

**ANNALES**  
DE LA  
**SOCIÉTÉ LINNÉENNE**  
DE LYON

FONDÉE EN 1822

ET DES

**SOCIÉTÉ BOTANIQUE DE LYON**  
**SOCIÉTÉ D'ANTHROPOLOGIE ET DE BIOLOGIE DE LYON**

RÉUNIES

**ANNÉE 1922**

NOUVELLE SÉRIE

TOME SOIXANTE-NEUVIÈME

αἱ βοτάναι σιγηλῶς τὸ ὠφελοῦν  
προτάχονται.

**LYON**

**JOANNÈS DESVIGNE & C<sup>IE</sup>, LIBRAIRES-ÉDITEURS**

36 A 42, PASSAGE DE L'HOTEL-DIEU

1923

# CONSIDÉRATIONS SUR LA DYNAMIQUE DE L'ÉCORCE TERRESTRE

PAR

**E.-C. ABENDANON**

Mémoire présenté à la Société Linnéenne de Lyon,  
en la Séance du 25 septembre 1922.

---

Dans un très intéressant opuscule (1), paru en 1875, M. Suess émet cette opinion que la naissance d'une chaîne de montagnes serait due à une force compressive « tangentielle ». Réfutant des opinions plus anciennes, et se basant sur la structure unilatérale des montagnes, qu'on avait étudiés à cette époque, il parle d'abord, à la page 23, d'une force « dont la direction ne put s'écarter essentiellement de l'horizontale », il fait ressortir ensuite, à la page 25, « que des mouvements uniformes de grandes masses, dans le sens horizontal, ont exercé une influence beaucoup plus radicale sur le façonnage actuel du système des Alpes que les mouvements verticaux de parties isolées sur lesquels on a trop appuyé jusqu'ici », puis il écrit aussi (p. 26) qu' « un mouvement d'ensemble, plus ou moins horizontal et progressif, doit être la cause de l'érection de nos chaînes de montagnes » ; il attire encore l'attention (p. 31) sur « une force qui ne s'écarte guère de la direction horizontale », puis (p. 46) sur « une force horizontale déviable », et une dernière fois (p. 49) sur « une force plus ou moins horizontale » pour en arriver finalement (p. 50) à l'hypothèse « de la force horizontale ou, comme on l'a aussi appelée, de la force tangentielle ».

Telle est la conception, en somme peu claire, de Suess sur la force tangentielle. Quelle différence, par exemple, avec celle de Newton, si belle et si solide, sur la gravitation ! Aussi ne peut-on trouver dans l'opuscule précité une explication nette de l'origine de la force tangentielle. Il semble que l'auteur y

(1) *Die Entstehung der Alpen*, Vienne.

« suppose une contraction irrégulière de la surface de la planète » (p. 146) qui fut le point de départ de la formation, sous trois aspects, de chaînes de montagnes. A cette supposition, s'ajoute encore cette affirmation de la page 153 : « On peut à peine mettre en doute que des mouvements horizontaux puissent s'ensuivre et même se soient produits à des profondeurs très diverses » (!). Puis après avoir encore observé (p. 155) qu' « il n'a pas eu l'occasion de reconnaître une contraction éventuelle dans le sens radial du corps terrestre », Suess termine par cette conclusion (p. 157) : « Pour autant que l'on sache, on peut donc regarder toutes les formations des chaînes de montagnes comme le processus de consolidation de la surface supérieure de la terre dont les formes dépendent à coup sûr de la répartition de compartiments primitifs plus anciens » (traduction).

Somme toute, l'idée que se fait Suess de la poussée tangentielle n'est donc nullement expliquée scientifiquement et cependant cette notion a joué et joue encore un rôle important dans la science tectonique. Pourtant déjà Heim a senti que, sans explication complémentaire, on ne pouvait l'accepter, et, fait assez curieux, dans son ouvrage « Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung », il parle, dès 1878, de la « cause de cette cause » (Ursache jener Ursache). Par une démonstration inductive générale, il en arrive en fin de compte à une seconde conception, celle du refroidissement de la sphère terrestre et de la trop grande ampleur acquise en conséquence par l'écorce pour le globe contracté. Tandis que Suess parle de consolidation de la *croûte* terrestre, Heim, par contre, émet l'opinion d'un refroidissement de la *sphère* terrestre.

Les géologues français attribuent la théorie de la contraction à Elie de Beaumont, mais conviennent qu'elle fut approfondie par les géologues américains. C'est donc de De Beaumont et de Heim, ainsi que des géologues américains, que vient la théorie de la contraction de la sphère terrestre comme facteur fondamental qui a provoqué les dislocations dans des parties de l'écorce.

Ce sont ces deux notions (1) : contraction du noyau terrestre

(1) La notion des géosynclinaux reste en dehors de ces considérations, at-

et pression tangentielle qui, jusqu'à présent, ont dominé la science tectonique, bien que l'on ait cherché, mais toujours en vain, à trouver entr'elles une corrélation satisfaisante.

A son tour, Suess en vint aussi, en 1883, dans son ouvrage célèbre, « Das Antlitz der Erde », à l'hypothèse de la contraction de la *sphère* terrestre (1).

Après Suess, qui s'en tint aux mouvements tangentiels et radiaux, von Richthofen (2) oppose les chaînes de montagnes formées les unes par des mouvements tangentiels de compression et les autres par ceux de dilatation occasionnés par le glissement de parties des continents dans les profondeurs océaniques. Naturellement, surgit de suite la question de connaître l'origine de ces profondeurs. Cette hypothèse de la dilatation, émise par von Richthofen, a fait quelque peu école en Allemagne, bien que, en dernière analyse (3), son auteur même n'en fut pas satisfait.

D'après les opinions en cours et sans qu'on n'en donne aucune explication scientifique, on fait agir les compressions et les tensions à différents niveaux de la croûte terrestre.

Que nous apprennent de leur côté les investigations les plus récentes faites dans les Alpes ? Que les grandes nappes de charriage furent engendrées par des mouvements des parties *supérieures* de la croûte terrestre. N'est-il pas curieux de constater que, là où l'on reconnut ce phénomène, on ne se soit pas posé immédiatement cette question : si la formation des chaînes de montagnes est due à la contraction du noyau de la terre, comment se fait-il que les effets se manifestent seulement dans la partie *supérieure* de sa croûte ? Et inversement : si de sem-

tendu que, par elle, on ne peut expliquer que les *emplacements où prennent naissance* les chaînes dues aux plissements ainsi que l'épaisseur des formations qui la composent. Voir aussi la note 1, p. 10.

(1) Voir la traduction française de E. de Margerie, I, 1905, p. 139 et p. 162.

(2) F. von Richthofen, Geomorphologische Studien aus Ostasien; I. Ueber Gestalt und Gliederung einer Grundlinie in der Morphologie Ostasiens, *Sitzungsber. kgl. Preuss. Akad.* Berlin, 1900, p. 888; II. Gestalt und Gliederung der ostasiatischen Küstenbogen, *Ibid.*, 1901, p. 782; III. Die morphologische Stellung von Formosa und der Riukiu-Inseln, *Ibid.*, 1902, p. 944; IV. Ueber Gebirgskettungen in Ostasien, mit Ausschluss von Japan, *Ibid.*, 1903, p. 867; et V. Gebirgskettungen im Japanischen Bogen, *Ibid.*, 1903, p. 892. — *China*, vol. III, 1912, et *China*, vol. V, 1911.

(3) *China*, vol. III, 1912, p. 201, 205-206, 208, 211.

blables mouvements ont eu lieu, l'écorce terrestre a-t-elle été mise elle-même en mouvement sur toute son étendue ? Et dans l'affirmative, comment se comportent les mouvements de toute l'écorce terrestre par rapport à ceux de certaines parties de celle-ci qui se produisent dans le sens vertical et à peu près horizontal ?

Pour expliquer les mouvements subis, soit par diverses parties de la croûte terrestre, soit par l'ensemble de celle-ci, il y a lieu tout d'abord de trancher ce point : quelle est la force qui engendre le mouvement ? Nous verrons qu'il n'y en a qu'une : *la pesanteur* (1).

Comme point de départ de nos considérations, nous admettons l'hypothèse (2) du refroidissement et de la contraction du noyau de la terre. Demandons-nous si ces phénomènes *peuvent* provoquer des dislocations de parties de l'écorce terrestre et, dans l'affirmative, s'ils permettent d'expliquer et de comprendre le mode de formation des chaînes de montagnes.

Arrêtons-nous un instant à la première de ces deux questions. Si la sphère terrestre se contracte au point que son écorce en acquiert trop d'ampleur, nous concevons en même temps que la pesanteur ne peut s'accommoder d'une semblable situation ; elle cherche naturellement à la modifier ; en d'autres termes, dans toutes les parties de la croûte terrestre se développe une énergie potentielle qui tend à se transformer en énergie cinétique. Que se passerait-il si, en tous points, il y avait identité de sollicitation mécanique ? On se rend compte de suite que *rien*

(1) M. Cl. Gaillard, directeur du Muséum des Sciences naturelles de Lyon, et membre du Comité de publication de notre Société, a eu l'obligeance non seulement de voter pour la publication du présent mémoire, mais aussi de fixer mon attention sur son étude « Les Mouvements de l'écorce terrestre et leurs causes » (*Ann. Soc. Linn. de Lyon*, t. LVIII, 1911, p. 163-172). Tout en regrettant de n'avoir pas eu connaissance plus tôt de cette intéressante étude, je tiens à souligner qu'il y a une grande parenté entre nos deux théories. La publication de M. Gaillard est très condensée, de sorte que chaque alinéa pourrait faire l'objet d'un grand développement, et il est fortement à espérer que le savant auteur trouvera sous peu le temps de faire paraître une étude plus développée, accompagnée de croquis explicatifs. Pour le moment, l'essentiel c'est que, lui comme moi, nous mettons les « forces tangentielles » hors concours, et nous n'acceptons que *la pesanteur* comme la seule force qui puisse mettre en mouvement des parties de l'écorce terrestre.

