

Le moyen le plus sûr de déterminer l'âge relatif des accidents du sol serait de reconstituer, à toute époque, les rivages maritimes, nécessairement influencés par chaque nouvelle dislocation. Seulement cette tâche est difficile à remplir, parce que les sédiments littoraux, les seuls sur lesquels la détermination puisse être fondée, ont souvent disparu sous l'effort des érosions. L'état de morcellement des terrains est extrême dans les districts montagneux et il en est beaucoup où l'on ne saurait évaluer à moins de *mille mètres* l'épaisseur de couches que le travail des agents d'érosion a enlevées dans le cours des âges, en profitant des innombrables fractures que les mouvements de l'écorce y avaient fait naître.

**Principales époques de dislocations.** — Bien que les changements de la géographie terrestre aient été continuels, il en est beaucoup, par exemple ceux des temps secondaires, qui se sont produits sans amener de grands troubles dans l'écorce et sans entraîner de mouvements qu'on puisse qualifier d'orogéniques. Les perturbations de l'équilibre de la croûte ont été particulièrement énergiques pendant l'ère primaire, et aussi depuis la fin de l'éocène jusqu'aux débuts du pliocène. Aux mouvements primaires se rapportent les anciens ridements de l'Armorique et de l'Ardenne. Plus tard, à l'époque du ridement du Hainaut, des refoulements d'une rare puissance ont affecté le terrain houiller inférieur, non seulement en Europe, mais en Amérique, créant dans les massifs anciens les dépressions où devaient se former les dépôts du terrain houiller supérieur. Un dernier écho de ces efforts, survenant avec le permien supérieur ou le trias, a bouleversé la stratification des bassins houillers du Plateau Central. Si ces mouvements ont fait naître en Europe des lignes de relief de quelque importance, du moins les érosions des périodes subséquentes n'en ont rien laissé subsister.

Au commencement de l'oligocène se sont dressées dans les airs la chaîne des Pyrénées et celle des Apennins. Puis les grands mouvements ont repris avec l'époque helvétienne, où les pressions latérales paraissent avoir atteint leur maximum d'intensité, se résolvant dans le soulèvement du Jura, des Alpes, des Carpathes et de l'Himalaya.

Chacun de ces mouvements avait d'ailleurs été préparé de longue date et il n'est guère de lignes de relief où l'on ne puisse reconnaître la trace d'efforts successifs, produits à des époques parfois très différentes.

## CHAPITRE VIII

### CONSIDÉRATIONS GÉOGÉNIQUES

#### § 1

#### CAUSES DES VARIATIONS DE LA CHALEUR EXTERNE.

**Principe du phénomène paléothermal.** — La conception de la fluidité primitive de notre planète, entraînant comme conséquence la conservation, jusqu'à nos jours, d'une masse ignée interne, explique d'une manière satisfaisante, avec la forme actuelle du globe, la constitution de l'écorce ainsi que le jeu des phénomènes éruptifs et orogéniques. Mais il est une chose dont cette hypothèse ne suffit pas à rendre compte, c'est l'uniformité climatérique des premiers âges géologiques.

S'il est un fait que la paléontologie, et spécialement la branche de cette science qui s'occupe du monde végétal, ait bien mis en évidence, c'est assurément la diminution progressive de la chaleur dans les hautes latitudes de notre globe. Nous avons vu que, pendant toute la durée des temps primaires, un climat semblable à celui des tropiques paraissait avoir régné depuis l'équateur jusqu'aux pôles, et c'est à peine si, vers la moitié de l'ère secondaire, a commencé à se manifester le rétrécissement progressif de la zone tropicale. Au milieu de l'ère tertiaire, le Groenland nourrissait encore une végétation semblable à celle qui, de nos jours, caractérise la Louisiane, et les mêmes plantes florissaient au Spitzberg, ainsi que dans la presqu'île d'Alaska. L'apparition des glaces polaires a donc

été très tardive et l'on peut presque la considérer comme ayant mis fin aux temps géologiques proprement dits, pour inaugurer l'ère actuelle.

