

LES HOMMES ET LES IDÉES

Les Harmonies
de
l'Évolution terrestre

PAR

STANISLAS MEUNIER

PROFESSEUR AU MUSÉUM



PARIS

SOCIÉTÉ DU MERCURE DE FRANCE

XXVI, RUE DE CONDÉ, XXVI

MCM·II·I

**LES HARMONIES
DE L'ÉVOLUTION TERRESTRE**

LES HOMMES ET LES IDÉES

Les Harmonies
de
l'Évolution terrestre

PAR

STANISLAS MEUNIER

PROFESSEUR AU MUSÉUM



PARIS

SOCIÉTÉ DV MERCVRE DE FRANCE

XXVI, RVE DE CONDÉ, XXVI

—
Tous droits réservés

DANS LA MÊME COLLECTION

- HENRI DE RÉGNIER ET SON ŒUVRE, par Jean de Gourmont, avec
un portrait et un autographe..... 1 vol.
- LA NAISSANCE ET L'ÉVANOUISSEMENT DE LA MATIÈRE, par le
D^r Gustave Le Bon..... 1 vol.
- DANTE, BÉATRICE ET LA POÉSIE AMOUREUSE. *Essai sur l'Idéal
féminin en Italie à la fin du XIII^e siècle*, par Remy de
Gourmont, avec plusieurs gravures sur bois..... 1 vol.
- FRANÇOIS COPPÉE ET SON ŒUVRE, par Gauthier Ferrières, avec
un portrait et un autographe.. 1 vol.

Dans leur tendance constante à vitaliser toutes choses, les anciens firent de la Terre une divinité et lui attribuèrent les passions et les appétits des hommes, que les corybantes attentifs avaient mission de satisfaire. Assagies par les progrès pénibles mais continus des connaissances, les générations successives abandonnèrent peu à peu une doctrine si formelle; les poètes seuls continuèrent à parler de la « mère commune » et, par une réaction tellement ordinaire qu'on peut la regarder comme fatale, on arriva à faire de la substance terrestre le contraire de la matière vivante. Les études des géologues, une fois

établies les bases de la géologie, conduisirent à faire de l'épaisseur du sol comme une sorte de conservatoire des archives planétaires, où des spécimens de formations successives se sont d'eux-mêmes accumulés, immobilisant des témoignages palpables de toutes les conditions par lesquelles la surface de la terre et le fond de la mer ont successivement passé. Ce fut même cette manière de voir qui sembla donner à la science sa base la plus solide, puisqu'on se crut en mesure de faire revivre le passé, en remettant au jour les produits qui s'y rapportaient.

Pourtant, on s'aperçut, par le perfectionnement des découvertes, que certaines masses terrestres se sont certainement modifiées depuis leur constitution initiale. Par exemple, on constata, dans le nord-est de l'Irlande, le long des falaises qui dominent la Chaussée des Géants, dans le comté d'Antrim, que la craie, dont le sol est formé, ayant été traversée, à l'époque tertiaire, par des éruptions basaltiques, éprouva comme conséquence de sérieuses altérations de son premier état. De roche tendre, terreuse et traçante qu'elle était d'abord, elle devint un marbre translucide, tenace et cohérent ; et la

transformation est si strictement localisée le long des émissions basaltiques, elle s'atténue si régulièrement à mesure qu'on s'en éloigne, que la relation de cause à effet entre les filons et les marbres ne pouvait être mise en doute.

C'est de la sorte et grâce à la répétition de semblables constatations que se fonda la doctrine du *métamorphisme*, c'est-à-dire de l'acquisition, en deux temps successifs, des caractères actuels de certains terrains et de certaines roches. Après la première élaboration de ces terrains et de ces roches, et parfois très longtemps après, un phénomène particulier, comparable à l'éruption de tout à l'heure, avait apporté au résultat primitif des variations plus ou moins intenses et quelquefois si considérables que les produits de la première heure en étaient devenus méconnaissables.

Toutefois, les exemples se multipliant très rapidement, on s'aperçut que les limites, apparemment si précises tout d'abord, entre les formations *normales* et les formations *métamorphiques*, allaient en s'atténuant et même en s'effaçant tout à fait, et le sujet, qu'on avait cru si

nettement défini, devint de plus en plus dépourvu de démarcation précise.

De proche en proche, la vérité éclata sans voile ; dès qu'une roche est déposée elle commence à perdre ses caractères initiaux. Par le fait seul de son âge, qui augmente sans cesse, et des conditions à chaque instant variables auxquelles elle est soumise, elle se transforme peu à peu. L'altération, d'abord très faible, demande un délai plus ou moins long pour devenir aussi marquée que celles dont la qualité est évidente, métamorphique, mais il n'y a là qu'une question de degré, dont l'appréciation ne peut qu'être tout à fait arbitraire.

En résumé, toutes les roches, même les plus récentes, sont des roches métamorphiques, et cette qualification, par le fait seul qu'elle s'applique toujours, perd toute utilité et même toute signification.

Au point de vue de la philosophie géologique, la conséquence de cette première découverte est incalculable, car tous les points de vue auxquelles on se plaçait dans l'étude des problèmes de la terre en sont profondément changés. Tous les éléments de la terre étant en voie de changement

perpétuel, — la masse terrestre étant en proie à une évolution continue qui intéresse chacune de ses parties comme son ensemble tout entier, — il en résulte que, dans l'examen d'une formation donnée, il faudra toujours faire le départ entre ce qui revient aux conditions initiales du dépôt et ce qui concerne les modifications subies par ce dépôt depuis sa formation. On ne pourra plus tirer, comme on l'a fait, de l'état cristallin des sédiments océaniques anciens, des notions sur la température des mers silurienne, dévonienne et autres. Il faudra rechercher si un sédiment pareil à ceux d'aujourd'hui, étant soumis depuis les temps paléozoïques aux influences souterraines, n'aurait pas acquis les caractères minéralogiques auxquels tout d'abord on s'est laissé tromper. Or l'examen des fossiles montre bien que c'est là le vrai point de vue dont il ne faudra pas se départir : l'anatomie des trilobites par exemple est assez voisine, malgré des différences secondaires, de celle des crustacés d'aujourd'hui pour qu'on soit pleinement édifié sur l'analogie réciproque de leurs physiologies et, dès lors, la nécessité s'impose de conditions du milieu primaire tout à fait voisines de celle de l'ambiance actuelle.

Aussi, cette grande découverte de l'instabilité des caractères minéralogiques des formations géologiques a-t-elle eu les conséquences les plus graves, quant à la conception générale des périodes successives par lesquelles a passé la portion superficielle du globe. C'est de là qu'est née cette doctrine si féconde qu'on a appelée l'*Actualisme* et dont notre illustre compatriote Constant Prevost est le véritable fondateur.

Elle consiste à reconnaître qu'à chacune des époques dans lesquelles l'histoire de la Terre peut se diviser, les mêmes causes générales ont produit les mêmes effets; que les formes géographiques se sont succédé dans le temps, comme les assises du sol l'ont fait de leur côté et comme l'ont fait aussi les faunes et les flores, sans qu'il soit intervenu d'agents essentiellement différents de ceux qui travaillent sous nos yeux et qui ne paraissent moins efficaces et plus lents que parce que nous n'avons pas eu tout de suite le vrai sentiment des prodigieuses durées géologiques.

La principale conséquence de cette doctrine actualiste, et elle est considérable, c'est d'avoir dépouillé la période actuelle des traits excep-

tionnels dont on s'était plu instinctivement à l'affubler. On y voyait naguère l'époque définitive de repos et de stabilité, succédant à des âges de crises et de préparation qui avaient rempli toute l'histoire antérieure du globe. On y reconnaît maintenant un moment quelconque du développement tellurique, pendant lequel se développe imperturbablement l'ensemble des phénomènes en cours depuis les origines.

Mais, malgré les immenses progrès dont nous lui sommes redevables, la doctrine actualiste, sur laquelle il nous est impossible, faute de place, de nous appesantir davantage, laisse de côté tout un ensemble de considérations qu'on a réunies sous la dénomination d'Activisme, et qui sont destinées à prendre le rang prééminent dans la conception de la Terre, et dont nous avons déjà laissé voir un aperçu à propos de l'allure du métamorphisme.

Il ne nous suffit plus de constater que toutes les époques se sont ressemblées et que la période actuelle nous permet, par ses traits propres, de reconstituer l'histoire de chacune d'elles par de simples comparaisons. Il faut reconnaître que la continuité des phénomènes existe si

complètement des uns aux autres que l'existence même de ces périodes géologiques ne peut pas être admise plus longtemps comme une réalité. On constate que jamais l'activité propre de la Terre ne met le moindre temps d'arrêt dans quelque partie que ce soit de son ensemble et, dès lors, les coupures stratigraphiques ne sont plus que des limites théoriques ayant avec les études géologiques les mêmes rapports que le réseau des longitudes et des latitudes présente avec les études de géographie. Ce sont des moyens de classement indispensables à la connaissance des faits, mais ne représentant absolument rien de plus.

