et Newton, l'expé-

rience avait déjà permis d'établir des règles approximatives ; ainsi, on rapporte que Sulpicius Gallus, lieutenant de Paul-Émile, parvint à apaiser une sédition de son armée en prédisant une éclipse de lune. L'origine de ces connaissances astronomiques paraît remonter aux peuples de l'Orient ; les Chaldéens avaient remarqué que les éclipses se reproduisaient à intervalles réguliers ; cette *période chaldéenne*, appelée encore *Saros*, dont la durée est de 18 ans et 11 jours, ramène en effet le soleil, la terre et la lune dans les mêmes positions relatives ; elle contient soixante-quinze éclipses, dont quarante-six de soleil ¹ et vingt-neuf de lune.

Ce dernier résultat peut, au premier abord, paraître paradoxal, puisque notre expérience nous apprend que nous avons bien plus souvent l'occasion d'observer les éclipses de lune que celles du soleil : mais il ne faut pas oublier que, lorsque la lune est éclipsée, le phénomène est visible à la

1. Et non quarante et une, comme l'écrivent les auteurs les plus modernes, par une erreur dont la cause est assez originale pour mériter d'être signalée : Halley ayant dressé le tableau des éclipses de la période chaldéenne, les nota dans deux pages consécutives de son *Traité d'Astronomie* ; seulement, il ne put mettre dans la première page que quarante et une éclipses de soleil, et dans la seconde les vingt-neuf éclipses de lune ; les cinq autres éclipses de soleil furent rejetées dans une note qui a sans doute échappé au premier auteur qui y a emprunté ce résultat, et tous les traités ont ensuite reproduit cette erreur singulière.

fois de tous les points d'un hémisphère terrestre, tandis que pour observer une éclipse totale de soleil, il faut se trouver dans la bande très étroite parcourue par la tache ambulante : c'est ainsi que la dernière éclipse totale de soleil, visible à Paris, date de 1724, et que la prochaine ne se présentera pas avant 2026

*
* *

Il faudrait d'ailleurs se garder de croire que toutes les éclipses totales présentent le même intérêt scientifique; elles peuvent, en effet, se prêter plus ou moins aux observations. Souvent, la zone de visibilité traverse des océans, des régions où le ciel est perpétuellement couvert, ou des déserts pratiquement inaccessibles; enfin, la durée même de l'occultation est variable d'une éclipse à l'autre, son maximum étant de 8 minutes à l'équateur et de 6 minutes à la latitude de Paris. Considérons, à titre d'exemple, une des dernières éclipses, celle du 30 août 1905, qui a été observée en France comme éclipse partielle. Elle se présentait dans des conditions on ne peut plus favorables. D'abord par la position géographique des lieux traversés : partant du Nord-Amérique, et se déplaçant dans la direction géné-

rale du Nord-Ouest au Sud-Est, le cercle d'ombre totale venait balayer en biais le Labrador, l'Atlantique, l'Espagne, les Baléares, l'Algérie, la Tunisie, la Tripolitaine, l'Égypte, où il passait dans le voisinage d'Assouan; il traversait la mer Rouge et une partie de l'Arabie, après quoi l'ombre voyageuse cessait de rencontrer notre planète, qu'elle n'avait croisée dans sa route que pendant 2 heures 48 minutes. On voit donc que les observateurs ont pu trouver, entre l'Espagne et l'Égypte, des postes d'observation commodes, ce qui n'est point une condition inutile, étant donné le poids, le nombre et la délicatesse des instruments qui doivent être convoyés au point choisi. D'autre part, l'époque et la position géographique des lieux traversés permettaient d'espérer un ciel pur, sans lequel aucune observation n'est possible.

La carte ci-jointe montre, couverte de hachures, la zone balayée par le cercle de totalité; l'éclipse était totale, à des moments différents, pour tous les points de cette zone; mais c'est dans le voisinage de la ligne médiane, et non sur les bords de cette bande, que les observateurs devaient se placer, puisque c'est là que l'éclipse atteignait sa durée maximum, comprise entre 2 minutes 28 secondes pour le Labrador et 3 minutes 45 secondes pour l'Espagne. La dernière éclipse totale, celle

du 28 mai 1900, n'avait duré que 1 minute 19 secondes; celle de 1905 s'est donc présentée dans des conditions bien plus favorables; elle permettait, par exemple, ces photographies à très longue pose qui sont nécessaires pour révéler tous les détails de la couronne extérieure. De plus, comme les plus longues éclipses sont celles où le disque de la lune déborde le plus celui du soleil, il en résulte que la lumière diffusée de la photosphère se trouve alors mélangée en moindre proportion à la lumière propre de la couronne; les recherches au spectroscopie sont, de ce fait, grandement facilitées.

Mais une autre raison encore donnait à l'éclipse de 1905 un intérêt tout spécial : les observations de taches solaires, poursuivies attentivement depuis cent cinquante ans, ont mis en évidence une loi de périodicité tout à fait inexplicée, mais parfaitement nette. Tous les onze ans, à très peu près, l'activité solaire passe par un maximum; or, l'éclipse de 1900 s'était produite dans une période de grande accalmie; 1905, au contraire, devait être une année de forte agitation et, par suite, tous les phénomènes qui sont en rapport avec cette surexcitation solaire, comme les protubérances et le développement de la couronne gazeuse, semblaient pouvoir être examinés dans des conditions plus favorables. Tous ces détails

nous montrent comment chaque éclipse se présente avec sa physionomie spéciale, et facilite plus ou moins la solution des nombreux problèmes solaires.

*
* *

On a maintes fois décrit l'aspect saisissant que présente la nature pendant une éclipse totale de soleil; mais nous ne retiendrons ici que les faits susceptibles d'une étude scientifique.

Quelques secondes avant la totalité, la partie visible du soleil forme un croissant qui diminue avec une rapidité surprenante; elle se réduit bientôt à un simple filet, que les proéminences du contour lunaire divisent en plusieurs parties, formant comme les grains successifs d'un chapelet; puis le soleil disparaît. « Aussitôt, dit le P. Secchi, la scène change d'une manière subite et complète; au milieu d'un ciel couleur de plomb se détache un disque parfaitement noir, entouré d'une gloire magnifique de rayons argentés, parmi lesquels scintillent des jets de flamme roses. » Les étoiles, la planète Vénus brillent dans le ciel; cependant, l'obscurité générale est loin d'être complète; un peu de lumière provient, tant de la couronne lumineuse qui entoure la lune, que des régions de

l'atmosphère terrestre situées en dehors du cône d'ombre. On peut, à la rigueur, lire un livre imprimé en gros caractères, mais il est presque impossible de voir l'heure à une montre, et les observateurs doivent tenir auprès de leurs instruments des lampes allumées pour en lire les graduations.

L'irradiation qui entoure le disque obscur de la lune occupe dans le ciel une étendue très variable d'une éclipse à l'autre, mais qui est, en général, assez voisine de celle du soleil lui-même. On y distingue d'abord des groupements rougeâtres, irrégulièrement distribués autour du disque solaire, et situés principalement dans la zone équatoriale de cet astre, c'est-à-dire dans la partie de sa surface la plus éloignée de l'axe autour duquel il tourne sur lui-même; ce sont les *protubérances*, que l'observation des éclipses a révélées au monde savant avant que la méthode spectroscopique de Janssen et Lockyer ait permis d'en faire l'étude continue et systématique. Au delà s'étend la *couronne*. L'éclairement total de cette couronne est difficile à apprécier, par suite des grandes variations de lumière qui accompagnent le phénomène très court de l'éclipse; on a toutefois le comparer à celui de la pleine lune.

On peut distinguer dans la couronne deux régions différentes; la *couronne intérieure*, d'un

blanc d'argent, sur laquelle se détachent les saillies rougeâtres des protubérances; puis, tout autour, une région de moindre éclat, qu'on appelle souvent l'*auréole*, parce que son aspect rappelle un peu les lueurs rayonnées que les peintres dessinent autour de la tête des saints. L'auréole paraît formée de longs panaches, tantôt rectilignes, tantôt recourbés. Il est à noter, d'ailleurs, que, tandis que les protubérances et la photosphère elle-même sont dans un état d'agitation incessante, la couronne, au contraire, paraît invariable pendant toute la durée de l'éclipse; elle laisse, a dit l'astronome Young, l'impression d'une immobilité calme et sereine.

Tel est, dans ses grandes lignes, l'aspect qu'on peut contempler, soit à l'œil nu, soit à l'aide d'une lunette, pendant la totalité de l'éclipse. A la réapparition du soleil, les phénomènes se reproduisent en sens inverse, mais l'œil étant habitué à l'obscurité, ils sont plus faciles à saisir; on distingue mieux le bord dentelé et rose de la chromosphère et des protubérances, et on continue à voir la couronne près d'une minute après la fin de la totalité; puis la lumière réapparaît progressivement, et l'irradiation de la photosphère éteint la lueur des parties moins brillantes.

Mais ceux qui ont détaché leurs yeux de ce qui

se passait dans le ciel ont pu observer, sur la terre même, un phénomène curieux autant qu'inexpliqué, et dont Arago donne la description suivante : « Au moment où l'éclipse allait devenir totale, je vis les derniers rayons du soleil onduler fortement et avec vitesse sur la muraille blanche d'un des établissements militaires du rempart Saint-Dominique. L'effet peut être comparé à celui qu'on observe lorsque la lumière solaire tombe sur un mur ou sur un plafond après avoir été réfléchi à la surface d'une nappe d'eau agitée. Le même phénomène se reproduisit au moment de l'émergence du soleil ; les ondulations, fortes d'abord, s'affaiblirent graduellement et disparurent au bout de cinq à six secondes. » Ces ondulations mobiles ont été vues depuis, à l'occasion de toutes les éclipses, par de nombreux observateurs, on en a même donné des dessins, mais leur origine reste toujours aussi mystérieuse.

*
* *

Il est évident qu'un phénomène aussi merveilleux qu'une éclipse totale n'a jamais pu passer inaperçu : les Anciens avaient bien constaté l'existence de la couronne, et Plutarque nous dit que la lune, en temps d'éclipse, « laisse toujours

déborder autour de sa circonférence quelque lueur qui ne permet pas que les ténèbres soient bien noires et profondes et parfaitement obscures ». On retrouve, au moyen âge, des observations analogues et même plus précises ; elles s'expliquaient alors tout naturellement en admettant que la lune ne couvre pas entièrement le disque solaire, et cette interprétation prévalut jusqu'au jour où l'emploi des lunettes permit des mesures d'angles précises ; il devint dès lors incontestable que, dans certaines éclipses, le diamètre apparent de la lune surpassait nettement celui de la photosphère.

Il fallait donc trouver autre chose ; Képler, par une géniale prescience, avait suggéré un instant l'existence au voisinage du soleil d'une atmosphère d'éther enflammé ; mais il se rabattit bientôt, d'accord avec tous les astronomes de son temps, sur l'hypothèse d'une atmosphère lunaire, que le soleil illuminerait par derrière pendant l'éclipse, de façon à constituer la couronne. Cette opinion était encore soutenue, au xviii^e siècle, par un astronome de mérite, Louville, que l'Académie avait chargé d'aller observer à Londres l'éclipse de 1715 ; Louville avait cru remarquer que les panaches de l'auréole semblaient dirigés suivant les rayons de la lune, et non pas du soleil ; et, entraîné par son hypothèse à laquelle il avait

tenté de rattacher tous les faits observés, il avait attribué à l'atmosphère lunaire une épaisseur de soixante-quatre lieues. Mais l'absence de toute couche gazeuse autour de la lune est actuellement, et depuis longtemps déjà, pleinement assurée; il suffit de suivre la marche des étoiles lorsqu'elles viennent passer au voisinage de notre satellite pour s'assurer, avec la précision très grande des mesures astronomiques, que la trajectoire de leurs rayons n'est aucunement déviée, comme elle le serait par une atmosphère, même très subtile et très mince; et la netteté de l'ombre dans les éclipses de soleil prouve elle-même, péremptoirement, l'absence de toute couche gazeuse autour de notre satellite.

Dans le même temps que Louville mettait en cause « l'air de la lune », d'autres astronomes croyaient pouvoir attribuer la couronne à un phénomène de diffraction : on sait que les rayons lumineux ne se propagent pas rigoureusement en ligne droite, mais que, lorsqu'ils rencontrent un obstacle, la démarcation de l'ombre et de la lumière est moins nette que ne le ferait prévoir l'optique géométrique; cette propriété de la lumière explique une expérience réalisée en 1715 par Delille : on perceait dans l'une des parois d'une chambre noire un trou très étroit du côté exposé

au soleil, et on formait ainsi une image de l'astre sur la paroi opposée. En avant de cette image, on plaçait un disque de plomb de diamètre légèrement supérieur à celui du pinceau lumineux; dans ces conditions, on observait sur le mur l'ombre noire du disque, entourée d'un anneau de luminosité faible et dégradée. Il était naturel de voir dans cette expérience une image de ce qui se passe pendant les éclipses; pour expliquer les inégalités de la couronne, les gloires qui rayonnent sur son pourtour, il suffisait d'imaginer que les irrégularités du disque lunaire laissaient passer plus ou moins la lumière diffractée suivant qu'elles étaient en retrait ou en saillie.

Pas plus que l'hypothèse de l'atmosphère lunaire, celle de la diffraction n'est acceptable; les phénomènes invoqués par Delille existent réellement, mais leurs lois, très bien connues aujourd'hui, ne se prêtent aucunement à l'explication de la couronne ni des protubérances. Cependant le xviii^e siècle s'est contenté des deux explications que nous venons d'indiquer. La science n'avait pas pris alors les habitudes de rigoureuse critique qui ont, depuis un siècle, assuré ses progrès; elle apparaissait comme un passe-temps à l'usage des oisifs. Il n'en est pas moins vrai que

les deux éclipses totales de 1715 et de 1724, visibles toutes deux en France, avaient éveillé un vif mouvement de curiosité ; toutes deux avaient été observées par le roi, entouré des astronomes de l'Académie ; en 1724, Louis XV avait appelé auprès de lui, à Trianon, Maraldi et Cassini, et il avait fait apporter le thermomètre et le baromètre de son cabinet pour observer « les variations qui pourraient arriver pendant l'éclipse, tant dans les degrés de chaud et de froid que dans la pesanteur de l'air ». Il n'est pas difficile d'imaginer les résultats que pouvaient donner des observations conduites dans de pareilles conditions.

Les choses restèrent à peu près en l'état jusqu'en 1842. Les éclipses de 1748 et de 1806 avaient permis une description assez précise des phénomènes, mais il était impossible de les rattacher aux lois générales de la nature, parce que la physique n'était pas née. A l'occasion de l'éclipse de 1842, un homme dont l'influence scientifique était alors reconnue et universelle, François Arago, publia, dans *l'Annuaire du Bureau des Longitudes*, un véritable appel au monde savant. Arago eut l'intuition que l'heure était venue d'étudier les mondes, non plus seulement avec des yeux d'astronomes, mais au point de vue physique. C'est qu'en effet la physique, par l'effort de

Gay-Lussac, de Cavendish, de Faraday, de Fresnel et d'une pléiade de savants telle qu'aucune époque n'a connu la pareille, venait d'entrer en possession de ses lois fondamentales; on savait ce qu'était la lumière, et c'était le point essentiel, puisque c'est par la lumière que nous communiquons avec les régions ultra-terrestres; la photographie venait d'être découverte; la spectroscopie allait naître sous l'effort puissant de Kirchhoff et de Bunsen. Et surtout, l'habitude était prise de la méthode et des procédés scientifiques, qui ne se contentent pas d'à peu près et cherchent des vérifications précises.

Effectivement, c'est de l'éclipse du 8 juillet 1842 que datent les grands progrès de l'astronomie solaire. Observée en France, en Italie, en Autriche, par Airy, Arago, Baily, Fusinieri, elle permit de faire place nette de toutes ces hypothèses, que le xviii^e siècle ne pouvait pas juger; il ne sera plus question désormais des effets de diffraction, non plus que d'une atmosphère lunaire; il est certain que les apparences observées tiennent au soleil lui-même et que, suivant l'expression d'Arago, « on se trouve mis sur la trace d'une troisième enveloppe située au-dessus de la photosphère et formée de nuages obscurs ou faiblement lumineux ».

A dater de ce moment, chaque nouvelle éclipse, étudiée par des missions nombreuses et bien organisées, apporte à la science des résultats nouveaux. Dès 1860, l'emploi de la photographie, dû à Warren de la Rue et à Secchi, permet une étude comparative précise des protubérances et de la couronne, observées de stations différentes et par suite à des moments différents; l'éclipse du 8 août 1868 marque l'application générale de la spectroscopie à l'analyse chimique de la chromosphère et des protubérances, mais elle se signale aussi par une découverte capitale : M. Janssen était à Guntoor, dans l'Inde, pour observer les raies spectrales des protubérances; vivement frappé du brillant éclat de ces raies, il eut l'idée que, peut-être, elles seraient visibles en plein jour; en effet, dès le lendemain, en dirigeant la fente de son spectroscopie le long du contour solaire, il eut le bonheur d'apercevoir les raies brillantes des protubérances. A dater de ce jour, l'étude des éruptions solaires n'était plus à la merci des éclipses; elle pouvait être conduite en tous lieux, partout où le soleil était visible. Toutefois, il ne faut pas oublier que, seules, les radiations les plus intenses, comme celles de l'hydrogène et de l'hélium, se prêtent à cette observation quotidienne; la multitude des raies moins bril-

lantes de la chromosphère et des protubérances, surtout celles situées dans le violet et l'ultra-violet, ne peut être observée qu'à la faveur des éclipses.

*
* *

A partir de la découverte de M. Janssen, les observations faites pendant les éclipses se concentrèrent sur la couronne ; celle-ci, en effet, échappe par la médiocrité de son éclat à l'observation quotidienne, sa faible radiation étant noyée dans la lumière intense de la photosphère, diffusée par notre atmosphère terrestre.

Voyons ce que les éclipses successives nous en ont appris.