D'autre part, une augmentation de la chaleur solaire dans le passé ne saurait rendre compte du privilège dont les hautes latitudes ont si longtemps joui : car l'équateur en aurait eu sa part et cette exagération de température eût certainement rendu la vie impossible dans son voisinage. Or dans quelques latitudes qu'on descende, la paléontologie nous montre des espèces, fougères et cycadées, qui sont loin d'exiger un degré de chaleur supérieur à celui de la zone torride actuelle. En outre, les plus anciennes, les fougères, sont des plantes qui recherchent l'ombre, et les premiers insectes dont on ait observé les restes appartiennent à des familles qui aujourd'hui vivent de préférence dans les lieux obscurs. Ce n'est donc *ni par un excès de chaleur ni par un excès de lumière* que se caractérise ce qu'on a justement appelé le *phénomène paléothermal*. C'est par une *répartition uniforme de la chaleur des tropiques*, s'étendant, sans variations sensibles, d'une extrémité à l'autre du globe. Trouver la cause de cette uniformité, si contraire à la distribution actuelle des climats, tel est le problème qu'il s'agit de résoudre.

**Insuffisance des causes géographiques.** — Un tel fait peut-il être expliqué par le changement des conditions géographiques? Nous ne pensons pas qu'il soit possible de le soutenir. Assurément nous reconnaissons quelle influence exercent, sur les climats, la disposition réciproque des terres et des mers, la situation tropicale ou tempérée des continents, la prédominance, plus ou moins marquée en chaque point, de l'élément liquide, enfin la valeur du relief. Si donc il s'agissait d'expliquer des faits locaux, nous admettrions volontiers que la chaleur eût varié, en tel ou tel point, par suite d'une modification survenue dans l'altitude, dans l'exposition ou dans le parcours des courants marins. La suppression du *Gulf stream*, par exemple, apparaîtrait comme une cause suffisante pour produire, dans l'Atlantique nord, une notable diminution de la température.

Mais des changements de ce genre n'agiraient pas sur tout le

globe terrestre à la fois et, la chaleur totale que verse le soleil restant la même, elle serait seulement répartie d'une façon différente. Jamais des modifications de cette nature n'empêcheraient qu'il y eût, sur le globe, une zone torride et une zone glaciale, et de quelque façon qu'on distribue par la pensée les terres et les mers, il sera toujours impossible de produire, sur la surface de la terre, cette égalité absolue de température, indépendante de la latitude, qu'atteste l'examen de la flore houillère.

**Stabilité de l'axe terrestre.** — Quant à la ressource, souvent invoquée, qui consisterait dans un déplacement de l'axe terrestre, capable de faire profiter successivement toutes les parties du globe de la chaleur équatoriale, cette conception, admissible en principe, se heurte à d'insurmontables difficultés de fait. En premier lieu, ceux qui ont abordé la question par le calcul ont établi que, pour déplacer l'axe des pôles d'une simple fraction de degré, il faudrait, dans le relief du globe, des modifications incomparablement plus grandes que celles qui ont pu accompagner la production des plus hautes chaînes de montagnes. De plus, aussi loin que nous conduise la botanique fossile, qu'il s'agisse du miocène ou de la période oolithique, les zones de végétation, déjà dessinées ou esquissées, semblent concentriques au pôle actuel, comme si sa position n'avait jamais varié d'une manière sensible.

D'ailleurs un déplacement du pôle ne ferait que transporter à de nouvelles régions le bénéfice des conditions climatériques de la zone tropicale, et ne pourrait jamais produire l'uniformité que nous avons signalée comme la caractéristique des premiers âges.