Il y a cependant encore des géologues qui en sont au point de vue ancien de l'importance fondamentale des limites stratigraphiques et qui discutent avec âpreté pour défendre l'opinion que telle couche, visible en telle localité, doit être considérée comme la limite supérieure de telle formation donnée et non comme le début de la formation subséquente. Ce genre d'intransigeance, tout à fait de mise lors des travaux d'Alcide d'Orbigny, qui encadrait chaque terrain entre deux cataclysmes dus à des soulèvements brusques de montagnes supprimant instantanément la

totalité de la faune et de la flore, n'a plus aucune signification depuis qu'il est établi que le phénomène sédimentaire comme le phénomène biologique sont essentiellement continus. Autant la détermination précise des assises superposées a d'importance dans une description géologique locale, autant elle devient pué- rile quand on songe à l'appliquer à l'histoire de la Terre entière. La prétention de retrouver partout les mêmes dépôts lithologiques, avec les mêmes catégories de fossiles se succédant dans le même ordre, est absolument contraire à la nature des choses et c'est pour cela, soit dit en passant, que l'attribution à des formations peu épaisses d'un nom tiré d'une localité donnée est le plus mauvais de tous les systèmes de dénomination. Quoi qu'on dise et quoi qu'on fasse, on ne trouvera jamais dans le bassin de Paris le terrain yprésien ou le terrain bartonien, qu'il faut aller chercher à Ypres (en Belgique) ou à Barton (en Angleterre) et qui ne sont nulle part identiques à ce qu'ils sont dans ces localités particulières.

De plus, la notion de la continuité des phénomènes géologiques et de leur persistance à

l'époque actuelle, avec l'allure qu'ils ont toujours eue, se complète par la découverte, dans la structure de la Terre, de véritables appareils anatomiques grâce auxquels chacun d'eux se réalise. Il en résulte comme un retour, sous une forme grandiose, aux intuitions vitalistes du passé; à la constatation d'un véritable état de vie, et de vie très intense, à laquelle la masse terrestre est en proie, au point de ressembler d'une manière troublante à un gigantesque organisme.

Nous voilà loin, comme on voit, du point de vue qui fut classique si longtemps et qui emprunta sa force à l'autorité des grands génies auxquels nous devons les bases de la science: à Cuvier, par exemple. Les entrailles du sol ne sont plus seulement un magasin où se sont conservés pour notre enseignement des vestiges de toutes les productions géologiques; ce sont des agencements compliqués, de véritables tissus composant des organes, dont chacun est destiné à l'accomplissement d'une fonction particulière. La Terre, loin d'être inerte, comme on l'a supposé si longtemps, avance sans cesse dans la voie d'une évolution qui a pour conséquence, non seulement d'ajouter à chaque instant des

traits nouveaux à sa composition antérieure, mais encore de faire varier continûment les détails de ses éléments.

La cause de cette évolution est sensible et peut être résumée en quelques mots. Elle réside entièrement dans la contraction, incessante, et sans compensation, que subit la masse du globe sous l'influence de la déperdition, au travers des espaces célestes, de sa chaleur d'origine. Sans revenir sur des détails de cosmogonie qui ne sont pas indispensables, on sait bien que le refroidissement spontané du globe doit nécessairement amener parallèlement deux grands ordres de phénomènes. D'une part, le volume de la planète et conséquemment sa forme doivent changer : le volume, parce que le noyau fluide interne se rapetisse sans cesse ; la forme, parce que la croûte solide qui enveloppe le noyau n'étant pas rétractile en elle-même doit s'infléchir, se rompre et se redoubler pour ne pas abandonner le support qui, à chaque instant, se dérobe sous elle. D'autre part, l'agencement de ses diverses parties doit se modifier et avant tout ses fluides externes, océan et atmosphère, primitivement repoussés à la périphérie par la haute

température du noyau, tendent, au fur et à mesure du refroidissement, à progresser vers le centre où les rappellent à la fois la pesanteur et les attractions capillaires.

D'ailleurs, pour toute la région externe du globe et jusqu'à une faible profondeur dans sa masse, l'énergie solaire intervient pour déterminer des réactions mécaniques et chimiques prodigieusement variées.

C'est grâce à ces deux facteurs d'origine commune, mais de situation inverse de part et d'autre de la *croûte terrestre*, que toute la physiologie tellurique va pouvoir donner naissance à l'innombrable série des phénomènes qui, à chaque instant, pétrissent et façonnent les diverses régions de la masse terrestre.

Aussi est-ce avec un intérêt tout particulier qu'on arrive, en conséquence de toutes ces données, à préciser les mécanismes par lesquels sont réalisées des séries de transformations et de déplacements, qui tout de suite prennent l'apparence de circulations et dont l'effet commun est de maintenir le globe dans un état permanent d'équilibre parfait, au milieu des changements incessants que l'évolution détermine.

Une description très rapide de ces appareils ne peut manquer de frapper l'imagination, par sa ressemblance avec les traits d'une anatomie ordinaire. Aussi croyons-nous pouvoir nous y arrêter un moment.

Dans ce genre d'études encore si nouveau, et où il reste tant à faire, la première réflexion qui s'impose à l'esprit, c'est que les phénomènes de la physiologie tellurique procèdent de deux centres d'énergie tout à fait distincts, quoiqu'ils puissent collaborer à certains résultats : le foyer calorifique propre des profondeurs souterraines et le Soleil.

Depuis l'origine de la Terre et bien que notre globe dérive à coup sûr du Soleil et représente un lambeau évoluant à part de la matière même qui le constitue, le rôle de notre astre central dans l'économie terrestre va toujours en s'affirmant, en s'accroissant avec le temps.

Aux débuts, la chaleur interne était assez puissante à la surface pour que toute la matière planétaire fût à l'état de fluides et peut-être exclusivement de gaz, et il a fallu un rayonnement bien longtemps continué vers les espaces, pour que l'état solide se déclarât dans une région sphé-

roïdale convenablement distante du centre et qui se constitua à l'état de première ébauche de la croûte terrestre.

A partir de ce moment, la chaleur d'origine profonde rencontra plus de difficulté à se dissiper dans l'espace : la croûte, mauvaise conductrice du calorique et en voie continue d'épaississement, forma peu à peu un écran des deux parts duquel les températures régnantes furent de plus en plus différentes. La condensation de quelques-uns des fluides extérieurs, en inaugurant les océans, amena les conditions propres au développement de la vie et dès lors le Soleil fit son domaine de la portion superficielle du sphéroïde tellurique, même alors que, longtemps encore, les émissions chaudes centrifuges devaient s'ajouter aux radiations héliques. Aujourd'hui, elles ont cessé d'avoir une influence sensible et dès lors sont apparus les climats.

Cette distinction primordiale étant acceptée entre les deux centres dynamiques dont la Terre éprouve les effets, il convient maintenant de constater que, pour les parties de la planète accessibles à nos études, ils paraissent s'y dépenser d'une façon fort inégale. Le maximum de

puissance dépend du foyer interne et c'est de lui qu'émanent la plupart des manifestations très violentes des forces géologiques que nous allons examiner; mais le maximum de variété reviendra à la cause externe ou solaire, en même temps que le summum de délicatesse.

Ainsi que nous le disions tout à l'heure, les énergies géologiques se traduisent par le développement de véritables *fonctions* comparables, dans leur allure individuelle comme dans leur harmonieux arrangement mutuel, aux dispositions de la physiologie proprement dite. Ces fonctions — intimement liées les unes aux autres, comme la respiration, la circulation, la digestion, etc., sont profondément associées chez un animal, — peuvent cependant, comme ces dernières, être énumérées et décrites indépendamment les unes des autres. Nous en rapporterons trois à l'actif de la chaleur souterraine et cinq au compte du Soleil. Il suffira de rappeler à l'égard de chacune d'elles quelques traits suffisamment distinctifs pour qu'on ait ensuite de l'ensemble un sentiment général.

II

A cet égard, l'écorce terrestre, considérée indépendamment des caractères chimiques de sa substance, nous apparaît comme un organe distinct présidant à l'accomplissement de tout un ordre de phénomènes qu'on peut réunir sous le nom de fonction corticale. L'écorce constitue avant tout cet écran mauvais conducteur de la chaleur qui met la surface du globe à l'abri d'une radiation incompatible avec les phénomènes externes et spécialement avec les manifestations biologiques; — qui ralentit aussi le rayonnement du noyau et qui, par suite, assure à l'évolution planétaire une durée plus longue, une transition plus ménagée entre ses degrés successifs.