La couronne paraît constituée par deux milieux distincts, se pénétrant plus ou moins et évoluant indépendamment. L'un de ces milieux est purement gazeux ; il paraît constituer autour du soleil une atmosphère de forme régulière, quoique aplatie vers les pôles, et dont l'émission lumineuse, vue au spectroscope, se caractérise par de nombreuses raies brillantes : une photographie obtenue en Espagne, lors de la dernière éclipse, en montre plus de cent vingt ; on y relève celles de l'hydrogène, de l'hélium, du titane, du fer, du

magnésium. Mais le spectre de la couronne se distingue encore par une radiation qui lui est propre; c'est une raie verte fort brillante, qui a intrigué tous les observateurs, impuissants à l'attribuer à aucun corps connu. On considère cette raie comme caractérisant un corps nouveau, le *coronium*, et comme la raie du coronium s'observe souvent dans les régions supérieures de l'atmosphère solaire, là où les raies de l'hydrogène lui-même ont cessé d'être observables, on est porté à conclure que ce corps hypothétique serait un gaz encore plus léger que l'hydrogène; la couronne gazeuse serait, en somme, constituée par un mélange de trois gaz principaux, hydrogène, hélium, coronium, injectés de vapeurs métalliques.

L'étude des raies brillantes de la couronne gazeuse nous fournit encore un renseignement précieux : elle nous a révélé la rotation de cette atmosphère. Nous avons vu, dans le chapitre précédent, comment le déplacement des raies, lorsqu'on vise alternativement le bord oriental et le bord occidental de l'astre, a permis de constater la rotation de la photosphère. Appliquée par M. Deslandres aux raies de la couronne, cette méthode a donné des résultats intéressants, puisqu'elle a montré que la couronne gazeuse tourne dans le

même sens que la photosphère, et avec une vitesse du même ordre de grandeur.

Enfin, l'observation directe, complétée par la photographie, a révélé une loi de variation très importante : lors des maxima d'activité solaire, la couronne gazeuse a une extension beaucoup plus grande que lors des minima. Ainsi, en 1874, année voisine d'un maximum, la raie du coronium fut visible à une distance angulaire de plus de quarante-cinq minutes des bords de la photosphère, tandis qu'en 1878, lors d'un minimum, on ne la voyait pas au delà de quinze minutes, et qu'à l'éclipse de 1900, où l'activité solaire était également très faible, on la distinguait à peine à cinq minutes du bord; en 1905, au contraire, l'activité très grande du soleil correspondait à une étendue supérieure de la couronne gazeuse.

Cette variation est-elle reliée à un changement de la masse gazeuse elle-même, ou seulement à une modification de sa luminosité? La première hypothèse semble difficilement acceptable, si on considère la quantité colossale de gaz qui devrait être vomie par les régions centrales en temps d'activité solaire et résorbée en temps d'accalmie. Aussi les savants se sont-ils ralliés provisoirement à la seconde; mais, là encore, de nombreuses divergences théoriques se manifestent. Les uns

voient dans la couronne gazeuse une masse portée à une température élevée, voisine sans doute de trois mille degrés, et lumineuse en raison de cette température; d'autres font intervenir des phénomènes électriques. Il est probable que l'agitation interne des masses gazeuses met en jeu, soit comme cause, soit comme effet, des actions électriques dont les orages de notre atmosphère ne nous donnent qu'une bien faible idée; il est d'ailleurs logique que ces orages solaires soient plus puissants pendant les périodes d'activité maximum; d'où une illumination plus forte et plus étendue de la couronne pendant ces périodes.

Quel serait, maintenant, le mécanisme de cette illumination? Doit-on assimiler l'atmosphère de la couronne aux gaz raréfiés qui, dans les tubes de Geissler, deviennent lumineux par les décharges électriques qui les traversent? Et ces décharges électriques ne seraient-elles pas des ondes herziennes, analogues à celles de la télégraphie sans fil, mais d'une puissance incomparablement plus grande? Autant de problèmes que l'avenir éclaircira peut-être, surtout si on parvient, par un moyen quelconque, à déceler l'arrivée sur notre globe et dans notre atmosphère de radiations d'origine électrique émanées du soleil. A ce

point de vue particulier, le problème de la couronne solaire se relie à celui de l'aurore boréale et aux variations soudaines du magnétisme terrestre, et il n'est pas impossible qu'un jour à venir, une même explication convienne à ces trois ordres de phénomènes, manifestant ainsi l'étroite solidarité qui unit toutes les parties du système solaire.

*
* *

Mais l'atmosphère gazeuse de la couronne n'est pas la partie la plus visible pendant les éclipses totales. Ce qui, alors, attire surtout l'attention, ce sont les panaches rayonnants de l'auréole; ces panaches, examinés au spectroscope, fournissent un spectre continu dont l'origine semble double. Dans les parties les plus éloignées du soleil, ce spectre paraît identique à celui de la photosphère; il présente, comme lui, des raies noires sur un fond de coloration continue et dégradée du rouge au violet; mais, à mesure qu'on s'approche de la chromosphère, le spectre de l'auréole devient plus brillant, en même temps que les raies noires s'atténuent. Cet aspect amène à penser que l'auréole est constituée par une poussière solide qui nous envoie de la lumière de deux manières distinctes : premièrement, elle diffuse dans toutes

les directions de l'espace les radiations reçues de la photosphère, ce qui donne le spectre à raies obscures; et, en second lieu, elle émet directement de la lumière à la façon des corps solides incandescents, c'est-à-dire sous forme de spectre continu et sans raies. La prédominance, variable suivant les régions observées, de la lumière émise ou de la lumière diffusée, rend compte des effets qu'on observe en réalité.

Mais quelle est la cause qui maintient éloignées à une si grande distance du soleil ces poussières solides incandescentes? Telle est la question qui se pose à tous ceux que préoccupent les problèmes de physique solaire. Dès 1871, Young avait montré que le spectre et la forme des rayons coronaux sont tout à fait comparables à ceux que présente la queue des comètes; cette analogie a été confirmée depuis par de nombreuses observations. Or on sait, depuis longtemps, que la queue des comètes est invariablement dirigée à l'opposé du soleil, manifestant par là une répulsion de l'astre sur la matière cosmique qui la constitue. Il paraîtra légitime d'admettre que la même force répulsive s'exerce sur les poussières solides de la couronne dont elle équilibre la pesanteur de manière à leur permettre de s'éloigner à grande distance de leur centre attractif.

Reste à connaître si l'hypothèse est fondée, l'origine de cette force répulsive. On a pensé, tout naturellement, à des actions électriques, mais on a aussi mis en cause une force d'origine toute différente : il y a une vingtaine d'années, Maxwell, puis Bartoli, ont montré que les radiations lumineuses ou calorifiques, tombant sur un corps qui les absorbe, doivent nécessairement les repousser. Cette action, prévue d'abord par des considérations théoriques, est extrêmement faible dans les conditions ordinaires ; elle a été néanmoins observée et mesurée dans des expériences très délicates qui ont pleinement confirmé les vues de Maxwell. Il est donc naturel d'admettre que la radiation intense de la photosphère repousse la poussière cosmique qui constitue l'auréole solaire et la queue des comètes, et cette manière de voir présente l'avantage d'expliquer simplement quelques-unes des apparences observées : on a constaté, en premier lieu, que, contrairement à ce qui se passe pour la couronne gazeuse, le développement de l'auréole était plus accusé pendant les périodes de calme solaire. Or, ces périodes d'accalmie, où les taches sont rares et de petites dimensions, sont aussi, semble-t-il, celles où le rayonnement de la photosphère atteint son maximum ; en même temps doit croître l'ac-

tion répulsive de ce rayonnement sur la poussière coronale. D'autre part, les panaches de l'auréole ne sont pas dirigés suivant les rayons du soleil ; ils semblent s'éloigner de l'axe polaire autour duquel pivote toute la masse du soleil pour s'incurver vers la zone équatoriale, dans le voisinage de laquelle ils s'étendent en longues banderolles. Il semble que cette disposition doive son origine à la force centrifuge développée par la rotation générale du soleil. Cette force, dirigée perpendiculairement à l'axe polaire, doit tendre, en effet, à incliner les rayons coronaux dans sa propre direction et à accroître leur longueur dans les régions équatoriales où elle agit avec le plus d'intensité.

Voici donc qu'entre les faits observés se tisse peu à peu un réseau d'hypothèses : toile encore bien fragile et que la moindre constatation contraire suffira à détruire. Peu importe, ceux-là mêmes qui ont imaginé ces hypothèses sont les premiers à souhaiter le contrôle des faits. On comprend alors pourquoi chaque éclipse de soleil est attendue avec tant d'impatience, et son observation préparée avec tant de soin ; c'est qu'elle n'est pas une réédition des constatations déjà faites ; elle permet d'observer les faits à la lumière des hypothèses nouvelles, qui seront alors, ou

condamnées sans appel, ou confirmées provisoirement en attendant que les éclipses ultérieures permettent de les soumettre à de nouvelles épreuves et de préciser leurs divers points.

Ainsi, peu à peu, l'apport des faits nouveaux recule la zone indécise qui sépare les choses connues et classées scientifiquement de l'étendue infinie des choses ignorées. Dans cette zone littorale, la science ne progresse que grâce à des constructions fragiles et passagères d'hypothèses ; mais le labeur des savants y est, plus qu'ailleurs, actif et profitable, car, suivant l'expression de Duclaux : « C'est parce qu'elle n'est sûre de rien que la science avance toujours ».

LA VOIE LACTÉE

L'astronomie est, de toutes les sciences, la plus belle ; mais ses beautés sont secrètes : les mathématiques l'enveloppent d'un voile, trop opaque pour beaucoup. Ce qu'elle daigne en laisser voir forme la Cosmographie ; mais, limitée à l'étude du système solaire, la Cosmographie ne voit dans les étoiles que les sentinelles immobiles qui gardent les routes du ciel ; elle ne nous dit rien de leurs transformations ; elle ne nous montre pas qu'elles forment une armée qui a son unité et sa vie. L'enseignement a ses nécessités, pourtant on ne doit pas, sous prétexte de simplifier l'exposition des faits, nous laisser croire que, seul dans le monde, notre système solaire est ordonné et vivant.

On le doit d'autant moins que notre expérience personnelle semble nous prouver le contraire. A première vue, le désordre paraît absolu dans notre Univers; les constellations aux noms ridicules, aux formes bizarres, entre lesquelles on a divisé le ciel, ne font que trahir notre impuissance à débrouiller ce chaos, d'autant plus inextricable que notre vue peut y plonger plus avant. On compte à peu près six mille étoiles visibles à l'œil nu; ce sont les astres classés par degrés descendants dans les six premières grandeurs¹. Les bonnes lunettes permettent d'apercevoir les astres jusqu'à la onzième grandeur et montrent dans le ciel plusieurs millions d'étoiles; enfin le célèbre télescope d'Herschell, l'appareil le plus puissant qui ait jamais été construit, portait la vue jusqu'à un milliard de fois le diamètre de l'orbite terrestre

1. On dit que la grandeur de deux étoiles diffère d'une unité lorsque le rapport des intensités lumineuses des deux astres, vus de la terre, est 2,5. Ainsi les étoiles de deuxième grandeur sont deux fois et demie plus brillantes que celles de troisième grandeur, et deux fois et demie moins que celles de première grandeur. On peut d'ailleurs prolonger dans les deux sens cette échelle de grandeurs par l'emploi des nombres négatifs. Ainsi, Aldébaran, dans la constellation du Taureau, étant choisie pour définir la grandeur *un*, la petite étoile 70 de la Baleine, que l'œil distingue à peine, sera de sixième grandeur; Véga de la Lyre, plus brillant qu'Aldébaran, sera caractérisée par le nombre 0,2, Arcturus par le nombre 0 et Sirius, plus éclatant encore, sera de grandeur $-1,4$. Le soleil, mesuré à la même échelle, serait un astre de grandeur -27 , c'est-à-dire qu'il nous envoie soixante milliards de fois plus de lumière que Véga.

et révélait des étoiles dont la lumière met plus de deux mille ans à venir jusqu'à nous; devant cet instrument, le firmament se peuplait de milliards d'étoiles.

Seule, dans ce fourmillement de mondes, la voie lactée nous donne l'impression du continu; cette longue traînée blanchâtre, qui fait le tour du ciel, présente pourtant les méandres les plus variés; sa largeur apparente varie du simple au quadruple, et elle se divise en deux branches sur le tiers de sa longueur. Mais sa continuité n'est qu'une illusion; vue au télescope, elle se résout en un fouillis d'étoiles plus ou moins dense. Il n'en reste pas moins que sa ligne moyenne est sensiblement un grand cercle de la sphère céleste qui forme un angle de 60 degrés avec le plan de notre équateur; on l'a désigné sous le nom de *cercle galactique*; ainsi, la voie lactée nous apparaît comme un immense anneau qui ceinture notre monde, et qui, seul, semble représenter l'ordre dans le chaos de l'Univers.

*
* *

Elle le représente plus qu'un examen superficiel ne porterait à le croire. Mais, pour comprendre le rôle véritable de la voie lactée, il faut

abandonner la vieille représentation qui enchâsse les étoiles sur un firmament sphérique ayant pour centre la terre ; il faut définir la position vraie de chaque astre, non seulement par sa direction, mais encore par sa distance à notre globe.

La méthode qui sert à déterminer la distance des objets inaccessibles est bien simple en son principe ; elle consiste à viser l'objet de deux points de vue différents et à mesurer l'angle des deux lignes de visée ; cet angle, qu'on appelle la *parallaxe*, est d'autant plus grand que le point visé est plus rapproché et que la base, c'est-à-dire la distance des deux points de vue, est plus grande. Cette méthode est, en somme, celle-là même que nous utilisons instinctivement dans la vision binoculaire, en prenant pour base la distance de nos deux yeux. Mais plus le point à repérer est éloigné, plus est grande la base qu'il faudra adopter, si l'on veut que la parallaxe soit mesurable ; pour déterminer les distances stellaires, que nous savons d'avance être énormes, aucune base ne saurait être trop grande ; heureusement, la terre, dans sa révolution annuelle, se charge de déplacer notre point de vue ; on visera donc l'étoile des deux extrémités de l'orbite annuelle de la terre, distantes entre elles de trois cent millions de kilomètres.

Malgré les dimensions de cette base, les efforts des astronomes, depuis Tycho-Brahé jusqu'au milieu du XIX^e siècle, laissaient planer sur la valeur et sur l'existence même des parallaxes stellaires une indécision inquiétante parce que les nombres trouvés étaient assez petits pour qu'on pût les attribuer aux erreurs inévitables des mesures. Mais, par bonheur, il existe une méthode, indiquée jadis par Galilée, et appliquée pour la première fois en 1835, par Struve, qui permet d'apporter dans les mesures une plus grande exactitude et, par suite, de lever toutes les hésitations.

Considérons l'ensemble formé par une étoile brillante et deux ou trois étoiles moins éclatantes, qui paraissent l'entourer de très près. Bien que nous ne sachions rien avec certitude sur leurs distances à la terre, il y a cependant une forte présomption pour que l'étoile brillante soit la plus rapprochée de nous, tandis que les autres sont à des distances bien supérieures. Prenant comme point de départ cette hypothèse, nous en déduisons que les petites étoiles, dont la parallaxe est négligeable, devront nous paraître immobiles dans le ciel quand la terre décrira son orbite, tandis que l'étoile plus rapprochée paraîtra s'être déplacée; nous devons donc pouvoir constater,

pour cette étoile, une oscillation annuelle par rapport aux petites étoiles. De fait, il est facile de mesurer la petite distance angulaire de ces étoiles très voisines : une vis micrométrique, qui permet de déplacer le réticule de la lunette jusqu'au contact avec les étoiles considérées, donnera leurs distances angulaires avec une approximation de deux ou trois centièmes de seconde; une précision analogue peut être obtenue par des mesures directes, faites sur des photographies du groupe stellaire considéré.

Struve, puis Bessel, ont précisé les détails de cette méthode, et on connaît aujourd'hui plus de cinquante parallaxes d'étoiles; la précision des mesures a même été poussée à un degré tel que M. Kapteyn, astronome à Groningue, considère comme possible la détermination des parallaxes pour les huit cent mille étoiles comprises entre la première et la dixième grandeur. Nous donnons ici, à titre d'exemple, quelques-unes de ces parallaxes, avec la distance qu'on en déduit, de l'étoile au groupe solaire; mais cette distance n'est pas évaluée en unités ordinaires; il faudrait aligner, pour l'exprimer, même en millions de kilomètres, un nombre incalculable de zéros. Nous prendrons comme unité l'année de lumière, c'est-à-dire l'espace que la lumière, se propageant à raison de

300 000 kilomètres à la seconde, parcourt en une année, soit près de dix trillions de kilomètres :

Étoile.	Grandeur.	Parallaxe.	Années de lumière.
Sirius	— 1,4	0",39	8
Arcturus..	0	0",02	163
Le Centaure	0,7	0",75	4
Aldébaran	1	0",32	6
La Polaire	1,15	0",07	47
γ Cassiopée	3,6	0",15	22
85 Pégase.	5,8	0",05	63

La connaissance des parallaxes stellaires nous permet en même temps de prendre une idée assez approchée des dimensions réelles des étoiles. Supposons, par exemple, notre soleil éloigné à la distance à laquelle se trouve Sirius; il nous sera facile de calculer quelle lumière il nous envoie dans cette nouvelle position. Or, le soleil et Sirius étant des étoiles comparables, donnant le même spectre, il est naturel de supposer qu'ils émettent, à égalité de surface, la même quantité de lumière; par suite, les rayonnements reçus de ces deux astres, s'ils sont placés à la même distance, doivent être proportionnels à leurs surfaces; on peut calculer l'un, mesurer l'autre. On trouve ainsi que le diamètre de Sirius vaut approximativement onze millions de kilomètres, sept fois environ le diamètre du soleil.

Ainsi, en attendant les mesures systématiques

demandées par M. Kapteyn, on a déjà effectué en différents points du ciel de nombreuses prises d'essai, depuis les étoiles les plus brillantes jusqu'à la sixième grandeur; on en sait déjà assez pour pouvoir affirmer que les dimensions des étoiles, quoiqu'en moyenne un peu supérieures à celles du soleil, leur sont cependant comparables : le soleil est donc une unité relativement petite dans le monde stellaire.