**Insuffisance de la chaleur interne.** — Laissant donc de côté l'axe terrestre, il faut chercher dans une cause agissant partout à la fois le principe de l'uniformité signalée. Cette cause, plusieurs ont cru la trouver dans le rayonnement de la chaleur interne, à laquelle une moindre épaisseur de l'écorce eût permis, dans les temps paléozoïques, de contribuer efficacement à la température de l'atmosphère. Mais cette hypothèse ne résiste pas à l'examen. Partout où le terrain primitif de gneiss et de micaschistes se montre au jour, c'est par milliers

de mètres que se compte son épaisseur, et dès lors il est évident qu'aux époques paléozoïques, une écorce de plusieurs kilomètres protégeait déjà la chaleur centrale contre la déperdition. Or pour qui connaît la mauvaise conductibilité des roches, c'est plus qu'il n'en faut pour réduire à presque rien l'apport extérieur du foyer interne.

Pour produire une température corallienne, c'est-à-dire une moyenne de  $+20^{\circ}$  au moins, dans des parages où règne aujourd'hui une moyenne de  $-15^{\circ}$  à  $-20^{\circ}$ , il faudrait, à travers l'écorce, un flux de chaleur capable d'augmenter de  $40^{\circ}$  la température extérieure. Or une telle addition, qui devrait avoir lieu aussi dans les régions tropicales, suffirait pour y mettre à néant toute activité physiologique, et la mer deviendrait inhabitable pour tout organisme tant soit peu élevé. Enfin ce n'est pas seulement de chaleur, c'est aussi de lumière que les végétaux tertiaires du Groenland avaient besoin, et l'hypothèse que nous examinons n'y pourvoit à aucun degré.

**Causes astronomiques.** — Si les causes propres au globe terrestre se montrent impuissantes à produire le résultat cherché, c'est qu'alors il en faut chercher le principe en dehors de la terre, dans quelque facteur astronomique. Le premier auquel on ait songé est la variation de l'excentricité de l'écliptique, combinée avec celle qu'entraîne la précession des équinoxes.

Mais la seule vertu d'une influence de ce genre serait de produire des saisons extrêmes, en même temps qu'une différence considérable entre les deux hémisphères, et, plus que toute autre encore, une telle disposition serait impropre à réaliser l'uniformité thermique des temps paléozoïques.

**Hypothèse de la concentration du soleil.** — Toute différente est, à nos yeux, la valeur d'une conception, introduite depuis peu dans la science par M. Blandet, et qui a pour base la diminution du diamètre apparent du soleil. Nous avons pris soin de faire remarquer que la distribution actuelle des climats avait pour principe essentiel, avec l'inclinaison de l'axe terrestre, le *parallélisme des rayons solaires*. En raison de la grande distance qui nous sépare de l'astre et de la faible amplitude angulaire sous laquelle son disque s'offre à nous, malgré ses énormes dimensions, les rayons du soleil forment un faisceau

cylindrique, qui touche la terre suivant un grand cercle. Mais il en serait tout autrement si le soleil était plus dilaté, car ses rayons seraient plongeants et enveloppants, supprimant la nuit totale des régions polaires. Sans doute un soleil ainsi dilaté serait plus ou moins nébuleux et donnerait, par chaque unité de sa surface, une chaleur et une lumière moins intenses; mais la terre étant bien plus rapprochée de la périphérie de cette nébuleuse et se trouvant comme baignée dans son atmosphère, en pourrait profiter dans la même mesure qu'aujourd'hui et ainsi, pour une valeur convenable du diamètre apparent de l'astre principal, le globe jouirait d'une complète uniformité de climats.