L'écorce terrestre a aussi un autre rôle, qui n'est pas moins important, et dont les effets se retrouvent à tous les moments des époques géologiques. C'est de se modeler constamment sur la surface sphéroïdale, au rayon sans cesse raccourci par la contraction du noyau fluide qu'elle renferme. Incapable de se rétracter sur elle-même sans changer de forme, comme le fait tout naturellement le noyau à cause de sa fluidité, elle est apte, grâce à sa flexibilité, à s'onduler (et c'est la cause des bossellements généraux, c'est-à-dire de la formation des continents et de la localisation des mers), à se contourner (et c'est la cause des chaînes de montagnes), à se briser (et c'est la cause des failles).

A ce triple égard, le modelé de la surface, auquel collaboreront tant d'autres actions, doit la partie primordiale de son profil à la source d'énergie renfermée dans les abîmes souterrains. La fonction corticale, qui donne à la surface terrestre les allures d'une poitrine qui respire, détermine, par une espèce de mouvement péristaltique, une émigration continue des continents; elle déplace, au cours des temps, par une sorte de répulsion pour le pôle, les ridements monta-

gneux vers des régions de plus en plus équatoriales et du même coup elle transporte dans le même sens les lignes de manifestations volcaniques. C'est en conséquence de ce régime spécial qu'on voit persister, au travers des temps géologiques, la dépression, d'ailleurs de peu d'étendue, qui entoure le pôle nord et sur laquelle des théoriciens ont insisté dans ces derniers temps. Les expériences auxquelles j'ai soumis au laboratoire les conditions du mécanisme cortical en ont procuré une reproduction frappante.

III

Mais il convient de distinguer de la fonction précédemment décrite un ensemble de phénomènes qui se développent dans l'épaisseur de la croûte du globe. Ils vont nous offrir un premier exemple de ces circulations de matière, fréquentes dans l'économie de la planète et qui lui donnent si visiblement l'allure caractéristique des êtres vivants. Il s'agit de la fonction volcanique, considérée sous un jour qui n'est pas celui auquel on se place d'ordinaire quand on l'étudie et qui va lui faire acquérir toute sa signification. Cette fonction consiste avant tout dans un irrésistible transport de substances empruntées aux

zones profondes de l'écorce et rejetées dans l'atmosphère ou épanchées à la surface du sol et elle emprunte la puissance mécanique qu'elle réclame pour parvenir à son but à un concours de conditions qui dépendent les unes du jeu de l'activité corticale déjà décrite, et les autres des propriétés physiques relatives des zones périphériques de la terre.

Les progrès du refroidissement spontané, qui avaient déjà terminé la condensation des océans à la surface du sol, provoquent ultérieurement, dans ce même sol, la pénétration de l'eau liquide et lui permettent de parvenir jusqu'à une profondeur, à chaque instant réglée par la quantité de chaleur perdue par le globe. En conséquence, l'écorce se subdivise en deux zones superposées, dont la plus externe est pourvue de l'eau de pénétration et dont la plus profonde est si chaude encore que, non seulement cette eau ne saurait y parvenir spontanément, mais que si, par une cause quelconque, elle y était introduite, sa volatilisation, sa dissociation peut-être développeraient dans les laboratoires souterrains une puissance mécanique intense. Or, c'est par le jeu des refoulements corticaux mentionnés

plus haut que cette introduction en profondeur est réalisée d'une façon tout à fait normale, fatale même, étant donné que l'ouverture des failles orogéniques et que la production des *rejets* dont elles sont inévitablement suivies ramènent, par-dessus des zones pourvues d'eau de pénétration, des assises venant de plus bas et dont la très haute température provoque le réchauffement en vase clos de la roche mouillée. Cette opération, dont Sénarmont nous a révélé les effets par ses immortelles expériences à l'aide de l'eau « suréchauffée », a pour premier résultat de contraindre l'eau, sous un état physique dont nous n'avons qu'une idée approximative, à s'incorporer dans la roche maintenant fondue qu'elle ne faisait que mouiller auparavant. Par cette occlusion, elle lui procure les qualités foisonnantes grâce auxquelles la masse, désormais passée à l'état de lave volcanique, pourra surgir vers la surface du globe et même au-dessus, si la moindre fissure lui en ouvre le chemin. Et cette série de phénomènes, avec les conditions anatomiques qu'ils supposent pour se manifester, rendent assez compte de la localisation observée des volcans actuellement actifs, ainsi que

du déplacement, avec le temps, des zones volcaniques, parallèlement au recul spontané des lignes de relief orographiques. Ajoutons d'ailleurs que le rôle attribué dans la genèse des volcans à l'eau d'imbibition des couches du sol n'est pas rempli par elle seule, mais au même degré, quoique en proportion de leur moins grande abondance, par tous les autres corps contenus dans les roches réchauffées et qui sont capables de s'associer sous pression au verre fondu ; de s'en dégager aussi comme fluides élastiques à la suite d'une diminution de la tension superposée. C'est ce qui explique les considérations tirées de leurs expériences par M. Armand Gautier et bien plus récemment par M. Albert Brun (de Genève). Bien loin de contredire les faits précédents, en l'associant à l'eau ou même en lui substituant dans certains volcans d'autres substances explosives, ces chimistes les étendent et les confirment de la manière la plus heureuse.

On voit bien, par cette description trop rapide, le caractère circulatoire de la fonction volcanique : l'eau qui pénètre verticalement dans le sol au fur et à mesure de son refroidissement spontané, ferme le cycle ainsi commencé de haut en

bas, en remontant après le réchauffement souterrain le long des cheminées volcaniques. Et, dans ce trajet ascensionnel, elle entraîne avec elle les matériaux profonds auxquels elle s'était provisoirement conjuguée et procure aux êtres qui vivent à la surface une vraie contribution alimentaire. Le volcan en effet est non seulement la source initiale où se puisent le phosphore et bien d'autres éléments des tissus vivants ; c'est encore et surtout l'origine du carbone, sans lequel aucune vie organique n'est possible. C'est le volcan qui vient à chaque instant réparer les pertes subies par l'océan aérien en gaz carbonique par le fait de la transformation des feldspaths en argile, dont la conséquence est la constitution des calcaires, et par le fait aussi de la fossilisation des êtres vivants et spécialement des plantes, qui passent tout doucement aux états successifs de tourbe, de lignites, de houille, d'antracite et de graphite ou mine de plomb. Et sans nous attarder à énumérer toutes les substances qu'il fournit à la surface et toutes les énergies qu'il véhicule en même temps, bornons-nous à remarquer que le rôle du volcan, indispensable à l'équilibre de la Terre, suppose

nécessairement qu'il est intervenu de la même façon à toutes les époques géologiques dans l'harmonie des choses. Aussi est-ce un motif d'étonnement bien profond que de constater sa méconnaissance complète par des géologues de profession sinon de tempérament, qui ont voulu priver la plus grande partie de l'histoire de la terre de la collaboration volcanique. Elie de Beaumont, pour nommer seulement le plus illustre de ceux qui ont professé cette singulière doctrine, faisait des volcans à cratère un apanage distinctif de la période actuelle. Il a fallu d'innombrables efforts pour faire admettre par tout le monde que « les roches plutoniques sont sorties des régions infra-granitiques par un mécanisme du même genre que celui en vertu duquel les roches volcaniques viennent actuellement au jour », conformément aux expressions que j'employais déjà en 1879 dans un ouvrage intitulé *les Causes actuelles en Géologie*.

IV

Enfin, une troisième grande fonction de la physiologie tellurique vient se ranger à côté des deux autres comme empruntant, à leur exemple, l'énergie qu'elle met en œuvre au foyer propre de la chaleur interne

C'est celle à laquelle peut convenir le nom de bathydrigue parce qu'elle s'accomplit par le concours des eaux d'imprégnation dont sont fournies les assises souterraines profondes. Ces eaux constituent des nappes toujours en mouvement, dont la température est celle des nappes rocheuses qui les encaissent et dépend, par conséquent, de leur profondeur et dont l'énergie chimique, strictement réglée par la chaleur même de cha-

que point, les rend aptes à la réalisation d'une foule de phénomènes chimiques.

On peut résumer tout le travail qu'elles réalisent en disant que, grâce à elles, l'étoffe des couches du sol est en proie à une transformation continuelle. Nulle partie de la masse terrestre n'a atteint une situation d'équilibre stable : par suite du refroidissement spontané et à cause de ses conséquences multiples, chaque point s'arrange à chaque instant d'une façon nouvelle et l'agent principal de la transformation c'est l'eau de circulation profonde. Cette eau, baignant les composés variés dont les roches sont formées, leur emprunte certains de leurs éléments qui la *minéralisent* et son passage en des localités différentes suffit souvent pour qu'il s'y dépose des matières qu'elle tenait en solution, tantôt par le seul fait d'un changement de température, tantôt par la rencontre de quelque substance possédant des propriétés convenables.

C'est à ces circonstances que se rattacherait, avec des allures très inégales et des conséquences très variées, le développement du métamorphisme sous toutes ses formes, la constitution

des filons métallifères, la fossilisation des vestiges organiques et beaucoup d'autres phénomènes.