En même temps, nous acquérons cette notion nouvelle que le ciel est, en moyenne, homogène; les étoiles voisines de nous ne sont, en général, ni plus grosses, ni plus petites que les étoiles éloignées. Cette remarque est importante parce que, généralisée, elle permet de porter les sondages du ciel jusqu'aux limites du monde visible. Si nous considérons le ciel comme rempli d'étoiles égales entre elles et également réparties dans l'espace, on conçoit que, les plus brillantes étant nécessairement les plus rapprochées, il serait possible de déterminer la proportion des étoiles de chaque grandeur; on arrive ainsi à calculer que, dans ce firmament idéal, le nombre des étoiles d'une certaine grandeur serait quadruple de celui de la classe immédiatement supérieure en éclat. Or, c'est effectivement ce qu'on constate, si on laisse de côté les étoiles des premières grandeurs, trop

peu nombreuses pour qu'on puisse éliminer le hasard des cas particuliers : on compte 321 étoiles de quatrième grandeur, 1238 de cinquième, 4890 de sixième grandeur; ces nombres varient bien suivant une progression géométrique dont la raison est 4; notre hypothèse sur l'homogénéité approximative du ciel se trouve ainsi confirmée.

Nous sommes donc en possession de deux méthodes pour évaluer la distance des étoiles; l'une, plus précise, basée sur la mesure des parallaxes, n'a pu encore être appliquée qu'à un nombre d'astres très restreint; la seconde, bien moins rigoureuse, mais applicable au firmament tout entier, nous permet d'apprécier la distance des astres d'après leur éclat. Il nous est possible, dès lors, d'imaginer une sorte de plan en relief de l'Univers, dans lequel chaque étoile serait figurée à sa place véritable; et si nous pouvions, nous plaçant en dehors de cette réduction de notre monde, l'examiner dans son ensemble, voici comment elle nous apparaîtrait :

Nous verrions une sorte de brouillard, qui, formé de points brillants isolés, présenterait une densité très irrégulière, mais sa forme générale serait assez bien délimitée. Imaginez une grosse lentille, ceinturée, dans sa région la plus large, par deux anneaux légèrement inclinés l'un sur l'autre.

Nous ne connaissons actuellement que la partie intérieure de ces anneaux, seule accessible aux plus puissants de nos instruments d'optique. Le système solaire se trouve à l'intérieur de la lentille : bien que situé dans une région relativement pauvre en étoiles, il n'en est pas pas moins plongé profondément dans l'amas ; mais il n'en occupe pas le centre.

Et maintenant, si nous revenons à l'intérieur de ce microcosme, sur le point brillant où nous avons marqué la place du système solaire, nous comprendrons aisément l'aspect que présente, vu de la terre, le ciel étoilé. Lorsque nos yeux se portent dans la direction de plus grande largeur de cette nébuleuse cosmique, c'est-à-dire dans le plan du cercle galactique, nous apercevons tout un fourmillement d'étoiles : les astres ne sont pas plus serrés dans cette direction, mais ils s'y étendent sur une plus grande profondeur ; en même temps, les deux anneaux extérieurs nous apparaissent comme deux traînées laiteuses. Ces anneaux nous sembleraient entièrement distincts si nous étions placés au centre du monde, sur Alcyone, mais, du point que nous occupons, la perspective les fait se recouvrir partiellement ; ainsi s'explique le dédoublement du tiers de la voie lactée. Et si nos yeux se portent ensuite vers

d'autres régions du ciel, ils n'y trouveront qu'un firmament plus pauvre en étoiles; c'est que le rayon visuel traverse alors l'amas central dans sa partie aplatie, c'est-à-dire suivant la petite épaisseur de notre nébuleuse; c'est par suite dans ces directions que les étoiles doivent être le plus clairsemées; de même, quand on pénètre à l'orée d'un bois, on a devant soi la multitude innombrable des arbres, alors qu'en arrière, quelques troncs seulement se profilent sur le ciel.

Ainsi, le chaos des étoiles s'ordonne, et nous en saisissons l'unité. Le double anneau et l'amas intérieur forment un tout; la voie lactée embrasse et comprend tout notre Univers; elle forme la grande nébuleuse à laquelle nous appartenons avec toutes les étoiles accessibles à nos investigations.

*
**

Cette solidarité des mondes qui constituent la voie lactée ne s'est encore manifestée à nos yeux que par des raisons géométriques; nous allons maintenant la voir s'affirmer par des raisons plus probantes encore, par des raisons mécaniques.

La fixité des étoiles n'est qu'une apparence, due à leur éloignement extrême; il n'y a pas d'étoiles

immobiles; toutes sont animées de mouvements de translation. Or, nous avons actuellement des moyens pour déterminer ces mouvements, en grandeur et en direction, car nous savons évaluer la vitesse d'une étoile, soit perpendiculairement au rayon lumineux qui nous vient de cette étoile (c'est ce que l'on appelle la vitesse tangentielle), soit dans la direction même de ce rayon (c'est la vitesse radiale).

Le déplacement tangentiel peut être révélé par des mesures d'angle. Une étoile animée d'un semblable mouvement doit varier en ascension droite et en déclinaison. Halley soupçonna le premier, en 1718, cette variation pour Aldébaran, Sirius et Arcturus; Cassini, vingt ans après, la mit hors de doute pour cette dernière étoile en comparant les observations faites par Richer, en 1672, avec les siennes propres. Depuis, les recherches du grand Herschell et d'une foule d'observateurs ont permis de tracer sur la sphère céleste les déplacements d'un grand nombre d'étoiles. Naturellement, les plus brillantes, qui sont aussi les plus rapprochées, sont celles qui donnent les plus grands déplacements angulaires; les étoiles situées aux confins de notre ciel paraissent pratiquement immobiles: et cette remarque permet d'appliquer aux déplacements stellaires la

méthode que nous avons indiquée précédemment pour la mesure des parallaxes puisqu'il sera possible, et plus exact, de déterminer les déplacements d'une étoile brillante et rapprochée, en rapportant sa position à celles d'étoiles de référence voisines, assez petites pour qu'on puisse négliger leur déplacement angulaire sur la voûte céleste.

D'un autre côté, la vitesse radiale des étoiles peut être mesurée par le spectroscopie, en utilisant le même principe qui a permis de constater la rotation du soleil sur lui-même. Les spectres des étoiles sont analogues à ceux du soleil, c'est-à-dire constitués d'une suite continue de couleurs, hachées transversalement par des raies noires, caractéristiques des différents corps simples qui entrent dans l'atmosphère absorbante de ces étoiles; or, ces raies se déplacent légèrement, soit vers le violet, soit vers le rouge, suivant que l'objet visé et l'observateur se rapprochent ou s'éloignent l'un de l'autre; de la grandeur de ce déplacement on peut déduire la vitesse radiale de l'étoile par rapport à la terre. Il est facile ensuite de déduire de cette vitesse celle qui se rapporte aux mouvements diurne et annuel de la terre, et enfin, de déterminer, par la composition de la vitesse tangentielle et de la vitesse radiale, les mouvements vrais des étoiles par rapport au

soleil. Ces mouvements, dont la vitesse est comprise entre dix et cinquante kilomètres par seconde, ont toutes les orientations possibles; ils ne sont pourtant pas distribués au hasard.

Occupons-nous d'abord du soleil. Si cet astre était rigoureusement immobile, les mouvements des autres astres par rapport à lui devraient présenter toutes les orientations et toutes les grandeurs, sans qu'aucune direction fût privilégiée; cela résulte de ce que le soleil est loin d'être un astre à part dans la voie lactée et de jouer un rôle prépondérant dans les mouvements du ciel. Mais supposez, au contraire, que le soleil ait un mouvement propre; les étoiles qui se meuvent dans la même direction avec la même vitesse paraîtront immobiles par rapport à lui; celles qui se déplacent en sens inverse sembleront au contraire se mouvoir plus rapidement; ainsi, la distribution moyenne des vitesses stellaires rapportées au soleil présentera une direction privilégiée, qui est celle du mouvement propre du soleil. Pareillement, si vous restez immobile au milieu d'une foule agitée en tous sens, tous les promeneurs s'approchent de vous et s'en éloignent avec la même vitesse dans toutes les directions. Mais si vous marchez vous-même, les promeneurs qui cheminent dans la même direction vous paraîtront

se rapprocher plus vite ou s'éloigner plus lentement, que ceux qui suivent des chemins obliques.

Tel est, réduite à son principe, la méthode qui a été appliquée par W. Herschell, Argelander et Airy. Elle indique que le soleil se dirige avec une vitesse voisine de 12 kilomètres par seconde, vers un point occupant le milieu de la constellation d'Hercule, dans l'hémisphère nord. Ce point a reçu d'Herschell le nom d'*apex* parce que le soleil, en se rendant vers lui, s'élève dans le ciel.

Le mouvement propre du soleil étant ainsi défini, il devient possible de déterminer celui de chacune des étoiles dont on connaît le mouvement relatif par rapport au soleil. On constate que chacune a son apex, vers lequel elle tend inlassablement; chacune a sa vitesse; la vitesse d'Aldébaran, une des plus grandes qu'on ait déterminées, atteint 48 kilomètres à la seconde. En moyenne, les étoiles les plus brillantes du ciel se meuvent à raison de 25 kilomètres par seconde; le soleil peut donc être rangé au nombre des étoiles à faible déplacement.

Et maintenant, une question se pose : Quelle est la loi de tous ces déplacements? Est-elle si compliquée qu'elle équivaudrait au hasard? Nous manquons encore de bases pour résoudre cet important problème; mais un aperçu fort original

de Mädler, astronome à Dorpat, mérite de fixer l'attention.

Mädler constate que tous les systèmes soumis à la loi de la gravitation universelle sont animés d'un mouvement de rotation autour d'un centre; ce centre peut être, non seulement un corps réel, comme dans notre système solaire, mais aussi un point géométrique, origine fictive des actions attractives, comme le cas se produit dans les systèmes d'étoiles doubles ou multiples dont aucune n'est prédominante. Or, le système de la voie lactée paraît bien présenter la régularité géométrique d'un ensemble soumis à une même loi attractive, et on peut alors se demander dans quelle région de l'espace se trouverait ce « soleil central », comme le nomme Mädler, qui commanderait les mouvements de tous les autres soleils. Il faut évidemment le chercher dans la région où les étoiles ont la moindre vitesse de translation, puisqu'elles doivent se mouvoir d'autant plus vite qu'elles sont plus éloignées du centre attractif; or, cette propriété est possédée par les étoiles du groupe des Pléiades, qui se trouvent dans notre hémisphère boréal et font partie de la constellation du Taureau. Les Pléiades forment un des plus beaux essaims d'astres qui soient dans le ciel; on y distingue à l'œil nu six étoiles, mais la photo-

graphie ou l'emploi des lunettes en révèle plus de deux mille, rassemblées en un espace fort restreint du ciel. Parmi ces étoiles, la plus belle, Alcyone, a un déplacement presque nul; c'est pourquoi Mädler a considéré Alcyone comme le soleil central de notre système stellaire, mais sans vouloir indiquer par là qu'elle commande les mouvements du monde comme notre soleil maîtrise les planètes qui lui font cortège.

Nous pouvons donc regarder comme vraisemblable que la nébuleuse lactée tourne d'un mouvement d'ensemble autour d'Alcyone et que le cercle galactique est, dans le système stellaire, l'analogue du plan de l'écliptique dans le système solaire. Notre soleil, en particulier, décrit une vaste orbite dont le rayon est voisin de 192 années de lumière, avec une durée de révolution de 22 millions d'années, comptant par suite à peu près autant d'années terrestres qu'une de celles-ci contient de secondes; il ne faut pas oublier que ces résultats numériques sont hypothétiques et ne peuvent être acceptés que pour donner une idée de la grandeur de ces mouvements. En tous cas, ils nous montrent que les étoiles de la nébuleuse lactée ne sont pas indépendantes, et que l'attraction universelle établit entre elles la même solidarité que celle qui unit les astres du groupe solaire.

Il nous reste à montrer quelle variété de types se trouvent réunis dans le ciel où une première observation ne nous montre que de simples points brillants.

*
* *

Voici d'abord les nébuleuses. Elles se manifestent à nous sous l'aspect de nuages d'un blanc laiteux, mal délimités sur les bords, parfois condensés en un certain nombre de régions plus brillantes, qui apparaissent comme des étoiles entourées d'une auréole. Les unes, de forme irrégulière, envoient en tous sens les filets blanchâtres d'une sorte de chevelure; d'autres ont la forme de globules aplatis, que nous voyons tantôt par la tranche, tantôt de biais ou par la face.

Le nombre des nébuleuses est considérable; on en compte actuellement plus de huit mille, et il ne se passe pas d'année sans qu'on en découvre de nouvelles. Un astronome américain, M. Swift, en a catalogué à lui seul près d'un millier; à l'observatoire de Paris, M. Bigourdan a entrepris de fixer les positions précises de toutes ces nébuleuses, dont plusieurs milliers sont déjà minutieusement repérés.

A quelle distance de nous gravitent ces amas

cosmiques? Ils nous paraissent aux confins du monde; en tous cas, il n'en est aucun dont on ait pu, jusqu'à présent, déterminer la parallaxe; d'ailleurs, l'aspect diffus de leur contour rendrait une détermination de cette nature particulièrement difficile. Mais M. Keeler a pu déterminer la vitesse radiale d'une quinzaine de nébuleuses, en observant le déplacement des raies spectrales; ces vitesses se sont trouvées voisines de 50 à 60 kilomètres par seconde. Si, comme tout porte à le croire, les vitesses tangentielles sont du même ordre de grandeur, on pourra peut-être un jour apprécier la distance qui nous sépare de ces nébuleuses. Si cette distance n'est pas plus grande que vingt millions de fois celle de la terre au soleil, le mouvement tangentiel aura, dans cent années, déplacé les nébuleuses dans le ciel de l'espace que recouvre l'épaisseur d'un des fils d'araignée tendus au foyer de nos lunettes; peut-être un siècle sera-t-il insuffisant pour apprécier ce déplacement; mais les astronomes sont patients et, d'ailleurs, on peut toujours espérer qu'ils sauront découvrir de nouvelles méthodes ou, tout au moins, perfectionner les anciennes.

Lorsque le grand Herschell commença à attaquer les nébuleuses avec des instruments de plus en plus puissants, il constata qu'un grand nombre

d'entre elles se réduisaient à des agglomérations d'étoiles; il les désigna sous le nom de *nébuleuses résolubles* et la question se posa longtemps de savoir si toutes les nébuleuses ne pourraient pas se résoudre en étoiles par l'emploi de pouvoirs amplificateurs suffisants. L'emploi du spectroscope a permis de donner une réponse certaine à cette question, et la gloire de cette découverte revient à l'astronome anglais Huggins. Huggins montra, en 1864, que certaines nébulosités, examinées au spectroscope, donnent le spectre continu, strié de raies noires, qui caractérise le soleil, les étoiles et la matière déjà condensée, tandis que le spectre des autres se compose de raies brillantes sur fond obscur : c'est le spectre de la matière à l'état de gaz ou de vapeur. Ces dernières nébuleuses, qu'aucun télescope ne pourra jamais résoudre, paraissent constituer la forme primordiale de la matière en voie de condensation, l'œuf gigantesque d'où plus tard sortiront les étoiles.

Ces vues, si conformes aux hypothèses cosmogoniques de Kant et de Laplace, ont reçu dans ces derniers temps de remarquables confirmations. M. Huggins, en étudiant le spectre de certaines étoiles d'Orion, y a vu des raies brillantes qui s'étendent jusque dans la nébulosité qui entoure ces étoiles; Orion serait donc une nébuleuse en

voie de condensation. Il en serait de même des Pléiades : les photographies de ce groupe, obtenues par MM. Henry à l'observatoire de Paris, montrent des filets de matière nébuleuse, allant d'une étoile à l'autre, comme un reste de substance cosmique survivant à la condensation. Des photographies de la nébuleuse d'Andromède ont de même révélé dans son intérieur plusieurs anneaux gazeux, entourant une masse centrale, énorme et mal définie.

Ainsi, le ciel semble nous offrir de nombreuses transitions entre la nébuleuse purement gazeuse et l'étoile proprement dite. Une des plus remarquables parmi ces formes de transition est l'*amas globulaire*. Ces agglomérations d'étoiles, par leur isolement sur le fond obscur du ciel, par leur forme régulière, en général circulaire ou elliptique, imposent à l'esprit la conviction qu'ils constituent des systèmes indépendants; l'amas d'Omega du Centaure est visible à l'œil nu sous forme d'une nébuleuse ronde, dont l'éclat est voisin de celui d'une étoile de quatrième grandeur; mais avec un fort grossissement, il se résout en une agglomération d'étoiles de la treizième à la quinzième grandeur. Sur les photographies, on y peut compter jusqu'à six mille étoiles; ce nombre est certainement inférieur au nombre réel, parce que, dans

le centre de l'amas, nombre de points lumineux doivent se superposer.

Après les nébuleuses, les étoiles. Les étoiles, comme les nébuleuses, présentent une variété d'aspects qui nous révèle la variété de leur structure. A l'œil nu, nous en voyons de blanches, de jaunes, de rougeâtres et d'autres dont la couleur tire, tantôt sur le vert, tantôt sur le bleu ; dans le voisinage de la croix du Sud, 170 étoiles se trouvent renfermées dans un espace égal à un quarantième de degré carré ; une vingtaine des plus brillantes offrent toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, si bien que cet ensemble a pu être comparé à un splendide bijou chargé de pierres de toutes les eaux.

Ces différences de coloration, dont le spectroscope permet de pousser plus loin l'analyse, paraissent en relation avec la température, une même étoile devenant successivement, à mesure qu'elle se refroidit, bleue, blanche, verte, jaune, puis rouge. Nous voyons par là que les différentes parties de la nébuleuse primitive sont loin d'avoir vieilli avec la même vitesse. On rencontre même, chemin faisant, un résultat dont notre logique peut s'étonner, mais qu'il faut bien admettre et qui devra rentrer dans le cadre de nos explications cosmogoniques : si nous considérons un

groupe d'étoiles voisines, paraissant bien avoir la même origine, il semblerait naturel que les plus refroidies fussent les plus petites ; pourtant il n'en est rien ; aucune relation simple n'apparaît entre les grandeurs des étoiles et leur coloration ; le groupe ζ d'Orion comprend six étoiles : A, de quatrième grandeur, est blanc ; B, de huitième grandeur, bleu ; C, de septième grandeur, rouge vineux ; D, de huitième grandeur, rouge sombre ; E, de neuvième grandeur, blanc, et F, de huitième grandeur, gris pâle.

Mais la plus riche moisson de découvertes est celle qu'on a recueillie en étudiant les étoiles à éclat variable. Rien ne nous donne, plus que cette étude, la sensation de la vie intense qui anime les plaines du ciel.