(2) L'exactitude de cette hypothèse ne peut être démontrée, ni être considérée comme définitivement établie ; ce point ne peut être perdu de vue.

n'arriverait, conséquence évidente de la loi physique élémentaire de l'impénétrabilité d'après laquelle deux corps ne peuvent occuper à la fois le même espace. Si, au point de vue mécanique, il y avait partout identité de conditions, il n'y aurait aucune raison pour qu'une partie quelconque de la croûte terrestre cédât à l'action de la pesanteur plutôt qu'une autre et conséquemment se mît en mouvement. Il ne pourrait être question non plus d'un mouvement simultané de toutes les parties. Dans ces conditions, il ne se produirait donc rien. Mais comme les dislocations sont là, il fait aboutir à cette conception que l'énergie potentielle de la croûte terrestre se dilate par un mouvement radial, dirigé vers le centre, de certaines parties de la dite croûte. Il va de soi que ce seront les parties les plus grandes, les plus solides et les plus lourdes qui se mettront les premières en mouvement et qui occasionneraient que les parties les plus petites, les plus faibles et les plus légères, sur lesquelles pourtant agit aussi la pesanteur, seront relativement ou absolument pressurées. C'est donc de cette manière que nous nous figurons que l'uniformité de la surface extérieure de la croûte terrestre a disparu et que celle-ci nous montre des rentrants et *conséquemment* des saillants. Il convient de se faire une idée bien nette de notre conception relative à ces déformations de la croûte terrestre. Dans la figure 1, I et II représentent deux parties ou compartiments de cette croûte qui, par leurs mouvements de descente radiaux, refoulent le compartiment III en forme de dôme. Il est clair que, dans les zones inférieures du compartiment III, se développent des pressions (1) et, dans les zones extérieures ou supérieures, des tensions. Il y a donc à distinguer dans ce compartiment : une zone inférieure de pression et une zone supérieure d'étirage. Les dômes ainsi formés constituent les grand-plis de la croûte terrestre. Les efforts d'extension donnent lieu au phénomène que dorénavant nous appellerons distraction.

Comment ces phénomènes de distraction interviendraient-ils dans une partie de la croûte terrestre qui est plissée, indépendamment de sa structure intérieure, comme si elle ne formait

(1) On ne peut pas qualifier ces pressions de « tangentielles », puisque, en réalité, elles sont radiales et ont une tendance à se décomposer en forces divergentes vers l'extérieur.

qu'une seule masse ? Il est évident que de longues crevasses doivent se produire suivant la direction de l'axe du plissement, et que la bande de territoire comprise entre deux crevasses doit s'effondrer donnant naissance ainsi à un bassin ou fossé d'effondrement. La fig. 2, ci-contre, montre ce phénomène et

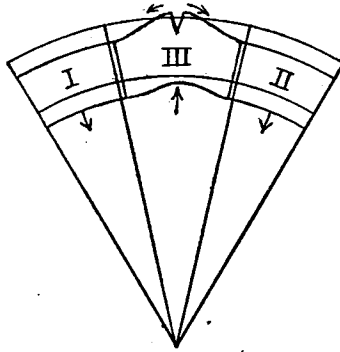


FIG. 1.

démontre que ce n'est qu'à la partie supérieure de l'écorce qu'il se forme des crevasses. L'effondrement de ces parties de la croûte terrestre doit aller de pair avec des *tremblements de terre*.



FIG. 2.

Avant d'étudier les caractères distinctifs du mécanisme de grand-plissement qui embrasse donc, de haut en bas, toute la croûte terrestre, et de rechercher si les observations faites dans la nature concordent avec elles, nous désirons d'abord savoir si les plissements ordinaires des séries sédimentaires peuvent nous apprendre quelque chose en rapport avec ce mécanisme. Pour cela, nous n'avons pas à jeter nos regards sur les plissements et chevauchements les plus compliqués, mais, au contraire, sur les plis les plus simples. Pour autant que nous sachons, les plis du

Bassin Rouge du Se-Tchouan (1), plus encore que ceux du Jura et des Appalaches, sont les plus simples qui, sur une longueur assez considérable, existent sur la surface de la terre. Ces plis (2) sont *impeccablement réguliers sur une longueur de 250 kilomètres et plus, non seulement suivant leur direction, mais aussi dans le sens transversal*. Nous avons eu le privilège d'observer ces plis qui, *par suite de leur simplicité, sont d'une beauté classique*. Il est vivement regrettable qu'ils soient situés si loin de nous, car de cet abécédaire tectonique du Se-Tchouan, on peut tirer tant d'enseignements qu'il n'est pas douteux qu'un jour celui-ci ne devienne un lieu de pèlerinage classique pour ceux qui s'adonnent à la science tectonique.

A quelles observations donnèrent lieu ces plis (3) d'une masse sédimentaire de 5 kilomètres d'épaisseur qui appartient probablement en entier au Tertiaire ? Tout d'abord, on peut reconnaître que des synclinaux *horizontaux*, relativement larges, alternent avec des anticlinaux (*horizontaux*) relativement étroits. Chaque fois, on aperçoit, sur une longueur considérable, des couches horizontales, puis des couches de plus en plus redressées et pour finir, sur une longueur plus réduite, des couches horizontales. C'est là le retournement anticlinal et souvent, cette disposition se répète, mais dans un ordre inverse, avec une parfaite symétrie. On se trouve donc en présence de

(1) E. C. Abendanon, La Géologie du Bassin Rouge de la province du Se-Tchouan (Chine), *Revue Univ. des Mines*, XIV et XV, 4<sup>e</sup> série, Liège, 1906; tiré à part, p. 1-199.

E.-C. Abendanon, Structural Geology of the Middle Yang-tsi-kiang Gorges, *Journal of Geology*, vol. XVI, n<sup>o</sup> 7, 1908, p. 587-616.

F. von Richthofen, *China*, III, 1912, p. 192, 195 et 198-199.

(2) Ce n'est pas seulement sous le rapport de la régularité que les plis du Se-Tchouan se distinguent de ceux du Jura, mais aussi et principalement par leur mode de formation, comme nous le verrons plus loin.

(3) Par suite du *déboisement complet*, sur toute l'étendue du pays et du défaut de terre végétale, on peut suivre, sans qu'on puisse les confondre les unes avec les autres, les couches de la partie orientale du Bassin Rouge sur des dizaines et des dizaines de kilomètres, aussi bien suivant leur direction que dans le sens perpendiculaire à celle-ci. En outre, le Yang-tzé-kiang recoupe les plis dont il s'agit suivant une section d'une netteté idéale, et le travail de dénudation a fait le reste pour rendre le tout absolument clair. Il est donc désormais impossible que les investigateurs de l'avenir puissent trouver dans ce pays les complications tectoniques qui existent déjà dans la chaîne du Jura.

ces unités tectoniques bien connues : les synclinaux, les ailes et les anticlinaux.

Que nous révèle chacune de ces unités sous le rapport de la variation de volume ? D'abord, les synclinaux, pour autant que nous ayons pu le constater, ne trahissent aucune modification. De même, les couches alternatives d'argile schisteuse et de grès, accumulées sur une grande épaisseur, ne présentent aucune trace de déplacement horizontal l'une par rapport à l'autre. Et sans aucun doute, tel aurait été le cas, si une poussée tangentielle avait été la cause primordiale du plissement des couches du Bassin Rouge du Se-Tchouan. Dans les ailes pourtant, une forte diminution du volume s'est produite, et, plus raide est la position de l'aile, plus violente est la pression subie par les couches elles-mêmes et les séries de couches. Les ailes paraissent donc avoir été l'objet d'un laminage énergique. En revanche, les anticlinaux accusent chaque fois une augmentation de volume manifeste ; les couches alternatives d'argile schisteuse et de grès ont foisonné de façon surprenante.

Il est donc clair que cette distribution des rôles, soit donc l'immobilité des couches superposées dans les synclinaux, le glissement et le laminage dans les ailes et enfin un foisonnement accompagné de fractures dans les anticlinaux ne s'accommode pas de la seule pression tangentielle comme explication. Nous ne pouvions donc interpréter ces caractères de l'écriture de la nature que d'une seule façon, en admettant qu'ils doivent leur naissance à un mouvement radial descendant qui, par l'influence de la pesanteur, sollicita toutes les parties ; puis, que, par suite de la diminution de l'espace occupé, ce mouvement ne put s'imposer qu'aux synclinaux plus larges, aux dépens des paquets plus étroits, c'est-à-dire des ailes qui refluèrent vers l'extérieur ; en même temps, une distraction se produisit dans l'anticlinal par suite de la possibilité d'un déplacement radial vers l'extérieur et, dès qu'elle a dépassé une certaine limite, cette distraction a provoqué la rupture des couches. Ces phénomènes représentent donc bien, au point de vue mécanique, le même principe que les grand-plis déjà mentionnés et qui seront caractérisés encore, dans la suite, de façon plus précise.

Nos recherches géologiques à travers la Célèbes Centrale nous ont appris à connaître les caractéristiques des grand-plis.

Ce pays, pénéplaine à la fin de l'ancien Tertiaire, fut bombé pendant le Néo-Tertiaire et le Pléistocène jusqu'à son altitude actuelle de 2.000 mètres. Qu'il me soit permis, pour les détails, de renvoyer le lecteur à mon ouvrage sur la Célèbes Centrale (1) et de m'en tenir ici aux faits dominants.

Le bombement considérable subi par la pénéplaine de la Célèbes Centrale d'autrefois, les crevasses provoquées par la distraction et le profond ravinement qui en est résulté par l'érosion nous ont permis de reconnaître en partie le long de nos divers itinéraires (où la roche en place perçait la couche de terre végétale), la structure du sous-sol. Là où celui-ci était à nu, les gneiss et les schistes cristallins des montagnes centrales avaient la direction approximative E.-W., tandis que le grand-pli de la Célèbes Centrale se dirige à peu près du N. au S. C'est là la première caractéristique et certes la plus frappante de ce grand-pli : sa structure est tout à fait indépendante de celle du sous-sol.

Le deuxième caractère distinctif du grand-pli de la Célèbes Centrale, c'est que sa formation débute dans le Miocène, qu'elle poursuit son accélération au cours du Plio-pléistocène, laquelle se continue encore de nos jours, comme le prouvent la régression de la mer des côtes et les tremblements de terre dans les fossés effondrés par suite de la distraction anticlinale.

