

EXTRAIT
D'UNE SÉRIE DE RECHERCHES
SUR QUELQUES-UNES DES
RÉVOLUTIONS DE LA SURFACE DU GLOBE.

PAR

L. ÉLIE DE BEAUMONT.

LABORATOIRE DE GÉOLOGIE
DE LA SORBONNE
PARIS

N. 1014

EXTRAIT

D'UNE SÉRIE DE RECHERCHES

SUR QUELQUES-UNES DES

RÉVOLUTIONS DE LA SURFACE DU GLOBE,

Présentant différents exemples de coïncidence entre le redressement des couches de certains systèmes de montagnes et les changements soudains qui ont produit les lignes de démarcation qu'on observe entre certains étages consécutifs des terrains de sédiment. (1)



LES deux grandes conceptions d'une suite de révolutions violentes et de la formation des chaînes de montagnes, par voie de soulèvement, ayant été successivement introduites dans la géologie, il était naturel de se demander si elles sont indépendantes l'une de l'autre; si des chaînes de montagnes ont pu se soulever sans produire, sur la surface du globe, de véritables révolutions; si les convulsions qui n'ont pu manquer d'accompagner le surgissement de masses aussi puissantes et d'une structure aussi tourmentée que les hautes monta-

(1) Les recherches dont je présente ici les principaux résultats m'ont occupé depuis plusieurs années, et sont loin d'être terminées. Leur exposition ne pourrait être faite que dans un ouvrage assez étendu, dont le présent extrait n'est, en quelque sorte, que le programme.

gnes, n'auraient pas été la même chose que les révolutions de la surface du globe, constatées d'une autre manière par l'observation des dépôts de sédiment et des races aujourd'hui perdues, dont ils recèlent les débris; si les lignes de démarcation qu'on observe dans la succession des terrains, et à partir de chacune desquelles le dépôt des sédiments semble avoir, pour ainsi dire, recommencé sous des influences nouvelles, ne seraient pas tout simplement les résultats des changements opérés dans les limites et le régime des mers par les soulèvements successifs des montagnes.

L'expression *terrain de sédiment*, dans laquelle on résume en quelque sorte l'analyse des connaissances que l'observation nous a fait acquérir sur les masses les plus répandues à la surface de notre planète, entraîne si naturellement avec elle l'idée d'*horizontalité*, que ce n'est jamais sans surprise qu'on entend parler pour la première fois de couches de sédiment observées dans une position verticale ou voisine de la verticale. Stenon, en 1667, soutenait déjà que toutes les couches de sédiment inclinées sont des couches redressées; et depuis les observations de Saussure sur les poudingues de Valorsine, en Savoie, les géologues s'accordent généralement à penser que les couches de sédiment qu'on voit fréquemment dans les pays de montagnes, inclinées sous de très-grands angles, ou placées verticalement, et dont cer-

taines parties se trouvent même dans une situation renversée, n'ont pu être formées dans cette position, mais qu'elles y ont au contraire été placées par suite de phénomènes qui se sont passés plus ou moins long-temps après l'époque de leur dépôt originaire.

Il n'y a que peu de contrées où ces phénomènes se soient produits assez tard pour agir sur toutes les couches de sédiment qui y existent aujourd'hui : le long de presque toutes les chaînes, on voit, lorsqu'on les observe avec attention, les couches les plus récentes s'étendre horizontalement jusque vers le pied des montagnes, comme on conçoit qu'elles doivent le faire, si elles ont été déposées dans des mers ou dans des lacs, dont ces mêmes montagnes ont en partie formé les rivages; d'autres couches, au contraire, se redressant et se contournant plus ou moins sur les flancs des montagnes, s'élèvent en quelques points jusqu'à leurs crêtes. Dans chaque chaîne en particulier, la série des couches de sédiment se divise ainsi en deux classes distinctes. La place, variable d'une chaîne à une autre, qu'occupe dans la série générale des couches le point de partage de ces deux classes, est même une des choses qui particularise le mieux chacune de ces chaînes; et tandis que la position des couches anciennes redressées fournit la meilleure preuve du soulèvement des montagnes qui en sont en partie composées, l'âge géologique des

deux classes de couches fournit le moyen le plus sûr de déterminer l'âge des montagnes elles-mêmes; il est en effet évident que la date de l'apparition de la chaîne est intermédiaire entre la période du dépôt des couches qui y sont redressées, et celle du dépôt des couches qui s'étendent horizontalement au pied de ses pentes.

Rien n'est plus essentiel à remarquer que la constante netteté de la séparation de ces deux séries de couches dans chaque chaîne. Ce résultat d'observations a déjà en sa faveur la sanction d'une longue expérience. Il y a long-temps, en effet, qu'on est dans l'usage de se servir d'un défaut de parallélisme observé entre la stratification d'un système de terrains et celle du système qui le supporte, comme fournissant la ligne de démarcation la plus nette qu'on puisse trouver entre deux systèmes de terrains de sédiment consécutifs. Cette notion, développée dans les leçons des professeurs les plus célèbres, est devenue pour ainsi dire vulgaire, et c'était même déjà sur un fait de ce genre, généralisé à la vérité outre mesure, que Werner avait établi sa principale division dans la série des terrains.

Il résulte de cette distinction toujours tranchée, et sans intermédiaire, entre les couches redressées et les couches horizontales, que le phénomène du redressement s'est opéré dans un espace de temps compris

entre les périodes de dépôt de deux formations superposées, et qui lui-même n'a vu se déposer dans le lieu de l'observation aucune série régulière de couches. Si on n'observait les dernières couches redressées et les premières couches horizontales que dans les points où leur stratification est discordante, on pourrait croire qu'il s'est écoulé un laps de temps quelconque entre le dépôt des unes et des autres. Mais il arrive au contraire très-souvent qu'en suivant les unes et les autres jusqu'à des distances plus ou moins considérables des lieux où la discordance de stratification se manifeste, on trouve les secondes posées sur les premières en stratification parfaitement concordante, et même liées à elles par un passage plus ou moins graduel, qui prouve que le changement survenu dans la nature du dépôt s'est opéré sans que le phénomène de la sédimentation ait été suspendu. L'intervalle pendant lequel la discordance de stratification observée a été produite, a donc été extrêmement court.

En examinant avec attention les groupes de montagnes, même les plus compliqués, on parvient ordinairement à les décomposer en un certain nombre d'éléments diversement entrecroisés les uns avec les autres, dans toute l'étendue de chacun desquels la position de la ligne de démarcation entre les couches inclinées et les couches horizontales est la même. Le plus souvent la ligne de démarcation, re-

lative à ceux de ces différents chaînons qui sont parallèles entre eux, est semblablement placée, et elle change lorsqu'on passe à ceux qui ne sont pas dirigés dans le même sens. On peut donc dire d'une manière générale, que chacun des systèmes de chaînons parallèles a été produit d'un seul jet et pour ainsi dire d'un seul coup.

Il est évident qu'une pareille convulsion a dû modifier, au moins dans les contrées voisines des points qui en ont été le théâtre, la formation lente et progressive des terrains de sédiment, et que quelque chose d'anomal doit s'observer sur une assez grande étendue dans le point de la série de ces terrains qui correspond au moment auquel un redressement de couches a eu lieu. Les géologues qui depuis Werner ont étudié avec le plus de soin les terrains de sédiment, et les naturalistes qui ont examiné les débris d'animaux et de végétaux qu'ils renferment, ont en effet généralement remarqué qu'entre différents termes de la série de ces terrains, des variations brusques se manifestent à la fois dans le gisement, l'allure et même la nature locale des couches, et dans les fossiles végétaux et animaux qui y sont enfouis. D'après des observations qui n'embrassaient pas un assez grand espace, on avait d'abord supposé plus générales qu'elles ne le sont, quelques-unes de ces variations, dont on a trop cherché depuis à atténuer la valeur. Lorsque

deux formations semblent passer insensiblement l'une à l'autre, il n'y a jamais qu'une très-petite épaisseur de couches dont la classification puisse rester incertaine, et lorsque certaines espèces de fossiles sont communes à deux formations successives, elles ne forment, en général, qu'une fraction, souvent même peu considérable, du nombre total des espèces de chacune des deux formations. C'est ce qu'on voit par la comparaison que M. Deshayes a établie entre les catalogues des espèces de coquilles trouvées dans les trois groupes qu'il distingue dans les terrains tertiaires et le catalogue des espèces actuellement vivantes, comparaison dont les résultats sont d'autant plus frappants que les analogues vivants de certaines espèces de chacun des trois groupes tertiaires se trouvent aujourd'hui dans des mers séparées. M. de Humboldt a su peindre avec un rare bonheur ce résultat général des observations des géologues, lorsqu'il a enrichi notre langue des expressions *formation indépendante*, *horizon géognostique*.

Aussi tout annonce qu'entre les périodes des diverses formations, il y a eu pour le moins des déplacements considérables dans les lieux d'habitation de certains groupes d'êtres organisés, en même temps que dans les lieux de dépôt de certains sédiments; et il suffit que, par suite de pareils déplacements, il se trouve, dans la série des assises superposées de l'échelle

géologique, des points beaucoup plus remarquables que les autres par les changements qu'ils indiquent dans les dépôts et dans les habitants d'une même contrée, pour qu'il y ait lieu d'être frappé de l'accord de cet ordre de faits avec la considération des résultats nécessaires des soulèvements successifs des chaînes de montagnes.

Les fractures opérées dans la croûte extérieure du globe ont déterminé l'élévation et le redressement des couches dont cette croûte se compose, et les arêtes de ces couches brisées et redressées sont devenues les crêtes de ces aspérités de la surface du globe, qu'on nomme chaînons de montagnes; d'où il résulte que les expressions, direction moyenne d'un système de fractures, direction moyenne d'un système de couches redressées, direction d'un système de montagnes, sont à peu près synonymes. Il n'y a d'exception que dans les cas où des fractures se sont produites dans un terrain où la plupart des couches étaient déjà fortement dérangées. Ces sortes de croisements ont généralement donné lieu à des complications dont on doit chercher à faire abstraction dans la recherche des lois générales du phénomène du redressement des couches.

Parmi les résultats d'observation, qui rendent impossible de considérer les dislocations de couches qui caractérisent les pays de montagnes, comme les résultats de phénomènes

locaux qui se seraient répétés d'une manière successive et irrégulière, on doit placer au premier rang la constance des directions moyennes suivant lesquelles les couches de sédiment se trouvent redressées sur des étendues souvent immenses.

L'examen pratique des montagnes a fait connaître aux mineurs, depuis un temps immémorial, le principe de la constance des directions, et c'est même un de ceux dont ils se servent le plus utilement pour la conduite de leurs travaux de recherche. C'est par suite de l'observation de la constance de direction des couches houillères de certaines parties de la Belgique, que des recherches ont été tentées en 1717, au milieu des terrains plats de la Flandre française, sur la direction prolongée des couches exploitées à Mons, tentative d'où est résultée l'ouverture des importantes mines de Valenciennes et d'Aniche.

Le phénomène si remarquable de la constance des directions s'est pour ainsi dire graduellement agrandi par les recherches des géologues, qui, depuis Saussure et Pallas, ont observé d'un œil attentif la structure des montagnes. De jour en jour on a plus positivement reconnu, qu'une des choses qui distinguent le plus fondamentalement les chaînes des montagnes, quand on les compare les unes aux autres, c'est la direction que le phénomène auquel est dû le redressement des couches leur

a imprimé, en déterminant la direction de la plupart de leurs crêtes. Depuis 1792, M. de Humboldt a fait remarquer des concordances et des oppositions également remarquables entre les directions de chaînes éloignées ou voisines. Depuis long-temps aussi M. Léopold de Buch a montré que les chaînes de montagnes de l'Allemagne se divisent au moins en quatre systèmes nettement distingués les uns des autres par les directions qui y dominant.

L'existence d'une distinction si tranchée conduisait d'elle-même à concevoir que les divers systèmes de montagnes ont pu être produits par des phénomènes indépendants les uns des autres, tandis que l'étroite liaison que présentent le plus souvent entre elles, aussi loin qu'on puisse les suivre, les dislocations dirigées dans le même sens, devait naturellement faire supposer qu'elles ont toutes été produites par une même action mécanique. Déjà en combinant les observations faites dans un grand nombre de mines métalliques, Werner était arrivé à cette belle conclusion, que, dans un même district, tous les filons d'une même nature doivent leur origine à des fentes parallèles entre elles, ouvertes en même temps et remplies ensuite durant une même période. Cette notion, de la contemporanéité des fractures parallèles entre elles et de la différence d'âge des fractures de directions différentes, ayant ainsi été établie par l'illustre professeur

de Freyberg, pour le cas particulier des fentes où se sont amassés les filons métalliques, rien n'était plus naturel que de songer à la généraliser et à l'étendre à toutes les dislocations que présente l'écorce minérale de notre globe.

Dans le cas où cette induction serait exacte, le nombre des phénomènes de dislocation que le sol de chaque contrée aurait éprouvés, serait à peu près égal à celui des directions de chaînes de montagnes réellement distinctes et indépendantes les unes des autres, qu'on pourrait y distinguer. Ce nombre n'est jamais très-grand; il est à peu près du même ordre que celui des changements de nature et de gisement que présentent les dépôts de sédiment de chaque contrée; changements qui les ont fait distinguer, depuis Werner, en un certain nombre de formations, et qui ont été considérés comme étant chacun le résultat d'un grand phénomène physique. Il devenait donc naturel de chercher à rapprocher l'une de l'autre ces deux manières d'énumérer les changements que la surface de notre planète a éprouvés, et il suffisait presque de songer à ce rapprochement pour être conduit à l'idée que les deux séries parallèles de faits intermittents dont on retrouve ainsi les termes successifs par deux voies différentes, doivent rentrer l'une dans l'autre. Mais pour sortir à cet égard des aperçus généraux et vagues, il était nécessaire de mettre en rapport un certain nombre des li-

gnes de démarcation que présente la série des dépôts de sédiment européens, avec un pareil nombre de systèmes de chaînes de montagnes européennes. C'est ce que j'ai essayé de faire dans les recherches dont cet article présente le résumé.

La circonstance que, dans chaque contrée, les couches de sédiment inclinées et les crêtes que ces couches constituent, ne présentent pas indifféremment toutes sortes d'orientations, mais se coordonnent à un nombre limité de directions générales, circonstance dont toutes les cartes un peu exactes présentent des exemples frappants, m'a paru constituer, dans l'étude des montagnes, un fait d'une importance analogue à celle que présente, dans l'étude des dépôts de sédiment successifs, le fait de l'indépendance des formations. J'ai cherché à mettre ces deux grands faits en rapport l'un avec l'autre, et je crois avoir constaté leur coïncidence dans un assez grand nombre d'exemples, pour pouvoir conclure que l'indépendance des formations de sédiment successives est une conséquence et même une preuve de l'indépendance des systèmes de montagnes diversement dirigés.

L'indication d'une tendance générale au parallélisme que présenteraient les rides et les fractures de l'écorce terrestre produites à une même époque, semble, au premier abord, n'avoir pas besoin de commentaire, surtout

lorsqu'on se borne à l'appliquer, comme nous aurons à le faire d'abord, aux accidents observés dans le sol d'une contrée assez peu étendue, pour que la courbure de la terre y soit peu sensible. Cependant, comme on ne voit rien qui limite la distance à laquelle il serait possible de suivre des accidents constamment soumis à une même loi, on sent bientôt la nécessité d'analyser cette première notion d'un certain parallélisme avec assez d'exactitude, pour que l'étendue de l'espace sur lequel ce parallélisme pourrait exister, ne soit jamais dans le cas d'en mettre la définition en défaut.

Pour cela, il faut avant tout se rappeler que lorsqu'on trace un alignement quelconque sur la surface de la terre, avec un cordeau, avec des jalons ou de toute autre manière, la ligne qu'on détermine est la plus courte qu'on puisse tracer entre les deux points extrêmes auxquels elle s'arrête, et qu'abstraction faite de l'effet du léger aplatissement que présente le sphéroïde terrestre, une pareille ligne est toujours un arc de grand cercle.