Parfois, des astres s'allument, qu'on n'avait jamais connus : ce sont les étoiles nouvelles, ou *temporaires*, ainsi nommées parce qu'elles semblent n'être nées que pour s'éteindre aussitôt, ou pour devenir à peine visibles. L'étude systématique de ces *novæ* a pu être menée à bien par la photographie ; miss Fleming, à l'observatoire d'Harvard College, a pu en découvrir une dizaine à elle seule. L'apparition de semblables étoiles a toujours frappé les hommes d'un profond étonnement, mêlé d'angoisse ; ils y ont vu « des présages

dans le ciel » et l'annonce de grands événements sur la terre; l'une d'elles a pu, par une heureuse fortune, être observée par un des plus grands astronomes de tous les temps, Tycho-Brahé; c'est la célèbre *Pélerine*. Voici, d'après Tycho-Brahé lui-même, le récit de cette observation mémorable.

Lorsqu'en 1572 je quittai l'Allemagne pour retourner dans les îles danoises, je m'arrêtai dans l'ancien cloître admirablement situé d'Herritzwaldt, appartenant à mon oncle Sténon Bill, et j'y pris l'habitude de rester dans mon laboratoire de chimie jusqu'à la nuit tombante.

Un soir, le 15 novembre 1572, que je considérais, comme à l'ordinaire, la voûte céleste dont l'aspect m'est si familier, je vis avec un étonnement indicible, près du zénith, dans Cassiopée, une étoile radieuse d'une grandeur extraordinaire. Frappé de surprise, je ne savais si j'en devais croire mes yeux. Pour me convaincre qu'il n'y avait point d'illusion et pour recueillir le témoignage d'autres personnes, je fis sortir les ouvriers employés dans mon laboratoire et je leur demandai, ainsi qu'à tous les passants, s'ils voyaient comme moi l'étoile qui venait d'apparaître tout à coup. J'appris plus tard qu'en Allemagne, des voituriers et autres gens du peuple avaient prévenu les astronomes d'une grande apparition dans le ciel, ce qui a fourni l'occasion de renouveler les railleries accoutumées contre les hommes de science.

L'étoile nouvelle était dépourvue de queue; aucune nébulosité ne l'entourait; elle ressemblait en tous points aux autres étoiles; seulement elle scintillait encore plus que les étoiles de première grandeur. Son éclat surpassait celui de Sirius, de la Lyre et de Jupiter; on ne pouvait le

comparer qu'à celui de Vénus quand elle est le plus près possible de la terre. Les distances de cette étoile à d'autres de Cassiopée, que je mesurai l'année suivante avec le plus grand soin, m'ont convaincu de sa complète immobilité.

A partir du mois de décembre 1572, son éclat commença à diminuer; elle était alors égale à Jupiter, mais, en janvier 1573, elle était devenue moins brillante que lui; elle atteignait la deuxième grandeur en avril et mai, la troisième en juillet et août, la quatrième en novembre, la sixième en février 1574. Le mois suivant, l'étoile disparut sans laisser de traces à la simple vue, après avoir brillé pendant dix-sept mois.

Depuis, nul ne l'a plus revue et le phénomène observé par Tycho-Brahé serait resté inexplicable si d'autres observations n'étaient venues nous mettre sur la voie. En 1638, Halwarda découvrit dans la Baleine une étoile de troisième grandeur, qui disparut au bout de quelques mois : en 1639, il la revit à la même place, et avec le même éclat. Elle s'évanouit encore pour réapparaître de nouveau et, depuis Halwarda, il en a toujours été de même. Cette étoile merveilleuse, Mira Ceti, est périodique, visible pendant quatre mois, invisible pendant sept autres; sa périodicité est donc de onze mois.

Depuis, on a découvert de nombreuses étoiles périodiques, près de deux cents, dont la période est comprise entre deux ans et quelques heures. On

a aussi découvert de nombreuses étoiles dont la période est irrégulière ou inconnue. Toutes ces observations nous donnent une base pour résoudre l'énigme posée par la Pèlerine ; si nous expliquons la nature des étoiles périodiques, nous pourrons aussi bien comprendre celle des étoiles temporaires, en les considérant comme ayant une période supérieure à la durée de nos observations ; il est possible d'ailleurs que des perturbations causées par des astres voisins agissent sur la période pour lui donner l'allure compliquée qu'on a observée dans certains cas.

Parmi les étoiles variables, il en est une dont la loi de périodicité est particulièrement simple : c'est Algol, dans la constellation de Persée. Algol ne s'éteint jamais ; pendant deux jours et demi, son éclat reste fixe et de deuxième grandeur, puis il varie pendant neuf heures, avec un minimum de dix-huit minutes durant lequel l'éclat se réduit à celui d'une étoile de quatrième grandeur, après quoi l'astre reprend son éclat primitif ; ainsi Algol se caractérise par un éclat constant, avec éclipses partielles.

Bien des explications ont été mises en avant pour rendre compte de cette apparence. Dès 1667, Bouillaud soutenait que les étoiles n'ont pas une surface uniformément lumineuse et qu'en tour-

nant sur leur axe, elles nous présentent des proportions de leur disque douées de pouvoirs éclairants qui diffèrent. L'existence des taches solaires semble donner quelque consistance à cette explication qui fut reprise par Zöllner. Maupertuis, d'une façon plus hasardeuse, comparait les étoiles périodiques à des meules qui nous présentent tantôt leur tranche, tantôt leur disque. Mais une autre hypothèse, soutenue et développée avec beaucoup de talent par Pickering, considère Algol comme un système binaire formé d'une grande étoile brillante et d'une étoile plus petite et sombre; dans la rotation de ce système, l'astre obscur recouvre, « occulte », partiellement l'astre brillant et cause la diminution d'éclat observée. En appliquant à cette hypothèse les données de l'expérience et les lois de la gravitation universelle, on arrive aux conclusions suivantes : le compagnon obscur d'Algol aurait le diamètre du soleil, l'étoile lumineuse elle-même ayant un diamètre plus grand d'un cinquième; les deux étoiles, distantes entre elles de cinq millions de kilomètres, tourneraient autour d'un centre situé à peu près aux trois quarts de la distance qui les sépare; enfin, on peut même calculer les masses et les densités des deux étoiles, de telle sorte que, moyennant l'hypothèse de Pickering, le système binaire d'Algol

serait presque aussi bien défini que notre système solaire.

Mais il manquait à ces déductions une confirmation expérimentale; elle ne se fit pas longtemps attendre. Vogel observa le spectre d'Algol à l'instant où, dans l'hypothèse de Pickering, la vitesse radiale est la plus grande, c'est-à-dire un quart de période avant ou après l'occultation; il put constater un déplacement sensible des raies spectrales, déviées vers le rouge un quart de période avant le minimum, vers le violet un quart de période après. Ainsi, pendant la durée présumée de sa rotation, Algol a une vitesse variable dirigée tantôt vers nous, tantôt en sens contraire. Il est donc acquis que l'étoile brillante tourne autour d'un astre invisible pour nous, et l'hypothèse de Pickering passe au rang des vérités acquises à la science.

Toutes les étoiles variables soulèvent des problèmes analogues à celui dont nous venons de parler; le cas le plus fréquent est celui d'une variation continue de lumière avec période longue ou courte. L'étude spectroscopique montre encore dans ce cas que l'étoile variable décrit une trajectoire fermée; mais l'occultation par un compagnon unique ne paraît pas pouvoir expliquer la variation continue de l'éclat, du moins en suppo-

sant les astres sphériques et les orbites circulaires. Une hypothèse ingénieuse, qui emprunte une grande autorité au nom de son défenseur, sir Norman Lockyer, suppose que chacun des corps tournant autour du centre commun est constitué lui-même par un essaim de météorites dont l'agglomération devient de plus en plus dense de la périphérie vers le centre ; la pénétration de ces deux essaims produit dans ce cas une variation continue de luminosité ; elle provoque en même temps un grand nombre de chocs entre météorites, qui peuvent élever rapidement la température du système et expliquer le coup de fouet qu'on observe parfois dans l'éclat de certaines étoiles variables.

Cette hypothèse n'est pas nécessaire. Les astronomes préfèrent en général étendre aux étoiles variables l'explication qui a prévalu pour Algol en les considérant encore comme des systèmes binaires. Il suffit alors, pour faire cadrer l'explication avec les faits, de supposer que les deux constituantes, lumineuses l'une et l'autre, sont des sphères aplaties, autrement dit des ellipsoïdes de révolution, très rapprochées l'une de l'autre et tournant ensemble dans un plan qui passe par notre œil. La surface apparente d'un semblable système variera d'une façon continue et la lumière

émise dans notre direction subira des variations proportionnelles. Telle est la théorie que Myers a appliquée à diverses étoiles variables, et les conclusions auxquelles il parvient sont assez originales pour mériter d'être citées.

Prenons comme exemple l'étoile variable β de la Lyre; sa périodicité lumineuse s'explique en la supposant constituée par deux étoiles légèrement aplaties, l'une relativement petite et brillante, l'autre plus grosse, mais peu lumineuse. Ces deux masses tourneraient l'une autour de l'autre en se touchant presque. La densité moyenne de la matière qui les constitue ne serait que la moitié de celle de notre air atmosphérique. D'après cette dernière donnée, β Lyre ne serait pas un système entièrement condensé, mais représenterait une nébuleuse en voie de se transformer en un système binaire, c'est-à-dire formé de deux étoiles jumelles.

On voit à quelles conséquences mène l'hypothèse de Myers. Étendue aux différentes étoiles variables, elle nous montre, dans une vue synthétique, les différents stades d'évolution d'une nébuleuse en voie de condensation : « ζ Gémeaux et W Vierge nous font presque assister à la segmentation d'une nébuleuse, à la naissance d'un système binaire. β Lyre et V Pégase nous

montrent une segmentation presque accomplie. Dans S. Voiles et S. Écrevisse, la séparation est complète; mais le travail de condensation commence à peine pour l'une des composantes. Dans Y. Cygne, les composantes semblent s'être développées parallèlement et être deux étoiles jumelles. Algol enfin, qui forme le dernier anneau de la chaîne, a l'une des composantes complètement éteinte et sans doute proche du terme final de son existence comme astre lumineux, tandis que l'autre forme encore un soleil radieux¹. »

*
* *

Ainsi, la seule étude de « l'obscur clarté » des étoiles a pu nous révéler la variété infinie des mondes qui peuplent le ciel; elle a permis à M. Janssen de s'écrier, en une audacieuse invocation : « O étoile! envoie-moi un de tes rayons, et je te dirai qui tu es! ». Pourtant, notre énumération n'est pas complète. Le hasard nous a fait découvrir, au milieu de tant d'astres incandescents, un seul astre refroidi, le compagnon obscur d'Algol. Mais le monde est rempli d'étoiles mortes; nous sommes aveugles pour eux; mais

1. André, *Traité d'Astronomie stellaire*, t. II, p. 309.

si tous ces astres pouvaient s'illuminer soudain, la beauté du firmament en serait étrangement accrue.

Pour découvrir dans l'espace ces astres obscurs, il ne faut pas trop compter sur la méthode qui nous a révélé le compagnon d'Algol. Ce n'est qu'exceptionnellement qu'un de ces astres viendra s'interposer entre notre œil et une étoile brillante. Pourtant, la science ne reste pas désarmée : qu'on se rappelle l'admirable découverte de Leverrier, l'existence dans le système solaire d'une planète insoupçonnée, Neptune, révélée par les perturbations des autres planètes; on comprendra le principe de la méthode qui permit à Bessel la conquête de ce monde invisible : Une étoile qui n'a pas de voisine rapprochée dans le ciel doit se mouvoir sensiblement en ligne droite, ou plutôt décrire une trajectoire presque circulaire autour du soleil central de Mädler. Mais si elle a des compagnons invisibles, sa trajectoire devra, de ce fait, être troublée, et l'étude de ces irrégularités pourra permettre de déterminer la position et la grandeur de ces compagnons.

Bessel avait choisi pour objet de ses études deux des plus belles étoiles du ciel : Sirius, dans la constellation du Grand Chien, et Procyon, dans le Petit Chien; il avait déterminé leurs posi-

tions par rapport à des étoiles voisines pendant un intervalle de vingt-quatre années, de 1820 à 1844; il put ainsi se convaincre que les mouvements de ces deux étoiles présentaient des anomalies qui ne pouvaient tenir, pour chacune d'elles, qu'à la présence d'un compagnon; l'application des lois de la gravitation universelle permit alors de déterminer la position et la grandeur de ces deux astres supplémentaires. Or, en 1862, Clark de Boston découvrit auprès de Sirius une étoile de dixième grandeur dont la position coïncidait, à peu de chose près, avec celle indiquée par la théorie. L'observation de cette étoile, faite avec beaucoup de soins et de détails, a fourni une justification éclatante de la méthode de Bessel. Quant au compagnon de Procyon, il fut découvert en 1896, à l'observatoire Lick, par Schœberlé, sous forme d'une grande étoile rougeâtre dont le médiocre éclat se noie dans la lumière éblouissante de Procyon.

Nous avons cité ces deux exemples; ici, le hasard des observations a confirmé la théorie; c'est que les compagnons de Sirius et de Procyon ne sont pas complètement éteints. Mais il existe nombre de cas analogues qui se prêtent à des interprétations aussi certaines. L'étoile C de ζ Ecrevisse avance en moyenne dans le ciel d'un

demi-degré par an; mais ce déplacement est loin d'être régulier : il se produit tous les dix-huit ans un recul sensible, qui dure à peu près deux ans; on a pu expliquer cette anomalie par l'existence d'un compagnon obscur dont les éléments ont pu être déterminés d'après les perturbations de l'étoile C. L'astronomie de l'invisible a donc sa méthode, longue et pénible, il est vrai, mais assurée dans son principe et féconde dans ses résultats.

*
* *

Les découvertes astronomiques nous ont révélé la variété des formes qui peuplent l'Univers; elles nous montrent que le monde est vivant, que chacune de ses parties s'agite et se transforme. C'est déjà quelque chose que d'en avoir fixé l'état présent; mais on ne peut s'empêcher de tirer de ces observations une conclusion plus importante encore : chaque point du ciel nous montre un instant de l'histoire de l'Univers. C'est ce qui faisait dire, il y a plus d'un siècle, au grand Herschell : « Le ciel ressemble à un jardin luxuriant, renfermant la plus grande variété de productions, à des états différents de leur existence, et son examen actuel permet d'étendre notre expérience

à une immense durée; le spectacle qu'il nous offre est, en effet, le même que si nous voyions s'accomplir en même temps sous nos yeux les différents actes de la vie végétale depuis la germination, la floraison et la fécondation jusqu'à la dessiccation et enfin la pourriture définitive. »

Notre Univers nous apparaît, à l'origine, comme une grande nébuleuse aplatie, formée de matière gazeuse à peu près uniformément répartie dans l'espace et animée d'un mouvement de giration. Peu à peu, sa substance se concrète en flocons, que l'attraction sépare chaque jour un peu plus de l'ensemble : chacun d'eux forme l'œuf d'un monde nouveau, qui va mûrir peu à peu. Les filaments de matière cosmique qui le rattachaient à l'ensemble se concentrent progressivement sur la masse principale; la nébuleuse élémentaire prend une forme arrondie, puis elle se divise à son tour, tantôt en deux masses d'importances comparables, tantôt en un plus grand nombre. Le premier cas est le plus fréquent et donne naissance à ces systèmes binaires, à ces étoiles siamoises dont l'observation nous a montré l'abondance; d'autres fois la masse presque entière de la nébuleuse se condense en un soleil central, auquel fait cortège un nombre variable de satellites; et tous ces astres vieillissent peu à peu, vieillissent jus-

qu'à la mort; le ciel est un cimetière d'étoiles.

Ici s'arrête ce que nous pouvons imaginer, d'après les données positives de la science. Le problème de l'origine et de la fin est, pour le monde comme pour l'homme, irrésolu. Peut-être est-il dénué de sens, parce que l'évolution n'a ni commencement ni fin.

L'ORGANISATION DE LA MATIÈRE

Il faut classer : toute science est une connaissance ordonnée. Mais il ne faut pas être dupe des classifications; elles mettent des barrières entre des choses que la nature a reliées entre elles par des gradations continues. Rien de plus distinct que les îles d'un archipel, et pourtant, en jetant la sonde, on trouve les crêtes sous-marines, qui les relient entre elles, et le fond commun sur lequel elles reposent.

Ainsi, la division de la nature en trois règnes est aussi vieille que la pensée humaine. Un animal, une plante, un caillou : cela est simple et net, et parle clair à l'esprit, et le nombre trois est cher aux dieux. Mais la simplicité n'existe que dans notre esprit. La nature est compliquée, infi-

niment, et ménage entre les types d'innombrables transitions, comme elle en établit entre les trois états : solide, liquide et gazeux. C'est une vérité acquise aujourd'hui qu'il n'y a pas de démarcation nette entre l'animal et la plante; mais la vie continue à nous apparaître comme une chose à part, dont le mystère échappe à la science. Pourtant, il faut ouvrir les yeux et voir que l'abîme se comble. Le naturaliste qui cherche à définir la vie voit se dérouler, devant ses yeux, des formes de plus en plus rudimentaires et ce qui est l'essence même de la vie s'évanouir à mesure qu'on cherche à le préciser. Le physicien peut, par une marche inverse, aboutir à la même conclusion.

Il part de la notion, — tirée d'une observation superficielle, — d'une matière vraiment inerte et morte; mais une étude plus serrée lui montre bientôt l'activité prodigieuse qui se cache sous cette apparente inertie; il voit entrer en jeu des forces, diffusion, osmose, cohésion, actions cristalline, catalytique, électrique, qui organisent la matière, créent des formes et donnent à la substance brute plusieurs caractères des êtres vivants. Il se sent, à son tour, incapable de délimiter exactement son domaine et de dire où finit le règne minéral, où commence la vie. En se tenant dans les limites de la circonspection la plus prudente,

il pourra au moins affirmer ceci : c'est que beaucoup de phénomènes, considérés jusqu'ici comme spécifiques de la vie, appartiennent à la matière brute et relèvent de causes physico-chimiques.

*
* *

L'être vivant se caractérise par ses produits, par son organisation, par son fonctionnement.