**Entretien de l'énergie solaire par la concentration.** — Or cette conception qui a pu, lors de son apparition, déconcerter les esprits accoutumés au principe de la stabilité des éléments astronomiques de notre système planétaire, nous semble en accord formel avec l'idée qu'on doit se faire de la genèse de ce système. Dans l'hypothèse si plausible de la nébuleuse primitive, la terre est un fragment infiniment petit, détaché de l'astre central à l'une des époques de sa condensation progressive, et pour lequel, en raison de ses faibles dimensions, la phase stellaire a dû être extrêmement courte. Au contraire, l'énorme masse du soleil et, mieux encore, le rétrécissement graduel de ses dimensions, lui ont permis de garder, malgré le rayonnement, une provision d'énergie considérable, qui, après tant de siècles écoulés, suffit encore aux besoins extérieurs de notre globe. En dehors de cette conception, le maintien de la chaleur solaire est absolument inexplicable. En vain prétendrait-on l'alimenter par une pluie continue de météorites. Non seulement la réserve en serait bien vite épuisée; mais les astronomes ont démontré que la masse du soleil en recevrait assez d'accroissement pour que les conditions du système planétaire fussent rapidement modifiées. Une seule cause, en vertu des lois de la thermodynamique, est capable de préserver l'énergie solaire sans faire appel au concours si insuffisant du dehors, c'est le phénomène de la condensation de l'astre. Par là, le pouvoir calorifique du soleil peut se maintenir sans perte sensible, à l'aide d'une diminu-

tion de diamètre apparent, qui demanderait plusieurs milliers d'années pour pouvoir être enregistrée par nos appareils les plus délicats.

Mais si, de nos jours, le soleil, réduit comme il l'est, subit encore ce mouvement de concentration nécessaire à l'entretien de son énergie, combien ne faut-il pas qu'à d'autres époques ses dimensions aient été différentes de ce qu'elles sont aujourd'hui? Rien n'est donc plus logique que cette hypothèse et puisque, irréprochable au point de vue de l'astronomie, elle fournit seule le moyen d'expliquer le phénomène paléothermal, nous ne croyons pouvoir mieux faire que de l'accepter, en affirmant, contrairement aux doctrines de l'école *uniformitaire*, que l'histoire ancienne de notre planète s'est déroulée au milieu de conditions extérieures très différentes de celles qui nous entourent. En particulier, la formation de l'astre central, considéré comme une individualité distincte, a été certainement tardive.

## § 2

## RÉSUMÉ COSMOGONIQUE

S'il reste encore en géologie plus d'un point obscur, néanmoins l'ensemble des faits définitivement acquis à la science est aujourd'hui assez considérable pour qu'on puisse, sans grande témérité, essayer de les grouper en une synthèse générale. C'est ce que nous allons faire, à titre de résumé des observations et des hypothèses que nous avons eu occasion de formuler dans le cours de cet ouvrage.

L'étude des manifestations de la dynamique terrestre nous a montré qu'en réalité il n'y avait partout que deux puissances en jeu : d'une part, la gravité ou attraction centripète; de l'autre, la chaleur, ou principe centrifuge, chaleur externe ayant sa source dans le soleil, chaleur interne emmagasinée dans les profondeurs du globe. Or ces deux éléments peuvent se réduire à un principe unique, si l'on suppose qu'à l'origine toute l'énergie de notre système planétaire ait été renfermée dans une nébuleuse, c'est-à-dire dans un amas très dilaté de matière vibrante

et lumineuse, animée d'un double mouvement de rotation et de concentration centripète. Dans ce cas, à la lumière de la thermodynamique, le mouvement de concentration nous apparaît comme une conséquence de la grande loi de la *conservation de l'énergie*, car c'est à la faveur de cette condensation qu'un système défend la provision qu'il possède contre la déperdition extérieure.

Admettant donc la conception de la nébuleuse primitive, on est conduit à diviser l'histoire terrestre en deux phases, de durées sans doute très inégales : une phase *stellaire*, très courte, pendant laquelle le globe, détaché de la nébuleuse solaire, s'est condensé, puis refroidi, jusqu'à ce que sa surface fût recouverte d'une écorce obscure; et une phase *planétaire*, qui se poursuit encore et qui est la seule dont la géologie ait à s'occuper. Le rôle de cette science commence au passage de la première phase à la seconde, alors que la réaction des fluides extérieurs sur l'enveloppe superficielle du globe va produire, dans des conditions encore mystérieuses de pression, de température et de milieu chimique, cet assemblage de couches cristallines qui forme le *terrain primitif*.