La place nous interdit de nous y arrêter ; rappelons seulement que, dans ces deux directions, l'expérimentation est venue donner, en faveur de la doctrine qui vient d'être résumée, l'appui le plus décisif aux faits d'observation.

V

Mais à côté de ce grand ensemble des fonctions endogéologiques, nous avons à considérer un groupe non moins compliqué et non moins imposant de manifestations qui reçoivent leur cause déterminante de l'activité du Soleil.

En première ligne, se présente, avec un caractère spécialement accusé de circulation continue, l'œuvre réalisée par les eaux superficielles.

Il s'agit d'une espèce de pendant à la nappe d'eau profonde qui vient de nous occuper, mais qui est constitué par l'ensemble des ruissellements produits sur le sol par la pluie et des

infiltrations qui imprègnent les régions les plus superficielles de l'écorce rocheuse : celles où les vicissitudes saisonnières de la température se traduisent par des oscillations thermométriques, plus ou moins accusées.

Dans cette direction, le fait dominateur, c'est que l'eau se déplace sans cesse au contact des masses rocheuses, entraînant des particules délayables et extrayant des particules solubles, de façon à réaliser une érosion qui contribue avant tout à donner à la surface exondée un profil tout à fait caractéristique. Elle fait davantage encore, car elle imprime fréquemment au sous-sol dans lequel elle se meut un ensemble de caractères distinctifs tout particulièrement net et qu'on peut désigner sous la dénomination générale de faciès continental.

Une conséquence importante de ces faits doit être signalée, c'est que le recouvrement postérieur des couches, ayant subi la transformation en question par les dépôts de la mer, n'efface pas toujours les contrecoups de la condition subaérienne qu'elles ont subies ; il en résulte que la paléogéographie, c'est-à-dire la restauration des traits anciens de la géographie, peut

et doit tirer un bénéfice direct et positif de considérations de ce genre.

Sous ses trois formes principales d'eaux sauvages ou de ruissellement, d'eaux courantes et d'eaux souterraines, la nappe épipolhydrique réalise avec des allures périodiquement variables d'énormes travaux érosifs et sédimentaires et elle mérite d'être classée parmi les agents géologiques les plus efficaces de la surface.

Les eaux sauvages opèrent une dénudation dont la valeur considérable apparaît très éloquentement dans les pays où, par suite de circonstances spéciales, certains points du sol peuvent persister inattaqués et se constituent ainsi à l'état de véritables *témoins*. Tantôt il se fait ainsi des pyramides de terre, ou cheminées des fées, de trente mètres et davantage, comme à Saint-Gervais, tantôt des coulées de lave, épanchées nécessairement selon des lignes de thalweg, sont devenues peu à peu des lignes de crête, comme on le voit à chaque pas en Auvergne, comme je l'ai trouvé à Mléty, sur le flanc sud du Causase, comme on le reconnaît dans d'innombrables autres localités.

Les eaux courantes, apparues seulement le

jour où la circulation des eaux sauvages a dessiné la première ébauche des vallées, et représentant par conséquent un simple élément linéaire de la nappe d'eau d'infiltration superficielle, remanient sans cesse le terrain sur lequel elles se meuvent et lui impriment un caractère tout à fait particulier.

C'est ainsi que, par des déplacements successifs accompagnés de triages prodigieusement délicats, le diluvium prend sa structure amygdaloïde, suffisante à elle seule pour faire rejeter sans appel les théories violentes auxquelles on eut d'abord recours pour interpréter toute la géologie fluviale. Il est bien remarquable que, pendant si longtemps, la structure spéciale du diluvium ait échappé aux observateurs et c'est sans doute l'un des exemples les plus décisifs que l'on puisse citer de la cécité fatalement consécutive au trop fidèle attachement à des idées préconçues.

Enfin, les eaux souterraines cantonnées dans les régions voisines de la surface du sol réalisent dans les pays continentaux, spécialement dans ceux dont la roche dominante est le calcaire, des travaux de corrosion pouvant atteindre de

très grandes dimensions. Sous l'effet de leur circulation incessante, des cavités de toutes dimensions s'ouvrent, pour se remplir d'ailleurs bien souvent de matériaux charriés mécaniquement, comme des argiles ou des sables, ou de produits déposés chimiquement, comme les formations stalactitiques et stalagmitiques. Toute la spéléologie, à laquelle une si grande attention est consacrée depuis ces dernières années, se rattache à ce chapitre de la physiologie de la Terre.

VI

La mer se signale au premier rang des *appareils* les mieux définis de l'anatomie planétaire. C'est une irrésistible machine de démolition et de trituration des masses rocheuses, et c'est en même temps un laboratoire dont les régions profondes sont spécialement favorables à l'édition de formations stratifiées. On ne peut négliger de mentionner l'association intime de la fonction océanique avec la fonction corticale. C'est grâce aux dénivellations de la surface du globe que les océans sont localisés dans leurs bassins et c'est grâce aux bossellements généraux que les mers accomplissent sur la planète

des déplacements horizontaux qui, sans relâche, les jettent sur des parties précédemment continentales, pour exhausser, en compensation, d'anciens fonds submergés.

La masse océanique est le théâtre de circulations ininterrompues, qui s'accomplissent en grand comme celles des eaux courantes subaériennes et qui brassent des matériaux provenant des régions les plus diverses. On peut cependant remarquer que ses flots, qui en font un outil de trituration et de brassage, non seulement de particules rocheuses, mais même de fluides, puisque c'est la raison de la dissolution dans l'eau de l'air nécessaire à la vie aquatique; — ses flots, dis-je, ne tiennent pas à la même cause motrice que ses marées et que celles-ci sont encore distinctes des courants réguliers constituant tout un réseau dans la masse aqueuse. C'est ce qui explique que, suivant les points, les produits de la sédimentation mécanique marine se présentent comme de simples précipitations verticales de troubles précédemment tenus en suspension, où bien comme des nappes charriées horizontalement et abandonnées sur le fond de la mer dans des points définis par l'état dynami-

que de l'eau qui y circule, ou bien enfin, comme de délicates intrications lenticulaires pareilles à celles qui caractérisent les dépôts de nos rivières et y trahissent la mobilité de méandres sans cesse renouvelés.

Dans tous les cas, ce qui constitue avant tout le trait distinctif de la sédimentation marine, c'est l'exactitude des triages qui se manifestent entre les diverses particules abandonnées dans le bassin liquide. Il suffit que deux fragments rocheux diffèrent l'un de l'autre, soit par leur poids, soit par leur forme, soit par leur densité, pour qu'ils soient destinés à se séparer et à gagner progressivement des points différents où ils rencontreront les conditions favorables à leur stabilité de situation. On est émerveillé, sur bien des points des côtes, de la délicatesse avec laquelle des séparations de ce genre sont réalisées. C'est là évidemment l'origine de cette particularité des terrains sédimentaires de tous les âges d'être de composition minéralogique très homogène, abstraction faite, bien entendu, des substances engendrées dans leur masse, après le dépôt, par la circulation de la nappe d'eau souterraine.

On constate avec une netteté spéciale cette génération de matériaux homogènes, comme résultat du triage des produits de démolition de falaises complexes, dans des pays constitués comme l'est la ligne littorale de la Haute-Normandie. La craie dont les falaises y sont faites s'est enrichie de nodules siliceux par une concrétion postérieure à son dépôt. La démolition à laquelle la mer la soumet en retire les trois catégories principales de matériaux désignés couramment sous les noms classiques de limons, de sables et de galets.

Quoique résultant d'une désagrégation simultanée, ces produits sont entraînés par le reflux, de façon fort inégale, strictement réglée par la qualité de chacun d'eux. Les galets, abandonnés tout de suite par les filets d'eau, se groupent, en un bourrelet ou cordon littoral, derrière lequel s'étendent d'abord une bande de sable correspondant à la zone de balancement des marées, puis une large surface de limon qui s'étale aussi loin du rivage que les courants eux-mêmes, non encore débarrassés par précipitation de tous les troubles dont ils s'étaient chargés.

Pendant que ces formations se développent

dans les régions marginales des océans, des productions différentes se déclarent dans les points abyssaux, complétant la série des sédimentations marines, et la comparaison mutuelle des différents termes de cette série a conduit à la conception des faciès marins, qui a été si féconde en géologie.