Les manifestations de cette distraction, soit donc les crevasses et les fossés effondrés, constituent un troisième signe caractéristique des zones anticlinales des grand-plis.

Les tremblements de terre qui ne sont dus qu'aux effondrements provoqués par la fissuration anticlinale et à cette fissuration même représentent le quatrième caractère distinctif du mécanisme des grand-plissements.

Un cinquième est l'apparition de phénomènes volcaniques dans la zone anticlinale du grand-pli. Dans la Célèbes Centrale, ceux-ci se révèlent sous la forme de sources thermales (contenant souvent de l'acide sulfhydrique), de roches volcaniques et partiellement de tufs. On peut dire que, dans la Célèbes Centrale, le volcanisme existe, mais sans s'être manifesté en cônes de déjection (2) récents.

(1) *Voyages géologiques et géographiques à travers la Célèbes Centrale*, Leyde, 1916-1918, 3 volumes et un atlas.

(2) Voir à ce propos le vol. III de mon ouvrage, p. 1214-1216.

Si les considérations précédentes répondent à la réalité des choses et si leur explication est exacte, aucun doute que les mêmes phénomènes doivent se produire aussi en d'autres points de la terre aux mêmes époques et avec les mêmes caractéristiques. En effet, si, en un point de la croûte terrestre, l'équilibre est rompu de telle façon que deux voussoirs peuvent s'affaisser dans le sens radial aux dépens du voussoir intermédiaire, il va de soi que le même phénomène doit se produire aussi en d'autres endroits de cette croûte ; autrement dit, en d'autres lieux de notre planète, des grand-plis analogues avec phénomènes de distraction anticlinale doivent se former aussi.

Cette supposition nous a incité à procéder à l'étude attentive de la littérature existante. Cette étude nous combla de surprises, attendu qu'elle nous révéla à chaque instant l'existence indéniable d'une structure en grand-pli (1) pour d'autres compartiments de l'écorce terrestre dont la surface supérieure se terminait, avant qu'elle fut atteinte par le grand-pliessement, soit par des terrains montagneux incomplètement pénéplanisés, soit par des pénéplaines, soit encore par des pénéplaines descendues sous le niveau de la mer.

Obligé de résumer notre étude, nous devons nous borner à une simple énumération des grand-plis, dont on peut accepter l'existence d'après les travaux publiés.

### 1. Grand-pli de Sumatra.

Pour définir ce grand-pli, il nous suffira de nous laisser guider par les observations si intéressantes de Volz (2), dont les explications pourtant paraissent très fantaisistes. Car, quoique ses interprétations et explications soient totalement différentes

(1) On a déjà pu se rendre compte nettement dans quelle mesure les grand-plis tels que nous les concevons diffèrent des géosynclinaux et des géoanticlinaux de Dana. L'hypothèse de l'existence de ceux-ci se trouve dans J.-D. Dana, *On some Results of the Earth's Contraction from cooling, including a discussion of the Origin of Mountains, and the nature of the Earth's Interior*, *The American Journal of Science and Arts*, 1873, 3d. Ser., V, p. 423-443, VI, p. 6-14, 104-115 et 161-172.

(2) W. Volz, *Nord-Sumatra*, Bd. II, *Die Gajoländer*, 1912, p. 304, et du même auteur, *Der Malaische Archipel, sein Bau und sein Zusammenhang mit Asien*, *Sitz. ber. der phys. med. Soz.*, Erlangen, 1912, vol. 44, p. 190.

des nôtres, il résulte de ses publications que l'on peut aussi attribuer à Sumatra les caractéristiques suivantes des grand-plis : tectonique indépendante de la structure prétertiaire ; origine dans le Néogène et continuation, à une allure accélérée, pendant le Plio-pléistocène ; comme conséquence de la distraction anticlinale, formation de bassins effondrés en rapport direct avec la vitesse de formation du grand-pli ; connexité avec les phénomènes volcaniques. Enfin, les tremblements de terre se bornent aussi à la zone anticlinale du grand-pli de Sumatra, ce qui ressort clairement de l'ouvrage de De Montessus de Ballore (1).

En ce qui concerne le mécanisme de bombement de la partie méridionale de l'île de Sumatra, il est intéressant de lire une étude du D<sup>r</sup> E. Hartmann, publiée dans l'Annuaire des Mines des Indes néerlandaises (*Jaarboek van het Mijnwezen*, 1915, paru à Batavia en 1917, p. 109).

### 2. Grand-pli du Rhin moyen.

Si l'on s'est bien assimilé la notion des grand-plis, on comprendra de suite que la *fossa rhenana* est un fossé effondré médian formé par la mise en jeu d'un phénomène de distraction anticlinale parallèlement à l'axe du grand-pli dont les horsts des Vosges et de la Forêt-Noire sont les parties refoulées radialement vers l'extérieur.

Au sujet de ce grand-pli, nous pouvons remarquer que : 1. sa formation débuta immédiatement avant le Néogène et continua au cours du Plio-pléistocène ; 2. bien que nous ne puissions dire que cette formation soit indépendante de la tectonique antérieure, elle n'en est pourtant pas non plus dépendante ; 3. par suite du même phénomène, il s'est produit un fossé d'effondrement médian dont le travail d'achèvement se révèle encore de nos jours de temps à autre par des tremblements de terre ; 4. et 5. la zone anticlinale du grand-pli est encore accompagnée de manifestations sismotectoniques et volcaniques.

### 3. Grand-pli des Alpes.

Pour démontrer que le territoire des Alpes (nous nous bor-

(1) *Les Tremblements de Terre*, 1906, p. 186-190.

nons aux Alpes occidentales) dessine un grand-pli (plus ou moins complexe), nous ne pouvons mieux faire que de renvoyer le lecteur au travail (1) monumental de Penck et Brückner dans lequel, naturellement, il est souvent fait usage de données géomorphologiques. En maints passages de cet ouvrage (voir p. 477, 479, 478, 469, 474, 743, 846, 910, 911, 889, 993 et 1023), on peut se rendre compte que, au nord aussi bien qu'au sud des Alpes suisses, il a été constaté un refoulement post-pliocène de ces montagnes. En suite de cette constatation, il devient évident qu'ici aussi nous devons avoir affaire à un grand-pli dont la figure actuelle est due à l'affaissement de territoires synclinaux au nord de même qu'au sud. S'il en est ainsi, on doit pouvoir observer des manifestations de la distraction dans la zone anticlinale de ce grand-pli. Tel est en effet le cas. Les efforts de traction développés dans la zone de cintrage furent la cause, pensons-nous, de la *création* de ces *vallées longitudinales* si caractéristiques des Alpes. Si l'on observe que ces grandes vallées longitudinales, telles par exemple, celles du Rhône, du Rhin, de l'Inn, de la Salzach, de l'Enns, etc., s'avancent toutes dans la même orientation, on devra se dire que, si un phénomène pareil se répète, c'est qu'il est dû à une cause plus générale que celle de la *capricieuse érosion*. De plus, dans un pays montagneux ininterrompu, l'érosion ne peut créer que des sillons conséquents. A elle seule, celle-ci n'a pu creuser les vallées longitudinales dont il vient d'être question ; ni les efforts d'érosion de masses glaciaires, ni ceux de l'eau ne peuvent avoir été assez efficaces dans une *seule* direction pour avoir pu façonner, dans les Alpes, des vallées longitudinales rectilignes si longues. Il tombe immédiatement sous le sens, que des masses d'eau ou de glace obéissant aux lois de la pesanteur ne peuvent que suivre des sillons existants. Ayant bien compris le phénomène de distraction qui se manifeste dans les parties de la croûte terrestre pressurées dans le sens radial, on s'expliquera clairement comment la tectonique a pu engendrer de pareilles crevasses rectilignes qui s'avancent si loin dans la même direction parallèlement au grand-plissement des Alpes occidentales. Nous en arrivons ainsi à cette conclusion : *les vallées longitudi-*

(1) A. Penck et E. Brückner, *Die Alpen im Eiszeitalter*, 1909.

nales des Alpes doivent leur ébauche primordiale à des crevasses dues à la distraction anticlinale. Dans la suite, ces crevasses (1), dans un manteau sédimentaire très puissant, ont été transformées par l'action érosive des glaciers et des eaux. Ainsi donc, dans l'ordre chronologique, la formation de ces vallées s'explique comme suit : 1. esquisse primitive sous la forme de crevasses dues à la distraction anticlinale ; 2. façonnage par les actions érosives de la glace et de l'eau.

Si nous observons, en outre, que des phénomènes sismotectoniques sont connexes à ces profondes fêlures rectilignes, nous serons bien convaincus au sujet de la succession chronologique des causes qui viennent d'être mentionnées. Dans De Montessus de Ballore, *Les Tremblements de Terre*, on lit, p. 295 : « Les Alpes proprement dites sont bien plus stables malgré les gigantesques dislocations qui accidentent tous les terrains souvent très métamorphosés qui les constituent, et on a déjà vu le même fait se produire dans l'est de la chaîne. Elles sont coupées longitudinalement par les hautes vallées opposées du Rhin et du Rhône, alignées dans le sillon de la Furca, et qui, toutes deux, se retournent presque à angle droit pour se déverser dans les lacs de Constance et de Genève. *C'est dans ces profonds sillons seulement que se font ressentir les tremblements de terre* ».

Le grand-pli des Alpes occidentales accuse de façon absolument nette quatre des propriétés distinctives des grand-plis, savoir : structure indépendante de la tectonique antérieure ; origine de sa formation dans le Néogène et accélération du pressurage et du refoulement radial au cours du Plio-pléistocène ; mise en jeu des phénomènes de la distraction dans la zone anticlinale ; de plus, dans les territoires où ces phénomènes se

(1) En ce qui concerne les lacs des Alpes, il n'entre pas dans nos intentions d'expliquer toute forme creuse rien que par le phénomène de distraction ; pourtant, si l'on constate que les manifestations sismotectoniques sont en relation directe avec ces creux, il est certain, comme nous l'avons dit, que ce phénomène a tout de même joué un rôle important dans le grand-pli des Alpes. Déjà les deux Sarasin ont attiré l'attention sur la grande similitude des lacs de la Célèbes Centrale et des Alpes, les premiers, sans aucun doute, n'ayant pas été formés par des glaciers. Pour expliquer la naissance de maints bassins creux dans le grand-pli des Alpes, des larges aussi bien que des étroits, nous croyons donc pouvoir opposer notre théorie de la distraction anticlinale à celles du réaffaissement « Rücksenkungstheorie » de Heim et de l'érosion glaciaire de Penck et Brückner.

révèlent, on constate aussi des manifestations sismotectoniques.