Deux grands cercles se coupant nécessairement en deux points diamétralement opposés, ne peuvent jamais être parallèles dans le sens ordinaire de ce mot; mais deux arcs de grand cercle d'une étendue assez limitée pour que chacun d'eux puisse être représenté par une de ses tangentes, pourront être considérés

comme parallèles, si deux de leurs tangentes respectives sont parallèles entre elles. C'est ainsi que tous les arcs de méridien qui coupent l'équateur sont réellement parallèles entre eux aux points d'intersection. En général, deux arcs de grands cercles peu étendus, sans être même infiniment petits, pourront être dits parallèles entre eux s'ils sont placés de manière à ce qu'un troisième grand cercle les coupe l'un et l'autre à angle droit dans leur point milieu. Par la même raison, un nombre quelconque d'arcs de grands cercles n'ayant chacun que peu de longueur, pourront être dits parallèles à un même grand cercle de comparaison, si chacun d'eux en particulier satisfait à la condition ci-dessus énoncée par rapport à un élément de ce grand cercle auxiliaire. Pour cela il est nécessaire et il suffit que les différents grands cercles qui coupe- raient à angle droit chacun de ces petits arcs dans son milieu, aillent se rencontrer eux-mêmes aux deux extrémités opposées d'un même diamètre de la sphère. Si cette condition est remplie, et si en même temps tous les petits arcs de grands cercles dont il s'agit, sont éloignés des deux points d'intersection de leurs perpendiculaires, s'ils sont concentrés dans le voisinage du grand cercle qui sert d'équateur à ces deux pôles, ils pourront être considérés comme formant sur la surface de la sphère un système de traits parallèles entre eux. Les

différents sillons d'un même champ ou de deux champs voisins, ne peuvent jamais, à la rigueur, s'ils sont rectilignes, présenter d'autre parallélisme que celui qui vient d'être défini, et cette définition a l'avantage d'être indépendante de la distance à laquelle ces deux champs pourraient se trouver placés.

L'examen de la surface de l'Europe a déjà conduit à distinguer les uns des autres douze systèmes de montagnes d'âges différents et de directions généralement différentes, et à les rapprocher de douze des lignes de partage observées dans la série des dépôts de sédiment. Il est bien probable que ce nombre douze, qui, dans tous les cas, ne serait relatif qu'à l'Europe, n'est pas définitif; car il reste encore dans la série des terrains de sédiment de l'Europe plusieurs lignes de démarcation assez tranchées, qui, dans cet arrangement, ne se trouvent rapprochées d'aucun système de dislocations. Peut-être quelques-unes de ces lignes de partage se lient-elles à des systèmes de fractures et de rides qui, bien qu'observables en France, en Allemagne, en Angleterre, n'y ont pas encore été suffisamment distingués, et restent encore confondus avec les dislocations appartenant aux autres systèmes dans lesquels ils sont censés former des anomalies; peut-être aussi ces mêmes lignes de partage se rattachent-elles à des commotions qui n'ont eu que peu d'énergie dans les con-

trées que je viens de citer, mais qui auront laissé des traces plus visibles dans le sol de contrées adjacentes, et dont les conquêtes que la géologie a faites récemment en Grèce, en Sicile, en Afrique, en Espagne, pourront nous aider à retrouver la trace.

Je vais passer successivement en revue les douze systèmes de dislocation dont je viens de parler, en indiquant *sommairement* les observations qui conduisent à les mettre en rapport avec un pareil nombre des lignes de partage que présente la série des terrains de sédiment.

I. *Système du Westmoreland et du Hundsruck.*

Celui de ces rapprochements qui remonte à l'époque géologique la plus ancienne, est dû aux recherches dont M. le professeur Sedgwick a communiqué les résultats, en 1831, à la Société géologique de Londres. Ce savant géologue, qui s'était occupé depuis près de dix ans de l'exploration des montagnes du district des lacs du Westmoreland, a fait voir que la moyenne direction des différents systèmes de roches schisteuses y court du N.-E. un peu E., au S.-O. un peu O. Cette manière de se diriger fait que, l'un après l'autre, ils viennent se perdre sous la zone carbonifère qui couvre les tranches de leurs couches; d'où

il résulte qu'ils sont nécessairement en stratification discordante avec cette zone. L'auteur confirme cette induction en donnant des coupes détaillées; et de tout l'ensemble des faits observés, il conclut que les couches des montagnes centrales du district des lacs ont été placées dans leur situation actuelle, avant ou pendant la période du dépôt du vieux grès rouge, par un mouvement qui n'a pas été lent et prolongé, mais *soudain*.

D'autres circonstances me font regarder à moi-même, comme bien probable, que ce soulèvement a même eu lieu avant le dépôt de la partie la plus récente des couches que les Anglais nomment terrains de transition, c'est-à-dire avant le dépôt des calcaires à trilobites de Dudley et de Tortworth.

M. le professeur Sedgwick a aussi montré que, si on tire des lignes suivant les directions principales des chaînes suivantes, savoir : la chaîne méridionale de l'Écosse, depuis Saint-Abbs-Head jusqu'au Mull de Galloway, la chaîne de grauwacke de l'île de Man, les crêtes schisteuses de l'île d'Anglesea, les principales chaînes de grauwacke du pays de Galles et la chaîne de Cornouailles; ces lignes seront presque parallèles l'une à l'autre et à la direction mentionnée ci-dessus, comme dominant dans le district des lacs du Westmoreland.

L'élévation de toutes ces chaînes, qui influent si fortement sur le caractère physique

du sol de la Grande-Bretagne, a été rapportée par M. le professeur Sedgwick à une même époque, et leur parallélisme n'a pas été regardé par lui comme accidentel; mais comme offrant une confirmation de ce principe général déjà déduit de l'examen d'un certain nombre de montagnes, que les chaînes élevées à la même époque présentent un parallélisme général dans la direction des couches qui les composent, et par suite dans la direction des crêtes que ces couches constituent.

La surface de l'Europe continentale présente plusieurs contrées montueuses, où la direction dominante des couches les plus anciennes et les plus tourmentées court aussi, comme M. de Humboldt l'a remarqué depuis long-temps, dans une direction peu éloignée du N.-E. ou de l'E.-N.-E. (*hora 3 — 4 de la boussole des mineurs*). Telle est par exemple la direction des couches de schiste et de grau-wacke des montagnes de l'Eiffel, du Hundsruck et du pays de Nassau, au pied desquelles se sont probablement déposés les terrains carbonifères de la Belgique et de Sarrebruck. Telle est aussi celle des couches schisteuses du Hartz; telle est encore celle des couches de schiste, de grau-wacke et de calcaire de transition des parties septentrionales et centrales des Vosges, sur la tranche desquelles s'étendent plusieurs petits bassins houillers; telle est même à peu près celle des couches

de transition, calcaires et schisteuses, d'une date probablement fort ancienne, qui constituent en grande partie le groupe de la montagne Noire, entre Castres et Carcassonne, et qui se retrouvent dans les Pyrénées, où, malgré des bouleversements plus récents, elles présentent encore, et souvent d'une manière très-marquée, l'empreinte de cette direction primitive.

Enfin, cette direction *hora* 3 — 4 est aussi la direction dominante et pour ainsi dire fondamentale des feuilletts plus ou moins prononcés des gneiss, micaschistes, schistes argileux et des roches quartzeuses et calcaires de beaucoup de montagnes appelées souvent primitives, telles que celles de la Corse, des Maures (entre Toulon et Antibes), du centre de la France, d'une partie de la Bretagne, de l'Erzgebirge, des Grampians, de la Scandinavie et de la Finlande.

Le parallélisme de cette direction et de celle observée par M. le professeur Sedgwick, en Angleterre, joint à la circonstance que cette loi d'une forte inclinaison dans une direction à peu près constante, à laquelle obéissent presque universellement les couches et les feuilletts des terrains les plus anciens de l'Europe, ne comprend pas les formations d'une origine postérieure, conduit naturellement à supposer que l'inclinaison de toutes les couches de sédiment qui sont comprises

dans le domaine de cette loi, est due à une même catastrophe qui, jusqu'ici, est la plus ancienne de celles dont les traces ont pu être clairement reconnues. Il ne faut cependant pas désespérer de voir des recherches ultérieures mettre les lignes de démarcation, que l'observation indique déjà entre les différentes assises des anciens terrains de transition, en rapport avec des soulèvements plus anciens et encore plus effacés que celui dont nous venons de parler.

Les noms qui rappellent un type naturel bien déterminé, tels que ceux de calcaire du Jura, d'argile de Londres, de calcaire grossier parisien, ont, en géologie, des avantages tellement marqués, qu'il était à désirer qu'on pût en employer du même genre pour les divers systèmes d'inégalités d'âges différents qui sillonnent la surface de la terre. Il n'était pas sans embarras de choisir, pour indiquer une réunion de rides qui traversent une grande partie de l'Europe, qui probablement s'y sont produites au milieu d'accidents préexistants, et qui, depuis, ont été soumises à un grand nombre de dislocations, un nom simple et facile à retenir, qui se rattachât à des accidents naturels du sol et qui ne fût pas exposé, à cause de sa brièveté même, à donner lieu à des équivoques et à des disputes de mots. Il m'a semblé qu'on pourrait adopter pour le système dont nous parlons le nom de *système*

du *Westmoreland* et du *Hundsruock*, en convenant de prendre la partie pour le tout, et en rattachant tout l'ensemble à deux districts montagneux, où les accidents très-anciens qui nous occupent sont encore au nombre des traits les plus proéminents. On pourrait tout aussi bien l'appeler système du Bigorre, du Canigou, du Pilas, de l'Erzgebirge, du Harz, puisque les couchesschisteuses anciennes dont ces montagnes sont en grande partie composées, paraissent avoir contracté elles-mêmes, à l'époque ancienne qui nous occupe, leurs inflexions primordiales. Mais comme ces mêmes montagnes paraissent devoir une grande partie de leur relief actuel à des mouvements beaucoup plus récents, j'ai craint qu'en les faisant figurer dans la désignation d'un système d'accidents bien antérieur à la configuration définitive qu'elles nous présentent, on n'introduisît trop de chances de confusion.

II. *Systèmes des Ballons (Vosges) et des collines du Bocage (Calvados).*

Les observations mentionnées dans l'article précédent prouvent déjà que le système du *Westmoreland* et du *Hundsruock* a été soulevé avant le dépôt de la série carbonifère; mais il paraît qu'il avait été même soulevé avant le dépôt de la partie la plus récente des cou-

ches que les Anglais appellent de transition. En effet, parmi ces couches il en est une classe très-répan due en Europe, qui a échappé au ridement des schistes anciens dans la direction *hora* 3 — 4, et qui paraît au contraire avoir été déposée sur les tranches de ces couches plus anciennes déjà redressées.

Telles sont les couches calcaires marneuses et arénacées avec orthocératites, trilobites, polypiers, etc., qui se trouvent en Podolie, aux environs de Saint-Pétersbourg, en Suède et en Norwège, où elles ne sont généralement que peu dérangées de leur horizontalité primitive, et celles des montagnes de Sandormirz et des collines au N.-O. de Magdebourg.

Telles sont encore les couches de transition, si riches en fossiles, de Dudley (Staffordshire) et de Tortworth (Gloucestershire), qui paraissent avoir été déposées au pied des montagnes déjà soulevées du pays de Galles, et qui ne sont elles-mêmes affectées que par des dislocations d'un ordre plus récent. Telles paraissent être aussi une partie des couches calcaires schisteuses et arénacées du midi de l'Irlande, objet des recherches de M. Weaver, et particulièrement celles qui renferment les couches d'anhracite sur lesquelles sont ouvertes toutes les mines de combustible fossile de la province de Munster, excepté celles du comté de Clare, situées dans le véritable terrain houiller.

Le terrain de transition des collines du Bocage (Calvados) et de l'intérieur de la Bretagne, a lui-même une grande ressemblance avec celui décrit par M. Weaver dans le sud de l'Irlande. Il se compose, de même, de couches multipliées de schiste, de grauwacke, de grès quartzeux passant à des roches de quartz, d'ampélite graphique et alumineux, et de calcaire; il contient des fossiles de la même classe et présente sur les bords de la Loire près d'Angers, ainsi qu'aux environs de Sablé et de Laval, des exploitations de combustibles.

Enfin, je suis encore porté à rapporter à la même époque de dépôt le terrain de schiste argileux et de grauwacke, contenant des couches d'anthracite avec des empreintes végétales peu différentes de celles du terrain houiller dont se compose en grande partie l'angle sud-est des Vosges, et qui paraît s'être adossé aux masses granitiques des environs de Gerardmer, de Remiremont et du Tillot, qui elles-mêmes s'étaient probablement soulevées lors de la formation des anciennes rides Nord-Est Sud-Ouest.

Indépendamment des rapports géognostiques et paléontologiques qui se manifestent entre les diverses parties du vaste dépôt de transition dont je viens de parler, elles ont encore cela de commun, qu'elles échappent à la dislocation qui a produit l'ancien système

dirigé entre le N.-E. et l'E.-N.-E. Lorsque ces couches ne sont pas horizontales, leurs dislocations suivent généralement d'autres directions, dont la plus marquée, qui probablement a été produite immédiatement après leur dépôt, court suivant des lignes dont l'angle avec le méridien varie suivant la longitude de 90° à $67^\circ\frac{1}{2}$, mais qui sont toujours très-près d'être exactement parallèles à un grand cercle qui passerait par le Ballon d'Alsace (dans le midi des Vosges), en faisant avec le méridien de cette cime un angle de 74° , ou en se dirigeant de l'O. 16° N. à l'E. 16° S.

La direction indiquée par le prolongement de ce grand cercle se retrouve à très-peu près dans les couches de transition du midi de l'Irlande, contrée montueuse et inégale, composée de crêtes courant généralement de l'Est à l'Ouest, et atteignant leur plus grande élévation dans les montagnes de Kerry, ou le *Gurrane-tual*, l'un des *reeks* de Magillicuddy, près de Killarney, s'élève à 1067 mètres au-dessus de la mer. Les couches de transition y affectent, d'après M. Weaver, une direction générale de l'Est à l'Ouest, et plongent au Nord et au Sud en présentant une stratification verticale dans l'axe des crêtes : elles diminuent d'inclinaison de chaque côté de ces crêtes, se plient dans l'intervalle de manière à devenir horizontales, et forment ainsi une succession de bassins allongés. Elles atteignent des hau-

teurs de moins en moins grandes, à mesure qu'on s'avance vers le Nord, et finissent par s'enfoncer sous les dépôts contrastants du vieux grès rouge et du calcaire carbonifère des comtés de l'intérieur; discordance qui est rendue très-frappante par la position presque horizontale du vrai calcaire carbonifère des mêmes districts.

Dans le Devonshire et le Sommersetshire, la formation de grauwacke et de schiste contenant quelquefois de petits lits de matière charbonneuse, présente encore une direction peu éloignée du parallélisme avec le même grand cercle de comparaison (E. 10° S. — O. 10° N.), et leur redressement, qui est certainement plus ancien que celui du conglomérat rouge d'Exeter (*rothe todte liegende*), attendu que ce dernier s'étend horizontalement sur leurs tranches, ainsi qu'on peut s'en assurer dans beaucoup de localités, paraît être également antérieur au dépôt du vieux grès rouge qui ne les a pas recouvertes.

Les couches de transition les plus récentes de la Bretagne et du Bocage de la Normandie, celles dans lesquelles se trouvent les anthracites des bords de la Loire et de Sablé, les calcaires à grapholites de Feuguerolles et les grès quartzeux de Mai, près Caen, courent aussi à peu près parallèlement au grand cercle de comparaison que nous avons indiqué ci-dessus, et c'est sur leurs tranches ou sur celles

de couches plus anciennes, repliées avec elles, que paraissent s'être déposés les petits terrains houillers de Littry (Calvados) et du Plessis (Manche), celui de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne)? ceux de la Vendée, et probablement aussi celui de Quimper.