Enfin, pour nous en tenir aux plus grandes lignes du sujet, remarquons que l'entrée dans la mer des courants aqueux venant des continents sous la forme des fleuves apporte un important contingent à la série de ces phénomènes. D'un côté, il se fait sur le fond submergé des sillons qui continuent les vallées et d'autre part la destruction de force vive, infligée aux cours d'eau douce par l'inertie relative de la masse marine, détermine la précipitation des matières charriées. L'ensablement de beaucoup d'embouchures se signale comme une forme des mêmes effets, qui se retrouvent dans l'édification des flèches littorales. Celles-ci sont spécialement éloquentes pour montrer l'extraordinaire précision avec laquelle les moindres modifications dans le régime dynamique des liquides se traduisent par l'allure des dépôts au contact desquels ils se

trouvent : les flèches littorales régularisent le profil de certaines côtes découpées et représentent de vrais stéréogrammes des courants marins. De leur côté les deltas résultent d'une espèce de conflit entre les fleuves et les poussées océaniques et leur étude a permis de dévoiler le mode de formation de certains gisements, parmi lesquels figurent plus d'un bassin houiller.

Ajoutons que le grand laboratoire neptunien met en œuvre d'innombrables réactions chimiques dont plusieurs déterminent l'isolement d'espèces minéralogiques dont l'origine aqueuse n'était pas soupçonnée : du nombre sont les concrétions manganésifères connues sous le nom anglais de *wad* et les cristallisations de ces zéolithes, dont les analogues sont de rencontre normale dans les vacuoles des roches volcaniques modifiées par les réactions bathydriques.

Enfin, c'est parmi les actions chimiques de l'océan qu'on a rangé la régulation de l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère et qui se maintient à la dose de 3 dix-millièmes qu'on lui retrouve partout, grâce à la faculté dont jouit l'océan, en conséquence des phénomènes de la dissociation, de réparer ses fléchissements par

une décomposition proportionnée du bicarbonate de chaux qu'il tient en dissolution, et de corriger ses excès, en bicarbonatant une quantité convenable du calcaire qu'il charrie en suspension.

VII

D'ailleurs, il paraît nécessaire, pour la netteté des conclusions finales, de considérer à part l'eau de surface qui, sous l'influence du froid, a pris l'état solide, car la glace réalise des travaux qui gardent une allure spéciale et qui impriment au sol un faciès souvent reconnaissable. Ici encore il a fallu lutter contre des préjugés, dont quelques-uns n'allaient à rien moins qu'à dénier aux glaciers toute efficacité érosive, sinon même à leur attribuer, comme on l'a fait un temps, le pouvoir de protéger les roches contre toute dénudation ultérieure. La vérité c'est que les fleuves d'eau solide sont des agents d'usure extraordi-

nairement actifs; ils creusent énergiquement la vallée dans laquelle ils s'écoulent et ils sont en proie aux phénomènes de régression mis en évidence pour les cours d'eau liquide. Aussi écrasent-ils les massifs montagneux tout entiers avec une très grande rapidité, étalant dans les parties basses une fraction plus ou moins notable des matériaux ravis aux sommets.

Le mécanisme qu'ils mettent en œuvre est lui-même bien particulier et suppose l'entraînement par la glace, à la surface des roches qui la supportent, de fragments pierreux agissant comme les burins ou comme la poudre à polir aux mains du lapidaire. Mais ce mécanisme se complique de l'augmentation d'énergie que la présence du glacier suffit à communiquer, dans ses entours, aux facteurs ordinaires de l'intempérisme : la pluie, la condensation des vapeurs aqueuses, l'abondance des ruisellements comme la fragilité de certaines roches sont accrues par lui dans des limites très larges. Par exemple, les arêtes rocheuses, et spécialement celles qui sont constituées de masses schisteuses séparant l'un de l'autre deux bassins hydrographiques de glaciers voisins, sont soumises à une dénudation incom-

parablement plus active que les régions montagneuses des bassins fluviaux. Et, en effet, la protection, ailleurs procurée aux flancs des vallées par l'accumulation des éboulis, n'est plus représentée par rien; ici les blocs descendus d'en haut et parvenus sur le dos du glacier sont, à la vitesse près, emportés comme des fétus par une rivière — quelle que soit d'ailleurs leur densité par rapport à celle de la glace. Aussi ne s'étonnera-t-on jamais trop de l'incroyable opposition faite par quelques géologues à la doctrine de la capture des glaciers — au moment même, il faut l'ajouter, où divers voyageurs constataient la légitimité du même point de vue, par l'observation directe des glaciers réalisant le phénomène.

Le fait d'ailleurs est de conséquence bien plus large qu'on ne s'imaginerait d'abord et peut-être y faut-il voir la raison d'une partie des résistances signalées. Il se trouve, en effet, que le résultat d'une capture glaciaire est à la fois de décapiter un glacier persistant et de fournir à un autre une brusque augmentation alimentaire. Pendant que le premier se trouve ainsi tari, le second peut reprendre et dépasser

des dimensions qu'il avait perdues peu à peu par le jeu normal de l'évolution ordinaire. Et de ce chef, certains points des vallées paraissent offrir les traces de l'ancienne superposition de deux ou de plusieurs nappes glaciaires agissant sur la même verticale. C'est ce qu'on voit, par exemple, dans de célèbres localités aux environs de Zurich, comme dans bien d'autres points de toutes les grandes chaînes de montagnes. Or, il arrive qu'on a observé la superposition en question, avant de l'avoir prévue par l'examen de la physiologie glaciaire, et dès lors on a proposé, pour en rendre compte, toute une théorie qui a été acceptée dans tous les pays — ce qui ne l'empêche pas d'être inexacte. D'après elle, la cause des anciens glaciers, et qui serait une cause générale agissant sur toute la surface de la terre à un moment déterminé, se serait manifestée plusieurs fois, séparées les unes des autres par des périodes d'abstention. Et c'est l'origine de cette croyance, devenue classique, que non seulement notre planète a traversé une période glaciaire, mais même qu'elle en a subi plusieurs, entre lesquelles la température s'était très notablement radoucie. Pour un esprit impartial, cette

manière de voir présente dès l'abord de très grande difficultés et bientôt même elle apparaît comme tout à fait impossible à conserver. On trouve en effet que le nombre de ces retours de froid, dont la cause est d'ailleurs tout à fait problématique, aurait varié d'une localité à une autre : d'un des versants de la chaîne des Alpes à l'autre, de l'Europe continentale à l'Ecosse, etc. Les phénomènes, mal observés d'abord, s'éclaircissent d'eux-mêmes quand on les rattache à des conditions locales, quand on substitue à l'idée de changement universel et simultané de toute la surface terrestre, celle de l'évolution propre de chaque glacier avec les détails particuliers qui le concernent en raison de sa constitution même.

Sans insister sur ce point, qui prêterait à des développements considérables, on peut remarquer que la notion à laquelle nous venons de parvenir a le grand mérite de faire disparaître une anomalie inexplicable dans l'évolution de la météorologie au travers des périodes géologiques. Tout le monde sait, en effet, par le témoignage irrécusable des fossiles, et spécialement par celui des plantes, que la température de la

surface du sol et de la masse marine est allée sans cesse en se modérant depuis les premières époques géologiques. Par exemple, la température moyenne en un lieu donné était plus élevée à l'époque houillère qu'à l'époque bathonienne; elle était plus élevée à cette époque bathonienne qu'à l'époque cénomaniennne; plus élevée à l'époque cénomaniennne qu'à l'époque lutétienne; de moins en moins chaude aux époques tortonienne et astienne qui appartiennent aux temps miocènes et pliocènes. Et voilà qu'au moment pléistocène ou quaternaire le froid se serait temporairement déchaîné de façon à infliger à la courbe thermométrique une inflexion brusque suivie d'un rebroussement correspondant aux « temps actuels ».

La supposition est d'ailleurs contredite par des faits positifs d'observation, et les tufs de la Celle (près Moret, Seine-et-Marne) sont aussi éloquents pour démontrer la haute valeur de la température moyenne comparée à la nôtre pendant l'époque quaternaire que ceux de Meximieux (Ain) sont reconnus l'être pour les temps pliocènes. D'ailleurs, la soudure de plus en plus intime reconnue chaque jour entre les dernières

périodes géologiques conduit à accorder aux phénomènes glaciaires une antiquité bien plus grande qu'il n'avait d'abord paru légitime de le faire et nous savons qu'au moment où les grenadiers prospéraient à Meximieux il y avait, non loin des glaciers jurassiens disparus, des moraines que les phénomènes ultérieurs ont dispersées.

Du reste, la supposition de la période glaciaire — ou des périodes glaciaires successives — est une des dernières manifestations du vicieux point de vue géologique auquel on a donné depuis longtemps le nom de cataclysmien, et qui faisait intervenir dans le cours des temps de véritables coups de théâtre changeant brusquement l'allure des choses. L'illégitimité si bien démontrée de cette manière de voir dans maintes directions doit faire supposer qu'ici encore elle est le fruit d'une mauvaise interprétation de la nature ; et c'est ce qui est confirmé par un examen plus attentif.