Le cinquième signe caractéristique n'est pas si apparent, car on n'y trouve aucun volcan ; toutefois, ce fait ne s'explique-t-il pas de façon très compréhensible par la présence d'un épais manteau sédimentaire, rendu plus puissant encore, par suite de l'existence des nappes de recouvrement ? Au surplus, les manifestations d'activité volcanique ne font pas complètement défaut.

Il semble résulter du travail de Penck et Brückner que le mécanisme de grand-pliessement qui affecta tout le territoire des Alpes ne changea pas de place une partie de l'écorce terrestre absolument pénéplainisée comme dans la Célèbes Centrale, mais, au contraire, une partie de cette écorce dont le relief n'avait pas encore complètement disparu. En opposition se tient l'hypothèse de la hauteur constante des sommets. Nous laissons aux géologues qui s'occupent des Alpes le soin d'appliquer nos idées à celles-ci. Ce sera la meilleure confirmation de notre manière de voir, si ces géologues peuvent trouver la solution de maints problèmes encore inexplicés jusqu'ici, en rapprochant notre opinion de leurs propres considérations scientifiques.

#### **4. Grand-pli des Balkans.**

Dans le domaine de la tectonique, l'étude comparative, qui doit devenir le fondement d'un nouvel essor de cette science, fournira difficilement l'occasion de rencontrer deux territoires de notre planète qui, sous le rapport tectonique, accusent autant de similitude (abstraction faite de certaines différences de valeur secondaire), par leur structure disloquée néogène et plio-pléistocène que la Célèbes Centrale et la péninsule balkanique. Ces deux pays représentent des types de compartiments de l'écorce terrestre où le refoulement en dôme, dans le sens radial, a provoqué un grand nombre de crevasses dues à la distraction anticlinale et d'effondrements des voussours situés entre celles-ci. Les crevasses se sont transformées naturellement en sillons fluviatiles, tandis que les dépressions furent les cuvettes toutes désignées pour la formation des lacs. La structure de grand-pliessement de la péninsule balkanique devient claire pour celui qui veut se donner la peine d'étudier sérieu-

sement les ouvrages de Cvijic (1) et d'Oestreich (2). Grâce surtout aux travaux de Cvijic qui s'est acquis de si grands mérites par l'étude géologique de la péninsule balkanique, il est démontré de façon péremptoire, que cette partie de l'Europe a subi un processus de grand-plissement.

Première caractéristique : l'indépendance de la tectonique disloquée vis-à-vis de la structure plissée plus ancienne est absolument établie par les descriptions de Cvijic. En ce qui concerne la deuxième caractéristique, nous croyons devoir présenter une observation. Cvijic, cherchant à connaître l'âge des fosses dont il s'agit dans IV, p. 152, en arrive à cette conclusion que les périodes de refoulement et d'effondrement doivent être attribuées à l'Oligo-miocène et au Plio-pléistocène. Pourtant, dans Oestreich, on lit, p. 569 (VI) : « Le paradoxe apparent, c'est-à-dire ce fait que la plupart des bassins sont plus récents que les sédiments y déposés, peut être appliqué à la grande fosse Centrale, comme dit Cvijic, aussi bien qu'à toutes, donc aussi au bassin d'Usküb-Istib-Tikves. Ce n'est pas cette fosse qui attira le lac, mais ce fut toute une pénéplaine qui s'affaissa sous la surface de la mer (!) dont les sédiments se sont conservés dans le bassin formé ultérieurement et précisément rien que là (a) » (traduction).

Dans les parties anticlinales soulevées à haute altitude, on constate ces manifestations de la distraction anticlinale qui, précisément dans la partie cintrée, donna lieu aux crevasses et aux effondrements. C'est la troisième caractéristique. Ainsi donc, le rapport mutuel des *soulèvements* et des *effondrements* dans la presqu'île balkanique n'est autre qu'une relation

(1) J. Cvijic, Die tektonischen Vorgänge in der Rhodopemasse, *Sitz. ber. d. k. Ak. d. W. in Wien*, Bd. CX, Abth. I, 1901 = I.

J. Cvijic, Die dinarisch-albanesische Scharung, *Sitz. ber. d. k. Ak. v. W. in Wien*, Bd. CX, Abth. I, 1901 = II.

J. Cvijic, *Die Tektonik der Balkanhalbinsel* = III.

J. Cvijic, Grundlinien der Geographie und Geologie von Mazedonien und Alt Serbien, *Ergh. 162 zu Pet. Mitt.*, 1908 = IV.

(2) K. Oestreich, Beiträge zur Geomorphologie Makedoniens, *Abh. d. k. Geogr. Ges. in Wien*, Bd. IV, n° 1, 1902 = V.

K. Oestreich, Die Oberfläche Makedoniens, *Geogr. Zeitschr.*, Bd. 16, Heft 10, 1910 = VI.

« (a) Dans cet ordre d'idées, l'auteur a pu répondre à la question posée par Cvijic (Grundlinien, I, p. 152) au sujet de l'âge des bassins. » (traduction.)

de cause à effet. Quant à la connexité qui existe entre la tectonique disloquée et les phénomènes sismotectoniques, Cvijic nous a déjà fourni certaines indications à son sujet et pour le surplus, le mieux, pensons-nous, est de renvoyer à De Montessus de Ballore, *loc. cit.*, p. 254 et 256-258. En ce qui concerne les manifestations volcaniques, nous renvoyons de nouveau à l'ouvrage de Cvijic, IV, p. 118-119, qui montre encore que, à son tour aussi, la cinquième caractéristique ne manque pas.

Nous ajouterons que les chaînes de plissements albanaises doivent leur naissance, à notre avis, à un mécanisme de glissement (comme l'a constaté Reyser) mis en jeu le long de l'aile occidentale du grand-pli de la péninsule balkanique ; mais nous reviendrons plus loin sur ce point.

### 5. Grand-pli du Japon.

Nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage de Von Richthofen, V, p. 892-918, où la structure néogène en grand-pli, du nord du Japon, peut être facilement déduite des pages 910-911. De suite, on y retrouve quelques-unes des caractéristiques des plissements de l'espèce. Cet auteur parle de lignes directrices du moyen-Tertiaire, d'une structure absolument indépendante de l'ancienne tectonique, d'un territoire effondré : le fossé médian, et de manifestations d'activité volcanique le long de la ligne directrice de l'époque la plus récente. Quant aux phénomènes sismotectoniques enfin, ils sont suffisamment connus, de sorte qu'on peut se contenter de s'en rapporter à l'ouvrage de De Montessus de Ballore (p. 416-431), auquel nous nous sommes déjà souvent référé. On peut y voir que ces phénomènes sont liés à la zone anticlinale du grand-pli et que, de son côté, le mécanisme de celui-ci est en action d'abord vers la fin du Miocène, puis vers celle du Pliocène et qu'il se manifeste encore de nos jours. Donc, aucun doute, pour nous, que le nord du Japon (1) soit un grand-pli des époques néogène et plio-pléistocène.

(1) En guise de conclusion provisoire, nous croyons pouvoir affirmer que la structure en grand-pli du Sud du Japon est beaucoup moins nette que

En rapport direct avec le mécanisme de grand-pliessement du Japon, il existe un nouveau phénomène, conséquence de ce mécanisme, sur lequel nous croyons le moment venu d'attirer l'attention.

Quand un grand pli est violemment bombé, soit donc soulevé dans le sens radial, il va tout naturellement de soi que la zone extérieure rigide de la saillie anticlinale se rompt d'un ou de deux côtés, en d'autres termes que les ailes anticlinales qui, dans les régions plus profondes et plastiques, sont retroussées et proportionnellement étirées, se résolvent en fractures à la partie supérieure, dans la zone rigide. Cette saillie anticlinale (quand la fracture existe des deux côtés, ce qui n'est pas nécessairement toujours le cas) repose alors sur le grand pli resté plus ou moins plastique dans les régions profondes. Le phénomène sur lequel nous désirons fixer l'attention n'est autre que la présence de *côtes fracturées* (qu'il ne faut pas confondre avec les côtes-falaises, produits d'abrasion marine), d'où sont arrachés des lambeaux rigides dont l'effondrement ou, pour préciser, le glissement vers les profondeurs océaniques donne lieu à des tremblements de terre et à des raz de marée. Dans cet ordre d'idées, il est important de renvoyer à De Montessus de Ballore, p. 418 et 421-423, où il est question des raz de marée ou « Tsunamis ». A notre avis, ceux-ci doivent être provoqués par l'arrachement et le glissement dans les profondeurs de la Tuscarora de formidables blocs de l'escarpe du pays. La carte de la p. 420 montre qu'à partir du cinquième siècle les désastres sismiques les plus violents ont eu lieu dans la *partie centrale* de l'arc que dessine le Japon. Eu égard à ce qui précède, serait-il donc téméraire de voir dans ce fait un symptôme que le Japon, géologiquement parlant, bien entendu, est en train de glisser dans les profondeurs de la Tuscarora et que même, toute proportion gardée, le mouvement s'accomplit le moins lentement dans le centre du Japon ? Et ne verrions-nous pas se former, de cette manière, une immense nappe de charriage dans le cours des temps géologiques ? La dénivellation existante entre la *côte orientale* du Japon et le milieu des fonds de la Tusca-

celle du Nord, ce qui ne veut pas dire, bien entendu, que cette partie du pays ne constitue pas aussi un pli de même espèce.

rorra est d'environ 8 kilomètres pour 300, ce qui donne un angle d'inclinaison d'au moins 1 degré et demi.