A partir de ce moment, l'activité des éléments matériels a subi sur le globe un partage définitif. Tandis que l'énergie intérieure, concentrée sous l'écorce, devait se manifester au dehors plutôt par saccades que d'une manière continue, par les dislocations de la croûte terrestre, l'énergie extérieure, ayant son principe dans l'action du soleil, combinée avec celle de la pesanteur, était destinée à subir une évolution continue par elle-même. Mais assujettie à ressentir le contre-coup des variations plus ou moins brusques de l'activité interne, cette évolution allait, elle aussi, progresser d'une manière inégale, recevant, de temps à autre, une impulsion nouvelle des phénomènes produits sous l'empire de causes profondes.

En premier lieu, l'écorce originelle, peu épaisse et mal soutenue, a dû chercher son assiette, jusqu'à ce que les premiers linéaments de la géographie du globe eussent été définis. C'est alors que sont dessinées à sa surface les zones faibles et les zones résistantes, ces dernières, sous forme d'îlots; constituant les premiers noyaux de l'*aride* ou des continents, tandis

que, dans les dépressions, s'accumulait l'élément liquide, à peine partagé en océans distincts.

Ce premier acte une fois accompli, la vie a pris possession du globe, non, à ce qu'il semble, d'une façon progressive et par une lente évolution d'organismes inférieurs, mais, autant qu'on en puisse juger, par l'apparition presque immédiate de types possédant toute la perfection que comportaient les circonstances ambiantes. De plus, ces types étaient les mêmes sur toute la surface terrestre, et si, pour les organismes marins, cette similitude s'explique, à la rigueur, par l'immense étendue et la libre communication de toutes les mers, du moins le caractère des premières flores continentales nous oblige à admettre une répartition de la chaleur et de la lumière tout autre que celle qui prévaut aujourd'hui. On a vu qu'à nos yeux cette répartition, produisant l'égalité absolue des climats, exigeait un soleil nébuleux et très dilaté.

Les débuts de la vie continentale ont été caractérisés par le règne à peu près exclusif de végétaux dont rien ne contrariait la croissance, se développant, par une température simplement tropicale, au sein d'une atmosphère humide, sans doute chargée de nuages, qui ne laissaient arriver à la terre que des rayons diffus. Les seuls animaux terrestres que cette végétation ait abrités sont de ceux dont les congénères actuels recherchent l'ombre, et l'éclat de couleurs qui fait aujourd'hui le charme de la nature n'avait à cette époque aucune raison de se manifester.

En revanche, sous l'action d'un régime particulier de pluies torrentielles, cette puissante végétation, au lieu de voir ses débris se décomposer sans profit à l'air libre, était entraînée au fur et à mesure dans des lacs ou des lagunes maritimes. Là, sous la protection de sédiments argileux, elle devait subir, presque sans perte de substance, une transformation lente, devenant de la houille, où l'homme saurait un jour retrouver, immédiatement disponible, l'énergie calorifique et lumineuse dépensée par la nébuleuse solaire durant cette remarquable époque.

Mais l'atmosphère se purifiait par le fait même de cette végétation et de son enfouissement. Les animaux terrestres apparurent, représentés par des reptiles. L'énergie intérieure, qui

s'était déjà traduite, à bien des reprises, par des éruptions profondes, où, du moins en France, la décroissance de la cristallinité semble attester la diminution progressive du pouvoir des dissolvants, devint de plus en plus apte à se manifester au dehors et aboutit à une sorte de paroxysme, qui produisit les grands épanchements houillers et permien; après quoi, le calme vint, et d'abondantes émanations, suite naturelle des éruptions, tapissèrent de minéraux divers les fentes ouvertes dans l'écorce.