Par ses produits d'abord. Bien longtemps, on a pensé que les êtres organisés élaboraient et utilisaient des produits spéciaux; on a parlé du laboratoire mystérieux de la nature et de la force vitale, différente et complémentaire de celles qui déterminent les phénomènes chimiques ordinaires. Tous les chimistes, tous les naturalistes, au début du XIX^e siècle, partageaient encore cette doctrine « vitaliste » et Berzélius pouvait écrire, dans son classique *Traité de Chimie* : « Dans la nature vivante, les éléments paraissent obéir à des lois tout autres que dans la nature inorganique... Si l'on pouvait trouver la cause de cette différence, on aurait la clef de la chimie organique; mais cette cause est tellement cachée que nous n'avons aucun espoir de la découvrir, au moins quant à présent. »

On sait comment le vitalisme a reculé, sur ce

point, après la vaillante attaque d'une pléiade de chimistes dont M. Berthelot est le plus glorieux. Peu à peu, les différents composés qu'élabore la vie ont été reproduits par synthèse dans les laboratoires; il n'est plus besoin, pour les réaliser, de mettre en cause d'autres forces que celles qui régissent la matière brute. Mais la victoire n'est qu'à demi gagnée; les corps qu'on a reproduits par synthèse ne sont que des produits d'excrétion, des déchets de la vie, comme l'urée, les essences, les parfums, tandis que la vie elle-même se concentre dans les substances dites *albuminoïdes*, parce que l'albumine est l'une d'elles. Celles-là se défendent bien. Les isoler à l'état pur est déjà une opération très difficile. Elles représentent la forme la plus complexe et la plus instable des composés chimiques; c'est la raison du rôle qu'elles jouent dans la vie. Mais elles sont aujourd'hui le point de mire de toute une phalange de chimistes; l'école allemande, conduite par Fischer et Kossel, arrive déjà à démonter le mécanisme de leurs agrégats moléculaires; c'est l'inévitable besogne préliminaire; dès à présent, on peut présumer qu'avant peu il se trouvera un Berthelot pour faire la synthèse des albuminoïdes.

La chimie biologique s'est aussi préoccupée du

rôle joué dans la matière vivante par ces curieux produits, *diastases*, *enzymes* ou *zymases*, qu'on désigne souvent du terme générique de *ferments solubles*, pour montrer qu'ils transforment la substance des êtres vivants, comme une pincée de levure modifie une masse de moût.

Les diastases sont l'âme des multiples réactions vitales, le démon sans cesse occupé à nouer et à dénouer les liens moléculaires. Celles qu'on a découvertes et isolées sont déjà en nombre respectable; toutes présentent un caractère commun : c'est que leur masse est toujours très petite par rapport à la masse des corps qu'elles transforment; la présure, par exemple, peut coaguler dix mille fois son poids de lait. Ainsi, les diastases agissent comme les ferments, mais sans être organisées; et, au fond, les ferments organisés n'agissent eux-mêmes que par les diastases qu'ils sécrètent, comme Buchner l'a établi en 1897 pour la diastase alcoolique.

Or, on commence à pénétrer le fonctionnement des diastases. M. Bertrand a pu, pour certaines d'entre elles, les *oxydases*, déterminer le rôle joué par le manganèse qu'elles contiennent en proportion infinitésimale. Et, par une tout autre voie, Bredig et von Berneck ont montré que l'activité des diastases n'est pas liée à je ne sais quelle

propriété vitale. Qu'on plonge dans l'eau, ou dans tout autre liquide isolant, deux tiges de platine, d'or ou d'argent, reliées au deux pôles d'une batterie d'accumulateurs, et qu'après les avoir réunies un instant, on les sépare l'une de l'autre : un arc électrique jaillit, au sein du liquide, entre les deux tiges ; le liquide perd peu à peu sa transparence ; il contient maintenant, sous forme de poussière impalpable, invisible au microscope le plus grossissant, les fragments du métal pulvérisé par l'arc. Dans cet état d'extrême division, qu'on appelle l'*état colloïdal*, les métaux jouissent de propriétés bien curieuses.

Ils sont coagulables par la chaleur, par les sels, les acides et les bases ; ils peuvent, par leur présence, activer certaines réactions chimiques, décomposer le sucre, transformer l'alcool en acide acétique ; leur rôle paraît alors tout à fait semblable à celui des diastases, car il suffit d'une proportion infinitésimale du métal pour déterminer la réaction : c'est ainsi qu'une partie de platine colloïdal peut décomposer plus d'un million de fois son poids d'eau oxygénée ; la pression n'agissait pas autrement sur le lait.

Fait plus remarquable encore : ce platine est rendu inactif, tué en un mot, par la chaleur, l'acide sulfhydrique, le sublimé corrosif, c'est-à-

dire par les mêmes agents qui jugulent la matière vivante. Voici donc que le règne minéral nous fournit des corps dont le fonctionnement reproduit, à s'y méprendre, celui des agents qui paraissent les plus spécifiques de la vie. Ainsi, la chimie biologique a sa voie toute tracée et sa destinée bien claire : elle fait rentrer peu à peu les réactions de la matière vivante dans le cadre élargi de la chimie générale, et si sa tâche est loin d'être achevée, il ne se trouve personne, aujourd'hui, pour lui opposer à nouveau le fameux *ignorabimus* de Dubois-Reymond et pour déclarer qu'il y a dans la vie des choses qui échapperont éternellement à la recherche scientifique.

*
**

Mais, plus encore que par ses produits, la vie se caractérise, au premier aspect, par les formes qu'elle crée : formes d'ensemble, qui se reproduisent indéfiniment suivant les lois de l'hérédité, formes élémentaires, qui sont constituées par la cellule et par la micelle. La matière animée est faite avec la cellule et la micelle comme la matière brute l'est avec la molécule et avec l'atome. Mais ce qu'on ne dit pas assez, et ce qu'il importe de constater, c'est que cette matière brute n'est pas

un simple ramassis de molécules et d'atomes : elle possède une architecture très compliquée, appartenant aux types les plus variés, et où se retrouvent parfois, à un degré frappant, les formes caractéristiques de l'être vivant.

Cette puissance d'organisation de la matière est manifeste dans le cristal. Chacun a pu admirer, dans les vitrines des pharmaciens ou des fabricants de produits chimiques, des cristallisations de bismuth, de sulfate de cuivre ou d'alun, bijoux dont les forces naturelles ont su tailler les facettes, voire ces arbres de Saturne et de Diane, où les cristaux de plomb ou d'argent imitent, d'une façon grossière et superficielle, il faut le dire, l'aspect des végétaux. Il n'y a pas grand chose à tirer de la contemplation de cette matière rigide et morte. Ce qu'il faudrait voir, ce serait la naissance du premier cristal au sein d'une solution limpide, qui se refroidit ou se concentre par évaporation.

Cette naissance, un savant allemand, von Schrön, a cru y assister et il en donne la description suivante. Au sein du liquide homogène, on voit tout à coup surgir un petit globule, qui présente à son intérieur un réseau filiforme analogue au filament chromatique des cellules vivantes ; bientôt, le globule s'élargit en une sorte d'anneau,

qui se déforme ensuite en donnant naissance à un angle auquel s'attachera le futur cristal; puis apparaît un second angle et, entre les deux, on voit se dessiner, comme une ligne très déliée, l'axe du cristal qui se complète peu à peu. Ce cristal élémentaire est mobile au sein du liquide. En même temps, il peut donner naissance à d'autres cristaux, se reproduire en un mot, par les mêmes procédés qu'on rencontre dans la multiplication des cellules vivantes : tantôt il se divise en deux cristaux qui s'éloignent l'un de l'autre en tournant sur eux-mêmes; — tantôt il donne, sur l'un des sommets, un cristal nouveau qui se détache du premier : c'est la *gemmation*; — tantôt enfin, le nouvel individu, formé par *endogénie*, à l'intérieur de la cellule cristalline mère, arrive à la surface et s'élance dans le liquide nourricier où il croît et se reproduit à son tour conformément aux lois de l'hérédité.

Von Schrön, Benedikt et d'autres physiologistes attachent à ces analogies une importance qu'on a le droit de trouver exagérée. Pour intéressantes qu'elles soient, elles ne nous donnent pas encore le droit de supprimer la cloison qui, dans l'état actuel de nos connaissances, sépare de la matière vivante la matière brute. Mais on peut présenter les choses sous un jour différent.

Prenons une solution, saturée à chaud, et laissons-la refroidir : parfois il s'y formera des cristaux ; le plus souvent, elle restera limpide ; c'est qu'elle est alors, comme on dit, sursaturée. Dans cet état, elle est semblable, par plus d'un point, aux bouillons de culture stérilisés par chauffage ; comme eux, elle se conservera inaltérée dans des tubes scellés ou des ballons dont un tampon de coton protège le col contre l'accès des germes extérieurs. Mais vient-on à enlever le tampon protecteur ou à desceller le tube, on verra fréquemment de nombreux groupes cristallins se constituer dans la masse liquide et l'envahir peu à peu, comme le bouillon, dans les mêmes conditions, se remplit de colonies pullulantes. L'explication est la même dans les deux phénomènes ; la cristallisation exige, dans ce cas, la présence d'un germe cristallin, comme la vie nécessite un germe vivant ; tous deux existent dans l'air et pénètrent avec lui dans le liquide qu'ilsensemencent.

Par un processus analogue se développent dans le monde minéral des contagions et des épidémies. Les ingénieurs des chemins de fer constatent souvent que tous les rails d'une même région sont devenus cassants et doivent être remplacés en même temps. Il y a quelques années, on

observa que les boutons d'étain de certains régiments de l'armée russe devenaient tous friables et se brisaient en mille grains. Cette maladie des boutons semblait nettement contagieuse : si un uniforme des régiments contaminés était introduit dans une région indemne, de nombreux cas de maladie se produisaient autour de lui.

L'explication du fait est simple : l'étain, par les grands froids de l'hiver, peut se transformer en une variété cristalline extrêmement friable, l'étain gris. Mais la transformation peut se faire aussi, à une température moins basse, au contact d'un cristal déjà formé. Par suite, les boutons attaqués donnaient naissance, en se pulvérisant, à des milliers de germes cristallins qui entraînaient autour d'eux la même modification.

Mais les cristaux ne sont pas seuls à imiter les formes et les propriétés de la matière vivante. Si le but qu'on se propose est de reproduire ces formes le plus fidèlement possible, c'est non pas à des corps solides qu'il faudra s'adresser, mais à des mélanges liquides ou visqueux, comme on les rencontre dans les tissus vivants.

On peut alors mettre en jeu les forces les plus diverses, capillarité, osmose, diffusion, convection calorifique. M. Bénard, en utilisant les tourbillons qui se produisent dans un liquide trouble

par suite des inégalités de température de sa masse, parvient à reproduire, avec une exactitude frappante, la disposition cellulaire des tissus végétaux. Quincke, avec ses cellules mousseuses, et Harting, avec ses gelées, font aussi de la *morphologie synthétique*. Bütschli, de Heidelberg, cherche par des moyens analogues à obtenir le même résultat :

Il y arrive, dit M. Raphaël Dubois, en mélangeant, avec certaines précautions, de l'huile de lin, un carbonate alcalin et de l'eau, ou bien encore de l'huile et du jaune d'œuf, comme pour une sauce mayonnaise. C'est de la cuisine, mais combien curieuse à examiner au microscope ! Non seulement cela ressemble à la substance fondamentale des cellules, réduite à sa plus simple expression et vue à un fort grossissement, mais cela se meut, se déplace, change de forme, comme une monère ou un amœbe ! Et le professeur de Herrera, de Mexico, en variant et multipliant les expériences de Bütschli, arrive à conclure que la plupart des propriétés physiques du protoplasma peuvent être imitées avec des oléates alcalins, autrement dit des savons.

Il ne faut pas dénaturer la portée de telles expériences. Leurs auteurs n'ont pas eu le dessein de faire, par de tels procédés, la synthèse de la matière vivante. Ces imitations ne sont ni de simples jouets, ni de prétentieuses tentatives de créer des êtres vivants ; elles ne visent qu'à pré-

ciser le rôle joué, dans la matière animée, par les différentes forces physico-chimiques.

Parmi ces facteurs de la vie, aucun ne paraît plus important que la diffusion : la graine de haricot, qui reste inerte tant qu'elle est sèche, ne commence à germer que du jour où l'eau qui la gonfle produit dans sa masse des différences de concentration et donne naissance à des effets de diffusion et d'osmose.

Expliquons en quoi consistent ces phénomènes. Dans un verre, versons de l'eau, puis, avec précaution, de l'alcool coloré ou plus simplement du vin. Ce dernier liquide, plus léger, forme d'abord une couche nettement séparée à la surface de l'eau, comme pourrait faire de l'huile ; mais, alors que l'huile reste indéfiniment au-dessus de l'eau, l'alcool s'y mélange peu à peu ; la coloration permet de juger de cette diffusion progressive. L'eau, de son côté, chemine en sens inverse et se diffuse dans l'alcool ; tous les liquides miscibles donnent naissance à des effets analogues.

Si l'on sépare les liquides par une membrane perméable, la diffusion prend le nom d'osmose. C'est ainsi qu'en 1748, l'abbé Nollet étudiait les échanges osmotiques entre l'eau et l'alcool en les séparant par une vessie de porc. On peut encore opérer avec des corps solides en solution dans un

liquide, et on constate alors que les corps dissous traversent cette membrane avec des vitesses très différentes, suivant leur nature. Si, par exemple, cette membrane baigne d'un côté dans l'eau pure et de l'autre dans une solution aqueuse de sucre et de mélasse, on verra le sucre, substance cristallisable, traverser rapidement la paroi, tandis que la mélasse non cristallisable ne diffusera qu'avec une extrême lenteur ; on reconnaît dans cette expérience le principe de l'épuration des jus sucrés, institué jadis par Dubrunfant, et en usage dans toutes les sucreries. Cette observation peut être généralisée ; on dira, avec le physicien anglais Graham, que les corps de la nature se divisent en *cristalloïdes*, à diffusion facile, et en *colloïdes*, à diffusion lente.

Cette classification s'explique assez bien si on considère que les matières organiques peu cristallisables, les colloïdes en un mot, ont incontestablement une molécule beaucoup plus grosse que les corps cristallisés. Ainsi, Hofmeister attribue à l'albumine du sang la formule $C^{450}H^{720}Az^{116}S^6O^{140}$; la molécule d'albumine est donc bâtie avec 450 atomes de carbone, 720 atomes d'hydrogène, 116 d'azote, 6 de soufre et 140 d'oxygène ; elle pèse dix mille fois plus que l'atome d'hydrogène et 250 fois plus que la molécule de sel marin ; il

est donc naturel qu'elle soit beaucoup plus grosse et qu'elle se glisse moins facilement à travers les pores des membranes.

D'ailleurs il existe entre ces membranes des différences considérables; on en connaît dont l'imperméabilité est beaucoup plus grande que celle d'une vessie de porc ou du parchemin végétal : telles sont les parois dites hémiperméables, qui se laissent traverser par l'eau ou le liquide dissolvant, mais qui arrêtent impitoyablement tous les corps dissous, même cristallisables, comme le sel ou le sucre. Les membranes des tissus vivants, dans leur variété infinie, fonctionnent comme des cribles à trous plus ou moins fins, qui effectuent automatiquement le triage des produits nécessaires à la vie; les albuminoïdes et les produits analogues, qui résultent des réactions chimiques effectuées à l'intérieur des tissus, y sont en général maintenus par l'imperméabilité relative des parois, tandis que les déchets de la vie, dont beaucoup sont cristallisables, comme l'urée, se trouvent éliminés grâce à leur diffusibilité plus facile. Ainsi, la diffusion, c'est la vie; c'en est du moins un des éléments essentiels.

M. Stéphane Leduc, professeur à l'École de médecine de Nantes, a mis en évidence ce rôle

éminent de la diffusion par des expériences d'une clarté saisissante. Voulons-nous constituer un tissu inorganique analogue aux tissus vivants? Nous n'avons qu'à laisser tomber goutte à goutte de l'eau salée, colorée d'encre de Chine, dans de l'eau pure étalée en couche mince dans un vase à fond plat, ou encore du ferrocyanure de potassium sur une couche mince de gélatine : le colorant montrera la disposition cellulaire qui s'établit automatiquement par diffusion; suivant les conditions de l'expérience, on obtiendra des cellules polyédriques, ou allongées en formes de fibres, ou bien des cellules à prolongements ciliaires, ou à ramifications dendritiques comme les cellules nerveuses; toutes ces cellules ont leur noyau; elles sont le siège de mouvements intérieurs et il se fait entre elles des échanges par diffusion.

Déjà, en 1866, Traube, chimiste et marchand de vin à Breslau, avait réalisé de véritables cellules artificielles, en laissant tomber une goutte de sulfate de cuivre dissous dans une solution de ferrocyanure de potassium; la réaction des deux corps formait à la surface de la goutte une enveloppe gélatineuse de ferrocyanure de cuivre; mais l'utricule ainsi formée est incapable de croissance. M. Leduc est arrivé à des résultats autrement suggestifs, en additionnant des liquides employés

par Traube avec d'autres substances convenablement choisies; la goutte ou, si l'on préfère, la cellule initiale, prend alors un développement considérable dans un temps qui peut varier de quelques minutes à plusieurs jours. Il se constitue un véritable tissu cellulaire qui présente deux des caractères essentiels de la vie : organisation et nutrition.

Prenons un exemple, présenté récemment à l'Académie des sciences. Voici une goutte, mesurant un millimètre de diamètre et contenant une solution d'une partie de sulfate de cuivre pour deux parties de sucre. On la laisse tomber dans le liquide nourricier, formé d'eau contenant de la gélatine, du ferrocyanure de potassium et des traces de sel marin. Au bout de quelques minutes, on voit apparaître des simili-végétations avec des tiges, des tigelles, des feuilles semblables à celles des plantes aquatiques comme les algues marines, et terminées par des épines, des épis ou des chatons; l'ensemble peut atteindre 50 centimètres de développement. Ces plantes artificielles possèdent quelques-unes des propriétés considérées jusqu'ici comme propres aux êtres vivants; elles absorbent et éliminent; elles sont sensibles aux poisons et aux anesthésiques; le chloroforme arrête leur développement, la lumière et la chaleur le favo-

risent et donnent naissance aux effets d'orientation ou d'héliotropisme qui se manifestent également chez la plupart des plantes.

Autre propriété des cellules artificielles : abandonnées à elles-mêmes, elles finissent par se subdiviser en un grand nombre de cellules, et les caractères de cette transformation présentent une grande analogie avec la segmentation du *vitellus* dans l'œuf en incubation ; elle nous aide ainsi à comprendre ce qui se passe dans cette transformation, une des plus mystérieuses de la vie : la température élevée de l'œuf produit une évaporation qui concentre les parties superficielles et détermine des courants de diffusion dont la conséquence est la segmentation de la masse.