### 6. Grand-pli du Jablonoi.

Une étude d'Ahlburg (1) où il met en lumière toute la nouvelle littérature russe étaye de la façon la plus surprenante notre théorie des grand-plis. Le D<sup>r</sup> Ahlburg qui s'est donné la peine d'apprendre la langue russe pour mener à bonne fin cette étude d'ensemble écrit des choses qui nous paraissent du plus haut intérêt. Nous renvoyons aussi à De Montessus de Ballore, *loc. cit.*, p. 134-135.

En ce qui concerne la partie de la croûte terrestre correspondant au Jablonoi, il ne semble pas téméraire d'admettre, croyons-nous, une structure de grand-pli des époques néogène et plio-pléistocène, dirigée suivant le nord-est, dont la zone anticlinale fut affectée des phénomènes connus : la distraction et les manifestations sismotectoniques et volcaniques. Nous basant sur le mécanisme de glissement de Reyer, que nous examinerons ultérieurement plus en détail, nous reconnaissons, en outre, que les empilements de sédiments de l'aile anticlinale sont plissés parallèlement au grand-pli. Ahlburg parle de ce phénomène de la manière suivante, p. 169 : « En se rapprochant des anciennes montagnes, qui se dressent raides à l'altitude de 900 mètres sur le plateau de la Léna qui est à celle de 250 à 300 mètres, les couches de même nom accusent un plissement croissant d'orientation S. W.-N. E. (donc suivant la direction *des plis de la ceinture* » (!) (Randfalten) (traduction).

Le grand-pli du Jablonoi, à notre avis, est un exemple d'ancien pays qui, *non* recouvert d'un manteau sédimentaire tertiaire, a subi les grand-plissements néogène et plio-pléistocène. Bien qu'il se trouve *au centre d'un immense continent*, des volcans se sont formés dans la zone anticlinale.

### 7. Grand-pli de Madagascar.

Déjà, par sa forme allongée et la profondeur des mers qui la limitent à l'ouest et à l'est, cette île d'étendue considérable nous

(1) Joh. Ahlburg, Die neueren Fortschritte in der Erforschung der Goldlagerstätten Sibiriens, *Zeitsch. für prakt. Geologie*, 1913, Heft 3-4, p. 105-188.

incite à croire que nous avons affaire à un grand-pli. Dans quelle mesure les signes caractéristiques des grand-plis existent-ils à Madagascar ? A ce propos, consultons l'article sur Madagascar de P. Lemoine (1), puis encore De Montessus de Ballore, *loc. cit.*, p. 152.

Leurs descriptions nous montrent à leur tour que, tout incomplètes que soient encore les recherches, l'île de Madagascar présente incontestablement le caractère d'un grand-pli, cette fois avec crevasses de distraction latérales et sans fossé médian. Nette est la dissymétrie de sa construction, par suite de l'escarpement de l'aile orientale grâce auquel il se produisit de nouveau de ce côté une côte tectonique définie par une faille. Il nous semble aussi que le mécanisme de grand-pliessement fut mis en jeu dans une partie de la croûte terrestre non encore entièrement pénéplainisée. Nous ne serions aucunement étonné si, regardant de plus près, on lui découvrait l'âge néogène et plio-pléistocène.

### 8. Grand-plis de l'Est de l'Afrique et de la Mer Rouge.

Pour ceux-ci, il existe une littérature assez documentée (2).

(1) Dans le *Handbuch der Regionalen Geologie* de Steinmann et Wilckens, 1911, VII, p. 1-44.

(2) Voir Suess, *La Face de la Terre*, I, 1905, p. 536-544 et p. 546 (note additionnelle de E. de Margerie), ainsi que p. 478 et vol. II, p. 724-727. Dans le volume III, 3, Suess revient sur les ruptures africaines et débute par un examen critique qui l'amène à des résultats qui, chose curieuse, serrent déjà la théorie des grand-plis beaucoup plus près que son exposé antérieur. Voir p. 984-985 et p. 993. Enfin, nous renvoyons aux considérations émises par A. de Lapparent dans son étude, « Soulèvements et Affaissements », *Revue des Questions scientifiques*, XIV, 20 juillet 1898 (p. 5-33). L'interprétation des observations de De Lapparent est toute autre que celle de Suess et conséquemment leurs explications respectives diffèrent aussi. Notre préférence, en l'occurrence, va au premier. Pourtant, la mesure dans laquelle notre manière de voir s'écarte de celle de De Lapparent, dont les observations et interprétations sont d'une exactitude si frappante, est mise en évidence par l'extrait ci-après des pages 32-33 : « Imaginer que, sous une écorce sphérique et non déformée, il puisse se produire des vides, qui détermineraient la chute d'une zone, c'est tenir peu de compte de l'action de la gravité, qui doit toujours suffire à appuyer l'écorce contre son support. D'ailleurs, si de tels affaissements avaient lieu, c'est dans les zones déprimées qu'on devrait les constater ; tandis que, nous l'avons vu, les fosses du genre graben mettent une véritable malice à se tenir sur la partie culminante des bourrelets (!) ; telles les dislocations

Reconnaissons-nous aussi dans ce cas les caractéristiques des grand-plis ? L'indépendance de la tectonique disloquée d'une autre plus ancienne n'a pas été formellement constatée, mais n'est pas non plus contredite. L'augmentation d'espace due à la distraction anticlinale est mise en lumière de la manière la plus convaincante par les nombreux fossés effondrés qui constituent une Fossa occidentale et une Fossa orientale. Il est très compréhensible que ces fossés n'aient pas tous la même profondeur ; on ne peut s'attendre à autre chose dans une croûte terrestre qui n'est pas sollicitée en tous ses points de façon identique. Sur toute l'étendue du grand-pli, nous voyons intervenir, comme autres conséquences directes et indirectes de la distraction dans la zone anticlinale, les phénomènes sismo-tectoniques et volcaniques, *ces derniers à plus de 1.000 kilomètres de la côte.*

A présent une question se pose : ce grand-pli appartient-il à ceux que nous avons assignés aux périodes néogène et plio-pléistocène ? A notre avis, la réponse ne peut être qu'affirmative ; il appartient pourtant aux investigations ultérieures de décider en dernier ressort. D'après les ouvrages mentionnés ci-dessus, il est établi qu'un grand mouvement a été de pair, à l'époque quaternaire, avec le plissement en cause. De même, il y a lieu de faire ressortir la *rectilignité* de la structure disloquée de la Mer Rouge et de la Mer Morte ; elle démontre de nouveau que cette structure appartient à la transformation tectonique la plus récente de cette partie de la croûte terrestre. Reste pourtant encore à répondre à cette partie de la question : ce mouvement est-il la continuation d'un grand-plissement néogène ?

Il est certain aussi que la plus grande partie de la croûte terrestre dont il s'agit, et qui subit le mécanisme de grand-plissement, *formaient des terres et non de la mer.* Ainsi, des études géomorphologiques seraient nécessaires avant tout pour

africaines, érythréennes et syriennes ; telle la fracture du Rhin entre les Vosges et la Forêt-Noire.

Au contraire, si par l'effet de la pression tangentielle, dans une écorce à laquelle la contraction du noyau a donné une ampleur surabondante, un pli vient à se former, on comprend sans peine que, suivant la nature des terrains affectés par ce mouvement, un vide puisse subsister dans l'axe du bourrelet ; auquel cas le tassement définitif de l'accident pourra faire naître des effondrements. »

décider définitivement s'il faut attribuer l'âge néogène et plio-pléistocène au grand-pli qui nous occupe et qui est, par surcroît, un des plus formidables de la terre.

Il présente, en outre, une particularité très remarquable ; sa section transversale, de l'ouest à l'est, a la forme d'un coffre et du nord au sud, il subit un élargissement qui se manifeste surtout par la convexité qu'accusent vers l'ouest les lacs Albert, Albert-Edouard, Rivou et Tanganyka. Et même, nous nous exprimerons plus exactement si, nous basant sur les descriptions de De Martonne (1) et de De Lapparent, nous tirons cette conclusion qu'un grand-pli, dans lequel le lac Nyassa dessine une fosse médiane, se scinde vers le nord en deux autres qui, au nord du lac Victoria, se réunissent de nouveau en un seul. On dirait qu'un massif rigide s'est opposé au mécanisme de grand-plissement et que dès lors il fut simplement et totalement pressuré dans le sens radial, d'où formation d'un grand-pli de part et d'autre de ce massif. C'est ainsi que s'explique tout naturellement le scindement du grand-pli de l'est de l'Afrique et que la position occupée par la dépression tectonique du lac Victoria devient claire : celle-ci doit occuper une position intra-anticlinale.

Des élargissements lenticulaires analogues au précédent sautent également aux yeux, en Asie Mineure, au plateau du Thibet et dans l'ouest de l'Amérique du Nord. On peut se demander si, pour ceux-ci, la même explication est valable. Nous allons examiner la formation du dernier et nous arriverons à cette conclusion que, pour ce cas, il est d'une toute autre nature.

Les grand-plis de l'Afrique et de la Mer Rouge présentent encore une particularité, en ce sens qu'ils ne sont accompagnés que de peu ou même par aucun pli de ceinture (Randfalte). Cette particularité devra être étudiée de près.

### 9. Grand-pli du Saint-Laurent.

Déjà, au point de vue géographique, il existe une similitude remarquable entre le « Great Glen » de l'Ecosse et le Saint-Lau-

(1) Die Hydrographie des oberen Nil-Beckens, *Zeits. d. Gesells. für Erdkunde zu Berlin*, XXXIII, 1897, p. 303.

rent dans la partie nord-est de l'Amérique du Nord ; au point de vue tectonique, elle n'est pas moindre. Nous estimons d'après De Montessus de Ballère, p. 115, que les mouvements postglaciaires indiquent un grand-plissement de direction nord-est. Par ce mécanisme, les dépôts marins de plage ont été soulevés à des hauteurs de plus en plus élevées le long de son axe et le Saint-Laurent n'est que le fruit d'une crevasse médiane provoquée par la distraction anticlinale. Et c'est précisément le long de cette ligne que l'on constate les phénomènes sismotectoniques (1). De cette manière donc, l'explication des tremblements de terre le long du Saint-Laurent peut être donnée de nouveau très simplement.