En effet, dans l'histoire des phénomènes glaciaires, ce qui domine c'est l'influence de conditions locales et non point l'intervention de causes générales. Chaque fois qu'un massif monta-

gneux est soulevé à une altitude suffisante, il se constitue à l'état de condensateur de l'eau atmosphérique et devient un centre d'irradiation de glaciers. Ceux-ci, par le seul fait de leur existence, usent progressivement le relief d'où ils tirent leur alimentation et déterminent l'appauvrissement de leur propre subsistance. Aussi les voit-on abandonner successivement les régions où ils déposaient leurs moraines frontales, se reculer peu à peu et disparaître enfin, en ne laissant sur le sol que des traces, d'ailleurs aussi fragiles que tout d'abord évidentes, de leur extension éphémère. Et comme le phénomène orogénique se déplace avec le temps, les régions glaciaires elles-mêmes passent d'une région à une autre plus ou moins distante. En outre, les traces glaciaires dans les pays dont nous parlons sont superficielles et leur âge relatif ne pouvant être déterminé par la stratigraphie, on a été amené à les considérer comme synchroniques, alors qu'elles sont seulement comprises dans les limites d'un même âge géologique. Tous les glaciers dispersés dont nous retrouvons les vestiges ont existé durant le laps de temps qui sépare les temps miocènes du moment présent; mais on

sait combien de centaines de milliers d'années cette durée peut représenter. Si les divers glaciers se sont succédé seulement à 20.000 ans d'intervalle, le résultat est évidemment tout autre que si tous les points où l'on trouve des moraines fossiles ont été à la même minute recouverts de glace. Dans ce dernier cas, c'est un phénomène qui doit dépendre d'une cause générale ; dans l'autre, c'est une manière d'être qui ne demande aucune condition différente de celles que nous éprouvons aujourd'hui.

Or, en comparant entre eux les pays où les glaciers ont laissé des témoignages de leur existence, on arrive à reconnaître qu'en effet ces délinéaments sont d'âges divers et qu'il existe des uns aux autres des différences révélant une évolution toujours la même, mais commencée à des instants divers, dans l'économie des glaciers.

Sans développer ce sujet, qui nous entraînerait en dehors de nos limites, je rappellerai seulement qu'à côté du glacier alpin, de la Mer de glace par exemple ou des Bossons, qui sont les types les plus parfaits du genre, on peut considérer les glaciers des Pyrénées comme en représentant une transformation par atrophie. Le

glacier alpin comprend en effet deux parties essentielles qui sont le large bassin des hautes régions et l'étroite coulée qui descend jusqu'à des altitudes extrêmement inférieures au niveau des neiges persistantes. C'est à l'extrémité de ces coulées que se présentent les énormes moraines frontales dont la multiplicité pour un même glacier indique si évidemment le recul progressif de celui-ci. Dans les Pyrénées, le large cirque existe seul maintenant et en général la coulée est tout à fait supprimée, quoique son existence passée, absolument incontestable, nous soit révélée par l'allure du sol dans les vallées et par la persistance des moraines frontales, souvent nombreuses et pourvues encore de tous leurs caractères.

Or, ce contraste est en relation très certaine avec la différence d'altitude des deux chaînes, elle-même en rapport avec l'inégalité de leur âge. Et on ne peut contester que si on remettait les Pyrénées en possession de tout ce qu'elles ont perdu de matériaux par le jeu des glaciers et en général par tous les agents de l'intempérisme, on ne leur rendît du même coup une altitude qui, en rapprochant leur profil de

celui des Alpes, leur restituerait les masses de neiges qu'elles ont perdues et les longs fleuves de glace qui en descendaient.

Les Pyrénées sont des Alpes d'un plus grand âge, où l'usure du sol a déterminé une allure nouvelle des glaciers. Il est à croire que, quand ceux-ci y avaient le maximum de développement, les Alpes n'étaient point encore dans la condition la plus favorable au développement des coulées congelées et qu'en somme, au point de vue de la distribution du froid, l'Europe devait ressembler beaucoup, sauf pour les localisations, à ce qu'elle est aujourd'hui.

D'ailleurs, à côté de ces deux types, — alpin et pyrénéen, — qui peuvent représenter deux stades dans l'évolution régressive du phénomène glaciaire, il faut considérer le cas de pays qui, comme le massif des Vosges, présentent à l'observation tout ce qui caractérise les régions glaciaires, sauf la présence de la glace. Ici des vallées qui, comme les précédentes, sont barrées de moraines multiples, des flancs de rochers moutonnés et striés et même, au sommet du point culminant, c'est-à-dire du Hohneck, des champs de neige qui persistent jusqu'en août et parfois

même jusqu'en septembre. Il suffirait, comme tout à l'heure, de restituer aux parties hautes les galets, les sables et les poussières emportés jadis par les glaciers, par les cours d'eau et par les vents, pour en ramener le niveau dans les régions atmosphériques dont elles sont encore si voisines et où la neige persisterait toute l'année. Alors des glaciers se reconstitueraient et tout d'abord ils manifesteraient certainement l'allure des glaciers pyrénéens. Ce qui revient à dire que, par la continuation seule du régime qui y règne, les Pyrénées atteindront un jour la phase vosgienne, ayant perdu leurs glaces, mais conservant encore leur « paysage morainique ». Et ce serait l'occasion de répéter la différence profonde qui résulte, au point de vue philosophique, de la substitution des phénomènes successivement déclarés en des localités distinctes, à la conception d'un déchaînement simultané de toutes les manifestations glaciaires en des points différents.

Cette conséquence est confirmée encore par la rencontre de pays plus avancés dans la série des phénomènes que le massif des Vosges, par exemple de la presqu'île bretonne, où les monts

d'Arrée se présentent comme de très anciennes montagnes du type alpin le mieux caractérisé et que la très longue durée des érosions a amenées à l'état de simples collines. On retrouve sur leurs marges des blocs erratiques qui doivent être considérés comme les derniers témoignages, destinés à disparaître bientôt, de la présence des glaciers qui ont couronné jadis leurs cimes et rempli leurs vallées. Il ne faut pas oublier que les roches polies par les glaciers, quoique bien plus résistantes que les roches frustes à la décomposition subaérienne, ne laissent pas cependant que d'y succomber tôt ou tard et c'est ainsi que les marges moutonnées de la Mer de glace et des Bossons sont certainement arrêtées aujourd'hui à une altitude qu'elles dépassaient de beaucoup, lorsque les glaces qu'elles encadrent avaient moins pénétré dans la masse rocheuse sous-jacente.

Ajoutons enfin que la même manière de voir s'applique sans variante à la conception du « grand phénomène erratique du nord ». Nous avons, dans le régime actuel des icebergs de l'Atlantique, la continuation d'un état de choses qui se déplace à la suite des bossellements géné-

raux et qui, avant de garnir le fond actuel de la mer de matériaux glaciaires, s'était comporté de même successivement pour les océans qui ont recouvert les uns après les autres les diverses régions de l'Europe boréale et de l'Amérique du Nord.

VIII

Il est indiqué maintenant de constater que tout un ensemble d'actions, constituant par leur concert un paragraphe spécial de la physiologie tellurique, concerne la masse atmosphérique, à tant d'égards comparable à l'océan aqueux.

Par son état de fluidité et par sa mobilité, l'air se présente avant tout comme un agent capable de réaliser le transport des particules rocheuses et il n'en faudrait pas davantage pour faire de lui un agent géologique efficace. Il suffira d'ailleurs d'indiquer les principales formes de l'action du vent et de montrer que celle-

ci ressemble intimement à l'action des courants aqueux qui sont des vents à leur façon.

De nombreuses masses rocheuses étant à l'état pulvérulent, le passage rapide de l'air à leur surface suffit pour en séparer des particules plus ou moins nombreuses et c'est ainsi qu'une érosion purement éolienne peut être facilement conçue. Toutefois, dans la pratique, elle est toujours compliquée, comme l'est d'ailleurs l'érosion aqueuse, de la collaboration procurée au fluide travailleur par les particules solides qu'il charrie. Les poussières poussées par le vent peuvent entraîner les poussières voisines et, bien plus, peuvent attaquer et désagréger des roches cohérentes. Par ce moyen, le phénomène atmosphérique prend fréquemment des dimensions considérables. L'abrasion qui en est l'effet explique la forme si caractéristique des roches polies des régions arénacées et par exemple du Sahara et des grands déserts asiatiques ou américains, sans oublier, malgré leurs dimensions plus modestes, les roches émaillées de nos pays sableux, et, par exemple, de Nemours, aux environs de Paris.

Certaines régions du littoral des mers sont

disposées de façon à fournir à l'activité véhiculante du vent des poussières constamment renouvelées et c'est ainsi que se constituent les dunes, ces accessoires si caractéristiques de contrées nettement définies. On retrouve du reste les analogues dans les formations de tous les âges, malgré le veto magistral prononcé naguère par Elie de Beaumont, qui voyait dans les dunes un attribut exclusif de l'époque actuelle.