Durant cette ère de paix, où le travail mécanique de la sédimentation était faible, les organismes purent s'employer, sur une échelle notable, à l'accroissement de l'écorce. C'est pendant cette période que, sur la végétation terrestre, se manifestent les premiers signes d'une différenciation des climats, c'est-à-dire d'une individualisation mieux marquée de l'astre central. Mais cette transformation est lente à se produire et, longtemps encore, les pôles vont jouir d'une température clémente. Pour que ce privilège leur soit enlevé, il faudra que, de nouveau, l'activité intérieure se réveille et, faisant émerger de grandes masses continentales, imprime à l'écorce, par une série de soubresauts successifs, ces mouvements qui porteront dans les airs les Pyrénées, les Alpes et autres grandes chaînes de montagnes. Sur le globe, enfin pourvu d'un relief qui longtemps lui avait fait défaut, les mammifères, frappés, on peut le dire, depuis leur première apparition, d'une sorte d'arrêt de développement, vont s'épanouir et se multiplier, jusqu'à ce qu'ils trouvent leur suprême expansion dans les gigantesques proboscidiens du miocène supérieur et du pliocène. A la faveur de la variété des conditions externes, la végétation revêt une ampleur et une diversité de formes jusqu'alors inconnues et fournit partout aux herbivores une abondante nourriture.

Cependant la condensation du soleil se poursuit et, avec elle, le refroidissement des extrémités polaires. A ce moment, alors que le soulèvement des grandes chaînes vient d'élever dans les hautes régions de puissants instruments de condensation, un ensemble de circonstances encore mal expliquées imprime, dans des latitudes tempérées, une activité extraordinaire aux précipitations atmosphériques. C'est l'ère des glaciers et des grands cours d'eau, où les vallées se déblayent, où les fertiles



ÈRES	PÉRIODES	ÉLÉMENTS ORGANIQUES CARACTÉRISTIQUES			DISLOCATIONS
		VERTÉBRÉS	INVERTÉBRÉS	VÉGÉTAUX	
PRIMAIRE	PRIMITIVE				Première ébauche des continents.
	CAMBRIENNE				Plissements du massif armoricain et des Ardennes.
	SILURIENNE		RÈGNE DES TRILOBITES		Ridement du Hainaut.
	DÉVONIENNE	RÈGNE DES POISSONS		RÈGNE DES ACROGÈNES ET DES GYMNOSPERMES	Faïlles du Morvan.
	PERMO-CARBONIFÈRE	RÈGNE DES LABYRINTHODONTES			Invasion marine dans le golfe anglo-parisien.
SECONDAIRE (in part.)	TRIASIQUE		RÈGNE DES AMMONITES DES BÉLEMNITES ET DES BRACHIOPODES		Emerision progressive du bassin anglo-parisien.
	LIASIQUE	RÈGNE DES SAURIENS			
	OOLITHIQUE				

ÈRES	PÉRIODES	ÉLÉMENTS ORGANIQUES CARACTÉRISTIQUES			DISLOCATIONS
		VERTÉBRÉS	INVERTÉBRÉS	VÉGÉTAUX	
SECONDAIRE (in p.)	INTRA-CRÉTACÉE	RÈGNE DES DINOSAURIENS	CÉPHALOPODES A TOURS DEROULES ET RUDISTES		Nouvelle immersion du bassin anglo-français.
	CRÉTACÉE	OISEAUX REPTILIENS			Mer nummulitique. Soulèvement des Pyrénées et des Appennins.
TERTIAIRE	ÉOCÈNE				Invasion septentrionale marine. Période des grands lacs.
	OLIGOCÈNE	RÈGNE DES MAMMIFÈRES	RÈGNE DES GASTROPODES ET DES ACEPHALES	RÈGNE DES ANGIOSPERMES	Mer mollassique. Soulèvement des Alpes.
	MIOCÈNE				Apparitions des hivers.
	PLIOCÈNE				Grands glaciers Adoucissement de la température.
MODERNE	RÉCENTE	Extinction des grands proboscidiens. Apparition de l'homme.		Flore actuelle.	