Ce cas de grand-p pli si récent, rapproché de la configuration géographique, nous paraît du plus haut intérêt. Il y aurait lieu de rechercher si, dans les sédiments déposés le long des côtes sud-est de la Nouvelle-Angleterre et de la Nouvelle-Ecosse, on peut déjà observer un commencement de mécanisme de glissement dont la direction serait donc celle du sud-est.

#### **10. Grand-plis occidentaux de l'Amérique du Nord.**

En ce qui concerne la littérature existante sur la géologie de ce territoire remarquable, nous renvoyons au livre de Suess (I, 1905, p. 752-809 et II, 1900, p. 325-328) et à une étude plus récente de E. Blackwelder (2) ayant pour titre « United States of North America ». A la page 71 de cette étude, l'auteur indique un profil allant du Pacifique à l'Atlantique qui fait ressortir nettement déjà, dans tout l'ensemble, le caractère de double grand-p pli que présente la partie de la croûte terrestre qui va des « Coast Ranges » à l'ouest aux « Great Plains » à l'est. Blackwelder distingue nombre d'entités orographiques, savoir : « Rocky Mountains ; Colorado and Columbia Plateau ; Basin Ranges ; Cascade-Sierra Nevada ; Puget Trough-California Valley ; Coast Ranges ». Méritent mention les détails ci-après.

(1) Voir aussi la carte de De Montessus de Ballère, *les Tremblements de Terre*, p. 114, fig. 13.

(2) Dans le *Handb. der Reg. Geologie* de Steinmann et Wilckens, 1912, VIII, 2.

Dans les *Montagnes Rocheuses*, il existe un plissement généralement léger, datant de la période de transition du Crétacé au Tertiaire. Pendant cette dernière époque et vraisemblablement au cours du Miocène, le mécanisme de grand-plissement fut mis en jeu, les *Montagnes Rocheuses* ayant constitué l'aile orientale. A la fin du Tertiaire, c'est-à-dire donc pendant l'ère plio-pléistocène, ce même mécanisme subit une recrudescence d'activité, puis se maintient pendant la période quaternaire. En concordance avec cette manière de voir, on lit à la page 143 que les *Montagnes Rocheuses* ont été en repos sismique pendant les temps historiques, car depuis l'arrivée de la race blanche à l'Amérique occidentale, il y a 100 ans, aucun tremblement de terre destructif n'est arrivé.

Au *plateau du Colorado*, même plissement, bien que plus léger encore que dans les *Montagnes Rocheuses* pendant la période intermédiaire entre le Crétacé et le Tertiaire. Au milieu de l'ère tertiaire commence le mécanisme de grand-plissement néogène et plio-pléistocène et ici, nous nous trouvons dans la zone anticlinale effective du grand-pli, témoins les phénomènes de distraction et de violent volcanisme encore apparents. Les anciennes failles et laccolites se forment. A la fin de cette ère et pendant le Quaternaire, le même mécanisme, produisant les mêmes phénomènes, intervient de nouveau et il se fait sentir jusqu'à nos jours, bien qu'avec moins d'intensité. La pénélaine fut refoulée jusqu'à l'altitude de 2.000 mètres.

Dans le cas qui nous occupe, on constate un nouveau facteur, comme le montre déjà le simple examen d'une carte topographique : la grande largeur de la zone anticlinale du grand-pli qui affecte de ce fait la forme d'un coffre. Nous estimons aussi, comme évident, l'éparpillement des forces volcaniques en raison de la grande largeur de la zone anticlinale ; des volcans gigantesques n'ont pu se former.

Le *plateau de Colombie* n'est pas encore connu comme celui du Colorado ; pourtant, tous deux semblent prendre une position identique dans le grand-plissement depuis les *Montagnes Rocheuses* jusqu'à la chaîne des Cascades et la Sierra Nevada.

En ce qui concerne les « *Basin Ranges* », Blackwelder a raison d'affirmer que les faits sont complexes ; toutefois, nous sommes d'avis qu'ils s'adaptent à la théorie du grand-plissement. La

continuation de plissement et de distraction n'y est pas très apparente ; une seule chose est certaine, c'est que les phénomènes de distraction se sont manifestés au cours d'un passé géologique des plus récents par la formation de lacs et de dislocations rectilignes. De même encore, les manifestations d'activité volcanique se sont maintenues à peu près jusqu'à l'époque actuelle. A supposer même que les « Basin Ranges » et le plateau du Colorado aient été, au cours des temps géologiques écoulés, des produits tectoniques de caractère différent, il n'en est pas moins évident, à nos yeux, qu'ils occupent de nos jours la même zone anticlinale du large grand-pli plio-pléistocène qui s'est développé depuis les Montagnes Rocheuses jusqu'à la Sierra Nevada.

Les particularités tectoniques de la *Sierra Nevada* et de la *chaîne des Cascades* ne sont pas encore complètement expliquées. Cependant, nous n'hésitons pas à conclure qu'un mécanisme de grand-plissement fut mis en jeu pendant le Miocène. Dans la chaîne des Cascades, le long de l'aile occidentale du grand-pli, nous observons un léger ridement des couches miocènes et plus anciennes qui a été provoqué, à notre avis, par l'intervention d'un mécanisme de glissement. Ce grand-pli devint entre temps plus large et à la fin du Tertiaire, la Sierra Nevada y est entièrement impliquée ; elle fut soulevée à l'est, tandis qu'à l'ouest, par contre, elle s'affaissa. Cependant, il n'y eut pas seulement élargissement de la zone anticlinale de ce pli, mais il semble aussi que le territoire, situé à l'est, se consolida par les fréquentes injections de matières volcaniques dont fut témoin le Néogène et que l'axe proprement dit du grand-pli fut déplacé vers l'ouest. Dès lors, on comprend la raison pour laquelle le territoire de l'est soit plus calme, au point de vue sismotectonique, que celui qui, à l'est, suit immédiatement la Sierra Nevada. La chaîne Sierra Nevada-Cascades, considérée comme aile occidentale du grand-pli, est donc pour ainsi dire dans une phase d'accalmie.

Ce pli qui, du Néogène au Quaternaire, s'élargit de plus en plus, depuis les Montagnes Rocheuses jusqu'à la Sierra Nevada, se rétrécit du côté du sud aussi bien que du côté nord. La convexité maximum a lieu à peu près le long du 40° degré de latitude nord.

Ce cas est donc tout autre que celui de l'est de l'Afrique.

A l'ouest du grand-pli qui nous occupe, s'en est formé un second, beaucoup plus petit, séparé du premier, plus large, par un grand géosynclinal. Ce sont, d'une part, *les chaînes côtières*, et, de l'autre, *la vallée de Puget-Californie*. Que nous apprend Blackwelder au sujet de ces entités tectoniques ? On ne voit pas clairement la forme tectonique revêtue par la *Vallée de la Californie* avant le Quaternaire ; au cours de celui-ci, elle se présente nettement comme zone synclinale entre deux grand-plis. De même que cette vallée, le « *Puget trough* » doit être à son tour un bassin synclinal situé entre deux grand-plis. Très remarquable est un fort plissement de la puissante série crétacé-éocène ; il doit encore être expliqué. Cependant, au cours du Néogène et du Quaternaire, il constitue un grand-synclinal qui occupe la même position tectonique que la Vallée de la Californie ; toutefois, il y a une différence sur laquelle Blackwelder attire notre attention (p. 190) en disant qu'à la fin du Pliocène, le « *Puget trough* » fut soulevé tandis que la vallée de la Californie s'affaissa. A ce propos, n'est-il pas curieux de constater que, sous le rapport tectonique, la vallée de la Californie se prolonge vers le sud-est par le golfe de même nom (1) et s'enfonce plus loin encore, tandis que du côté du nord au contraire, elle se relève et *disparaît* ? Il est probable que les deux grand-plis font de même : vers le sud-est *s'abaisser*, vers le nord *se relever* et *peut-être se résoudre en un seul*.

Et ainsi nous en revenons de nouveau à la comparaison tectonique de deux territoires de notre planète : *le côté occidental de l'Amérique du Nord et l'île de Sumatra avec son chapelet d'îles occidentales*. Là, l'immense grand-pli, extra-large, qui s'étend des Montagnes Rocheuses à la Sierra Nevada ; le grand-synclinal « *Puget trough, California Valley, California Gulf* », le grand-pli de la Cordillère côtière et de la Basse-Californie (2). Ici, le grand-pli de Sumatra ; le grand-synclinal sous-marin ; le grand-pli du chapelet d'îles plus petit, partiellement sous-marin, qui, au sud-est d'Engano, s'avance complètement sous eau dans le sud de Java. Dans les deux cas, du nord-ouest au

(1) Suess, I, p. 799.

(2) Gabb a déjà attiré l'attention sur la connexité tectonique de la chaîne côtière et de la Basse-Californie. Voir Suess, I, p. 797.

sud-est, un *affaissement* des grand-plis et des grand-synclinaux intermédiaires, tandis que ceux de l'Amérique sont à coup sûr deux fois aussi larges que ceux de Sumatra.

Enfin, en ce qui concerne les « *Coast Ranges* », on ne paraît pas non plus certain de la grande entité à laquelle ils appartiennent avant le Pléistocène. Il semble qu'ils aient fait partie de l'aile anticlinale d'un grand pli le long duquel le glissement de la série sédimentaire provoqua un plissement. Ce ne fut que pendant le Pléistocène que la Cordillère côtière se présenta nettement comme un grand pli avec ses phénomènes de distraction et ses manifestations sismotectoniques et volcaniques. A propos de ces dernières, Suess dit dans I, p. 797 : « Il existe enfin, dans ces montagnes, des produits volcaniques récents. La traînée principale se trouve au nord de la baie de San Francisco et s'aligne du sud au nord, dans la direction du Clear Lake, au delà du mont Sainte-Hélène ».