Ajoutons qu'à la formation des dunes se rattachent bien d'autres productions moins volumineuses, mais dont l'intérêt n'est pas pour cela moins sensible. Tout d'abord les zones situées en arrière des dunes par rapport à la mer sont saupoudrées de sable fin avec une abondance variable et qui suffit pour infliger au sol des modifications notables de composition et de structure. Quand le vent porteur de sable souffle suivant une périodicité, les formations qu'il détermine, alimentées dans l'intervalle des venues aériennes par quelque autre mécanisme, prennent une contexture correctement feuilletée. C'est ce qui arrive pour les célèbres alluvions de la vallée du Nil, dont la genèse a été souvent présentée d'une manière

incomplète. C'est, en effet, ne comprendre qu'une partie du sujet que de voir dans ces limons, légendairement si fertiles, un produit de la seule activité fluviale. Leurs qualités agronomiques, liées intimement à tous les détails de leur composition, tiennent à leur teneur en sable, c'est-à-dire à leur porosité, au même titre qu'à leur teneur en argile. Or, on sait que, dans les intervalles des débordements du « fleuve nourricier », le khamsin, ou vent du désert, apporte régulièrement des pluies de sable, contre-coup des trombes arénacées dont les caravanes ont si fort à souffrir. Les matières sableuses sont parfois assez abondantes pour obscurcir la lumière du Soleil et pour donner à l'air des qualités regrettables quant à la santé publique, en provoquant, par exemple, d'innombrables ophtalmies. Le sol de la vallée garde l'empreinte de cette alternance régulière du tribut fluviale et de la collaboration éolienne. La masse en est finement feuilletée, les niveaux de sable tombés des nues interrompant régulièrement la masse boueuse extravasée du fleuve.

C'est sous une autre forme, et peut-être avec une dimension plus gigantesque, que la sédi-

mentation aérienne vient coopérer avec la sédimentation marine pour édifier des couches nouvelles sur le fond de certaines mers. Tout le monde sait la fréquence, dans la région du Cap Vert, c'est-à-dire dans le lit des vents alizés, des pluies de sable provenant du Sahara. Les produits de dragages en de semblables lieux fournissent une matière aussi complexe par l'origine de ses différents éléments que par leur nature minéralogique elle-même. Ailleurs, le dépôt tombé de l'atmosphère se fait à l'exclusion de tout autre et sous une épaisseur qui peut être colossale; ou du moins à la suite des beaux travaux de M. de Richthoffen est-on généralement d'accord pour donner au lœss de la Chine le mode de formation que nous avons en vue.

Dans ces différentes conditions, le transport, par l'atmosphère en mouvement, de particules minérales semble réaliser le mécanisme le plus efficace pour assurer la conservation de certains vestiges spécialement délicats comme la trace laissée sur des vases par des pistes animales, ou par des traînées d'objets charriés, ou par des gouttes de pluie, voire par des craquellements dus au Soleil, par des ondulations imprimées par le vent.

Il y a longtemps déjà que j'ai appelé l'attention sur ce sujet à l'appui duquel le contrôle expérimental a été invoqué et qui a augmenté à la fin l'importance de la géologie atmosphérique et les analogies réciproques des époques successives, par la rencontre durant chacune d'elles de particularités très intimes et tout à fait concordantes.

Il faut d'ailleurs ajouter que la fonction éolienne peut recevoir des modifications de la part d'actions extrêmement nombreuses et diverses. Par exemple les explosions volcaniques déversent des quantités formidables de matériaux rocheux dans les hautes régions de l'atmosphère et les matières volcaniques peuvent être entraînées horizontalement très loin avant de retomber sur le sol. Le Krakatoa, en 1888, a fourni dans ce sens des observations tout à fait suggestives et qu'on peut résumer en disant qu'au bout d'un temps suffisant toute l'atmosphère a été salie par les cendres du volcan de la Sonde et que, par conséquent, dans un point géographique quelconque, on est sûr d'avoir affaire à des dépôts récents dont quelques particules en proviennent.

D'un autre côté les phénomènes électriques dont l'atmosphère est le théâtre s'accompagnent

parfois du transport de fragments minéraux qui, par la poussée des trombes remontantes, peuvent voyager au loin dans les hauteurs de l'atmosphère pour retomber après un temps indéterminé. J'ai eu l'occasion d'étudier la curieuse pluie de pierrailles observée le 6 juin 1891 à Pel-el-Der, dans le département de l'Aube, qui fut formée d'éclats calcaires ayant fréquemment 2 centimètres cubes et provenant au moins de 150 kilomètres de distance horizontale.

IX

Enfin nous aurons terminé cette énumération concise des fonctions entre lesquelles peuvent se répartir tous les phénomènes géologiques quand nous aurons dit un mot du rôle rempli dans ce sens par les êtres vivants.

A chaque instant, l'ensemble de la flore nous apparaît comme un appareil du grand organisme tellurique et nous lui reconnaissons aisément les caractères, à la fois sédimentaires et érosifs, que nous avons eu à constater dans toutes nos études antérieures.

C'est de toutes parts que les animaux procèdent sans relâche à la désagrégation ou à la

dissolution de masses rocheuses et remettent par conséquent en mouvement des éléments qui semblaient fixés. Non seulement on peut citer de longues séries de plantes et de bêtes qu'on appelle souvent *lithophages*, parce qu'elles rongent les pierres. A cette série d'actions doivent se rattacher des dissolutions réalisées dans les couches du sol par des principes élaborés par les êtres vivants et qui, à la faveur des circonstances favorables, se développent sur une grande échelle. Il en est ainsi, par exemple, des émanations développées par les racines des plantes et qui, malgré l'allure tranquille de leur dégagement, sont assez énergiques pour arracher l'oxyde de fer, colorant ordinaire des sous-sols, à son inertie normale, — pour en constituer des sels solubles que les eaux d'infiltration emportent avec elles et concentrent sous la forme de minerais purs et parfois exploitables dans des localités d'élection. C'est l'histoire de la décoloration des argiles rouges dans lesquelles, autour de Paris, sont emballées les meulières. L'acide crénique qu'elles dégagent contracte avec l'oxyde une combinaison soluble qui, transportée au voisinage de l'atmosphère, dans la

terre végétale des prairies par exemple, se défait en acide carbonique rapidement dégagé et en limonite qui se dépose.

En face de ces corrosions biologiques, il y a lieu de rappeler les générations de roches que les forces vivantes sont aptes à réaliser. Grâce à la fonction chlorophyllienne les plantes fabriquent la matière ligneuse et celle-ci, par son enfouissement à l'abri des eaux d'oxydation, traverse successivement toutes les séries de transformations qui en font du lignite, de la houille, de l'anthracite et même du graphite, cristallisé au besoin. Le rôle minéralogique de la plante est dans ce cas aussi évident que son rôle géologique.

C'est par des mécanismes comparables que les diatomées, parmi les plantes, et que les radiolaires, parmi les animaux, savent arrêter au passage dans l'eau de mer la silice qui y est dissoute en proportions presque impondérables. Et par la continuité de ce pouvoir, ces êtres infimes arrivent à édifier des assises entières de substance siliceuse, sable biologique dont chaque grain est une carapace microscopique et qui comblent des ports et modifient progressivemen

les contours des côtes. De leur côté, d'autres algues et les foraminifères, comme les mollusques et les madrépores, fixent des montagnes de calcaire sous la forme de récifs et de couches arénacées ou cohérentes, et méritent au propre la qualification de constructeurs de continents que Michelet leur a appliquée. Leur rôle est si actif que, pendant bien longtemps, la science encore bégayante leur a attribué le pouvoir de créer la chaux de toutes pièces; il a fallu perfectionner beaucoup les méthodes de recherches, pour déceler enfin les sources profondes qui ont fourni leurs éléments aux premiers êtres vivants.

Et c'est pour épuiser ce sujet qu'il suffisait de toucher, que nous constaterons la nécessité de la fonction biologique pour maintenir, dans le mécanisme tellurique, l'équilibre mobile dont la persistance, au travers des conditions les plus diverses, excite à tant de titres notre religieuse admiration.

Depuis que la vie est apparue sur la Terre, elle s'est manifestée sous un certain nombre de formes qui se retrouvent à toutes les époques et l'on ne peut douter que, sous le luxe des manifestations botaniques et zoologiques, se cachent

des différences, pour la plupart insensibles à nos moyens imparfaits de détermination, dans sa manière d'agir sur le monde minéral et de le modifier. Ce n'est d'ailleurs pas ici le lieu de rechercher comment la force biologique est venue, à un certain moment de l'évolution planétaire, compliquer le concert des forces plus anciennes qui avaient préparé le milieu physiologique. Disons seulement que le phénomène paraît dépasser en amplitude le cercle étroit du milieu terrestre et se rattacher à une disposition universelle qui trouve successivement à se manifester dans chaque globe, au moment où celui-ci est parvenu à constituer une ambiance favorable.