Les masses de syénite et de porphyre qui dans le sud-est des Vosges forment les cimes jumelles du Ballon d'Alsace et du Ballon de Comté, s'allongent, de l'Est 16° Sud, à l'Ouest 16° Nord, et ont redressé, dans cette direction, les couches du terrain à anthracites. Le terrain houiller de Ronchamps s'est déposé au pied de ces montagnes sur les tranches des couches redressées.

La structure de toute la partie méridionale du massif central des Vosges, depuis Plombières jusqu'à la vallée de Massevaux, est en rapport avec celle du Ballon d'Alsace, et se rattache à la direction O. 16° N. — E., 16° S. Il en est de même de la partie méridionale du noyau ancien de la Forêt-Noire.

Le Ballon d'Alsace s'élève à 789 mètres au-dessus de la ville de Giromagny, bâtie elle-même au niveau du terrain houiller, et le Ballon de Gebweiler, situé plus au Nord-Est, s'élève à 935 mètres au-dessus du même point. Parmi les inégalités de la surface du globe, dont on peut assurer que l'origine remonte à une date aussi reculée, on ne pourrait encore en citer de plus considérables.

La Lozère nous présente, beaucoup plus au Sud, une autre masse granitoïde allongée à peu près dans le même sens; et comme la direction de cette masse semble avoir déterminé celle du bassin intérieur des départements de la Lozère et de l'Aveyron, dans lequel se sont déposés horizontalement le terrain houiller, le grès bigarré et le calcaire du Jura, on peut supposer que l'élévation de cette masse est contemporaine de celle de la syénite du Ballon d'Alsace.

Le Harz se termine au N.-N.-E. par un escarpement comparable à celui qui termine les Vosges et la Forêt-Noire au S.-S.-O. Cet escarpement, qui coupe obliquement la direction des couches schisteuses, est parallèle à la plus grande longueur de ce groupe de montagnes isolé, et à la ligne sur laquelle les granites du Brocken et de la Rosstrappe se sont élevés, en perçant les schistes et les grauwackes déjà redressés antérieurement dans une autre direction; il est en même temps parallèle, à peu de chose près, au grand cercle de comparaison dont nous avons déjà parlé. Ce soulèvement, évidemment postérieur au premier redressement des schistes et des grauwackes, dans la direction *hora* 3 — 4, n'a pas été le dernier que le Harz ait éprouvé; mais il a influé plus qu'aucun autre sur la forme générale de son relief, et il a évidemment précédé le dépôt des terrains houillers qui sont situés à son pied.

Les grauwackes, qui forment des collines au N.-O. de Magdebourg, et dans lesquelles on trouve, comme en Irlande, en Bretagne et dans le sud des Vosges, un grand nombre d'impressions d'équisétacées et d'autres plantes peu différentes de celles du terrain houiller, ne partagent pas la direction, *hora* 3 — 4, des autres grauwackes de l'Allemagne. Elles appartiennent probablement à la partie la plus récente des dépôts dits de transition, et la direction de leurs couches est presque parallèle à celle de l'escarpement N.-N.-E. du Harz, dont le soulèvement a sans doute eu quelque influence sur le ridement qu'elles ont éprouvé.

Enfin les montagnes de Sandomirz, dans le S.-O. de la Pologne, nous présentent encore des couches de transition, d'une date probablement récente, redressées dans une direction presque exactement parallèle à celle du grand cercle de comparaison que nous avons mené par le Ballon d'Alsace.

Ce système de rides avait concouru avec le précédent, et peut-être avec d'autres encore qui n'ont pas été étudiés jusqu'ici, à donner un relief ondulé et une structure disloquée au sol ancien (*Ur- und Uebergangs-Gebirge*), dans les inégalités duquel se sont, plus tard, déposées les premières couches de cet ensemble de dépôts que Werner avait nommé *Flötz-Gebirge*, et que les géologues français et anglais ont nommé *dépôts secondaires*; dépôts dont

la série carbonifère (*old red sandstone, mountain limestone, coal measures*) forme l'assise inférieure.

III. *Système du nord de l'Angleterre.*

Depuis la latitude de Derby jusqu'aux frontières de l'Écosse, le sol de l'Angleterre se trouve partagé par un axe montagneux qui, pris dans son ensemble, court presque exactement du Sud au Nord en s'écartant seulement un peu vers le Nord-Nord-Ouest. Dans cette chaîne, qui, étant formée entièrement par des couches de la série carbonifère, est aujourd'hui nommée la grande chaîne carbonifère du nord de l'Angleterre, les forces soulevantes semblent, en prenant la chose dans son ensemble, avoir agi (non toutefois sans des déviations considérables) suivant des lignes dirigées à peu près du S. 5° E. au N. 5° O. Ces forces soulevantes ont produit de grandes failles dont l'une forme le bord occidental de la chaîne dans le Peak du Derbyshire. Elle est prolongée par une ligne anticlinale dans les montagnes appelées *Western Moors* du Yorkshire; et à partir de là l'escarpement occidental de la chaîne est accompagné par d'énormes fractures, depuis le centre du Craven jusqu'au pied du Stainmoor. Une autre fracture très-considérable passant au pied de l'escarpement occidental du chaînon du Cross-fell, rencontre

sous un angle obtus, près du pied du *Stainmoor*, la grande faille du *Craven*. Cette dernière faille explique immédiatement la position isolée des montagnes du district des *Lacs*.

M. le professeur *Sedgwick* prouve directement, dans le *Mémoire* qu'il a consacré à la structure de cette chaîne, que toutes les fractures ci-dessus mentionnées ont été produites immédiatement avant la formation des conglomérats du nouveau grès rouge (*rothe todte liegende*), et il présente les plus fortes raisons pour penser qu'elles ont été occasionnées par une action à la fois violente et de courte durée; car on passe sans intermédiaire des masses inclinées et rompues aux conglomérats qui s'étendent sur elles horizontalement, et il n'y a aucune trace qui puisse indiquer un passage lent d'un ordre de choses à l'autre. Enfin, M. le professeur *Sedgwick*, recherchant quelle pourrait être l'origine des phénomènes décrits, indique les différentes roches cristallines qui se montrent en contact avec les roches de la série carbonifère (le *toadstone* du *Derbyshire* et le *whinstone* du *Cumberland*).

L'élévation de la chaîne du nord de l'Angleterre n'a probablement pas été un phénomène isolé; mais, si l'on jette un coup d'œil sur la carte géologique de l'Angleterre par M. *Greenough*, et sur celle jointe au *Mémoire* de MM. *Buckland* et *Conybeare* sur les environs de *Bristol*, on est naturellement conduit

à remarquer, que les roches problématiques qui percent et qui disloquent les dépôts houillers de Shrewsbury et de Coal-brook-dale, et celles qui forment les Malvern-Hills, paraissent liées à une série de dislocations qui, courant presque du Nord au Sud, se prolonge à travers les couches de transition récentes, et les couches de la série carbonifère, jusqu'aux environs de Bristol.

La côte, dirigée presque du Nord au Sud, qui forme la limite occidentale du département de la Manche, et différentes lignes de fracture dirigées de même dans le sens du méridien que présente le bocage de la Normandie, doivent aussi probablement leur origine première à des dislocations de la même catégorie que celles de la grande chaîne carbonifère du nord de l'Angleterre.

Peut-être aussi des traces du même phénomène pourraient-elles être reconnues dans le massif central de la France (chaîne de Pierre-sur-Haute, chaîne de Tarare), dans les montagnes des Maures (département du Var) et dans les montagnes primitives de la Corse.

IV. *Système des Pays-Bas et du sud du pays de Galles.*

Les formations du grès rouge et du zechstein, déposées primitivement en couches à peu près horizontales, au pied des montagnes du Harz, du pays de Nassau, de la Saxe, sont

bien loin d'avoir conservé partout leur horizontalité primitive. Elles présentent au contraire un grand nombre de fractures et de dérangements, dont une grande partie affectent en même temps les formations du grès bigarré et du muschelkalk, mais dont une certaine classe ne dépasse pas le zechstein, et paraît s'être produite immédiatement après son dépôt. De ce nombre sont les failles et les inflexions variées dirigées moyennement de l'Est à l'Ouest, que présentent les couches du grès rouge, du weiss-liegende, du kupferschiefer et du zechstein, dans le pays de Mansfeld; accidents dont M. Freisleben avait déjà indiqué que la production devait être antérieure au dépôt du grès bigarré.

Ces accidents remarquables de la stratification des premières couches secondaires du Mansfeld me paraissent n'être qu'un cas particulier d'un ensemble d'accidents de stratification qui, depuis les bords de l'Elbe jusqu'aux petites îles de la baie de Saint-Bride, dans le pays de Galles, et jusqu'à la chaussée de Sein en Bretagne, affectent toutes les couches de sédiment dont la formation n'est pas postérieure à celle du zechstein. Dans cette étendue de 280 lieues, toutes les couches dont il s'agit, partout où elles ne sont pas dérobées à l'observation par des formations plus récentes auxquelles ces mouvements sont étrangers, se présentent dans un état plus ou moins

complet de dislocation. Il y a même des points, comme à Liège, à Mons, à Valenciennes, sur les flancs des Mendip-Hills et dans le bassin houiller de Quimper, où elles présentent les contorsions les plus extraordinaires; où leur profil présente, par exemple, la forme d'un Z, ou des formes plus bizarres encore. Ces accidents de stratifications ont pour caractère commun, que les couches se sont pour ainsi dire repliées sur elles-mêmes sans s'élever en montagnes considérables, qu'ils n'occasionnent à la surface du terrain que de faibles protubérances, malgré la complication des contorsions que les couches présentent à l'intérieur, et que les plis (ou les lignes de fracture) se sont produits, pour moitié, dans une direction parallèle à un grand cercle qui traverserait le Mansfeld perpendiculairement au méridien de ce pays, et pour l'autre moitié, suivant les directions des dislocations que présenteraient déjà en chaque point les couches plus anciennes affectées par des bouleversements antérieurs. Ainsi, dans la bande de terrain carbonifère qui s'étend d'une manière presque continue depuis le pays de la Marck jusqu'aux environs d'Arras; les couches de calcaire, de grès, d'argile schisteuse et de houille, se dirigent, tantôt presque de l'Est à l'Ouest, parallèlement au grand cercle ci-dessus désigné, tantôt presque du N.-E. au S.-O., parallèlement à la stratification des terrains

schisteux anciens de l'Eiffel et du Hundsruck. Sur les bords du canal de Bristol, et dans tout le midi du pays de Galles, on voit de même la stratification, souvent très-contournée, du système carbonifère, osciller entre deux directions, l'une courant de l'E. un peu N. à l'O. un peu S., parallèlement à ce même grand cercle désigné ci-dessus; l'autre courant de l'E. 10° S. à l'O. 10° N., parallèlement à la direction des couches de schistes et de grau-wacke du nord du Devonshire, qui probablement s'élevaient déjà en montagnes avant le dépôt de la série carbonifère. On les voit aussi en approchant du pied des montagnes schisteuses anciennes qui couvrent le nord du pays de Galles, participer à la direction N. E.-S. O., qui domine dans ces montagnes. Un phénomène du même genre se reproduit dans le bassin houiller de Quimper. Malgré la grande étendue de terrains récents qui séparent les terrains carbonifères de la Belgique de ceux des bords du canal de Bristol, et qui rend leur continuité problématique, on peut remarquer que, de part et d'autre, les contorsions qui affectent les couches, présentent des caractères communs, dont l'un, par exemple, consiste en ce que les contournements sont beaucoup plus forts dans la partie méridionale de la bande disloquée, que dans la partie septentrionale. On peut remarquer aussi qu'indépendamment de leur complication, les dislocations dont

ce système se compose, se distinguent de celles qui forment le système précédent, dont quelques géologues les rapprochent chronologiquement, en ce que très-rarement, nulle part peut-être, elles n'ont donné passage à ces roches trappéennes *dépourvues de quartz* (*toadstone, whinstone*), qui forment presque constamment le cortège des failles nord-sud du système du nord de l'Angleterre.

Les traits de ressemblance que présentent toutes les dislocations que je viens d'indiquer, depuis le pays de Mansfeld jusqu'à l'extrémité occidentale du Pembrockshire, me portent à les considérer comme résultant d'un même phénomène, à moins que quelque observation positive ne prouve qu'elles ont été produites à des époques distinctes. Ce phénomène serait nécessairement postérieur au dépôt du zechstein, et antérieur au dépôt du poudingue de Malmédy, et des conglomérats magnésiens des Mendip-Hills et des environs de Bristol, qui s'étendent horizontalement sur les tranches des couches carbonifères disloquées. M. le professeur Sedgwick regarde le conglomérat magnésien de Bristol comme plus récent que le calcaire magnésien du nord de l'Angleterre, qui est parallèle au zechstein; et rien ne s'oppose jusqu'ici à ce qu'on assigne une date semblable au poudingue de Malmédy; mais comme cependant le conglomérat magnésien de Bristol doit nécessairement rester

parmi les assises les plus anciennes du nouveau grès rouge des Anglais, on voit que si toutes les dislocations que je viens d'énumérer sont le résultat d'une seule catastrophe, cette catastrophe doit avoir eu lieu immédiatement après le dépôt du zechstein.

Je suis encore porté à rapporter à cette même catastrophe les dérangements multipliés qu'ont subis les couches houillères de Sarrebruck, avant le dépôt du grès des Vosges, qui s'est étendu horizontalement sur leurs tranches, et les mouvements moins considérables que paraît avoir éprouvé le sol des Vosges, entre le dépôt du grès rouge qui n'y a rempli que le fond de quelques dépressions, et celui du grès des Vosges qui s'y est élevé beaucoup plus haut, et y a recouvert des espaces beaucoup plus considérables.

V. *Systeme du Rhin.*

Les montagnes des Vosges, de la Hardt, de la Forêt-Noire et de l'Odenwald, forment deux groupes en quelque sorte symétriques, qui se terminent l'un vis-à-vis de l'autre par deux longues falaises légèrement sinueuses, dont les directions générales sont parallèles l'une à l'autre et au cours du Rhin qui coule entre elles depuis Bâle jusqu'à Mayence. Ces deux falaises sont principalement composées d'éléments rectilignes orientés presque exac-

tement du N. 21° E. au S. 21° O.; et les montagnes qui viennent d'être mentionnées présentent, dans beaucoup de points de leur pourtour ou de leur intérieur, d'autres lignes d'escarpements parallèles aux précédents. Ces lignes, qui sont les traits caractéristiques de celui des quatre systèmes de montagnes de l'Allemagne, que M. Léopold de Buch a nommé système du Rhin, se dessinent très-nettement sur une carte géologique de ces contrées, aussitôt qu'on y distingue par des couleurs différentes les deux formations, si souvent confondues ensemble, du grès des Vosges et du grès bigarré. Les escarpements dont il s'agit sont tous composés, en tout ou en partie, de grès des Vosges. Ils forment, en général, la tranche des plateaux plus ou moins étendus dont les couches de cette formation constituent la surface. Ils paraissent dus à de grandes fractures, à une série de failles parallèles qui ont rompu et diversement élevé ou abaissé les différents compartiments ou lanières dans lesquels elles ont divisé la formation du grès des Vosges, à une époque où cette formation n'était encore recouverte par aucune autre. L'époque de bouleversement dans laquelle elles se sont produites, est par conséquent antérieure au dépôt du système de grès bigarré, du muschelkalk et des marnes irisées, qui, tout autour des montagnes des deux bords du Rhin, s'étend jusqu'au pied des falaises dirigées du N. 21° E.

au S. 21° O. Ces formations semblent s'être déposées dans une mer dans laquelle les montagnes qui constituent le système du Rhin formaient des îles et des presqu'îles. Elles dessinent encore aujourd'hui les contours de ces anciennes terres. Le dépôt du plus ancien de ces trois groupes de couchés, le grès bigarré, paraît avoir suivi sans interruption celui du grès des Vosges; car, dans les points où les deux formations sont superposées, il y a passage de l'une à l'autre. Le mouvement qui a élevé le grès des Vosges en plateaux, dont le grès bigarré est venu ceindre la base, doit, par conséquent, avoir été brusque et de peu de durée.