Dans II, p. 327, Suess donne un profil au travers de la chaîne côtière, d'après Le Conte, dans lequel la « *Livermore Valley* » se présente nettement comme un fossé anticlinal médian. La baie de San Francisco est aussi, à notre sens, un fossé qui doit sa formation à la distraction anticlinale. De Montessus de Ballore dit à ce sujet, p. 411 : « Lawson considère comme une aire d'effondrement la baie de San Francisco et ses diverses branches, Suisun Bay, etc. » D'autre part, De Montessus de Ballore (p. 411) souligne ce fait que les longs axes des zones pléistoseismiques ou bien sont parallèles à la côte et à la Cordillère, ou bien leur sont perpendiculaires, ce qui fournit la preuve qu'ils proviennent de deux causes tectoniques différentes. Il semble donc qu'il se soit formé des crevasses longitudinales et transversales. Et, de même que pour les Alpes occidentales, la question se pose de savoir si les fêlures transversales ont quelque chose à voir avec la convexité que décrit la côte occidentale depuis Los Angeles jusqu'à l'embouchure de la Colombia. San Francisco se trouve à peu près au milieu de cette courbe.

De Montessus de Ballore (p. 411 et 412) attire encore l'attention sur la courte distance qui sépare de la côte la ligne des fonds de 4.000 mètres et sur son parallélisme avec la Cordillère : eu égard aux tremblements de mer, il se demande si cette ligne indique une fracture. A notre sens, nous nous trouvons ici

devant un cas identique à celui de la côte orientale du Japon, c'est-à-dire que le retroussement du grand-pli dans les zones profondes et plastiques de la croûte terrestre se résout en fractures dans la zone rigide de la partie supérieure. Et l'on se pose la question de savoir si ces raz de marée proviennent du concassement de cette côte tectonique disloquée. Ainsi, nous en arrivons à cette conclusion de devoir admettre deux espèces de crevasses longitudinales : 1. *les crevasses résultant de distraction dans les zones anticlinales des grand-plis avec mouvements verticaux* ; et 2. *les crevasses engendrées par le glissement des blocs rigides selon le plan incliné des ailes abruptes des grand-plis*. A cette dernière catégorie, se rattache probablement le tremblement de terre de San Francisco de 1906, pour lequel on constata des déplacements *horizontaux* de 2 à 4 mètres.

La conclusion finale est donc que, au point de vue tectonique, la partie occidentale de l'Amérique du Nord, ultérieurement au Pliocène, a constitué deux grand-plis. Celui de l'est fut formé pour la première fois au cours du Néogène et s'élargit pendant la période plio-pléistocène depuis les Montagnes Rocheuses jusqu'à la Sierra Nevada ; celui de l'ouest se produisit à l'époque plio-pléistocène. Ces deux plis sont séparés par le grand-synclinal de la vallée de la Californie, exactement de la même façon qu'un sillon maritime sépare le grand-pli de Sumatra du chapelet d'îles occidentales. Ils accusent tous deux des phénomènes de distraction, tels les crevasses et les territoires effondrés qui en sont la conséquence et qui, de plus, sont indépendants des directions du plissement antérieur bien qu'ils se développent quelquefois parallèlement à celles-ci. Enfin, tous deux encore accusent des manifestations sismotectoniques et volcaniques le long des zones anticlinales.

En un grand nombre de points de la périphérie de notre planète, on peut donc prouver l'existence de grand-plis d'ampleur et d'importance différentes et, dans les parties de l'écorce les mieux étudiées, démontrer que le mécanisme appartient aux époques néogène et plio-pléistocène.

Sommes-nous réellement autorisés, en fin de compte, à dire qu'en fait ce mécanisme a plissé *toute la croûte terrestre* (c'est-à-dire de haut en bas) ? A notre avis, oui. Car nous en consta-

tons les effets à la surface, de la façon la plus nette, par le cintrage d'une pénéplaine et par le soulèvement à haute altitude du noyau anticlinal avec accompagnement des phénomènes de la distraction et de secousses sismiques. En même temps, ce sont les parties anticlinales des grand-plis qui accusent des phénomènes volcaniques ; c'est là que l'on découvre des roches volcaniques. Le mécanisme de grand-plissement paraît donc avoir affecté effectivement l'écorce terrestre sur toute son épaisseur depuis l'extérieur jusqu'à la zone critique d'où sortent les roches fluides. Nous répétons encore ici que les crevasses provoquées par la distraction anticlinale ne se sont pas prolongées jusqu'à cette zone ; elles ne dépassèrent pas la zone rigide supérieure de la croûte terrestre. Encore, doit-on admettre que, dans les zones anticlinales, celle-ci doit être *plus mince* que dans les bassins des grand-synclinaux, d'abord par suite de la pression radiale, ensuite de la dénudation.

Nous concluons donc en disant qu'il résulte des observations faites jusqu'aujourd'hui, que *les grand-plis de la terre se sont formés par suite de la contraction de la planète.*

Si un jour on parvient à connaître, pour toute la surface de la terre, la grandeur de la distraction engendrée par le grand-plissement dans la partie extérieure de l'écorce, on pourra déterminer directement par le calcul l'épaisseur de la croûte terrestre. En effet, point n'est besoin d'être mathématicien pour comprendre que, entre la puissance de la croûte terrestre, l'amplitude des grand-plis et la grandeur de la distraction anticlinale, il doit exister une certaine relation.

Une dernière remarque : Nombre de grand-plis sont orientés à peu près suivant un parallèle (ceux-ci paraissent posséder souvent une structure en nappes de charriage) ; d'autres, au contraire, sont dirigés suivant un méridien ; enfin, beaucoup occupent une position intermédiaire. Dans la répartition des grand-plis, peut-on déceler l'existence d'une loi ? Nous n'en découvrons aucune et même nous n'entrevoions pas de raison pour laquelle il devrait y en avoir une. Ces plis se forment dans des parties de la croûte terrestre de composition absolument différente.

## CONCLUSIONS

**Tous les phénomènes tectoniques, les plus petits comme les plus grands, sont les conséquences directes ou indirectes de la même cause fondamentale.**

Quelles sont les conclusions générales que justifie la théorie des grand-plis ?

1° Partout sur notre planète, nous voyons intervenir le mécanisme de grand-plissement pendant le Néogène ; son allure fut moins lente (probablement) à la fin de cette période, c'est-à-dire pendant le Plio-pléistocène. Le refroidissement de la sphère terrestre est un phénomène permanent, mais il semble pourtant qu'une certaine quantité d'énergie potentielle doit s'être accumulée tout d'abord avant qu'elle ne passe à l'état d'énergie cinétique. Dans la majorité des cas, la structure en grand-plis néogène et plio-pléistocène est *indépendante* du plissement superficiel plus ancien des séries sédimentaires. Nous constatons ce fait dans la direction des grand-plis et dans le sectionnement arbitraire d'un plissement de manteau sédimentaire déterminé par toute crevasse provenant de la distraction. Si, tout naturellement, le refroidissement de notre sphéroïde terrestre est un phénomène de caractère permanent, par contre, le mécanisme de grand-plissement n'agit que par intermittence.

2° Si nous avons observé que ce mécanisme s'applique à toutes les parties de la croûte terrestre qui sont les mieux connues, si nous avons reconnu que le haut relief de celle-ci au-dessus de la surface de la mer date, à grands traits, des époques néogène et plio-pléistocène ; si enfin, nous avons appris à connaître que, par le mécanisme de grand-plissement, les anticlinaux des grand-plis n'ont pu être refoulés dans le sens radial, que par les territoires synclinaux qui se sont affaissés en sens inverse, il va de soi que nous pouvons conclure que, *à son tour aussi, le relief du fond de la mer doit être du même âge néogène et plio-pléistocène. En d'autres termes : les bassins océaniques, dans leur ampleur et leur profondeur actuelles, datent aussi des époques néogène et plio-pléistocène. Tout le grand relief de la face de la terre, aussi bien au-dessus que sous le niveau de la*

*mer et dont l'origine est prétertiaire, présecondaire, préprimaire, est donc, sous son aspect actuel, d'âge très jeune.*

3° Si nous nous représentons que les parties anticlinales de la croûte terrestre se sont élevées à très haute altitude, et qu'il s'est formé, en conséquence, à la surface de la terre un tout nouveau relief à la place de celui qui, presque complètement effacé par la dénudation à la fin de l'Eogène, avait été sculpté dans tant de territoires mieux connus au point de vue géomorphologique, nous tirerons tout naturellement cette conclusion : L'approfondissement du fond des océans et le cintrage radial qui en est résulté pour les terres façonnées par lui en grand-pli, donnèrent lieu partout à une nouvelle répartition des eaux et des terres à la surface de notre planète. Et quant à l'accentuation du grand relief des continents au-dessus du niveau de la mer, elle entraîne pour le climat, par le soulèvement dans l'atmosphère d'énormes masses de terre, de grandes modifications. Nous savons que les nuages se condensent dans les régions supérieures de l'atmosphère et que, d'une façon générale, c'est dans les montagnes qu'il tombe le plus de neige ou de pluie. Dès lors, si, à l'origine du Quaternaire, le mécanisme de grand-pliessement eut pour conséquence d'accentuer davantage encore le nouveau grand relief ébauché pendant le Néogène et de soulever les zones anticlinales à des centaines de mètres au-dessus du niveau de la mer, il va de soi que nous nous trouvons en présence d'un puissant facteur d'explication pour une période glaciaire. Quant à savoir si la naissance de celle-ci doit être mise exclusivement sur le compte du soulèvement des grand-plies, c'est là une question qui reste encore en suspens. Notre conviction est que ce déplacement tectonique constitue le facteur principal et qu'il n'est pas invraisemblable qu'il en soit le seul.

4° Une autre conclusion à prendre, dès que nous admettons le mécanisme de grand-pliessement miocène et plio-pléistocène, est la nécessité d'un dérangement dans l'équilibre de la forme du géoïde terrestre. Ce trouble entraîne une double conséquence : 1. la nutation, bien que peu sensible, de l'axe de la terre ; et 2. des mouvements compensateurs dans toute l'écorce qui tendent à rétablir une situation d'équilibre entre celle-ci et le noyau central. En d'autres termes, on doit s'attendre à de

faibles déviations polaires et, dans l'écorce terrestre, à des mouvements épirogéniques peu sensibles. Au surplus, la simple comparaison de la masse de cette écorce, avec celle autrement considérable du noyau central, montre déjà, à l'évidence, que ces phénomènes secondaires du mécanisme de grand-plissement doivent être assez faibles.