Mais l'expérience la plus suggestive de M. Leduc paraît être la reproduction des phénomènes de *karyokinèse* : on désigne sous ce nom le mécanisme bizarre et compliqué par lequel s'effectue la bipartition des cellules. Deux petits globules, accolés au noyau et nommés sphères directrices, se séparent, se portent aux deux extrémités de la cellule et s'entourent de stries rayonnantes ; en même temps, le filament chromatique, long ruban enroulé dans le noyau, se divise en tronçons qui se placent en étoile au milieu de la cellule, puis chacun de ces tronçons se coupe et ses morceaux exécutent dans

la masse protoplasmique des mouvements réglés comme une figure de ballet; enfin, un cloisonnement divise la cellule initiale en deux cellules, dans chacune desquelles se reconstituent le noyau et tous les éléments de la cellule initiale.

Or tous ces effets, dont la complexité paraît dérouter l'analyse, s'expliquent aisément par la diffusion : que, dans une masse liquide, on laisse tomber d'abord une goutte de solution saline, colorée et destinée à figurer le noyau, puis, de part et d'autre, deux gouttes d'une solution plus concentrée, on les verra d'abord se repousser comme faisaient, dans la cellule vivante, les sphères directrices, en même temps qu'apparaissent autour d'elles, dans leur ordre régulier, toutes les figures, tous les mouvements, tous les phénomènes de la karyokynèse; aucun exemple ne peut, mieux que celui-ci, faire toucher du doigt l'utilité de cette morphologie synthétique par laquelle s'éclaire le mécanisme le plus intime de la vie.

La preuve expérimentale du rôle joué par la diffusion dans les phénomènes vitaux se retrouve encore dans les expériences si retentissantes que, depuis 1899, les professeurs Jacques Lœb, de l'Université de San-Francisco, et Yves Delage, de la Sorbonne, ont effectuées sur la *parthénogénèse expérimentale* : des œufs d'oursins et d'astéries ont

pu être fécondés et amenés à un degré notable de développement par l'action unique de solutions salines. Ainsi, le rôle de la cellule mâle a pu être joué par un liquide entièrement inorganique, qui paraît agir d'une façon purement physique, en déterminant un courant de diffusion qui enlève à l'œuf une certaine quantité d'eau. Les œufs fécondés par voie chimique ont pu passer à l'état de larves, puis franchir leur métamorphose et se transformer en oursins et en astéries semblables en tout, malgré leurs dimensions encore exiguës, aux types les plus achevés de leur espèce; mais il y a mieux encore, car la parthénogénèse a donné naissance à une espèce nouvelle, un oursin à symétrie hexagonale, alors que la symétrie des types actuels est presque toujours pentagonale.

Les études de MM. Stéphane Leduc, Lœb et Delage sont de la science, et de la vraie; elles fournissent des données nouvelles pour expliquer la vie. D'autres chercheurs ont cru être plus heureux, et créer la vie elle-même, tel M. Burke, dont les expériences ont ému quelques heures le monde scientifique et intrigué le grand public lui-même.

Dans sa juvénile ardeur, M. Burke s'était adressé au radium, le grand générateur d'énergie; il en avait semé quelques grains dans un bouillon stérilisé et avait vu, quelques jours après, apparaître

de nombreuses utricules ayant tous les caractères des cellules vivantes. L'expérience avait déjà été faite par M. Raphaël Dubois, qui la relate en ces termes :

Par suite de mes idées sur la radio-activité de la vie, je déposai, un jour, un petit cristal de chlorure de baryum et de radium, avec toutes les précautions aseptiques voulues, sur un bouillon de culture gélatineux pour microbes lumineux... Dans ma gelée nutritive et colloïdale, je ne tardai pas à voir apparaître une quantité considérable de petits corpuscules qui s'enfonçaient rapidement dans la profondeur, en même temps qu'ils augmentaient de volume. Leur ensemble ressemblait tellement à une culture micro-organique que M. Laveran, de l'Institut Pasteur, auquel je montrai un de mes tubes à la Société de biologie me dit : « Mais ce sont des moisissures ! » Ce n'étaient pas des moisissures, mais bien des granulations présentant l'aspect de grosses vacuolides et, chose plus curieuse encore, les plus grosses étaient en voie de séparation. On fit des photographies microscopiques à un fort grossissement et je les présentai dans une autre séance. Mon savant ami, M. Henneguy, professeur de cytologie au Collège de France, me dit alors : « On croirait voir des œufs de grenouille en voie de segmentation ».

En fait, aucun savant n'a été dupe de pareilles apparences, dont Sir W. Ramsay a fourni une explication fort plausible ; les vacuolides en question ne seraient que des bulles gazeuses provenant de la décomposition de l'eau par l'émanation du

radium. Il convient donc de faire un triage parmi ces prétendues synthèses de la vie, et de ne retenir que celles qui apportent un enseignement sur le mécanisme de la vie véritable.

*
* *

Si la matière soi-disant inerte est capable d'imiter les formes de la matière vivante, elle en présente aussi, jusqu'à un certain point, les fonctions et les propriétés; nous en avons déjà vu la preuve en étudiant les synthèses morphologiques de M. Leduc. Mais il n'y en a pas de plus convaincantes que celles qui ont été présentées par un physicien hindou, professeur à Calcutta, M. Jagadis Chunder Bose ¹.

Les traités de physiologie enseignent que l'excitabilité est un des caractères essentiels des tissus vivants; cette excitabilité se présente avec d'autres caractères spécifiques que les réactions de la matière inorganique. Un ressort d'acier, que l'on écarte de sa position d'équilibre, tend à y revenir et réagit à son tour sur la main qui le presse : c'est la règle universelle d'égalité de l'action et de la réaction. Mais, dans le milieu vivant, les choses se passent

1. *Response in the living and non living*. Londres, Logmans, Green et C^o, éditeurs, 1902.

autrement; entre le nerf qu'on excite et le muscle qui se contracte, chacun comprend qu'il y a nombre d'intermédiaires, que la causalité est indirecte et se présente comme une chaîne dont nous ne connaissons que les deux bouts, mais dont les anneaux sont nombreux. On a même cherché à préciser les caractères de l'irritabilité organique en invoquant la disproportion entre l'effet et la cause : si on laisse tomber sur un nerf un poids d'un gramme, la contraction résultante pourra effectuer un travail bien supérieur à celui qui a été produit par la chute du poids; mais il ne manque pas de cas, dans le monde inanimé, où semblable disproportion existe; il suffit, comme le fait remarquer M. Leduc, de faire tourner un robinet de vapeur pour entraîner un train et de frotter une allumette pour faire sauter une poudrière.

Il faut donc renoncer à trouver une définition topique et générale de l'irritabilité organique, et pourtant cette irritabilité est un des caractères les plus sensibles de la vie : le muscle excité se contracte tant que les tissus qui le constituent sont vivants; dès qu'ils sont morts, la contractilité cesse. Or il existe encore un autre critérium de la vie, moins immédiat, mais plus délicat que le précédent : l'apparition de courants électriques par excitation du tissu constitue un procédé très sensible

d'investigations, parce que nous sommes appareillés pour mesurer avec précision les courants les plus ténus. C'est à ce critérium que M. Bose a décidé de recourir, et l'originalité de ses recherches consiste en ce qu'il a soumis aux mêmes expériences, faites avec les mêmes appareils, les substances inorganiques aussi bien que les tissus animaux et végétaux.

La méthode la plus généralement employée par Bose consiste à fixer solidement en son milieu le corps en expérience, muscle, végétal ou corps inorganique; les deux extrémités sont reliées aux bornes d'un galvanomètre très sensible. Ainsi, on constitue un circuit fermé, comprenant le corps en expérience; si quelque action électrique vient à se manifester dans celui-ci, on en sera immédiatement averti par l'aiguille du galvanomètre; on pourra même mesurer la grandeur de l'effet produit par la déviation de cette aiguille, et un enregistrement photographique traduira par des courbes les résultats de l'expérience. D'autre part, pour provoquer l'excitation, plusieurs moyens peuvent être mis en œuvre : l'une des extrémités du corps en expérience est frappée, tordue, ou soumise à des variations de température, ou traitée par des réactifs chimiques, l'autre extrémité restant inaltérée. Dans chaque cas, la galvanomètre donne la

« réponse électrique » à l'excitation. Le procédé n'est pas neuf; le mérite de Bose est d'en avoir généralisé l'emploi et d'en avoir tiré les conséquences. A défaut des graphiques fournis par lui et dont la vue constitue le plus convaincante des démonstrations, qu'il nous soit permis d'exposer, dans les grandes lignes, les résultats obtenus.

Le fait fondamental, c'est la généralité de la réponse électrique; on ne l'avait encore observée que dans le muscle vivant, et son abolition par la mort avait paru fournir un caractère vraiment spécifique, par suite, une définition de la vie : on retrouve le même phénomène dans une tige de chou-fleur ou dans un pied de céleri; la mort l'abolit encore dans ce cas. Mais prenons une tige d'étain ou de tout autre métal soigneusement recuit; le même effet se produira et pourra être aboli dans certaines conditions que nous allons indiquer.

Un des traits les plus caractéristiques de la vie animale est la fatigue; soumettons un muscle de grenouille à une série de chocs de même force et répétés à des intervalles équidistants; les contractions du tissu, ou les réactions électriques marquées par le galvanomètre, d'abord égales, s'affaibliront progressivement, si bien qu'on arrivera à un état de contracture permanente : le tissu sera

tétanisé. Dans l'animal vivant, on peut attribuer la fatigue à une sorte d'empoisonnement des tissus, causé par les déchets et les toxines, tandis que l'apport d'éléments réparateurs par la circulation sanguine se trouve insuffisant; pourtant un muscle coupé et exsangue retrouve son excitabilité après quelques instants de repos. On ne s'étonnera qu'à moitié, sans doute, d'apprendre que les végétaux présentent, eux aussi, des signes indéniables de lassitude; l'étude de la fatigue végétale est même grandement facilitée par la persistance de la vie dans les plantes; on vérifie donc sans difficulté qu'une tige de chou-fleur ou de navet réagissent de moins en moins lorsqu'on les soumet à une série de chocs identiques; quelques minutes de repos suffisent à leur restituer leur activité première. Mais rien de tout cela n'est caractéristique de la vie; un fil de platine se comporte de la même façon. L'étain, en revanche, paraît d'abord infatigable; mais si on continue à le faire travailler plusieurs jours consécutifs, il finit, comme les autres métaux, par se lasser, puis le repos lui rend bientôt toute son activité.

On observe parfois, avec les muscles du cœur et avec certains nerfs, une réaction typique et inverse de la précédente : c'est la *surexcitation*. Des excitations identiques et répétées produisent

des réactions croissantes. Or Bose a constaté le même phénomène dans les plantes et dans les métaux eux-mêmes. Un métal maintenu longtemps au repos semble parvenu dans un état de paresse, de torpeur, dont on ne peut le tirer que par des appels réitérés : à cette phase des opérations correspondent des graphiques analogues à ceux des muscles cardiaques : ainsi le parallélisme se poursuit, pour les trois règnes de la nature, jusque dans les cas exceptionnels.

L'action des poisons et des anesthésiques manifeste des analogies nouvelles. Certains corps, comme le carbonate de sodium en solution étendue, sont des excitants; d'autres, comme le bromure de potassium, émoussent la sensibilité d'une tige d'étain aussi bien que d'une racine de carotte ou d'un tissu animal. Le chloroforme en vapeur, le chloral et la formaline en dissolution, abolissent temporairement toute sensibilité et ne mettent pas plus d'une minute à stupéfier une carotte ou un radis. Enfin, l'action des poisons supprime définitivement toute réponse électrique; certains d'entre eux paraissent avoir une action universelle, comme les alcalis et les acides concentrés, le cyanure de potassium, le sublimé corrosif; l'acide oxalique, qui est également vénéneux pour les êtres vivants, agit sur les métaux

à tel point qu'une solution au dix-millième suffit pour y anéantir la réponse électrique. On sait enfin, et la thérapeutique en fournit de nombreux exemples, que certains corps agissent comme stimulants à faible dose, comme poisons à dose massive. Or cette propriété se présente avec un caractère de haute généralité; Bose l'a manifestée dans l'action de la potasse caustique, tant sur les tissus végétaux que sur l'étain.

La température exerce sur les êtres vivants une action bien connue; zéro et cent degrés forment les limites extrêmes de l'activité organique et la chose s'explique naturellement par les propriétés de l'eau qui constitue presque intégralement les êtres vivants. Entre ces limites, il y a toujours une température *optima*, plus favorable que toutes les autres à la vie. Or, la sensibilité électrique paraît, pour les métaux aussi, dépendre de la température : dans un exemple relaté par Bose, elle croît de cinq à trente degrés, et décroît ensuite jusqu'à quatre-vingt-dix. Mais il est vraisemblable que chaque métal, comme chaque être vivant, manifeste son individualité par une loi de variation distincte.

Pour clore cette énumération, nous examinerons un cas où l'analogie se fait encore plus inattendue. La vue est l'apanage des animaux

supérieurs; elle est, avec la pensée, la forme la plus élevée de la vie. Faut-il croire, pourtant, qu'elle échappe entièrement aux lois de la matière inerte? Beaucoup de savants en ont jugé autrement. Les uns, s'appuyant sur l'existence et l'action bien connue du pourpre rétinien, ont esquissé une théorie chimique qui assimile l'œil à un appareil photographique. D'autres, constatant que l'illumination de la rétine produit dans le nerf optique un courant électrique, ont comparé l'œil à ces piles, dites actino-électriques, qui ne donnent un courant que lorsque la lumière les frappe.

Bose a contribué à étayer cette dernière hypothèse en construisant une sorte d'œil artificiel, formé d'une coupe d'argent remplie d'eau et sensibilisée dans sa concavité par exposition aux vapeurs de brome; un circuit électrique, analogue au nerf optique, va de la paroi externe de la coupe à l'eau intérieure en traversant un galvanomètre; on constate alors que l'exposition à la lumière de la partie sensibilisée donne naissance à des réponses électriques, dont l'allure, très originale, présente les mêmes caractères que les graphiques obtenus avec un œil de grenouille.

*
* * *

Voilà bien des faits accumulés ; on peut maintenant poser une conclusion. Les essais de morphologie synthétique, qui se sont multipliés dans ces dernières années, ont été grandement utiles à la science. Leur but est, non pas de nous donner, comme des automates à la Vaucanson, une stérile imitation de la vie, mais de nous renseigner sur les forces qui agissent dans l'être vivant ; et l'on reste surpris, après les observations et les expériences que nous avons rapportées, de voir tout ce dont la matière inerte est capable, de constater la puissance d'organisation qui est en elle.

Ainsi disparaît peu à peu, devant l'évidence des faits, le mysticisme vitaliste qui résoud le problème de la vie par des mots. L'abîme qui, dans nos idées premières, séparait les êtres vivants du règne minéral, se comble peu à peu, parce qu'on découvre, d'une part, des formes de la vie de plus en plus simplifiées et, d'autre part, des manières d'être de la matière, de plus en plus complexes.

Donc, la pente de la science nous amène à considérer la vie comme un phénomène physico-chimique. Mais parce qu'on a poussé très loin l'analyse de la vie, a-t-on le droit de dire qu'on en

fera certainement la synthèse et qu'on verra un jour une cellule vivante, capable de se reproduire, sortir de la matière morte? Ceci est une tout autre affaire. En tout cas, on n'a pas le droit de traiter d'absurdité la recherche de la génération spontanée et de la mettre sur le même plan que la recherche de la quadrature du cercle. Nous savons bien qu'il ne suffit pas, comme le croyait van Helmont, d'enfermer une chemise sale avec des graines de froment pour qu'il en naisse des souris après vingt et un jours; nous ne renions aucune des admirables découvertes de Pasteur, mais nous avons bien le droit de dire, avec sir Oliver Lodge : « Il n'y aurait pas lieu de s'émerveiller si on réussissait, tôt ou tard, à provoquer en laboratoire un phénomène qu'on ne puisse éviter de considérer comme une génération spontanée ». Le monde est loin de sa fin et la science commence à peine.

LES FRONTIÈRES DES SCIENCES

On parle beaucoup de *la science*, aujourd'hui : philosophes, sociologues, hommes d'État, se préoccupent de ses progrès et de son rôle, et tout le monde est convaincu que la science existe en effet, qu'elle forme un ensemble dont toutes les parties s'enchaînent et s'expliquent mutuellement. Pour un peu, on montrerait même les lieux où elle habite, ces palais de nos modernes universités, dont le fronton porte gravé le mot « Scientia », et qui attestent la haute situation sociale de la science moderne. C'est là, sans doute, qu'il faut aller pour trouver cette reine du monde. Entrons.

Des inscriptions, de place en place, marquent la place réservée aux diverses sciences : ici, la botanique, plus loin, les mathématiques, ailleurs la chimie ; partout on trouve *les sciences*, mais *la*

science nulle part. Chaque service vit d'une vie strictement indépendante; il n'a de rapports avec les autres que pour leur disputer l'espace et les crédits. Peu d'allées et venues entre les divers laboratoires; de l'un sur l'autre point de baies largement ouvertes, encore moins d'échanges d'idées. Tout montre que l'unité créée par l'architecte est de façade, et qu'en fait, chaque science a ses principes, ses méthodes, ses conclusions, dont les autres sciences se soucient fort peu.

Il y a pourtant, dans l'Université, un point où tous les services viennent aboutir et qui semble leur trait d'union : c'est la bibliothèque. Là, toutes les sciences vivent côte à côte, au gré de la classification adoptée par le bibliothécaire; mais ce mélange n'est pas l'union, encore moins l'unité. Les sciences, qui voient de si près dans ces livres juxtaposés, ne fusionnent jamais; chacune se développe comme si les autres n'existaient pas; même dans ces encyclopédies, qui prétendent synthétiser le savoir moderne, elles se touchent sans se pénétrer.

La spécialisation, poussée à ses dernières limites, est la loi inexorable du progrès. Elle seule permet cette sorte d'hypertrophie qui caractérise la haute culture scientifique. Dès la prime jeunesse, le futur savant, à peine en possession

des grades qui témoignent d'un embryon de culture générale, entre dans un laboratoire : il n'en sortira plus ; toute sa vie, il va respirer le même air, s'imprégner des mêmes doctrines et faire travailler son cerveau sur les concepts de ses prédécesseurs, trop heureux s'il a l'esprit assez libre et assez personnel pour ajouter quelques idées neuves aux idées acquises. Quant à ce qui se passe de l'autre côté de la cloison, dans le service voisin, il n'a ni le temps, ni peut-être le goût de s'en préoccuper.