La production des fractures qui caractérisent le système du Rhin ne paraît pas avoir été circonscrite dans les contrées rhénanes. On observe des traces de fractures analogues et semblablement dirigées, dans les montagnes comprises entre la Saône et la Loire, dans celles du centre et du midi de la France et jusque dans les parties littorales du département du Var. Partout ces fractures sont antérieures au dépôt du système du grès bigarré, du muschelkalk et des marnes irisées; partout aussi on peut reconnaître qu'elles sont postérieures au dépôt du terrain houiller. Il est vrai que l'absence, dans ces mêmes contrées, des formations comprises entre le terrain houiller et le grès bigarré, empêche qu'on ne puisse déterminer d'une manière complète l'époque

relative de leur formation; mais on peut dire du moins que rien ne contredit jusqu'ici l'induction que fournit leur direction, pour les rapprocher de celles qui caractérisent le système du Rhin.

VI. *Système du Thuringerwald, du Böhmerwald-Gebirge, du Morvan.*

Le terrain jurassique, déposé par couches presque horizontales dans un ensemble de mers et de golfes, a dessiné les contours des divers systèmes de montagnes dont nous avons déjà parlé, et en même temps ceux d'un système particulier qui se distingue par la direction O. 40° N. — E. 40° S., que présentent la plupart des lignes de faite et des vallées qu'il détermine, et par la circonstance que les couches du grès bigarré, du muschelkalk et des marnes irisées s'y trouvent dérangées de leur position originale, aussi bien que toutes les couches plus anciennes. Les couches jurassiques, au contraire, s'étendent horizontalement jusqu'au pied des pentes et sur les tranches des couches redressées de ce système; d'où il résulte que le mouvement qui lui a donné naissance a dû avoir lieu entre la période du dépôt des marnes irisées et celle du grès inférieur du lias. Ce mouvement doit avoir été brusque et de peu de durée, puisque, dans beaucoup de parties de l'Europe, il y a liaison entre les dernières couches des marnes irisées et les premières

couches du grès du lias; ce qui montre que la nature et la distribution des sédiments a changé à cette époque géologique, sans que la continuité de leur dépôt ait été interrompue.

Lorsqu'on promène un œil attentif sur la carte géologique de l'Allemagne par M. Léopold de Buch, ou sur celle plus détaillée encore du nord de l'Allemagne par M. Hoffmann, on y reconnaît aisément l'existence d'un système de dérangements de stratification qui court à peu près de l'O. 40° N. à l'E. 40° S., en affectant indistinctement toutes les couches d'une date plus ancienne que le keuper (marnes irisées, red marl) et le keuper lui-même, et qui ont concouru à déterminer les contours sinueux des golfes dans lesquels se sont ensuite déposées les couches jurassiques du nord et du midi de l'Allemagne. Ces accidents comprennent la plus grande partie de ceux que M. Léopold de Buch a groupés sous le nom de système du N.-E. de l'Allemagne. Le Thuringerwald, et la partie du Böhmerwald-Gebirge comprise entre la Bavière et la Bohême, qui en forme presque exactement le prolongement, sont le chaînon le plus proéminent de cet ensemble d'accidents, plus étendu que prononcé, et peuvent servir à donner un nom à tout le système.

En France, comme en Allemagne, on peut reconnaître les traces d'un ridement général

du sol, dans la direction du N. 50° O. au S. 50° E.; mais ce ridement n'a produit, en France comme en Allemagne, que des accidents d'une faible saillie, qu'il est impossible de désigner tous dans un extrait aussi abrégé que celui-ci, et dont il serait même difficile de bien exprimer la disposition sans le secours d'une carte sur laquelle seraient figurés les contours de la *mer jurassique*. Au centre de la France, près d'Avallon et d'Autun, on voit les premières couches jurassiques, le lias et l'arkose qui en dépend, venir embrasser des protubérances allongées dans la direction N. 50° O. — S. 50° E., et composées à la fois de roches granitiques et de couches dérangées du terrain houiller et d'un arkose particulier, contemporain des marnes irisées. La même direction, et des circonstances géologiques analogues, se retrouvent dans une série de montagnes et de collines serpentineuses, porphyritiques, granitiques et schisteuses, qui, depuis les environs de Firmy, dans le département de l'Aveyron, se dirige vers l'île d'Ouessant, en déterminant la direction générale des côtes de la Vendée et des côtes S.-O. de la Bretagne. Vers l'extrémité S.-E. de ce système, notamment aux environs de Brives et de Terrasson, le grès bigarré se présente en couches inclinées formant des lignes anticlinales et des crêtes dirigées assez exactement dans la direction dont nous parlons; tandis que, partout où les cou-

ches jurassiques s'approchent de cette suite de proéminences, elles conservent leur horizontalité, sauf des cas peu nombreux où des accidents dirigés dans des sens différents la leur ont fait perdre accidentellement.

M. de Buch avait déjà remarqué que la direction du système du N.-E. de l'Allemagne se retrouve dans celle d'une partie des accidents du sol de la Grèce. En effet, si on imagine un arc de grand cercle qui passe par le Thuringerwald, en faisant avec le méridien un angle de 50° du côté de l'O., ou en se dirigeant de l'O. 40° N. à l'E. 40° S., cet arc de grand cercle prolongé traversera la Grèce parallèlement aux crêtes des chaînes en partie sous-marines qui constituent l'île de Négrepont, l'Attique et une partie des îles de l'Archipel. Ce système de crêtes que MM. Boblaye et Virlet ont nommé système Olympique, est composé de roches de la classe des primitives, dont les couches affectent en général la même direction que les crêtes elles-mêmes. Il résulte des observations de MM. Boblaye et Virlet, que la formation de ces crêtes est antérieure au dépôt des assises inférieures du terrain crétaqué; ainsi, le peu qu'on sait sur l'époque de leur apparition se trouve conforme à l'idée de M. de Buch, qui les rapprochait du Thuringerwald, d'après la considération de leur direction.

VII. *Système du Mont Pilas, de la Côte-d'Or et de l'Erzgebirge.*

Une foule d'indices se réunissent pour attester que dans l'intervalle des deux périodes auxquelles correspondent le dépôt jurassique et le système des terrains crétacés (*Wealden formation, green sand and chalk*), il y a eu une variation brusque et importante dans la manière dont les sédiments se disposaient sur la surface de l'Europe. Cette variation a été considérable; car si on essaie de rétablir sur une carte les contours de la nappe d'eau dans laquelle s'est déposée la partie inférieure du terrain crétacé, on les trouve extrêmement différents de ceux de la nappe d'eau dans laquelle s'est formé le terrain jurassique. Elle a été brusque; car en beaucoup de points il y a passage de l'un des systèmes de couches à l'autre, ce qui annonce que, dans ces points, la nature du dépôt et celle des habitants de la surface ont varié sans que le dépôt des sédiments ait été suspendu.

Cette variation subite paraît avoir coïncidé avec la formation d'un ensemble de chaînons de montagnes parmi lesquelles on peut citer la Côte-d'Or (en Bourgogne), le Mont Pilas (en Forez), les Cévennes et les plateaux du Larzac (dans le midi de la France), et même l'Erzgebirge (en Saxe).

L'Erzgebirge, la Côte-d'Or, le Pilas, les Cévennes, font partie d'une série presque continue d'accidents du sol, qui se dirigent à peu près du N.-E. au S.-O., ou de l'E. 40° N. à l'O. 40° S. depuis les bords de l'Elbe jusqu'à ceux du canal de Languedoc et de la Dordogne, et dont la communauté de direction et la liaison de proche en proche, conduisent à penser que l'origine a été contemporaine, que la formation s'est opérée dans une seule et même convulsion. Dans les départements de la Dordogne et de la Charente, en Nivernais, en Bourgogne, en Lorraine, en Alsace et dans plusieurs autres parties de la France, les dérangements de stratification dirigés dans le sens des chaînons de montagnes dont nous parlons, embrassent les couches jurassiques, tandis qu'ils n'affectent pas les couches inférieures du terrain crétacé à la rencontre desquelles ils se terminent près des rives de la Dordogne et en Saxe, où les couches de grès vert qui forment les escarpements pittoresques de ce qu'on appelle la Suisse saxonne, s'étendent horizontalement sur la base de l'Erzgebirge. La Côte-d'Or, située au milieu de l'espace dont il s'agit, fait partie d'une série d'ondulations des couches jurassiques qui, après avoir donné naissance aux accidents les mieux dessinés du sol du département de la Haute-Saône, se reproduit encore dans les hautes vallées longitudinales des montagnes du Jura,

par dessous lesquelles toutes les couches du terrain jurassique viennent passer pour se relever dans leurs intervalles, et former les croupes arrondies qui les séparent. Dans le fond de plusieurs de ces vallées on trouve des couches évidemment contemporaines du grès vert d'après les fossiles qu'elles contiennent; et comme ces couches ne s'élèvent pas sur les crêtes intermédiaires qui semblent avoir formé autant d'îles et de presqu'îles, elles sont évidemment d'une date plus récente que le repliement des couches jurassiques qui a donné naissance à ces crêtes, aux vallées longitudinales, et à tout le système dont elles font partie, et qui comprend la Côte-d'Or.

Il suit naturellement de là, qu'indépendamment des accidents plus anciens, qui ont déterminé l'inclinaison de diverses couches et notamment des couches schisteuses anciennes qui composent en partie le sol des parties de l'Allemagne et de la France comprises entre les plaines de la Prusse et celles de la Gascogne, ce sol a éprouvé un nouveau mouvement de dislocation, entre la période du dépôt du terrain jurassique et celle du dépôt du système crétacé; mouvement qui a, pour ainsi dire, marqué le moment du passage de l'une des périodes à l'autre. La direction suivant laquelle cette dislocation s'est opérée, est indiquée par la direction générale des crêtes dont

le terrain jurassique fait partie, et dont le terrain crétacé entoure la base. Cette direction, ainsi que je l'ai dit plus haut, court en général à peu près du N.-E. ou S.-O. Cependant il y a quelquefois des déviations suivant la direction de fractures plus anciennes; ainsi, dans la Haute-Saône, dans le midi de la Côte-d'Or et dans le département de Saône-et-Loire, on voit un grand nombre de fractures de l'époque qui nous occupe suivre la direction propre au système du Rhin.

Comme on devait naturellement s'y attendre, la direction des chaînes du Mont Pilas de la Côte-d'Or, de l'Erzgebirge et des autres chaînes, qui ont pris leur relief actuel immédiatement avant le dépôt du grès vert et de la craie, a eu une grande influence sur la distribution de ce terrain dans la partie occidentale de l'Europe. On conçoit, en effet, qu'elle a dû avoir une influence très-marquée sur la disposition des parties adjacentes de la surface du globe, qui, pendant la période du dépôt de ce terrain, se trouvaient à sec ou submergés. Parallèlement aux directions des chaînes que je viens de citer, s'étend, des bords de l'Elbe et de la Saale, à ceux de la Vienne, de la Charente et de la Dordogne, une masse de terrain qui formait évidemment, dans la mer qui déposait le terrain crétacé inférieur, une presqu'île, liée, vers Poitiers, aux contrées montueuses, déjà façonnées à cette époque,

de la Vendée, de la Bretagne, et par elles à celles du Cornouailles, du pays de Galles, de l'Irlande et de l'Écosse. La mer ne venait plus battre jusqu'au pied des Vosges; un rivage s'étendait des environs de Ratisbonne vers Alais; et le long de cette ligne on reconnaît beaucoup de dépôts littoraux de l'âge du grès vert, tels que ceux de la Perte du Rhône, et des hautes vallées longitudinales du Jura. Plus au S.-E., on voit le même dépôt prendre une épaisseur et souvent des caractères qui prouvent qu'il s'est déposé sous une grande profondeur d'eau. Il est à remarquer, que le dépôt du grès vert et de la craie a pris des caractères différents sur les diverses côtes de la presqu'île que je viens de nommer, et ce n'est peut-être que dans le large golfe qui continua long-temps à s'étendre entre la même presqu'île et les montagnes du pays de Galles, du Derbyshire, de l'Écosse et de la Scandinavie, qu'il s'est déposé avec cette consistance crayeuse de laquelle est dérivé son nom général, quoiqu'elle tienne, selon toute apparence, à une circonstance exceptionnelle.

VIII. *Système du Mont Viso.*

On est dans l'habitude de réunir en un seul groupe toutes les couches de sédiment comprises entre la partie supérieure du calcaire

du Jura et la partie inférieure des dépôts tertiaires. Parmi ces couches sont comprises la craie, avec les sables et argiles qui lui servent de support; couches que les géologues anglais désignent par les noms de *wealden formation*, *greensand and chalk*. M. d'Omalius d'Halloy a proposé de nommer terrain crétaqué ce groupe de couches, de même qu'on nomme terrain jurassique le groupe de couches dont le calcaire du Jura fait partie. Ces mêmes couches, que le besoin d'un nombre limité de coupures a fait réunir, forment un assemblage beaucoup plus hétérogène et beaucoup moins continu que celles dont on compose le groupe jurassique. Il me paraît bien probable que, pendant la durée de leur dépôt, il s'est opéré plus d'un bouleversement, soit dans nos contrées mêmes, soit dans les parties de la surface du globe qui en sont peu éloignées. Il me semble même qu'on peut, dès à présent, signaler un groupe, assez étendu et assez fortement dessiné, d'accidents de stratification et de crêtes de montagnes, comme correspondant à la plus tranchée des lignes de partage que nous offrent les couches comprises dans le groupe crétaqué.

L'ensemble des couches du terrain crétaqué peut, en effet, se diviser en deux assises très-distinctes par leurs caractères zoologiques et par leur distribution sur la surface de l'Europe; l'une, que je propose de désigner sous

le nom de terrain crétacé inférieur, comprendrait les diverses couches de l'époque de la formation wealdienne, et celle du grès vert jusques et compris le *reigate firestone* des Anglais, ou jusques et compris notre craie chloritée et notre craie tuffeau; l'autre, que je propose de désigner sous le nom de terrain crétacé supérieur, comprendrait seulement une partie de la craie marneuse et la craie blanche: le terrain crétacé supérieur se distinguerait zoologiquement de l'inférieur, par l'absence peut-être complète des céphalopodes à cloisons persillées, tels que les ammonites, les hamites, les turrilites, les scaphites, qui abondent dans certaines couches du terrain crétacé inférieur.

La ligne de partage de ces deux systèmes de couches me paraît correspondre à l'apparition d'un système d'accidents du sol que je propose de nommer *système du Mont Viso*, d'après une seule cime des Alpes françaises qui, comme presque toutes les cimes alpines, doit sa hauteur absolue actuelle à plusieurs soulèvements successifs, mais dans laquelle les accidents de stratification propres à l'époque qui nous occupe se montrent d'une manière très-prononcée.

Les Alpes françaises et l'extrémité sud-ouest du Jura, depuis les environs d'Antibes et de Nice jusqu'aux environs de Pont-d'Ain et de Lons-le-Saulnier, présentent une série de

crêtes et de dislocations, dirigées à peu près vers le Nord-Nord-Ouest, et dans lesquelles les couches du terrain crétacé inférieur se trouvent redressées aussi bien que les couches jurassiques. La pyramide de roches primitives du Mont Viso est traversée par d'énormes failles qui, d'après leur direction, appartiennent à ce système de fractures. Au pied des crêtes orientales du Devoluy, formées par les couches du terrain crétacé inférieur redressées dans la direction dont il s'agit, sont déposées horizontalement près du col de Bayard, celles des couches du terrain crétacé supérieur qui se distinguent par la présence d'un grand nombre de nummulites, de cérites, d'ampullaires et d'autres coquilles appartenant à des genres et même souvent à des espèces, qu'on avait cru pendant long-temps exclusivement propres aux terrains tertiaires. C'est donc entre les périodes de dépôt de ces deux parties du système du grès vert et de la craie, que les couches du système du Mont Viso ont été redressées.