X

En présence de cette extrême diversité des agents qui collaborent à la vie incessante de la Terre, et dans la détresse où nous sommes de notions positives à leur égard, il n'est peut-être pas inutile de remarquer une fois de plus la disproportion de nos moyens d'étude avec notre appétit de savoir. Sans répéter qu'il n'est aucun détail du monde, aussi modeste qu'on veuille le choisir, qui ne nous mette en présence de mystères insondables ; sans répéter que, dans ce monde, — où nous croyons voir exclusivement les rapports comme les conflits de la matière et de la force, — nous sommes aussi impuissants

à définir l'une que l'autre de ces entités ; il est peut-être indiqué de souligner l'illusion de certains esprits professant cette opinion que la Science sera complète le jour où nous saurons en exprimer mathématiquement les résultats.

Il y a là une confusion qu'il n'est pas inutile de signaler et un danger dont les mauvais effets ont déjà été bien préjudiciables à nos progrès.

La confusion vient de ce que la précision de la mathématique, la sûreté avec laquelle elle conduit à des solutions qu'on reconnaît comme indiscutables viennent seulement de la nature des questions auxquelles elle peut s'appliquer correctement. Ces questions, pour les définir d'un mot, sont essentiellement extranaturelles ; aucune d'elles n'est fournie complètement par l'observation des phénomènes. Elles en sont des simplifications exprimables par des formules ou réductibles en équations et qui laissent de côté des séries de particularités qu'on déclare arbitrairement accessoires et qui, cependant, au point de vue absolu, ont autant de titres à notre attention que les autres. Quand on dit que les orbites des astres sont des ellipses et quand on qualifie de *perturbations* les différences entre les

trajectoires réelles et les courbes définies mathématiquement, on se comporte utilement sans doute, mais, en même temps, on fait preuve d'impuissance à concevoir le phénomène naturel tel qu'il se présente. Et cet exemple pourrait être répété dans toutes les directions.

Le danger de cette substitution, répétée tous les jours, de problèmes mathématiques aux questions indéfiniment complexes de la nature, c'est qu'elle nous expose à nous méprendre du tout au tout sur l'essence même de la réalité. On en trouverait des exemples dans toutes les branches de l'histoire naturelle, et on me permettra de me borner à rappeler que, dans le domaine de la géologie, l'introduction inconsidérée des mathématiques a retardé l'acquisition des notions les plus fondamentales. Il n'y a pas lieu de nous étendre de nouveau sur les fautes de raisonnement qu'on a commises, sur les difficultés qu'on a rencontrées pour observer sainement, tout simplement parce que longtemps on a été sous l'empire de la doctrine du réseau pentagonal d'Elie de Beaumont. Et il est à peine besoin d'ajouter que, dans cette observation, il n'entre aucune pensée malveillante à l'égard d'Elie de

Beaumont lui-même. Celui-ci, ayant fait ses preuves comme mathématicien, a trouvé dans les traits généraux de l'économie terrestre les données générales d'un problème qui devait le séduire; il a consacré la plus grande partie de sa longue existence à en poursuivre la solution. Tout le monde admirera la sûreté de ses déductions, la précision de ses calculs, la netteté de ses conclusions. Seulement, on ne peut contester qu'à force de simplifier ses données il les a complètement dénaturées, de telle sorte qu'on pourrait résumer tout son travail en disant que les montagnes affecteraient sur la Terre la distribution pentagonale, si toutes les conditions de notre globe étaient essentiellement différentes de ce qu'elles sont en réalité. La Terre n'est pas sphérique elle n'est pas homogène, son refroidissement et par conséquent sa contraction suivent des lois prodigieusement complexes que nous ne pouvons pas raisonnablement espérer connaître jamais : il est impossible d'asseoir là-dessus aucune espèce de calcul.

Ce qu'il faut retenir, c'est que dans la nature il n'existe aucune des conceptions d'où partent les mathématiciens : il n'y a ni point, ni ligne,

ni surface, ni solide régulier, sphère, cylindre ou cube. Si quelques cristaux nous paraissent réguliers, c'est qu'ils sont trop petits pour que nous en apercevions les détails particuliers que, dans notre impuissance à les comprendre, nous appelons des *imperfections*. Jamais on ne précisera par une formule la forme des troncs d'arbres ou d'aucune autre production naturelle et il faut nous résigner à en faire des caricatures géométriques qui nous satisfont.

Et ce que je ne crains pas de dire pour la forme, je suis obligé de le répéter pour la substance. Nous ne comprenons que des composés définis, et les chimistes, vrais émules de l'Auteur des choses, ont réalisé la création d'une foule innombrable de substances pures qui remplissent les laboratoires et dont beaucoup nous sont d'utilité capitale, soit en nous révélant des vérités générales, comme font de leur côté les formules mathématiques, soit en nous procurant des applications pratiques de première valeur, comme font aussi de leur côté les résultats des mathématiciens.

Mais on ne peut méconnaître qu'aucun de ces corps n'existe dans la nature du bon Dieu et que

leur étude n'est pas de l'histoire naturelle. Bien plus, quand nous cherchons à imiter les corps de la nature, nous sommes réduits à la même détresse que le géomètre qui veut imiter les formes des objets naturels. Quoiqu'il s'agisse d'objets tangibles et pondérables, nous faisons encore des abstractions. Ce n'est pas le corps naturel, le minéral, si vous voulez, que nous reproduirons, mais un composé qui ne s'en éloigne pas trop, qui est formé de ses éléments dominants et enlaissant de côté toutes les « substances étrangères » qui sont les perturbations de ce nouveau genre d'étude. Nous avons des composés formulables comme nous avons des courbes définissables et c'est une caricature chimique que nous pouvons mettre à côté de la caricature géométrique. Remarque qui s'étendrait facilement à la reproduction artificielle et expérimentale des phénomènes naturels de tous genres, dont toutes les conditions ne sauraient intervenir dans nos dispositions de laboratoire. Remarque encore qui peut se résumer en disant que jamais, dans la nature, un objet n'est tombé suivant les lois de la chute des corps. Ces lois doivent être acceptées, aux *perturbations près*.

Il ne faudrait tirer de ce qui précède aucun motif de découragement; déjà, nous l'avons dit, l'homme a su tirer de son étude de la nature d'immenses motifs de satisfaction et d'innombrables applications profitables; chaque jour il perfectionne ses moyens d'investigation et s'il doit se résigner à ne savoir jamais tout, ni même le tout de rien, il peut légitimement s'enorgueillir d'être ainsi arrivé à se rendre compte, au moins dans leurs grandes lignes, des conditions du problème dont il n'est pas libre, malgré tout, de ne pas poursuivre l'inaccessible solution.

IMPRIMERIE DU MERCURE DE FRANCE

BLAIS et ROY, 7, rue Victor Hugo, Poitiers.

LES HOMMES ET LES IDÉES

Cette nouvelle Collection: *Les Hommes et les Idées*, est une œuvre de vulgarisation, dirions-nous, si ce mot, dont on a tant abusé, n'était suspect. Cependant, il n'en est pas d'autre, peut-être, qui la qualifie exactement, pourvu qu'on le prenne dans son sens le plus élevé et le plus général.

Mettre à la portée de tous, dans un format commode et à un prix minime, la connaissance précise des hommes et des idées d'aujourd'hui, et même d'hier, tel est en effet notre but.

Sans prétendre à l'universalité, notre domaine sera des plus étendus: les lettres, les sciences, l'histoire, la philosophie et toutes les études variées leur servant de base, enfin tout ce qui peut intéresser celui qui cultive son intelligence et veut se tenir au courant du mouvement intellectuel.

Ce lecteur, auquel nous faisons appel, se formera en même temps et à peu de frais une petite bibliothèque utile et d'intérêt durable.

Pensant que beaucoup de personnes désireront recevoir, au fur et à mesure de leur publication et sans avoir à les commander, les ouvrages de la Collection *Les Hommes et les Idées*, nous avons établi un abonnement par séries de douze (de 1 à 12, de 13 à 24, etc.), aux prix suivants:

France..... 7 fr. 50 | Etranger..... 8 fr.

OUVRAGES EN PRÉPARATION

René Quinton, La Loi de Constance originelle, L'Eau de mer milieu organique, par LUCIEN CORPECHOT.

Rudyard Kipling et la Littérature anglo-indienne, par HENRY-D. DAVRAY.

La Magie, sa Théorie, sa Pratique, ses Rapports avec la Religion, par A. VAN GENNEP.

Jules Renard, par HENRI BACHELIN.

Magnétisme et Spiritisme, par GASTON DANVILLE.

Francis James, par EDMOND PILON.

La Révolution russe et ses résultats, 1904-1908, par P.-G. LA CHESNAIS.

L'Evolution littéraire de Maurice Barrès, par HENRI MASSIS.

Le Génie et les théories de Lombroso, par M. RABAUD.