Cette spécialisation du personnel de l'enseignement supérieur est poussée si loin qu'elle se trahit (disons-le tout bas) jusque dans les examens du baccalauréat. Un professeur de mathématiques hésitera à interroger nos futurs bacheliers sur les rudiments des sciences naturelles ; un naturaliste sera mal à l'aise quand les hasards de l'examen l'amèneront à poser au candidat des questions de mathématiques ou de physique. Les choses vont parfois plus loin encore : il y a des naturalistes qui, toute leur vie, ne se sont occupés que des algues, ou d'une classe d'insectes, des physiciens qui n'ont jamais touché un instrument d'optique, des chimistes qui ont vécu cantonnés dans l'étude d'un métal ou d'une classe de sels. On voudrait qu'à côté de ces spécialistes,

ouvriers nécessaires du progrès scientifique, il se rencontrât de temps en temps un génie assez universel pour embrasser l'étendue des connaissances humaines, et, par un effort de synthèse, constituer la science, avec les sciences isolées. L'humanité a connu jadis des Newton et des Leibniz; on n'en rencontre plus aujourd'hui, ou, s'il en existe, ils ne se sont point révélés; c'est que l'arbre de la science a grandi démesurément; ses branches, en croissant, divergent et s'éloignent, et si quelques-uns de leurs rameaux se rencontrent par hasard, on dirait, à les voir, qu'ils ne proviennent pas du même tronc.

Il serait intéressant de montrer comment les sciences se sont constituées, comment chaque nouvelle vérité acquise est venue se grouper autour de centres d'attraction, qui se sont ainsi accrus progressivement comme les cristaux grandissent au sein de l'eau-mère. Une semblable étude dépasserait de beaucoup l'étendue d'un chapitre, mais il est indispensable de noter au passage deux caractères de cette évolution des sciences.

Le premier est l'impuissance de la raison et de la logique à constituer de toutes pièces une classification des sciences. Les plus grands génies de tous les siècles, depuis Aristote et Bacon jusqu'à Auguste Comte et Spencer, s'y sont efforcés; il

est visible que leurs tentatives ont suivi la constitution des sciences, au lieu de la précéder; ils ont tenté de donner une forme logique à ce qui était; mais ils ont montré en même temps leur impuissance absolue à créer des cadres pour les vérités futures. C'est qu'une science ne commence jamais par définir son objet, par arpenter et jalonner son domaine; les faits viennent d'abord, puis les observations plus générales, et ce n'est que plus tard, quand les acquisitions s'accumulent, que le besoin se fait sentir d'y mettre de l'ordre. Les classifications d'Aristote ont eu ce caractère d'opportunité, et le développement des connaissances humaines en a fait depuis longtemps éclater les cadres. D'autres classificateurs, avec plus d'ambition, ont rêvé d'établir la nomenclature générale des sciences présentes et futures; l'insuccès lamentable de leurs efforts en montre l'inanité.

De toutes ces tentatives, la plus curieuse peut-être est celle de l'illustre physicien Ampère. Je voudrais reproduire ici, pour l'édification du lecteur, le tableau synoptique où cet homme de génie assigne leurs places à toutes les connaissances humaines, les divise en deux règnes, chacun d'eux se divisant lui-même en deux sous-règnes, et ainsi de suite, si bien que, par biparti-

tions successives, on aboutit à trente-deux sciences du premier ordre, qui donnent soixante-quatre sciences du second, lesquelles enfin se subdivisent en cent vingt-huit sciences du troisième ordre. Sur ces cent vingt-huit sciences, il en est, j'en ai peur, qui n'auront pas place de sitôt dans notre enseignement : telles la « Phrénégiétique », la « Cratiographie » et la « Threpsiologie ». En revanche, je n'y vois ni la physico-chimie, ni la microbiologie.

Ainsi, les frontières des sciences, comme celles des peuples, n'ont pas été tracées par la logique, mais se sont constituées peu à peu. De même, — et c'est un second point que de nombreux travaux ont mis aujourd'hui hors de doute, — le contenu de chaque science s'est concrétionné autour de recettes empiriques ayant un but utilitaire ou religieux. Les mathématiques elles-mêmes, dont la majestueuse harmonie apparaît comme le triomphe de la raison humaine, ont eu cette humble origine : les lois des nombres, prélude de l'arithmétique et de l'algèbre, furent trouvées par tâtonnement et par la même méthode d'induction et de généralisation qui aujourd'hui est en usage dans les sciences expérimentales. L'astronomie eut son origine dans les observations des bergers et des navigateurs. La géométrie est sortie de l'arpentage

en Egypte, où les inondations du Nil effaçaient chaque année les limites des champs; les règles pratiques des Harpédonaptes, « ceux qui attachent le cordeau », sont devenues peu à peu les théorèmes classés par Euclide. La physique et la chimie ont vu le jour dans les ateliers des artisans. La zoologie est peut-être née dans une étable ou un abattoir.

Petit à petit, la somme des connaissances humaines s'est accrue; les faits se sont condensés en des lois de plus en plus générales. L'ensemble s'est organisé d'après les idées que les hommes se formaient à chaque époque de la dépendance des parties, et ces idées ont souvent varié au cours des siècles: ainsi, la production de la chaleur animale, considérée longtemps comme une manifestation de la vie, n'a été classée parmi les phénomènes chimiques que depuis les travaux de Lavoisier; la dissolution du sucre dans l'eau et celle des métaux dans les acides ont été longtemps placées dans le même chapitre, et, aujourd'hui encore, on étudie en acoustique les intervalles musicaux, qui relèvent du domaine des sensations et n'ont par suite aucun rapport avec l'objet de la physique, tel que nous le concevons actuellement.

Ainsi ce n'est que peu à peu, par additions et éliminations successives, que chaque science arrive

à se constituer, à définir l'objet de ses études et le but de ses recherches.

Mais cette classification des sciences, que chaque siècle a eu le tort de croire fondée sur la logique et pour l'éternité, le siècle suivant l'a modifiée. N'importe, c'est d'après cette logique du moment qu'il faut organiser la vie scientifique d'un peuple, fixer les programmes des divers enseignements, déterminer le nombre et les attributions des laboratoires. C'est ainsi qu'en France nous vivons actuellement sur la classification officielle que chacun sait et dont le tableau ci-joint représente à peu près l'allure générale, telle qu'elle résulte de la répartition des enseignements dans les lycées et les facultés¹.

Sciences mathématiques.	{ Sciences des grandeurs numériques (arithmétique, algèbre, trigonométrie). Sciences de l'espace (géométrie pure, analytique, descriptive). Sciences du mouvement (mécanique). Astronomie.
Sciences physiques. . .	
Sciences naturelles. . .	{ Zoologie. Botanique. Minéralogie. Géologie. Physiologie animale et végétale.

1. On voit que nous prenons ici le mot Science dans son acception la plus restreinte, laissant en dehors de notre étude

Si incomplet qu'il soit, ce tableau donne une idée approximative de la place des cloisons qui séparent les divers enseignements, et, dès le premier aspect, on voit combien il règne là-dedans d'illogisme et d'arbitraire. Par quelle aberration, notamment, a-t-on pu placer l'astronomie au nombre des sciences mathématiques, alors que l'objet concret de ses études la rapproche des sciences expérimentales? Il en va de même de la mécanique, dont les habitudes de notre enseignement ont fait une science abstraite, raisonnant sur des points mathématiques et des forces hypothétiques, et dédaigneuse de la mécanique appliquée, qu'on abandonne négligemment à quelques écoles spéciales. Quant à la division des sciences naturelles d'après les trois règnes de la nature, elle repose sur l'idée d'une démarcation nette qui a depuis longtemps disparu de la science et elle présente le double inconvénient de prolonger des notions inexactes, et d'obscurcir certaines analogies qui sont parmi les plus profondes et les plus vraies de la nature.

Sans nous attarder à ce point de vue, nous savons qu'aucune classification ne saurait être

la sociologie, la géographie et tant d'autres branches de nos connaissances que les classifications officielles rejettent, sans raisons valables, hors du cénacle des sciences officielles.

irréprochable. Le fait est que les cloisons existent, bien ou mal placées ; voyons quel rôle elles jouent.

*
* *

Les sciences sont en perpétuelle évolution ; leur objet d'hier n'est plus celui d'aujourd'hui. A chaque instant il faut refondre les programmes, remanier les enseignements, rompre avec les habitudes acquises. Cela n'est rien, ou plutôt cela est la condition même du progrès et de la vie. Mais il y a autre chose encore sur quoi nous devons attirer l'attention : comme les cellules vivantes se modifient par bipartition, les sciences se renouvellent et s'accroissent par la création des *sciences mixtes*.

Voici d'abord l'*astronomie physique*. A la suite des immortels travaux de Képler, de Newton et de Laplace, l'astronomie s'est élevée à une perfection plus achevée qu'aucune autre des sciences fondées sur l'observation ; les lois qui régissent notre système sont connues avec une sûreté manifestée, aux yeux de tous, par ces prédictions astronomiques qui fixent, à une fraction de seconde près et des siècles à l'avance, la marche des différents astres. Aussi a-t-on pu, sans trop d'ambition, prononcer le nom de mécanique céleste et l'appliquer à une science dont tout l'exposé peut se faire

par voie déductive. Mais l'astronomie n'est pas là tout entière; il y a aussi une physique, une chimie célestes. Quelle est la nature de ces astres que l'ancienne astronomie ne considérait que comme des masses en mouvement? De quelle pâte le soleil, les planètes, les étoiles, les nébuleuses, les comètes sont-ils pétris?

Autant de problèmes dont l'intérêt n'échappe à personne, et que les lois de Képler sont impuissantes à résoudre. Nous ne recevons de nos compagnons de voyage à travers l'immensité qu'une seule chose; des radiations; mais aussi quelle richesse de gamme! Des radiations chimiques, lumineuses, calorifiques, sans doute aussi des ondes électro-magnétiques analogues à celles de la télégraphie sans fil, d'autres peut-être, encore mal connues ou insoupçonnées. Il va s'agir d'interroger ces radiations, de leur demander des nouvelles du pays lointain d'où elles arrivent, d'organiser une investigation méthodique en accommodant les méthodes de la physique aux conditions nouvelles. Mais combien de découvertes, faites ou espérées! On commence à connaître la nature de la couche extérieure du soleil et son mouvement de rotation; on a des données sur la température des différents astres, sur leur constitution chimique et leur état physique; on a des procédés d'une sensibilité

extrême pour déterminer leurs dimensions et leur déplacement par rapport à nous. L'étude des éclipses ne se fait plus seulement avec la lunette ou le télescope; tous les instruments des physiciens sont braqués sur l'astre à la minute de son occultation. Et ce n'est pas tout; l'astronomie physique ne s'intéresse pas qu'aux astres lointains; tout ce qui est en dehors de notre atteinte directe relève de ses investigations; à ce titre, l'étude des hautes régions de l'atmosphère et des météores qui s'y produisent, comme les aurores boréales, la lumière zodiacale, sont de son domaine. On trouvera, je pense, dans cette rapide énumération, de quoi justifier les droits à l'existence d'une science nouvelle, tenant de l'astronomie et de la physique par le lieu et les moyens de ses investigations, mais ayant sa personnalité propre et un objectif nettement défini.

Autre science toute nouvelle, car elle n'a pas plus d'un demi-siècle d'existence : la *physico-chimie*. Née en France des travaux de Sainte-Claire Deville et de Berthelot, elle s'est surtout développée en Hollande et en Allemagne, et se présente aujourd'hui avec un but précis, de nombreux résultats acquis, un domaine immense à défricher. « L'objet de la chimie, a dit Chevreul, est de distinguer la matière en types appelés espèces chimiques, carac-

térisées chacune par un ensemble défini de propriétés physiques, chimiques et organoleptiques. » Cette définition sépare nettement la chimie de la physique, qui étudie une à une les différentes propriétés de la matière, et dont le but est par suite abstrait, tandis que la chimie s'applique à un objet concret. Ainsi, s'occupant spécialement de la description, la chimie n'avait considéré la réaction que comme la période troublée qui sépare deux états d'équilibre, et se contentait, pour la définir, d'hypothèses vagues sur les affinités; les traités classiques, où figurent côte à côte les portraits du chlore, de l'hydrogène, de l'oxygène et de leurs composés, ressemblent un peu à ces traités d'histoire du vieux temps, consacrés à la description du caractère de nos rois et à leurs augustes alliances, tandis que les périodes troublées dénommées révoltes ou révolutions, suivant leur importance ou leur durée, sont consignées d'un mot, comme peu dignes de passer à la postérité.

On a fini pourtant par regarder de plus près les révolutions moléculaires. Les travaux sur la formation des éthers, sur la dissociation, montrèrent bientôt que la réaction chimique obéit à des lois, comme les autres phénomènes. Un peu plus tard, Berthelot tentait de résoudre, par l'étude des

chaleurs dégagées, le problème de la mécanique chimique; mais ce problème était trop complexe pour que la solution en fût accessible aux efforts d'un seul homme; on a aujourd'hui tout un programme d'action, on sait ce qu'il faut chercher, et tout l'arsenal de la physique a été braqué sur ces luttes d'atomes et de molécules. Une science est ainsi en voie de constitution; elle a ses lois, sa technique; elle a déjà assez grandi pour engendrer à son tour une science nouvelle, l'*électrochimie*, qui a fait passablement de bruit dans le monde. Mais c'est surtout à l'étranger, et plus spécialement en Allemagne, que la physico-chimie s'est développée; elle y possède ses laboratoires, ses revues spéciales, et toute une génération de spécialistes s'attache à la faire progresser. En France, tout ce qu'a pu faire la science officielle, c'est de lui concéder deux laboratoires, l'un à la Sorbonne, l'autre à la Faculté de Nancy. C'est peu pour la patrie de Berthelot et de Deville : il en faut prendre notre parti; la physico-chimie sera une science allemande.

D'un autre côté, la physiologie, qui est la partie la plus vivante des sciences naturelles, manifeste cette vitalité en donnant le jour à de nouvelles sciences. La plus importante et la mieux connue du public est la *microbiologie*, à laquelle est

associé à jamais le nom de Pasteur. Tout a été dit sur cette science nouvelle, qui s'est signalée par tant de bienfaits; elle fournit le meilleur exemple de l'incapacité radicale de l'esprit humain à définir une science *a priori*. Depuis l'origine de l'humanité, on connaissait de nombreux exemples de fermentation; personne ne songeait qu'il pût y avoir intérêt à en faire l'étude systématique. Tout à coup, un homme de génie met l'œil à son microscope, et aussitôt c'est un monde nouveau qui se révèle. La microbiologie s'est trouvée tout de suite si profitable à l'humanité qu'elle n'a pas attendu longtemps l'argent, les laboratoires et les spécialistes qu'il faut à toute science pour se développer normalement; elle n'a point connu cette grande difficulté à vivre des sciences jeunes, traitées partout en étrangères, sevrées de place et de crédits.

Il n'en va pas de même pour d'autres études qui attestent une évolution radicale de la physiologie, orientée nettement vers l'étude des lois physiques et chimiques de la vie; elle rencontre dans cette direction nombre de problèmes intéressants. On peut considérer l'être vivant comme un transformateur d'énergie, et chercher à établir le bilan de cette transformation. On peut encore appliquer aux phénomènes biologiques cette notion

féconde de la pression osmotique qui, née des travaux des botanistes hollandais, a pris une netteté plus grande entre les mains des physiciens, et qui retourne maintenant aux sciences naturelles pour y éclairer des questions importantes : mouvements de la sève dans les végétaux, conditions de la germination et de la fécondation. D'autres sujets, encore, appellent l'attention : l'action des diastases, si curieusement analogue à celle de certains métaux en poussière impalpable, qu'on nomme colloïdaux ; les curieuses analogies entre les microorganismes et certains cristaux ; enfin, l'étude des colloïdes, que les physiciens commencent à aborder, et qui promet à la physiologie de précieuses acquisitions, puisque la matière vivante fondamentale, le protoplasma, appartient au groupe des colloïdes.

Ainsi se constitue, tant bien que mal et morceau par morceau, une *physique cellulaire* ; c'est encore, si l'on veut, de la physiologie, mais avec des méthodes, une technique empruntées aux sciences de la matière inerte ; il lui faut des laboratoires doublement outillés, et, ce qui est plus difficile à réaliser avec la spécialisation actuelle, des hommes aussi familiarisés avec les problèmes biologiques qu'avec les méthodes et les appareils de la chimie et de la physique.

Ainsi voilà, en dehors de la microbiologie, qui a su se faire sa place par elle-même, bien des sciences en voie de formation. Et maintenant, nous avons le droit de nous demander : combien de laboratoires, en France, sont outillés pour étudier ces sciences ? Combien d'hommes sont capables de s'y intéresser ? Et la réponse, en vérité, est trop aisée : de par la spécialisation à outrance des savants et des laboratoires, il n'y a pas de place dans la science officielle pour ces hybrides.

*
* *

Voilà pour le côté pratique des choses ; mais le problème présente une autre face. Les sciences se développent, en fixant chaque jour plus nettement leurs principes et leurs méthodes ; d'autres sciences sortent de l'ombre et s'organisent à leur tour ; ainsi se multiplient les points de vue sous lesquels nous voyons la nature. On peut se demander si toutes ces visions du monde resteront éternellement distinctes, comme si elles se rapportaient à des objets différents, ou si elles sont destinées à se fondre et à s'harmoniser dans une vaste synthèse. Or notre esprit se refuse à admettre que la Science n'existe pas, et que les multiples facettes sous lesquelles les sciences nous montrent la nature

ne soient les aspects différents d'une même réalité.