Plus à l'Ouest, de nombreuses lignes de fractures, d'assez nombreuses crêtes, formées en partie par les couches redressées du terrain crétacé inférieur, se montrent depuis l'île de Noirmoutiers, où M. Bertrand Geslin vient d'en indiquer un exemple, jusque dans la partie méridionale du royaume de Valence. A Orthès (Basses-Pyrénées), et dans les

gorges de Pancorbo (entre Miranda et Burgos), on trouve les couches du terrain crétacé inférieur redressées dans la direction dont il s'agit.

MM. Boblaye et Virlet ont signalé, dans la Grèce, un système de crêtes très-élevées qu'ils ont nommé système Pindique, dont la direction est sensiblement parallèle à celle d'un arc de grand cercle qui passerait par le Mont Viso en se dirigeant du N.-N.-O. au S.-S.-E., et dont les couches les plus récentes leur paraissent se rapporter au terrain crétacé inférieur.

Lorsqu'on cherche à restaurer sur une carte les contours de la mer dans laquelle s'est déposé le terrain crétacé supérieur, on reconnaît aisément que la direction des crêtes dont se compose le système du Mont Viso a exercé sur ces contours une influence très-marquée.

IX. *Système des Pyrénées.*

Le défaut de continuité qui existe dans la série des dépôts de sédiment entre la craie et les formations tertiaires, et la conséquence qu'à cette époque de la chronologie géologique il y a eu renouvellement dans la manière d'agir des causes qui produisent les dépôts de sédiment, sont au nombre des points les mieux avérés de la géologie.

Ce défaut de continuité n'est nulle part plus manifeste qu'au pied des Pyrénées. D'après les observations de plusieurs géologues, les formations tertiaires, parmi lesquelles se trouve compris le calcaire grossier de Bordeaux et de Dax, s'étendent horizontalement jusqu'au pied de ces montagnes, sans entrer, comme la craie, dans la composition d'une partie de leur masse; d'où il suit que les Pyrénées ont pris, relativement aux parties adjacentes de la surface du globe, les traits principaux du relief qu'elles nous présentent aujourd'hui, après la période du dépôt des terrains crétacés, dont les couches redressées s'élèvent indistinctement sur leurs flancs, quelques-unes même jusqu'à leur crête, comme l'a prouvé M. Dufrénoy, et avant la période du dépôt des couches tertiaires de divers âges, qui s'étendent indistinctement jusqu'à leur pied, et qui souvent, dans le bassin de la Gascogne, semblent se confondre les unes avec les autres, ce qui tend à prouver que, pendant une grande partie des périodes tertiaires, cette partie de l'écorce du globe est restée à peu près immobile.

Si l'on jette les yeux sur des cartes suffisamment détaillées de la France et de l'Espagne, on voit que les Pyrénées y forment un système isolé presque de toutes parts; la direction qui y domine le détache également des systèmes de montagnes de l'intérieur de la

France et de ceux qui traversent l'Espagne et le Portugal. Cette chaîne, considérée en grand, s'étend depuis le cap Ortégal en Galice, jusqu'au cap de Creuss en Catalogne; mais elle paraît composée de la réunion de plusieurs chaînons parallèles entre eux, qui courent de l'O. 18° N. à l'E. 18° S., dans une direction oblique par rapport à la ligne qui joint les deux points les plus éloignés de la masse totale.

Cette direction des chaînons partiels, dont la réunion constitue les Pyrénées, se retrouve dans une partie des accidents du sol de la Provence, qui ont en même temps cela de commun avec eux, que toutes celles des couches du système crétacé qui y existent y sont redressées; tandis que toutes les couches tertiaires qu'on y rencontre s'étendent transgressivement sur les tranches des premières.

La réunion des mêmes circonstances caractérise les chaînons les plus considérables des Apennins. Les principaux accidents du sol de l'Italie centrale et méridionale, et de la Sicile, se coordonnent à quatre directions principales, dont l'une, qui est celle des accidents les plus étendus, est parallèle à la direction des chaînons des Pyrénées. On la reconnaît dans les montagnes situées entre Modène et Florence, dans les Morges entre Bari et Tarente, dans un grand nombre d'au-

tres crêtes intermédiaires et même dans deux rangées de masses volcaniques qui courent, l'une à travers la Terre de Labour, des environs de Rome à ceux de Bénévent, et l'autre, dans les îles Ponces, de Palmarola à Ischia. Ces dernières masses, bien que d'une date probablement plus moderne, semblent marquer comme des jalons les lignes de fractures du sol qu'elles ont traversé.

Les montagnes qui appartiennent à cette série d'accidents du sol sont en partie composées de couches redressées du système du grès vert et de la craie, tandis qu'elles sont enveloppées de couches tertiaires, dont l'horizontalité générale ne se dément qu'à l'approche des accidents d'un âge différent, auxquels sont dues les autres lignes de direction.

Les mêmes caractères de composition et de direction se retrouvent dans la falaise qui, malgré des dislocations plus récentes, termine encore la masse des Alpes au nord de Bergame et de Vérone, et au pied de laquelle se sont déposés les terrains calcaréo-trappéens du Vicentin, contemporains du calcaire grossier de Paris (Castel-Gomberto, Montecchio maggiore, Val Ronca). Ils se retrouvent aussi dans les Alpes Juliennes, entre le pays de Venise et la Hongrie, dans une partie des montagnes de la Croatie, de la Dalmatie, de la Bosnie, et même dans celles de la Grèce,

où MM. Boblaye et Virlet les ont observés dans les chaînons qu'ils ont désignés sous le nom de système Achaïque.

On les retrouve de même dans une partie des monts Carpathes, entre la Hongrie et la Gallicie, ainsi que dans quelques accidents du sol du nord de l'Allemagne, parmi lesquels on remarque principalement les lignes de dislocation, le long desquelles les couches du terrain crétacé se redressent au pied de l'escarpement nord-nord-est du Hartz.

Enfin, dans le nord de la France et le sud de l'Angleterre, la dénudation du pays de Bray et celle des Wealds, du Surrey, du Sussex et du Kent, et du Bas-Boulonnais, paraissent avoir pris la place de protubérances du terrain crétacé dues à des soulèvements opérés immédiatement avant le dépôt des premières couches tertiaires, suivant des directions générales parallèles à celles des Pyrénées, mais avec des accidents partiels, parallèles aux directions d'autres soulèvements plus anciens. Le midi du département de Maine et Loire présente une petite crête qui s'étend de Montreuil-Bellay à Concourson. Cette crête, composée de couches de transition, de couches jurassiques et même de craie tuffeau, est évidemment très-moderne. Tout annonce cependant qu'elle est antérieure au dépôt des faluns coquilliers de Doué et même à celui du calcaire grossier de Machecoul.

La convulsion qui accompagna la naissance des Pyrénées, fut évidemment une des plus fortes que le sol de l'Europe ait jusqu'alors éprouvées : ce ne fut qu'à l'apparition des Alpes qu'il en éprouva de plus fortes encore ; mais pendant l'intervalle qui s'écoula entre l'élévation des Pyrénées et la formation du système des Alpes occidentales, intervalle pendant lequel se déposèrent la plus grande partie des couches qu'on nomme tertiaires, l'Europe ne fut le théâtre d'aucun autre événement aussi important ; les soulèvements qui, pendant cet intervalle, changèrent peut-être à plusieurs reprises la forme des bassins tertiaires, ne s'y firent pas sentir avec la même intensité ; et le système des Pyrénées forma, pendant tout cet intervalle, le trait dominant de la partie de la surface de notre planète, qui est devenue l'Europe ; aussi le cachet pyrénéen se découvre-t-il presque aussi bien sur la carte où M. Lyell a figuré indistinctement toutes les mers des diverses périodes tertiaires, que sur celle où j'ai cherché à restaurer séparément la forme d'une partie des mers où se déposèrent les terrains tertiaires inférieurs. (Planche VIII.)

On peut en effet remarquer qu'une ligne un peu sinueuse, tirée des environs de Londres à l'embouchure du Danube, forme la lisière méridionale d'une vaste étendue de terrain plat, couverte presque partout par des

formations récentes. Cette ligne, qui est sensiblement parallèle à la direction Pyrénéo-Apennine, semble donc avoir été le rivage méridional d'une vaste mer qui, à l'époque des dépôts tertiaires, couvrait une grande partie du sol de l'Europe, et qui se trouvait limitée vers le Sud par un espace continental traversé par plusieurs bras de mer, et dont les montagnes du système des Pyrénées formaient les traits les plus saillants.

Les lambeaux de terrain tertiaire qui se sont formés dans les dépressions de ce même espace y sont souvent disposés suivant des lignes parallèles à la direction générale du système des Pyrénées : on conçoit toutefois que, comme ce grand espace présentait aussi des irrégularités résultant de dislocations plus anciennes et dirigées autrement, il a dû s'y former aussi des lambeaux tertiaires co-ordonnés à ces anciennes directions. C'est par cette raison que la direction dont il s'agit ne se manifeste que dans une partie des traits généraux primitifs du bassin tertiaire de Paris, de l'île de Wight et de Londres. L'enceinte extérieure qui environne l'ensemble de ces dépôts, se trouve en effet en rapport avec des accidents de la surface du sol tout-à-fait étrangers au système des Pyrénées, auquel semblent au contraire se rattacher les protubérances crayeuses qui, s'interposant entre eux, les ont empêchés de former un tout continu.

De nouvelles montagnes s'étant ensuite élevées pendant la durée de la période tertiaire, les plus récentes des couches comprises sous cette dénomination, sont venues s'étendre le long des nouveaux rivages que ces montagnes ont déterminés, mais sans que la forme générale des nappes d'eau cessât de présenter de nombreuses traces de l'influence prédominante du système pyrénéen.

X. *Système des îles de Corse et de Sardaigne.*

Les couches qu'on nomme tertiaires sont loin de former un tout continu. On y remarque plusieurs interruptions dont chacune pourrait avoir correspondu à un soulèvement de montagnes opéré dans des contrées plus ou moins voisines des nôtres. Un examen attentif de la nature et de la disposition géométrique des terrains tertiaires du nord et du midi de la France, m'a conduit à les diviser en trois séries, dont l'inférieure, composée de l'argile plastique, du calcaire grossier et de toute la formation gypseuse, y compris les marnes marines supérieures, ne s'avance guères au sud et au sud-ouest des environs de Paris. La suivante, qui est la plus complexe, est représentée dans le Nord par le grès de Fontainebleau, le terrain d'eau douce supérieur et les faluns de la Touraine; elle comprend,

à peu d'exceptions près, tous les dépôts tertiaires du midi de la France et de la Suisse, et notamment les dépôts de lignite de Fuveau, Koepfnach et autres semblables. Le grès de Fontainebleau, superposé aux marnes de la formation gypseuse, est la première assise de ce système, de même que le grès du lias, superposé aux marnes irisées, est la première assise du terrain jurassique. Le premier peut être considéré comme étant, par rapport aux arkoses tertiaires de l'Auvergne, ce qu'est le second par rapport aux arkoses jurassiques d'Avallon. Ces deux séries tertiaires ne sont pas moins distinctes par les débris de grands animaux qu'elles renferment, que par leur gisement. Certaines espèces d'anoplothérium et de paléothérium, trouvées à Montmartre, caractérisent la première, tandis que d'autres espèces de paléothérium, presque toutes les espèces du genre lophiodon, tout le genre anthracothérium, et les espèces les plus anciennes des genres mastodonte, rhinocéros, hippopotame, castor, etc., particularisent la seconde. Les dépôts marins des collines subalpines, et les dépôts lacustres d'Oeningen et de La Bresse, représenteraient la 3.^e période tertiaire, caractérisée par la présence des éléphants, de l'ours et de l'hyène des cavernes, etc.

C'est à la ligne de démarcation qui existe entre la première et la seconde de ces deux

séries tertiaires, que paraît avoir correspondu le soulèvement du système de montagnes dont il s'agit ici, et dont la direction dominante est du Nord au Sud : les couches de cette seconde série sont en effet les seules qui soient venues en dessiner les contours.

Au nombre de ces accidents, dirigés du Nord au Sud, se trouvent les chaînes qui, comme M. Dufrenoy l'a remarqué, bordent les hautes vallées de la Loire et de l'Allier, et dans le sens desquelles se sont alignées plus tard, près de Clermont, les masses volcaniques des monts Dômes : c'est dans les larges sillons dirigés du Nord au Sud, qui séparent ces chaînes, que se sont déposés les terrains d'eau douce de la Limagne d'Auvergne, et de la haute vallée de la Loire.

La vallée du Rhône qui, à partir de Lyon, se dirige aussi du Nord au Sud, a de même été comblée jusqu'à un certain niveau par un dépôt tertiaire dont les couches inférieures, très-analogues à celles de l'Auvergne, sont également d'eau douce, mais dont les couches supérieures sont marines. Ici la régularité des couches tertiaires a été fortement altérée, dans les révolutions liées aux soulèvements très-récents des Alpes occidentales et de la chaîne principale des Alpes.

La même direction se retrouve dans le groupe des îles de Corse et de Sardaigne, dont les côtes présentent des dépôts tertiaires ré-

cents en couches horizontales. La ligne de direction des îles de Corse et de Sardaigne, prolongée vers le Nord, traverse la partie nord-ouest de l'Allemagne, en passant à peu de distance de la masse basaltique du Meissner qui, ainsi que plusieurs autres masses de même nature situées dans les contrées voisines, se co-ordonne à des accidents qui courent du Nord au Sud, en affectant toutes les couches secondaires, ainsi qu'on peut le vérifier sur les belles cartes de M. le professeur Hoffmann.

Il est assez curieux de remarquer que les directions du système du Pilas et de la Côte-d'Or, de celui des Pyrénées, et de celui des îles de Corse et de Sardaigne, sont respectivement presque parallèles à celles du système du Westmoreland et du Hundsruck, du système des ballons et des collines du Bocage, et du système du nord de l'Angleterre. Les directions correspondantes ne diffèrent que d'un petit nombre de degrés, et les systèmes correspondants des deux séries se sont succédé dans le même ordre, ce qui conduit à l'idée d'une sorte de récurrence périodique des mêmes directions de soulèvement ou de directions très-voisines.

M. Conybeare, dans un article inséré dans la *Philosophical magazine and journal of science*, troisième série, deuxième cahier, Août 1832, p. 118, place immédiatement après la période du dépôt de l'argile de Londres, l'époque du

redressement des couches de l'île de Wight et du district de Weimouth, dont il rapproche plusieurs autres lignes de dislocation, de même peu éloignées de la direction E.-O. qui s'observent en Angleterre. Rien ne prouve cependant que le redressement des couches de l'argile de Londres, dans l'île de Wight, soit aussi ancien que M. Conybeare l'a supposé; car on ne voit nulle part les couches tertiaires subséquentes reposer sur les tranches de celles de l'argile de Londres; les faits parlent même contre la supposition de M. Conybeare; les couches alternativement marines et fluviales d'Headen-Hill, présentant des traces de dérangement, soit dans leur disposition, soit dans leur hauteur absolue comparée à celle des couches correspondantes de la côte opposée du Hampshire. Toutefois il ne serait pas impossible qu'une partie des dislocations que M. Conybeare a rapprochées, eussent été produites pendant la période tertiaire; qu'elles correspondissent, par exemple, à la ligne de démarcation qui existe entre le grès de Fontainebleau et le calcaire d'eau douce supérieur des environs de Paris, ou à celle qui s'observe entre ce dernier calcaire et les faluns de la Touraine. Or, s'il en était ainsi, la direction des dislocations de l'île de Wight étant sensiblement parallèle à celle du système des Pays-Bas et du sud du pays de Galles, on aurait un quatrième exemple du retour à de longs in-

tervalles des mêmes directions de dislocations dans le même ordre.

Le système des Alpes occidentales comparé au système du Rhin, dont il partage la direction à quelques degrés près, pourrait fournir un cinquième terme à la série de rapprochements qui indique cette singulière périodicité des directions des dislocations.

XI. *Système des Alpes Occidentales.*

On est généralement habitué à considérer comme un tout unique, la réunion de montagnes qu'on désigne sous le nom unique d'*Alpes*; mais on peut aisément reconnaître que cette vaste agglomération résulte du croisement de plusieurs systèmes indépendants les uns des autres, distincts à la fois par leur direction et par leur âge, et dont l'apparition successive a chaque fois considérablement modifié le relief antérieur. Il résulte de là qu'au premier abord leur structure paraît très-embrouillée lorsqu'on la compare à celle de telle chaîne où, comme dans les Pyrénées par exemple, un seul soulèvement a produit les grands traits du tableau, et dont le relief actuel est pour ainsi dire d'un seul jet.

Dans une grande partie de leur étendue, et surtout dans leurs parties orientale et méridionale, on reconnaît encore des traces de nombreuses chaînes de montagnes, dirigées

dans le même sens que les crêtes neigeuses des Pyrénées, et soulevées de même avant le dépôt des terrains tertiaires inférieurs (*Castel-Gomberto, Montecchio maggiore, Val Ronca*). Dans les Alpes de la Provence et du Dauphiné, on voit se dessiner fortement les chaînons du système du Mont Viso, soulevés avant le dépôt du terrain crétacé supérieur. Dans les montagnes qui lient les Alpes au Jura, on reconnaît des traces du système des îles de Corse et de Sardaigne, soulevé avant le dépôt des molasses; mais presque partout ces traces de dislocation, comparativement anciennes, sont sujettes à être masquées par des dislocations d'une date plus récente. Le relief des parties les plus hautes et les plus compliquées des Alpes, de celles qui avoisinent le Mont-Blanc, le Mont-Rose, le Finster-Aar-horn, résulte principalement du croisement de deux de ces systèmes récents, qui se rencontrent sous un angle de 45 à 50°, et qui se distinguent du système Pyrénéo-Apennin par leur direction comme par leur âge. Par suite de la disposition croisée de ces deux systèmes, les Alpes forment un coude à la hauteur du Mont-Blanc, et après s'être dirigées depuis l'Autriche jusqu'en Valais, suivant une direction peu éloignée de l'Est $\frac{1}{4}$ Nord-Est, à l'Ouest $\frac{1}{4}$ Sud-Ouest, elles tournent brusquement pour se rapprocher de la ligne Nord-Nord-Est, Sud-Sud-Ouest. S'il n'y avait là qu'une inflexion pure et simple

dans une chaîne de montagnes d'un seul jet, qui vient simplement à s'arquer, on verrait peu à peu la direction des couches et des crêtes s'infléchir pour passer de la direction de l'un des systèmes à celle de l'autre; tandis qu'on voit au contraire, le plus souvent, les directions des couches et des crêtes se rattacher assez distinctement tantôt à l'un, tantôt à l'autre, et les deux systèmes se pénétrer comme on conçoit qu'ils doivent le faire, s'ils sont le résultat de deux phénomènes entièrement distincts.

Le croisement de ces grands accidents de la croûte terrestre présente souvent une circonstance qui mérite que nous nous y arrêtions un instant.

On a vu dans les premières parties de ce volume, que, d'après les observations de M. le professeur Hoffmann, les vallées de soulèvement plus ou moins exactement circulaires, dans lesquelles sourdent les sources acidules du nord de l'Allemagne, sont placées aux points de rencontre de dislocations de directions diverses. Quelque chose d'analogue à ces vallées circulaires s'observe aussi dans les Alpes, aux points où se croisent les grandes lignes de dislocation. Je citerai, comme exemple de ce fait, le cirque de Louèche, dont font partie les escarpements célèbres de la Gemmi; celui de Derbarens couronné par les cimes neigeuses des Diable-

rets, et surtout la grande vallée circulaire dans laquelle s'élève le Mont-Blanc, à la rencontre de deux des crêtes les plus saillantes des Alpes, celle qui sépare le Valais de la vallée d'Aoste, et celle qui s'étend de la montagne de Taillefer dans l'Oisans, à la pointe d'Ornex, au-dessus de Martigny.

Les escarpements du Buet, des rochers des Fis, du Cramont, forment des parties détachées d'un vaste cirque, au milieu duquel s'élève la masse pyramidale du Mont-Blanc, qui rappelle ainsi, par la disposition du cortège qui l'accompagne, la cime trachytique de l'Elbrouz (le Mont-Blanc du Caucase), et même jusqu'à un certain point le cône du pic de Ténériffe. (1)

Le peu d'ancienneté relative de la forme actuelle des Alpes est certainement au nombre des vérités les plus incontestables que les géologues aient constatées. Le point de vue d'après lequel M. Jurine avait donné le nom

(1) Les hauteurs des trois pyramides sont :

Mont-Blanc 4,811 mètres.

Elbrouz 5,009

Pic de Teyde 3,776

Les hauteurs des bords des cirques qui les entourent en partie sont

Le Buet 3,109 mètres

Inal, Kinjal, Beurmaneuc (environ 10,000 pieds) . . . 3,248

Los Adulejos 2,865

La comparaison de ces diverses hauteurs donne lieu aux rapports suivants, dont la ressemblance est remarquable :

Mont-Blanc : Buet :: 1 : 0,646

Elbrouz : Inal :: 1 : 0,648

Pic de Teyde : Los Adulejos :: 1 : 0,758

de *protogine* à la roche granitoïde qui domine dans le massif du Mont-Blanc, a été *tacitement* abandonné aussitôt qu'on a reconnu que les couches les plus tourmentées des Alpes, celles mêmes qui couronnent les escarpements qui regardent le Mont-Blanc, appartiennent à des formations de sédiment très-récentes. Lorsqu'on observe d'un œil attentif l'ensemble des montagnes dont le Mont-Blanc forme l'axe; lorsqu'on suit, par exemple, la couche mince, remplie de fossiles, du terrain crétacé inférieur et d'une constance de caractères si remarquable, qui, de Thonne et de la vallée du Reposoir, s'élève à la crête des Fis (2,700 mètres), on ne peut s'empêcher d'y reconnaître, sur une échelle gigantesque, des traces de soulèvement encore plus certaines peut-être, que celles que Saussure a signalées plus près de la base du Mont-Blanc, dans les couches presque verticales du poudingue de Valorsine. MM. Brongniart et Buckland ont regardé comme l'effet d'un soulèvement, la position à la hauteur des neiges perpétuelles des fossiles récents des Diablerets. MM. Bake-well, Boué, Keferstein, Lil de Lilienbach et plusieurs autres géologues, ont signalé des phénomènes du même genre dans beaucoup d'autres points des Alpes. Le nagelflue qui fait partie du 2.^o étage tertiaire s'élève au Rigi à la hauteur de 1875 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Ce genre de phénomènes distingue les Alpes d'une grande partie des montagnes qui les entourent. Près de Lyon, les couches de la molasse coquillière s'étendent horizontalement sur les roches primitives du Forez, tandis que ces mêmes couches s'élèvent et se redressent de toutes parts en approchant des Alpes. MM. Sedgwick et Murchison, ont de même observé que les couches crayeuses et tertiaires qui s'étendent horizontalement au pied du Böhmerwald-Gebirge, se relèvent sur la rive opposée du Danube en entrant dans les Alpes. MM. Murchison et Lyell ont indiqué une disposition analogue dans les terrains tertiaires de l'Italie.

On ne s'est pas occupé aussi fréquemment, ni depuis aussi long-temps, de passer de ces aperçus généraux aux recherches nécessaires pour fixer l'âge relatif des différents systèmes de dislocation, dont la superposition a donné naissance à la masse en apparence si informe des Alpes.

Dans les Alpes occidentales, c'est-à-dire à l'ouest du Tyrol, et particulièrement dans les montagnes de la Savoie et du Dauphiné, la plupart des grands accidents du sol se rattachent à celui de ces deux grands systèmes d'accidents mentionnés ci-dessus, dont la direction moyenne est du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Ouest, ou plus exactement du Nord 26° Est, au Sud 26° Ouest. La prédominance

d'une direction constante, dans ces montagnes, a été remarquée depuis long-temps par de Saussure, et plus récemment par M. Brochant, et ils en ont conclu avec raison que, dans toutes les parties où cette direction domine, le redressement des couches (ou du moins la partie aujourd'hui la plus influente de ce redressement) doit être attribué à une seule opération de la nature.

La date géologique de cet événement est facile à déterminer : il suffit, pour y parvenir, d'examiner quelles sont les formations dont les couches en sont affectées, et quels sont au contraire les dépôts qui se sont étendus horizontalement sur les tranches des dépôts qui avaient subi la dislocation.

Dans l'intérieur du système de rides dont se composent principalement les Alpes occidentales, on n'aperçoit pas de couches plus récentes que la craie, parce que ces rides se sont formées sur un sol qui, déjà devenu montagneux, au moment du soulèvement du système du mont Viso, avait été tout-à-fait élevé au-dessus des mers, au moment du soulèvement du système des Pyrénées. Mais sur les bords, ainsi qu'aux deux extrémités de l'espace occupé par les rides auxquelles les Alpes occidentales doivent leur principal caractère, on voit les dislocations qui déterminent la forme et la saillie de ces rides, se transmettre aux couches tertiaires de l'étage moyen (à la molasse coquil-

lière), aussi bien qu'aux couches secondaires qui les supportent; d'où il suit que le redressement de couches propre au système des Alpes occidentales, a eu lieu après le dépôt des couches de l'étage tertiaire moyen.

Ainsi les couches de la molasse coquillière se trouvent également redressées, à la colline de Supergue, près de Turin, et au pied occidental des montagnes de la Grande-Chartreuse près de Grenoble. Ce dernier exemple est surtout très-frappant, parce que les couches de molasse qu'on voit se redresser jusqu'à la verticale, à l'approche des escarpements Alpines, s'étendent horizontalement jusqu'au pied des montagnes granitiques du Forez, qui viennent border le Rhône de Lyon à Saint-Vallier. Il résulte de cette circonstance une opposition non moins frappante entre les âges qu'entre les formes des montagnes arrondies du Forez, et des crêtes Alpines qui terminent si majestueusement vers l'Est-Sud-Est l'horizon des rives du Rhône.

Aux deux extrémités du groupe des grosses rides Alpines, la molasse coquillière se trouve aussi redressée dans leur direction, notamment, d'une part, au milieu de la Suisse, dans l'Entlibuch, et de l'autre, au milieu de la Provence, dans la vallée de la Durance, près de Manosque, entre Volonne et le Pertuis de Mirabeau. Il est même digne de remarque, quoique sans doute le hasard y entre pour

quelque chose, que les directions moyennes de ces deux groupes de couches redressées, sont presque dans le prolongement mathématique l'une de l'autre, et que la même ligne de direction va rencontrer, d'une part, la butte volcanique de Hohentwiel au nord-ouest de Constance, et de l'autre, la petite île de Riou, qui s'avance dans la Méditerranée, en avant de l'angle saillant que forme la côte du département des Bouches-du-Rhône, entre Marseille et Cassis. Cette même ligne traverse les Alpes, en passant entre le Mont-Blanc et le Mont-Rose, parallèlement aux énormes escarpements que ces deux masses colossales présentent l'une et l'autre du côté de l'Est-Sud-Est, et elle sert en même temps, pour ainsi dire, de limite occidentale à la région des roches de serpentine. Les deux accidents du sol auxquels elle se termine, l'île de Riou et la butte volcanique de Hohentwiel, présentent l'une et l'autre des traces de dislocations antérieures auxquelles la nouvelle ligne de fracture semble s'être arrêtée. L'île de Riou, mal figurée par Cassini, est allongée dans le sens des Pyrénées; la butte de Hohentwiel s'aligne avec les autres buttes volcaniques du Hegau suivant la direction du système du mont Viso.

Les Alpes ne sont pas la seule partie de l'Europe méridionale dans laquelle les terrains tertiaires de l'étage moyen aient été af-

fectés par des dislocations dirigées à peu près du N.-N.-E. au S.-S.-O., ou plus exactement parallèlement à un arc de grand cercle passant par Marseille et Zurich. Aux environs de Narbonne, commence une série de dislocations qui affectent les mêmes terrains et qui, courant sensiblement dans le même sens, déterminent la direction générale de la côte d'Espagne jusqu'au cap de Gates. Le chaînon de montagnes qui, dans l'empire de Maroc, commence au cap Trés-Forcas, paraît en être le prolongement. La Calabre, la Sicile et la régence de Tunis, présentent un grand nombre de dislocations et de crêtes dirigées de la même manière, et M. Christie, que le climat meurtrier de l'Inde a enlevé depuis aux sciences d'une manière si prématurée, a jugé qu'en Sicile ces dislocations sont contemporaines de celles des Alpes occidentales.

A partir de la convulsion qui a donné au système des Alpes occidentales son relief actuel, l'Europe semble avoir présenté un grand espace continental; pendant la période de tranquillité qui a suivi le redressement des couches de ce système, il ne s'est plus formé de dépôts marins que sur des côtes et dans des golfes éloignés de la partie centrale, comme dans les collines subapennines, dans quelques parties de la Sicile, et en Angleterre, dans les comtés de Suffolk et d'Essex. Il ne s'est plus formé de dépôts de sédiment dans l'intérieur

du continent que dans les vallées des rivières alors existantes, et dans quelques lacs d'eau douce qu'une révolution plus récente a fait disparaître, et qui étaient distribués au pied des montagnes, comme le sont les lacs actuels de la Suisse et de la Lombardie, mais dont quelques-uns étaient beaucoup plus étendus. Un lac de cette espèce couvrait la partie nord-ouest et la moins montueuse du département de l'Isère, ainsi que la plaine de la Bresse, depuis Tullins et Voiron jusqu'à Dijon; un autre couvrait la partie du département des Basses-Alpes comprise entre Digne, Manosque et Barjols; d'autres couvraient en partie la plaine de l'Alsace et les contrées basses qui avoisinent le lac de Constance. Les dépôts très-épais qui se sont formés dans ces lacs, et dont les couches horizontales s'étendent sur les tranches des couches de molasse coquillière marine antérieurement redressées, se composent en grande partie d'assises alternatives de sable mêlé de cailloux roulés et de marne; ils présentent tant de ressemblance avec ceux qui se forment sous nos yeux dans l'intérieur des continents, qu'on en a généralement compris une grande partie dans la classe des terrains qu'on appelle d'attérissement, de transport ou d'alluvion, quoiqu'ils appartiennent évidemment à la troisième période tertiaire.

Dans les dépôts du premier de ces lacs (dans l'Isère, la Bresse, etc.) on trouve de nombreux

amas de bois fossile qui paraissent provenir d'espèces d'arbres déjà assez peu différentes de celles de nos contrées; ils sont accompagnés de nombreuses coquilles d'eau douce. Les débris fossiles de plantes, de poissons, d'animaux terrestres, découverts en si grand nombre à OEningen, dans le bassin du lac de Constance, appartiennent probablement à cette période.

Sur la surface des terres alors découvertes, vivaient l'hyène et l'ours des cavernes, l'éléphant velu, des mastodontes, des rhinocéros, des hippopotames, animaux dont les espèces, aujourd'hui perdues, paraissent avoir été détruites dans la révolution qui, en changeant en partie la face du système des Alpes occidentales, a donné à la masse des Alpes la forme qu'elle nous présente aujourd'hui, et a achevé de façonner le continent européen.

XII. *Système de la chaîne principale des Alpes (depuis le Valais jusqu'en Autriche.)*

Les vallées de l'Isère, du Rhône, de la Saône et de la Durance, présentent deux terrains d'attérissage ou de transport très-distincts l'un de l'autre, entre lesquels on observe un défaut de continuité et une variation brusque de caractères qui constituent une nouvelle interruption dans la série des dépôts de sédiment.