Dès lors, le problème de l'avenir consisterait à réaliser cette conciliation des sciences que Taine a entrevue. « Le progrès de la science, dit-il, consiste à expliquer un ensemble de faits par un fait supérieur qui les engendre. Ainsi se condensent les différentes sciences en autant de définitions d'où peuvent se déduire toutes les vérités dont elles se composent. Puis, le moment vient où nous osons davantage : nous découvrons l'unité de l'univers, et nous comprenons ce qui la produit. Elle ne vient pas d'une chose extérieure au monde, ni d'une chose mystérieuse cachée dans le monde; elle vient d'un fait général, semblable aux autres, loi génératrice d'où les autres se déduisent, de même que de la loi de l'attraction dérivent tous les phénomènes de la pesanteur, de même que de la loi des ondulations dérivent tous les phénomènes de la lumière. L'objet final de la science est cette loi suprême, et celui qui, d'un élan, pourrait se précipiter dans son sein, y verrait, comme d'une source, se dérouler par des canaux distincts et ramifiés le torrent éternel des événements et la mer infinie des choses. »

Si la fusion des sciences doit un jour se réaliser,

telle que l'a rêvée Taine ou de toute autre manière, cela ne sera possible que par la communion incessante de tous ceux qui travaillent dans tous les laboratoires. A ce point de vue encore, il est utile de multiplier entre les sciences les points de contact, au lieu de renforcer les cloisons qui les séparent. Il serait chimérique de chercher à réaliser l'unité par des moyens factices ; ni les décrets, ni même les congrès n'y serviraient de rien ; mais la soudure des sciences se fera d'elle-même, peu à peu, par l'échange des idées et la libre discussion. C'est de cette manière, uniquement, qu'on fera pénétrer dans toutes les cellules de la ruche un même esprit, *l'esprit scientifique*.

Il me semble qu'il résulterait de là de multiples avantages ; on verrait se généraliser la conviction que les faits isolés n'ont pas d'intérêt scientifique, et qu'il ne faut les étudier que pour chercher les lois : la météorologie aurait peut-être quelque intérêt à s'inspirer de cette vérité. J'imagine ensuite qu'on arriverait à se mettre d'accord sur ce point que l'observation et l'expérience sont les seules voies de la connaissance, conviction qui nous eût épargné de longs mémoires de physique mathématique. Mais surtout j'espère qu'on arriverait à proscrire rigoureusement de tous les raisonnements cette espèce de finalisme scien-

tifique qui n'est qu'une survivance de l'esprit théologique. On ne saurait croire combien de faux raisonnements traînent encore dans la science, et nous permettent de nous extasier à bon compte sur les harmonies de la nature. Il y a peut-être encore des gens qui pensent que, si l'eau augmente de volume en se congelant, c'est pour empêcher les océans de se prendre en masse et les poissons d'être détruits; il est vrai que ce même phénomène brise en hiver les vaisseaux des plantes et nuit au règne végétal. En fait, il est inconcevable que ce finalisme béat, qui est la négation de l'esprit scientifique, envahisse les sciences naturelles à tel point que le professeur Metchnikoff ait paru très osé de rompre une lance contre lui, dans son *Essai de Philosophie optimiste*.

^
* *

Ainsi, bien des choses iraient mieux si on parvenait à réaliser la symbiose de ces sciences que tout, aujourd'hui, concourt à séparer. Il est malaisé de remonter un courant établi depuis plus d'un siècle; cherchons cependant quels efforts peuvent être tentés. Et n'oublions pas, d'abord, que le problème à résoudre est surtout d'ordre pédagogique. Il ne s'agit pas de décréter l'unifi-

cation des méthodes, la revision des principes et la refonte des hypothèses. Il n'est au pouvoir de personne de réaliser d'autorité l'unité de la science; mais il faut éviter par tous les moyens que la science soit faite et enseignée par des cerveaux unicellulaires, produits d'une spécialisation poussée à outrance. A l'heure où les sciences se pénètrent, il ne faut pas que les savants se séparent et s'ignorent. J'avoue ne voir, pour atteindre ce résultat, qu'un moyen pratique : la création d'une agrégation d'enseignement supérieur, concours commun à tout le personnel enseignant des sciences, ainsi qu'aux professeurs de philosophie de nos Universités¹. Je m'imagine aisément le scepticisme ironique que soulèvera cette proposition : « Eh quoi! dira-t-on, vous avez la naïveté d'imaginer qu'il suffit d'ajouter un bouton de plus au chapeau de vos mandarins pour changer la marche des sciences et pour transformer leur conflit en une douce harmonie! » Mes prétentions ne vont pas si loin; je voudrais seulement qu'on n'ajoutât pas, de gaieté de cœur, des difficultés nouvelles aux difficultés

1. L'agrégation instituée par le Statut de 1874 pour les Facultés des Sciences, des Lettres, de Médecine et de Droit n'a eu, pour les deux premières, qu'une existence éphémère. C'était d'ailleurs une épreuve nettement spécialisée, et qui faisait double emploi avec l'agrégation des lycées.

inévitables. Et c'est précisément ce qu'on a fait en plaçant à l'entrée de l'enseignement supérieur un doctorat qui n'est, en fin de compte, qu'une épreuve de compétence technique. Le docteur ès sciences peut ignorer toute la science, moins un chapitre; l'administration, se fondant sur cette épreuve, ne lui concédera pas moins la double fonction de savant et de professeur.

On dira, il est vrai, que l'agrégation des lycées permet d'élargir le champ d'épreuves, beaucoup trop restreint, des divers doctorats; cela n'est exact qu'en partie. Cette agrégation n'est pas toujours exigée du professeur, en particulier pour la chimie et les sciences naturelles : et si, d'autre part, elle est devenue, surtout dans ces dernières années, une excellente épreuve pédagogique, elle ne reste pas moins limitée au cadre étroit d'un groupe de sciences voisines; les trois agrégations des sciences mathématiques, physiques et naturelles partagent les cerveaux de nos professeurs en trois catégories, dont chacune ignore les deux autres. C'est donc une autre épreuve qu'il faudrait placer à l'entrée de l'enseignement supérieur, une épreuve d'ordre plus philosophique et plus général. Je voudrais que le futur professeur de nos Facultés des sciences eût pris une idée d'ensemble

de toutes les sciences et que, sans entrer dans le détail des faits, il connût leurs idées directrices et leurs méthodes de raisonnement et d'expérimentation, et cette connaissance donnerait également une base très solide aux études philosophiques. La philosophie peut de moins en moins s'isoler des autres sciences ; elle tend chaque jour davantage à s'en imprégner, soit pour analyser leurs méthodes, soit pour synthétiser leurs résultats.

Ainsi, muni de cette agrégation d'ordre général, notre futur savant entrerait dans les Facultés, soit comme chef des travaux, soit comme maître de conférences ; c'est seulement à cette heure que commencerait sa spécialisation. C'est après s'être initié pendant plusieurs années à la technique du laboratoire choisi par lui, c'est après s'être fait la main par des travaux de faible étendue, c'est une fois le terrain sondé avant de s'engager à fond, qu'il se mettrait à l'élaboration de cette thèse de doctorat qui viendrait consolider sa situation personnelle en lui apportant la titularisation. Ainsi la thèse, au lieu d'être un travail de jeunesse, insuffisamment mûri, effectué le plus souvent sous l'œil et sous la direction du maître, serait une œuvre personnelle et la conclusion d'un effort accompli sans hâte, à l'âge de la pleine maturité. Nos thèses y gagneraient sans doute. Les choses

se passent ainsi, déjà, dans les observatoires, et il ne paraît pas que l'astronomie s'en soit mal trouvée.

Alors, ayant reculé l'époque de la spécialisation inévitable, nous aurons donné aux maîtres de l'enseignement supérieur une vision plus complète des relations qui existent entre les diverses sciences; ils seront plus capables d'appliquer à chacune d'elles les méthodes en usage dans les autres; ils auront le goût et les moyens de s'intéresser à ce qui se passe dans les autres laboratoires; ils songeront que la nature nous pose bien des questions qui ne peuvent être résolues que par le concours de plusieurs sciences; ainsi deviendra possible une fructueuse collaboration.

Je vois encore un autre avantage à la modification proposée : ceux qui travaillent uniquement pour la science, sans aucune arrière-pensée d'intérêt personnel, sont peu nombreux. Or il n'est pas niable que les autres ne trouvent dans le souci de leur avenir de puissantes raisons de se garder des sentiers de traverse et de rester sur les grandes voies des sciences officielles. Les chaires de nos Universités ont des dénominations bien déterminées et correspondent, pour la plupart, à des services et à des enseignements qu'il est impossible de modifier. Vise-t-on, par exemple, une chaire de chimie? C'est une thèse de chimie qu'on devra,

avant toute chose, soutenir ; un travail tout aussi important, mais consacré soit à la physico-chimie, soit à l'étude chimique d'un phénomène biologique, serait loin d'être considéré comme équivalent. Il arrive ainsi que des considérations bien étrangères à la science imposent des directions fixes à l'activité scientifique. Il en serait tout autrement si la titularisation était la conséquence d'une thèse, quel que fût le sujet de cette thèse. Les chefs des différents laboratoires seraient ensuite choisis par l'État dans le collège des titulaires. Cette modification aurait donc l'avantage de permettre à chacun de travailler suivant ses aptitudes personnelles, sans risquer d'attendre vainement la situation assurée qui constitue la juste récompense du *labour scientifique*.

*
* *

Au fond, le véritable remède à la situation dont souffrent les sciences consisterait dans l'emploi systématique de la collaboration scientifique.

La rareté désespérante de cette collaboration entre savants cultivant des sciences différentes est un des symptômes les plus nets de la situation que nous signalons : on voit encore, assez fréquemment, deux physiciens, deux naturalistes

associer leurs efforts vers un but commun. Cette association donne, en général, les meilleurs résultats, tandis que le travailleur isolé se butte souvent à une idée préconçue, se heurte à une difficulté expérimentale qui cédera à des efforts combinés où deux intelligences différentes, tendues vers un même objet, s'excitent et se contrôlent mutuellement.

D'autre part, la grande industrie nous montre couramment que certains problèmes complexes (et presque tous le sont) ne peuvent être résolus que par une organisation méthodique du travail : dans les usines métallurgiques, un même acier est étudié concurremment aux points de vue physique, micrographique et chimique. Les grandes sociétés de constructions électriques possèdent des séries d'ingénieurs spécialisés, qui s'attachent en même temps à résoudre les différents termes d'un même problème. L'Allemagne, plus qu'aucun autre pays, nous présente l'exemple de ce labeur méthodique. Le grand institut de Berlin, le *Reischanstalt*, étudie méthodiquement les propriétés des corps aux différents points de vue physique, mécanique et chimique. C'est encore une série d'études concordantes, appliquées aux verres et aux cristaux, qui a permis à la grande verrerie d'Iéna de créer des types de verres et de cristaux

répondant à tous les desiderata de la science et de l'industrie.

Pourquoi donc ce qui est la règle ailleurs devient-il l'exception dans nos Universités? Pourquoi voit-on si rarement le physiologiste travailler avec le physicien, ou le géologue avec le chimiste? Ce n'est pas qu'ils n'aient rien à se dire; c'est, hélas! qu'ils ne savent plus se comprendre et qu'ils sont devenus profondément étrangers l'un à l'autre; et c'est aussi parce qu'ils savent qu'un tel travail ne profiterait ni à l'un ni à l'autre, par suite de l'état d'esprit qui règne dans nos milieux scientifiques. C'est pourquoi je voudrais que ceux qui ont le droit de distribuer les éloges et les récompenses fissent tous leurs efforts pour encourager la collaboration scientifique. La chose, sans doute, est difficile; j'aperçois pourtant un moyen de réaliser cet effort commun, sans lequel tant de problèmes resteront inaccessibles. Il appartient à notre Académie des Sciences, qui réunit dans son sein les compétences les plus indiscutées, d'indiquer à intervalles réguliers, par exemple tous les trois ans, les problèmes dont l'étude est mûre. Un programme, dressé en collaboration par les académiciens compétents, viendrait fournir aux laborieux, qui abondent dans nos laboratoires, ce qu'ils cherchent souvent au hasard : un moyen utile

d'employer leur activité. Je m'imagine qu'une telle communication aurait pour effet d'orienter bien des efforts, auparavant dispersés, et de les faire converger vers un but commun. Dès lors, l'Académie, centralisant les travaux accomplis, pourrait en faire la synthèse, les contrôler les uns par les autres, constater l'état nouveau de la question, les progrès accomplis, les lacunes qui restent encore à combler.

Elle prendrait ainsi le rôle directeur qui lui revient justement, et, sans aller jusqu'à créer une science officielle qui serait pleine de périls, elle pourrait, dans une certaine mesure, réaliser cette organisation du travail scientifique, cette convergence des sciences que nous sentons aussi nécessaire que difficile à réaliser.

Ainsi, nous avons constaté que le cloisonnement des sciences et la spécialisation des savants sont les graves défauts de notre organisation scientifique actuelle. A ces défauts, il y a un palliatif et un remède : le palliatif consiste dans une extension de l'instruction scientifique générale ; mais le véritable remède consisterait dans une organisation méthodique de la collaboration scientifique. Le premier est applicable immédiatement ; mais le second exigerait un remaniement profond de notre organisation scientifique, remaniement

qu'il n'y a pas lieu d'espérer avant longtemps. J'espère pourtant avoir montré ce qui, pour l'instant, est pratique et réalisable, mais je m'estimerais heureux si seulement j'avais pu convaincre le lecteur de l'existence d'un mal soigneusement caché jusqu'ici par l'optimisme officiel et les déclamations pompeuses sur « l'unité de la science ».

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	v
Les tendances successives de la chimie	1
La transmutation et les expériences de Ramsay	37
La matière existe-t-elle?	63
L'intérieur de la Terre	91
Le Soleil.	125
Les éclipses	163
La Voie lactée	191
L'organisation de la matière	227
Les frontières des sciences	259

Notions élémentaires d'Hygiène pratique, par M. le Dr GALTIER-BOISSIÈRE. 1 vol. in-18 jésus, broché. 3 50
Relié toile. 4 »

On se porterait à merveille si l'on suivait la moitié des conseils de M. Galtier-Boissière. Son livre est très aisé à manier, et avec cela très complet; précieux pour les valétudinaires, intéressant et même amusant pour les gens bien portants.

Dans la première partie, les règles fondamentales de l'hygiène sont exposées avec de claires prescriptions. Une large place est faite à l'enseignement par les yeux : collaboration indispensable pour rendre claires et concises les descriptions. Les données d'anatomie, de physiologie, ainsi comprises et allégées de toute expression technique, le lecteur se trouve initié en quelques lignes au fonctionnement de nos organes.

L'ouvrage se termine par une foule de renseignements de première utilité et un petit lexique on ne peut plus pratique.

Curiosités de l'Histoire naturelle, par M H. DE VARIGNY. 1 vol. in-18 jésus, broché. 3 50

L'auteur a rassemblé dans ce recueil mille particularités curieuses et peu connues, réunies par lui au cours de ses études et de ses lectures. On y trouve sur l'univers, sur la terre, sur les hommes et les animaux qui la peuplent, sur les plantes qui la parent, des renseignements d'une sérieuse valeur scientifique et d'une forme agréable qu'il serait bien long d'aller chercher dans nombre d'ouvrages et de revues. Si surprenantes que soient les merveilles décrites par M. de Varigny, il ne cite ou n'avance pas un détail qui ne repose sur la parole autorisée d'un voyageur ou d'un savant moderne.

Les *Curiosités de l'Histoire naturelle* forment un livre attrayant, bien fait pour donner aux jeunes gens le goût de la science et pour compléter utilement les connaissances qu'ils ont pu acquérir. A tout âge on pourra le lire, et il n'est pas de bibliothèque où il ne puisse trouver sa place.

N° 602.

Dictionnaire-manuel-illustré des Sciences usuelles, par M. E. BOUANT. Un volume in-18 jésus, 2 500 gravures, relié toile, tr. rouges... 6 »

Ce livre n'est pas un dictionnaire scientifique complet, mais c'est un commode ouvrage de référence. En l'écrivant, l'auteur s'est proposé de fournir, sur les différentes branches des applications des sciences, les renseignements rapides dont on a constamment besoin. Chacun des sujets qui s'y trouve traité forme un tout, de telle manière que la lecture du mot correspondant satisfasse immédiatement la curiosité du lecteur, sans l'obliger à de nouvelles recherches. Les mots techniques peu connus sont soigneusement évités; on a tâché d'employer toujours le langage courant.

De nombreuses vignettes et, chaque fois que la nécessité s'en fait sentir, des figures d'ensemble, des figures groupées, facilitent la compréhension du texte.

Dictionnaire-manuel-illustré des Connaissances pratiques, par M. E. BOUANT. Un volume in-18 jésus, 1 600 gravures, relié toile, tranches rouges. 6 »

Les notions les plus simples, les plus essentielles, contenues dans les livres spéciaux de législation, de médecine, de pêche, de chasse, de cuisine, de sport, de jeux, etc., sont ici abrégées et classées dans l'ordre alphabétique. Un fort grand nombre de recettes d'une application facile, répondant à une foule de besoins de la vie pratique, s'ajoutent à ces notions variées. A côté de la législation usuelle, l'auteur a placé des renseignements précis sur les carrières que peuvent embrasser les jeunes gens, sur les écoles spéciales qui y conduisent, sur les chances d'avenir qu'on y rencontre.

Les illustrations, très nombreuses et très soignées, ont l'avantage de préciser les notions et de les fixer dans la mémoire.

N° 603

Librairie Armand Colin, 5, rue de Mézières, Paris.

Du Laboratoire à l'Usine, par LOUIS HOULLEVIGUE. Un vol. in-18 jésus, broché **3 50**

La Nature et la Vie, par HENRY DE VARIGNY. Un vol. in-18 jésus, broché **3 50**

Curiosités de l'Histoire naturelle, par HENRY DE VARIGNY. Un vol. in-18 jésus, broché. **3 50**

La Lutte contre les Microbes, par le Dr ÉT. BURNET. Un vol. in-18 jésus, broché. **3 50**

Dictionnaire-manuel des Sciences usuelles, par E. BOUANT. Un vol. in-18 jésus, avec 2.500 gravures (6^e ÉDITION), relié toile, tranches rouges. **6 »**

La Science Géologique : ses méthodes, ses résultats, ses problèmes, son histoire, par L. DE LAUNAY. Un vol. in-8 raisin (26 × 16), 752 pages, 53 figures, 6 planches hors texte en noir et en couleur, broché **20 »**
Relié demi-chagrin, tête dorée. **25 fr.**

Revue générale des Sciences pures et appliquées, paraissant le 15 et le 30 de chaque mois, sous la direction de LOUIS OLIVIER, docteur ès sciences.

ABONNEMENTS du 15 de chaque mois)

SIX MOIS : Paris	13 50	UN AN : Paris	25 »
— Départements	14 50	— Départements.	27 »
— Union postale	15 50	— Union postale.	30 »

Le numéro : **1 50**

337E. — Paris — Imp. Hemmerlé et C^{ie} — 3-08