Les eaux qui ont transporté les matériaux du premier de ces deux terrains, lequel appartient, ainsi que je viens de le dire, à la troisième période tertiaire, paraissent avoir été reçues dans les lacs d'eau douce dont j'ai parlé précédemment, tandis que les matériaux du second terrain semblent avoir été entraînés violemment par des courants d'eau passagers qui se sont écoulés vers la Méditerranée. Ces derniers courants sont généralement désignés sous le nom de courants diluviens, quoiqu'ils n'aient rien de commun avec le déluge de l'histoire, et que leur passage ait eu lieu avant le séjour du genre humain sur notre continent, où ils n'ont détruit que ces animaux aujourd'hui inconnus, que j'ai mentionnés ci-dessus. On discutera peut-être long-temps encore sur leur origine, qui pourrait bien avoir résulté tout simplement de la fusion des neiges des Alpes occidentales, opérée instantanément au moment du soulèvement de la chaîne principale des Alpes, et du déversement des eaux des lacs dont il vient d'être question ; mais on s'accorde généralement à admettre que le passage de ces courants a suivi immédiatement la dernière dislocation des couches alpines.

En portant un coup d'œil général sur les Alpes et sur les contrées qui les avoisinent, on peut reconnaître que les crêtes de la Sainte-Baume, de Sainte-Victoire, du Leberon, du Ventoux et de la montagne du Poet, dans le

midi de la France; la crête principale des Alpes, qui court du Valais vers l'Autriche; la crête moins haute et moins étendue, qui comprend en Suisse le mont Pilate et les deux Myten, etc., sont différents chaînons de montagnes, qui, malgré leur inégalité, sont comparables entre eux, à cause de leur parallélisme et des rapports analogues qu'ils présentent avec les accidents des Alpes occidentales. Le parallélisme, l'analogie de rapports dont je viens de parler, présentent à eux seuls de fortes raisons de croire que tous ces chaînons de montagnes ont pris naissance en même temps, et ne sont que différentes parties d'un même tout, d'un système de fracture unique, opéré en un moment. On pourrait tout au plus concevoir l'idée de les diviser en deux groupes, celui de la Provence et celui des Alpes; mais on en est immédiatement détourné par les rapports analogues qu'on reconnaît entre ces diverses fractures des couches et un mouvement général, que le sol d'une partie de la France a éprouvé en contractant une double pente ascendante, d'une part, de Dijon et de Bourges vers le Forez et l'Auvergne, et de l'autre, des bords de la Méditerranée vers les mêmes contrées. Ces deux pentes opposées donnent lieu par leur rencontre à une espèce de ligne de faite qui est située précisément dans le prolongement de la ligne de soulèvement de la chaîne principale des Alpes.

Cette ligne, qu'on voit se suivre ainsi d'une manière plus ou moins marquée depuis les confins de la Hongrie jusqu'en Auvergne, semble être en rapport avec les principales anomalies que les mesures géodésiques et les observations du pendule nous ont dévoilées dans la structure intérieure de notre continent. Il est probable que sa formation a donné, pour ainsi dire, le signal de l'élévation des cratères de soulèvement du Cantal, du Mont-Dore et du Mézenc, autour desquels se sont groupés depuis les cônes volcaniques de l'Auvergne.

Les deux pentes opposées dont nous venons de parler, ne se sont produites qu'après l'existence des lacs dans lesquels s'est accumulé le terrain de transport ancien; car on peut vérifier que le fond de celui de ces deux lacs qui couvrait la Bresse et le nord-ouest du département de l'Isère, a subi un relèvement considérable du Nord vers le Midi, et que le fond du lac qui s'étendait entre Digne, Manosque et Barjols, a subi un relèvement plus considérable encore du Midi vers le Nord.

Les dépôts de transports anciens, formés en couches horizontales, au fond du second de ces deux lacs, sur la tranche des dépôts tertiaires déjà disloqués lors de la production du système de fractures des Alpes occidentales, ont même été disloqués à leur tour près de Mézel (Basses-Alpes), dans une direction conforme à celle des petites chaînes qui sillon-

nent la Provence, comme le Ventoux, le Leberon, la Sainte-Baume, parallèlement à la chaîne principale des Alpes.

Le dépôt de transport diluvien n'est nulle part affecté par les dislocations du sol; partout il s'étend sur les tranches des couches disloquées, sans présenter d'autre pente que celle que le courant qui le déposait a dû lui faire prendre à son origine : ainsi le redressement de couches dont il s'agit a eu lieu nécessairement entre le dépôt du terrain de transport ancien et le passage des courants diluviens, qui ont rayonné autour des Alpes.

Les environs de Paris et une partie du nord de la France, présentent des traces du passage de puissants courants d'eau venant du Sud-Est, dont le déversement des eaux du lac de la Bresse, par suite de l'élévation inégale de son fond, fournit l'explication la plus simple et dont il est de même évident que les dépôts n'ont subi aucun dérangement depuis leur origine; circonstance qui, à elle seule, les distinguerait des dépôts tertiaires dans lesquels sont creusées les vallées qui les renferment. La ville de Paris est bâtie en grande partie sur ce dépôt de transport, dont l'origine violente est attestée par la grosseur des blocs qu'il renferme et dont l'ancienneté est prouvée par la découverte qu'on y a faite, près de la gare, d'un squelette d'éléphant.

En examinant avec soin la disposition des

terrains secondaires et tertiaires, depuis la Baltique jusqu'à Gibraltar et en Sicile, celle même des blocs diluviens répandus autour de la Scandinavie et dont le transport est probablement antérieur à celui du diluvium Alpin, on y reconnaît de nombreuses traces du mouvement du sol dont j'ai indiqué plus haut les effets dans les Alpes et autour de leur base; mais, dans un résumé aussi bref que doit l'être celui-ci, je puis à peine les indiquer.

La surface des terrains tertiaires de l'intérieur de la France qui, dans l'origine, devait être sensiblement horizontale, va en se relevant (ainsi que l'a remarqué depuis long-temps M. d'Omalius d'Halloy), depuis les bords de la Loire jusqu'à une ligne qui, passant par Compiègne et Laon, et dirigée à peu près parallèlement à la chaîne principale des Alpes, irait traverser la contrée volcanique des bords du Rhin. Dans le voisinage de cette ligne on voit en plusieurs points, comme à Compiègne, à Chambly, à Vigny, à Beyne, à Meudon même, la craie relever autour d'elle les dépôts tertiaires et former au pied de leurs escarpements le fond de vallées d'élévation, dans lesquelles le seul dépôt diluvien venu du S.-E. présente une position en rapport avec les lignes de niveau actuelles.

Depuis l'extrémité du Cornouailles jusqu'à Memel, en Prusse, la direction dominante des rivages dont les falaises sont formées indiffé-

remment pour toutes les couches de sédiment, est sensiblement parallèle à la direction de la chaîne principale des Alpes, et la grande hauteur à laquelle le dépôt du crag a été récemment observé sur les falaises au sud de l'embouchure de la Tamise, prouve qu'à l'époque dont je m'occupe en ce moment, le sol du midi de l'Angleterre a subi, comme celui du nord de la France, des mouvements considérables.

Le S.-O. de la France et l'Espagne ont éprouvé, à la même époque, des mouvements beaucoup plus considérables encore. Des masses d'ophite sans nombre, perçant le sol de toutes parts, y ont relevé autour d'elles tous les dépôts de sédiment, y compris même le sable des landes, qui appartient, comme le crag et le limon caillouteux de la Bresse, à la troisième période tertiaire. Ces ophites, dont M. Dufrénoy a montré depuis long-temps que le soulèvement est indépendant de celui de la masse des Pyrénées, se sont souvent alignées par files qui suivent les directions de toutes les anciennes fractures, de tous les clivages plus ou moins oblitérés que présentait le sol qu'elles avaient à percer; mais, considérées dans leur ensemble, ces masses d'ophites, les masses de dolomie, de gypse et de sel gemme, les sources salées ou thermales qui forment en quelque sorte leur cortège, sont disposées par bandes qui, prenant naissance au milieu des corbières

et des plaines ondulées de la Gascogne, s'enfoncent en Espagne parallèlement à la direction prolongée des lignes de fractures récentes qui traversent la Provence. Les dépôts tertiaires qui forment en partie la surface de la Vieille Castille et peut-être celle de la Nouvelle (d'après les observations de M. le Play), attestent l'élévation récente du sol de l'Espagne; et la direction générale des lignes de faite et des grands cours d'eau, tels que le Douro, le Tage, la Guadiana, le Guadalquivir, étend à la péninsule entière l'empreinte de l'époque des ophites.

Le sud de l'Italie, la Sicile et les îles qui l'entourent présentent de même un grand nombre d'accidents topographiques parallèles à la direction de la chaîne principale des Alpes; et M. Christie a constaté que la grande chaîne qui borde la côte septentrionale de la Sicile et qui est le plus important de ces accidents, doit son relief actuel à un soulèvement opéré, comme celui de la chaîne principale des Alpes, à la fin de la période pendant laquelle les éléphants, les hippopotames et les autres animaux caractéristiques de la troisième période tertiaire, habitaient le sol de l'Europe. (*Voyez Annales des sciences naturelles*, t. XXV, p. 164.)

Remarques générales. Si l'on considère avec soin, sur un globe terrestre d'une dimension

suffisante et d'une exécution soignée, chacun des systèmes de montagnes les plus proéminents et les plus récents qui sillonnent la surface de l'Europe, on peut remarquer que chacun d'eux fait partie d'un vaste système de chaînes parallèles, qui s'étend bien au-delà des contrées dont la structure géologique nous est connue. Mais comme, dans toutes les portions de chacun de ces systèmes qui sont situées dans les parties bien observées de l'Europe, on a reconnu, de proche en proche, que les chaînes parallèles sont en général contemporains, on n'a aucune raison pour supposer que cette loi, vérifiée sur de si nombreux exemples, dût s'interrompre brusquement, si on en poussait la vérification plus loin encore. Il est donc naturel de croire, jusqu'à ce que des observations directes aient montré le contraire, que chacun de ces vastes systèmes, dont les systèmes européens sont respectivement des portions, doit son origine à une seule époque de dislocation.

D'après cette considération, on serait conduit à supposer, par exemple, que les crêtes du système des Pyrénées que j'ai signalées plus haut sur la surface de l'Europe, font partie d'un système plus étendu, dont les Alleghanys et peut-être les Gates du Malabar formeraient les deux anneaux les plus éloignés. Ces deux termes extrêmes de la série se trouvent, à la vérité, considérablement détachés du reste.

mais, depuis le cap Ortégal en Espagne jusqu'à l'entrée du golfe Persique, sur une longueur de seize cents lieues, on peut suivre une série d'aspérités alongées, toutes parallèles à un même grand cercle de la sphère terrestre, et dont le parallélisme et la proximité s'accordent avec l'idée qu'elles auraient été produites en même temps et pour ainsi dire du même coup.

Ainsi, les directions des petites chaînes de montagnes, que les cartes les plus récentes indiquent dans la partie septentrionale du grand désert de Sahara, au sud de Tripoli et de l'Atlas, et dont quelques-unes se poursuivent même à travers l'Atlas jusqu'à la mer, ainsi que la direction de la côte septentrionale de l'Afrique, entre la grande et la petite Syrte, sont exactement parallèles à la direction des Pyrénées et à celle des accidents du sol que j'ai indiqués en Provence, en Italie, en Morée. Les observations de M. Rozet prouvent en même temps qu'il existait déjà des montagnes près d'Alger lors du dépôt des couches tertiaires. La direction du système Pyrénéo-Apennin que nous avons déjà suivi jusqu'en Grèce et dont certains chaînons paraissent se poursuivre jusqu'à la mer de Marmara, pour reparaître au-delà dans l'Anatolie, se retrouvent exactement dans la direction de la grande vallée de la Mésopotamie et du golfe Persique, et dans celle des chaînes qui s'élè-

vent immédiatement au N.-E. de cette grande vallée et qui vont se rattacher au Caucase. La direction de beaucoup de cours d'eau qui descendent du Caucase, et celle de plusieurs des principaux chaînons de ce système, notamment celle du chaînon qui borde la mer Noire au N.-E. de l'Abasie et de la Mingrèlie, est encore exactement celle du système Pyrénéo-Apennin. Cette direction du chaînon le plus occidental du Caucase est en quelque sorte continuée à travers les plaines de la Russie, de la Pologne, de la Prusse, jusqu'à l'île de Rugen, par les dislocations que M. Dubois de Montperreux y a signalées dans le terrain crétacé. Elle se rattache ainsi de proche en proche aux dislocations Pyrénéennes des Carpathes et du pied N.-N.-E. du Harz.

La direction du système des Ballons et des collines du Bocage étant sensiblement la même que celle du système des Pyrénées, la considération des directions permettrait de rapporter une partie des chaînons de montagnes dont je viens de parler au système des Ballons aussi bien qu'à celui des Pyrénées; mais dans l'état actuel de la surface du globe terrestre, tous les systèmes de montagnes d'une date ancienne, sont trop morcelés, trop usés, trop peu saillants pour qu'on puisse leur rapporter des systèmes de crêtes aussi proéminents que ceux que je viens de mentionner. Il est toutefois naturel de penser que, si réellement les sys-

tème dont les Pyrénées font partie se prolonge depuis les États-Unis jusque dans l'Inde, en traversant l'Europe, il doit en être de même du système des Ballons, auquel il me paraît même bien probable que les Alleghanys doivent une partie de leur configuration; et la circonstance que les bouleversements qui, en Europe, ont marqué le commencement et la fin de la période secondaire, se seraient étendus jusqu'aux États-Unis et dans l'Inde, expliquerait pourquoi ces grandes coupures des terrains de sédiment semblent se retrouver dans trois contrées aussi distantes.

Si maintenant nous passons au système des Alpes occidentales, nous pouvons remarquer que le prolongement mathématique de la ligne tirée de Marseille à Zurich, se trouve être parallèle à des accidents très-remarquables de la surface du globe, que l'induction de contemporanéité, tirée de la direction des chaînons de montagnes, conduirait à considérer comme de la même date, quoique l'état des connaissances géologiques ne donne pas encore le moyen de vérifier complètement cette conjecture.

Ainsi, en tendant sur la surface d'un globe terrestre un fil qui passe par Marseille et par Zurich, on peut remarquer que ce fil, qui passe aussi vers le Nord par l'embouchure de l'Obi, et vers le Midi par l'Archipel des nouvelles Shetland du Sud, se trouve à peu près

parallèle à la chaîne du Kiöl, rameau le plus étendu des Alpes scandinaves, aux chaînons principaux et aux vallées les plus remarquables de l'empire de Maroc, et même à la Cordillère littorale du Brésil qui borde le rivage de l'Océan Atlantique, depuis le cap Roque jusqu'à Monte-Video.

Cette même direction est parallèle, non-seulement à la ligne générale des côtes orientales de l'Espagne, depuis le cap de Gates jusqu'aux environs de Narbonne, mais encore à la ligne générale du littoral de l'ancien continent, depuis le Cap-Nord de la Laponie jusqu'au Cap-Blanc d'Afrique. Le Mont-Blanc, situé à peu près à égale distance de ces deux points extrêmes, forme comme le pivot de la charpente de la partie de l'ancien continent qui est comprise entre eux, et dont il est en même temps le point le plus élevé.

Au sud du Cap Blanc, la côte de l'Océan Atlantique est basse et sablonneuse sur une grande étendue, et à l'est du Nord-Kyn, voisin du Cap-Nord de la Laponie, la côte est de même assez peu élevée. Dans l'intervalle de ces deux points, au contraire, les côtes qui regardent la haute mer, sont généralement formées par des terres élevées, qui, lorsqu'elles ne sont pas composées de roches primitives, opposent du moins à l'Océan une barrière de couches redressées; disposition qui semble indiquer que le long de cette ligne tous les

terrains plats et peu élevés ont été surmergés.

Passant ensuite au système de la chaîne principale des Alpes, on peut remarquer que les crêtes du Mont-Pilate (en Suisse), de la chaîne principale des Alpes, du Ventoux, du Leberon, de la Sainte-Baume, etc., font partie d'un vaste ensemble de chaînons de montagnes qui, répandus à l'entour de la Méditerranée, et se prolongeant à travers le continent asiatique, semblent se lier à la fois les uns aux autres, par leur parallélisme et par la similitude de leurs rapports avec les grandes dépressions du sol, remplies par les eaux des mers, ou peu élevées au-dessus de leur surface. Outre les chaînes déjà mentionnées, ce système comprend l'Atlas, la chaîne centrale du Caucase, couronnée par le pic de l'Elbrouz, ainsi que la longue série de montagnes qui, sous les noms de Paropamissus, d'Indoukosh, d'Himâlaya, borde, au Nord, les plaines de la Perse et du Bengale, et renferme les cimes les plus élevées de la terre. Toutes ces chaînes courent parallèlement à un grand cercle, qu'on représenterait sur un globe terrestre par un fil tendu du milieu de l'empire de Maroc, au nord de l'empire des Birmans.

Il existe un rapport de disposition difficile à méconnaître, entre la situation de l'Himâlaya, au nord des plaines du Gange, et celle de la chaîne principale des Alpes, au nord des plaines du Pô; les cours d'eau qui s'échap-

pent de l'une ou de l'autre chaîne de montagnes s'infléchissent de la même manière dans la contrée basse qui la borde, pour tomber les unes dans le Gange, comme les autres dans le Pô; ce qui semble indiquer que la première plaine doit être, comme la seconde, formée par une vaste alluvion descendue des montagnes voisines. Le système géologique de la presqu'île occidentale de l'Inde s'élève, au midi des plaines du Bengale, à peu près comme celui des Apennins, au midi des plaines de la Lombardie; et on pourrait, par suite de cet ensemble de rapports, remarquer des analogies de situation géographique et commerciale entre *Milan et Dehly*, entre *Venise et Calcutta*, entre *Ancône et Madras*, entre *Gênes et Bombay*. Les rapports que je signale deviendraient plus frappants encore, si, le cours de l'Indus étant barré par des montagnes comparables en position à celles qui vont de Gênes au col de Tende, les eaux de ce fleuve et celles de la rivière Setledje et de ses autres affluents, étaient obligées de franchir le seuil peu élevé qui les sépare de la grande vallée du Gange.

Les systèmes de montagnes qui viennent d'être mentionnés sont bien loin de comprendre toutes les chaînes qui sillonnent la surface du globe; mais les chaînes qui n'y sont pas comprises jouissent aussi de la propriété de pouvoir être groupées par systèmes, dans

chacun desquels tous les chaînons partiels sont parallèles à un certain grand cercle de la sphère terrestre, et embrassent de part et d'autre de ce grand cercle une zone plus ou moins large et presque toujours d'une grande longueur. Ainsi par exemple la chaîne qui forme l'axe de l'île de Madagascar, et celle beaucoup plus étendue, mais semblablement orientée, qui borde, au S.-E., le continent Africain, forment deux anneaux d'un système qu'on peut suivre à travers l'Asie jusqu'aux bords du lac Baïkal et de la Léna. Je pourrais citer beaucoup d'autres exemples du même genre que j'ai eu plusieurs fois l'occasion d'indiquer dans mes leçons, si cet extrait ne dépassait déjà de beaucoup les bornes dans lesquelles il aurait dû être renfermé.

L'apparition d'une chaîne de montagnes qui, à en juger par quelques-uns des résultats des observations géologiques, a produit, dans les contrées voisines, des effets si violents, a pu, au contraire, n'influer sur des contrées très-lointaines que par l'agitation qu'elle a causée dans les eaux de la mer, et par un dérangement plus ou moins grand dans leur niveau; événements comparables à l'inondation subite et passagère, dont on retrouve l'indication à une date presque uniforme dans les archives de tous les peuples. Si cet événement historique n'était autre chose que la dernière des révolutions de la surface du globe, on serait

naturellement conduit à demander quelle est la chaîne de montagnes dont l'apparition remonte à la même date, et peut-être serait-ce le cas de remarquer que le système des Andes, dont les soupiraux volcaniques sont encore généralement en activité, forme le trait le plus étendu, le plus tranché, et pour ainsi dire le moins effacé de la configuration extérieure actuelle du globe terrestre. En donnant le nom de système des Andes à ce système, que je suppose être le plus récent de tous, je prends la partie pour le tout, comme je l'ai fait dans le cas des Pyrénées et des Alpes. Je veux, en effet, parler ici de cet énorme bourrelet montagneux qui court entre l'océan Pacifique d'une part, et les continents des deux Amériques et de l'Asie de l'autre, en suivant, depuis le Chili jusqu'à l'empire des Birmans, la direction d'un demi-grand cercle de la terre, et en servant comme d'axe central à cette ligne volcanique en zig-zag, qui, suivant çà et là des fractures plus anciennes, sans s'écarter de la zone littorale, forme, ainsi que l'a remarqué M. de Buch, la limite la plus naturelle du continent de l'Asie, et peut même être considérée comme séparant la partie aujourd'hui la plus continentale du globe terrestre de sa partie la plus maritime.

Des crises violentes, accompagnées de l'élévation de chaînes de montagnes, et suivies de mouvements impétueux des mers, ca-

pables de désoler de vastes étendues de la surface du globe, paraissant avoir, pendant un laps de temps probablement immense, fait partie du mécanisme de la nature, il n'y a rien d'absurde à admettre que ce qui est arrivé à un grand nombre de reprises, depuis les périodes les plus anciennes, jusqu'aux périodes les plus modernes de l'histoire de la terre, soit arrivé une fois depuis que l'homme vit sur sa surface. Ainsi, comme le remarque avec justesse M. le professeur Sedgwick, nous nous trouvons avoir écarté tout ce que présentait d'incroyable la tradition d'un déluge récent.

On peut en outre remarquer, relativement à l'avenir de notre planète, que si le nombre des révolutions de la surface du globe et des systèmes des montagnes réellement distincts, est encore indéterminé, si la série formée par ces termes successifs n'est encore que très-imparfaitement connue, les observations déjà faites circonscrivent pourtant déjà entre certaines limites la loi qui, lorsqu'ils seront tous complètement connus, pourra se manifester dans leur succession. Par cela seul que la hauteur actuelle du Mont-Blanc et du Mont-Rose ne date que des dernières révolutions de la surface du globe, il est visible que, quelle que soit la place définitive que pourront occuper, dans la même série, d'autres montagnes plus hautes encore, cette série ne prendra jamais cette forme longuement et régulièrement

décroissante qui conduirait directement à conclure que la limite est atteinte. Rien n'indiquera que des phénomènes, dont les derniers paroxysmes ont été si violents, ne se renouvelleront plus. Quelque provisoire que soit la succession de termes qui résulte de l'état actuel des observations, il est difficile d'y prévoir une modification qui change son aspect au point de porter à supposer que l'écorce minérale du globe terrestre ait perdu la propriété de se rider successivement en différents sens ; il est difficile d'y prévoir un changement qui permette d'assurer, que la période de tranquillité dans laquelle nous vivons ne sera pas troublée à son tour par l'apparition d'un nouveau système de montagnes, effet d'une nouvelle dislocation du sol que nous habitons, dont les tremblements de terre nous avertissent assez que les fondements ne sont pas inébranlables.

Tout nous conduit donc à supposer que les causes qui ont produit les phénomènes géologiques, subsistent encore, et que la tranquillité dont nous jouissons aujourd'hui est due à leur sommeil bien plutôt qu'à leur anéantissement.

On a essayé d'expliquer, par la répétition prolongée des effets lents et continus que nous voyons se produire sur la surface du globe, l'ensemble des phénomènes qui s'observent dans les pays de montagnes ; mais

on n'est parvenu de cette manière à aucun résultat général complètement satisfaisant. Tout annonce, en effet, que le redressement des couches d'une chaîne de montagnes est un événement d'un ordre différent de ceux dont nous sommes journellement les témoins.

Le nombre, la périodicité, la similitude des grands événements que nous présente l'histoire du globe, fourniraient, s'il en était besoin aujourd'hui, de puissants arguments contre la plupart des causes cosmologiques, telles qu'un déplacement de l'axe de la terre ou le choc d'une comète, auxquels on a souvent eu l'idée d'avoir recours pour les expliquer. Le choc d'un corps en mouvement serait beaucoup plus propre à produire, dans la croûte solide extérieure du globe, des inégalités disposées plus ou moins symétriquement autour d'un point, que des rides courant parallèlement les unes aux autres sur une grande étendue.

L'absence de tout rapport direct entre la direction des chaînes de montagnes et la position des pôles et de l'équateur, indique assez à elle seule qu'elles ne doivent pas leur origine à des phénomènes astronomiques. Les chaînes de montagnes ne présentent de relations évidentes que les unes avec les autres, par leur répartition en groupes rectilignes, et avec les dimensions du globe terrestre, par la propriété que paraît avoir chaque système

d'embrasser plus ou moins exactement une demi-circonférence de la terre ; et on peut remarquer, à l'appui de l'hypothèse dans laquelle chacun de ces systèmes de montagnes, quelle que soit son étendue, serait considéré comme le résultat d'un seul mouvement de dislocation de la croûte terrestre, qu'il est plus aisé de se représenter géométriquement le déplacement relatif de parties, nécessaire pour que l'écorce solide de la terre se ride suivant une portion considérable de l'un de ses grands cercles, que celui qui devrait avoir lieu si elle venait à se rider seulement dans un espace plus circonscrit.

L'idée d'assimiler, à l'époque de tranquillité actuelle, chacune des périodes de tranquillité relative dont l'étude des dépôts de sédiment nous atteste l'ancienne existence, est complètement en harmonie avec l'idée, très-philosophique en elle-même, de chercher dans les causes qui agissent encore actuellement sous nos yeux à la surface du globe, l'explication des phénomènes dont les géologues observent les effets. Mais il y a loin de l'idée que tous les phénomènes géologiques ont dû être produits par des causes encore en action, à la *supposition gratuite* que ces causes n'ont jamais déployé une énergie supérieure à celle avec laquelle elles ont agi depuis l'établissement définitif des sociétés actuelles. Cette supposition ne peut s'accorder avec le fait de l'indé-

pendance des formations de sédiment successives, qui est le résultat le plus important, et en quelque sorte le résumé de l'étude des couches superficielles de notre globe; il y a, au contraire, une harmonie remarquable entre la forme générale que tous les géologues ont attribuée, depuis Werner, et même depuis Buffon, à la série des sédiments qu'ils ont constamment divisée en un nombre limité de formations, et l'idée d'une série de catastrophes, susceptibles chacune de changer, sur de grands espaces, la forme des mers et le cours des rivières, et séparées les unes des autres, dans chaque contrée, par des périodes d'une tranquillité relative.

Mais, plus il sera solidement établi, par les faits dont l'ensemble constitue la géologie positive, que l'histoire de la terre se compose d'une série de périodes de tranquillité, dont chacune a été séparée de la suivante par une convulsion subite et violente, dans laquelle une portion de la croûte du globe a été disloquée, plus en même temps il paraîtra raisonnable de ne chercher que dans l'action des causes dont l'observation de la nature nous a démontré l'existence, l'explication de ses ouvrages même les plus anciens; plus sera grande la curiosité, on pourrait même dire l'anxiété avec laquelle on se trouvera porté à rechercher, parmi les causes actuellement en action, quel est l'élément qui peut être propre à pro-

duire de temps à autres, des crises si différentes de la marche ordinaire des événements qui se passent sous nos yeux.

Les volcans se présentent naturellement à l'esprit, lorsqu'on cherche dans l'état présent des choses quelques termes de comparaison avec ces phénomènes gigantesques qui apparaissent clair-semés dans l'histoire de la terre. Mais la volcanicité ne serait une cause comparable aux effets qu'il s'agit d'expliquer, qu'autant qu'on élargirait l'acception habituelle de cette expression; en la définissant avec M. de Humboldt, *l'influence qu'exerce l'intérieur d'une planète sur son enveloppe extérieure dans les différents stades de son refroidissement.*

Déjà on était obligé de modifier le sens primitif de l'expression *action volcanique*, lorsqu'on voulait continuer à y comprendre, ainsi que le faisait Dolomieu, les éruptions de trachytes et de basaltes, puisqu'il est prouvé aujourd'hui que ces roches, au lieu d'avoir coulé d'un cratère situé à la cime d'un cône, se sont élevées sous forme de cloches, ou se sont épanchées en grandes nappes par des crevasses souvent longues et étroites (dykes). Les différences si bien établies par M. de Buch, entre les laves des volcans, et les mélaphyres qui, dans le soulèvement des chaînes de montagnes, sont arrivés au jour dans un état pâteux, et n'ont jamais coulé sur la sur-

face, montrent la nécessité d'élargir encore plus le sens attribué le plus souvent à cette même expression d'action volcanique, si on veut que le phénomène du soulèvement d'une chaîne de montagnes puisse être compris.

Les volcans se sont souvent alignés suivant des fractures parallèles à des chaînes de montagnes, et qui devaient probablement à l'élévation de ces chaînes leur première origine; mais cela ne conduit nullement à considérer les chaînes elles-mêmes comme étant dues à ce jeu prolongé des événements volcaniques, auquel s'applique proprement le sens de l'expression d'action volcanique. Si on conçoit comment un centre d'éruptions volcaniques, agissant avec une énergie extraordinaire, aurait pu produire des accidents disposés circulairement, ou en forme de rayons, autour d'un point central, on ne peut imaginer comment même plusieurs volcans réunis auraient produit de ces rides, en partie composées de couches repliées, qui se poursuivent avec une direction constante dans l'espace d'un grand nombre de degrés.

L'action volcanique, dans le sens propre de ce mot, ne saurait donc être la cause première des grands phénomènes qui nous occupent; mais les éruptions volcaniques paraissent avoir elles-mêmes des rapports avec la haute température que présentent encore aujourd'hui les parties intérieures du globe,

et les analogies qui au premier aperçu nous feraient chercher dans l'action volcanique proprement dite la cause des révolutions de la surface du globe, doivent nous conduire finalement à chercher cette même cause dans le phénomène beaucoup plus large de la haute température intérieure de la terre.

Le refroidissement séculaire, c'est-à-dire la diffusion lente de cette chaleur primitive à laquelle les planètes doivent leur forme sphéroïdale, et la disposition généralement régulière de leurs couches du centre à la circonférence, par ordre de pesanteur spécifique, présente en effet un élément auquel il me semble depuis long-temps, ainsi qu'à M. Fénéon (qui m'a dit avoir eu aussi, de son côté, la même idée), que ces effets extraordinaires pourraient être rattachés. Cet élément est le rapport qu'un refroidissement aussi avancé que celui des corps planétaires établit sans cesse entre la capacité de leur enveloppe solide et le volume de leur masse interne. Dans un temps donné, la température de l'intérieur des planètes s'abaisse d'une quantité beaucoup plus grande que celle de leur surface, dont le refroidissement est aujourd'hui presque insensible. Nous ignorons sans doute quelles sont les propriétés physiques des matières dont l'intérieur de ces corps est composé; mais les analogies les plus naturelles portent à penser que l'inégalité de re-

froidissement, dont on vient de parler, doit mettre leurs enveloppes dans la nécessité de diminuer sans cesse de capacité, malgré la constance presque rigoureuse de leur température, pour ne pas cesser d'embrasser exactement leurs masses internes, dont la température décroît sensiblement. Elles doivent par suite s'écarter légèrement et d'une manière progressive de la figure sphéroïdale qui leur convient, et qui correspond à un maximum de capacité; et la tendance graduellement croissante à revenir à une figure à peu près de cette nature, soit qu'elle agisse seule, ou qu'elle se combine avec les autres causes intérieures de changement que les planètes peuvent renfermer, pourrait peut-être rendre complètement raison de la formation subite des rides et des diverses tubérosités qui se sont produites par intervalles dans la croûte extérieure de la terre, et probablement aussi de tous les autres corps planétaires.

FIN.