Nous touchons donc ici à la théorie de l'isostation de Dutton (1), mais nous ne saurions en tirer autant de déductions que l'a fait cet auteur.

5° On peut encore tirer une conclusion importante, au point de vue pratique, eu égard aux gisements métallifères principaux. Ce sont les zones anticlinales des grand-plis qui ouvrent la possibilité de mettre à jour les parties constitutives de la croûte terrestre d'une valeur plus ou moins considérable. En cela, ces zones ont donc une réelle signification pour l'exploitation des mines et en particulier pour les minerais se présentant en filons.

6° Enfin, reste encore à signaler cette conséquence hypothétique des grand-plissements : les plissements et chevauchements des couches sédimentaires qui jouent un rôle capital dans la partie supérieure de la croûte terrestre, en d'autres termes, *l'orogénèse proprement dite*.

Les plis les plus simples nous sont déjà connus : ce sont ceux du Bassin Rouge du Se-Tchouan. Ils sont situés dans un territoire synclinal d'un grand pli. Lors de l'affaissement radial de ce territoire, une pénurie d'espace se fit sentir ; les anticlinaux furent refoulés vers le haut et les plis du Bassin Rouge, éminemment simples, prirent naissance. Les plissements du Bassin de Paris appartiennent très probablement aussi à cette catégorie.

Les autres chaînes de montagnes plissées et les nappes de charriage des Alpes se formèrent-elles de la même manière ? A notre sens, leur construction particulière, déjà signalée, indique nettement que la réponse à cette question ne peut être que négative. En somme, les plis du Bassin Rouge ne constituent qu'un cas particulier.

Comment donc expliquer l'ébauche des formes tectoniques en

(1) E. Haug, *Traité de Géologie*, 1907, I, p. 516.

cause ? A ce propos, les exposés lumineux faits par Reyer dans ses « Geologische Prinzipienfragen », 1907, nous reviennent à l'esprit. A la p. 147, après une étude du mécanisme d'écoulement, nous lisons : (trad.) « Tous ces faits tendent à prouver qu'en réalité le plissement est un phénomène d'écoulement, mais ce sont surtout les considérations émises au sujet des nappes de charriage que l'on peut si bien imiter expérimentalement qui doivent renforcer notre foi dans la nouvelle hypothèse ». Reyer explique comme suit la mise en jeu du mécanisme imaginé par lui (1) : (trad.) « *Le plissement par suite de glissement fut préparé par une intumescence thermique* ».

M. Gaillard, dans son étude précitée, croit également devoir faire une grande part à la *chaleur* qui agit comme agent du métamorphisme, en profondeur, au-dessous de la croûte formant les géosynclinaux.

A notre avis, ce sont les grand-plis qui ont donné lieu aux différences de niveau, grâce auxquelles le mécanisme de glissement put entrer en fonction. A la lumière de la théorie du glissement de Reyer, on peut admettre que la série des sédiments du Jura, obéissant à la loi de la pesanteur, glissa vers le bas. Dès lors, on comprend comment il se fait qu'à l'ouest, où ne se trouvait aucun massif pouvant offrir de la résistance, les plis disparaissent progressivement ; on saisit nettement aussi le rôle de facteur contrecarrant joué par la Forêt-Noire et les Vosges ; enfin, nous nous expliquons l'origine de deux petits plis situés immédiatement à l'extrémité méridionale du fossé du Rhin entre les Vosges et la Forêt-Noire, précisément là où, de nouveau, il n'y avait pas de massif contrecarrant. Dans tout cela, on ne saurait voir, d'après nous, que le résultat d'un mouvement intérieur qu'ont subi, sous l'impulsion de la pesanteur, toutes les parties d'un manteau sédimentaire, c'est-à-dire d'une masse semi-plastique le long d'un plan faiblement incliné. Ce dont nous pouvons tirer la conclusion que la formation du Jura plissé est plus récente que celle du grand-pli du Rhin moyen.

Quand on se représente les chevauchements qu'accusent les

(1) Ed. Reyer, *Geologische und Geographische Experimente*, Heft. III, 1894, p. 11 ; et *Geologische Prinzipienfragen*, 1907, p. 142.

Dinarides vers le sud-ouest, le Balkan vers le nord et le nord-est, les Alpes de Transylvanie vers le sud, le sud-est et l'est, les Carpathes vers le nord-est, nous ne pouvons y voir qu'une chose, eu égard au mécanisme de grand-pliessement de la péninsule balkanique : la justification de la théorie du glissement de Reyer. Le Jura, les Dinarides, les Carpathes, les plissements jeunes de l'est de Sumatra ou de l'ouest de la Célèbes qui appartiennent aux plis désignés sous le nom de plis de ceinture (Randfalten) ou bien ceux de l'Asie Centrale (voir p. 18) s'expliquent à la lumière du mécanisme de grand-pliessement en admettant une avancée générale des séries de couches suivant le plan incliné de l'aile anticlinale des grand-plies, mouvement qui engendra la formation des plis orogéniques. Ceci nous porte à conclure à une succession normale des grand-pliessements et des plis de ceinture (1), résultant d'une relation de cause à effet.

Examinons de plus près le mécanisme de glissement. Lorsqu'une substance glisse, il peut se produire intérieurement deux choses : 1. toutes les parties se meuvent avec la même vitesse ; 2. elles se déplacent avec des vitesses différentes. Le premier cas rappelle le bateau lancé à l'eau ou une masse de glace qui glisse sur une surface absolument unie. Le second nous fait songer au mouvement de la glace sur un fond irrégulier, d'une substance semi-plastique ou encore d'un dépôt sédimentaire. C'est ce second cas qui nous intéresse. Le mouvement varié ne peut avoir que deux conséquences : l'une d'arrachement, l'autre de refoulement. Dans le premier cas, il se produit des décollements et certaines parties peuvent finalement s'avancer au loin. Le second donne lieu à un renflement et au plissement de toute série sédimentaire. A ce propos, Reyer observa déjà que « la puissance d'une série de couches que nous mesurons dans une chaîne de montagnes plissée, ne correspond pas du tout à la puissance primitive ». (trad.). Mais que signifient le renflement et le plissement dont il vient d'être question ? Au point de vue mécanique, cela veut dire que la

(1) Dans cet ordre d'idées, on saisit toute l'importance de cette remarque de Cvijic, III, p. 355 : « A partir de l'énorme noyau cristallin de la masse du Rhodope, on entre dans les Balkans et dans le système des plis dinariques et gréco-albanais, c'est-à-dire dans des territoires dont les plis sont de plus en plus jeunes » (trad.).

matière est *refoulée* et l'on en tire tout naturellement cette conclusion que les effets de distraction doivent aussi se produire dans la zone extérieure anticlinale des plis formés par suite de la mise en jeu d'un mécanisme de glissement. E. Reyer s'est déjà prononcé de façon très nette à ce sujet dans ses « Geologische und Geographische Experimente », Heft I, 1892, où nous lisons, page 10 : (trad.) « Dans les anticlinaux, au contraire, il se développe des efforts de tension qui se traduisent, à la surface de la terre, en ruptures longitudinales ». Voir aussi figure 143, page 47 et autres. La formation des vallées anticlinales doit donc être mise sur le compte d'une cause tectonique ; celle-ci se trouve dans la distraction anticlinale qui provoque le fendillement des anticlinaux. Plus les couches supérieures ont de rigidité, plus vite elles se casseront et plus la vallée, lors de son modelé, se montrera sous un aspect caractéristique. De plus, on disposera dans ce cas d'un volume plus grand de matériaux de démolition, qui aidera à l'approfondissement de la vallée. Si, au contraire, les couches supérieures sont d'une plasticité relative, elles s'étirent davantage et la vallée anticlinale, lors de son ébauche primitive, sera d'une ampleur beaucoup moins considérable ; en outre, l'action érosive progressera beaucoup moins vite. Dans le premier cas, les cailloux roulés de grès et de calcaire renforcent l'action dévastatrice des eaux ; dans le second, l'argile schisteuse ou la marne s'amolliront et ne pourront que faiblement augmenter l'érosion exercée par l'eau. Rien d'étonnant donc que, dans le premier cas, la vallée anticlinale atteigne une grande importance beaucoup plus vite que dans le second.

En raison des considérations qui précèdent, nous sommes enclin à admettre que la théorie du glissement de Reyer s'adapte absolument à l'explication des plissements orogéniques, en particulier de ceux qu'on appelle « plis de ceintures » (Randfalten).

A présent pourtant, on peut se demander la raison pour laquelle il n'y a pas toujours de plis de ceinture le long de l'aile anticlinale des grand-plis. A notre sens, la réponse est toute trouvée. Pour que ceux-ci se produisent, il faut d'une part, que l'on ait affaire à des couches en série et de l'autre, que celle-ci puisse glisser vers le bas. Aussi longtemps que le frottement intérieur n'est pas vaincu, aucun glissement de cette

série ne peut se produire, et dès lors, il se produit des ruptures et une formation en terrasses. Cette dernière structure est bien connue dans des calcaires coralligènes de la zone équatoriale.

Cependant, si le cintrage provoqué par le grand-plissement est de hauteur telle que celui-ci perde sa symétrie, d'autres conséquences se produisent. En effet, de ce fait, l'inclinaison de l'un des versants peut devenir assez grande pour que des lambeaux rigides se décollent et glissent le long de l'aile anticlinale. C'est de cette manière que se forment, d'une part, les côtes disloquées *tectoniques* avec lesquelles vont de pair des raz de marée, comme par exemple aux côtes est de Madagascar, nord-est de Formose, est du Japon et le long d'une partie des rivages occidentaux de l'Amérique du Nord, d'autre part, les témoins et lambeaux de recouvrement.

Du côté le plus incliné du grand-pli, le mécanisme du grand-plissement opère lui-même son propre chevauchement dans une direction déterminée, et à fortiori ce cas se produira-t-il plus vite encore dans les parties supérieures de la croûte terrestre qui reposent sur les noyaux anticlinaux plus ou moins plastiques. Partant de là, il ne nous semble pas trop téméraire d'admettre que la Crète, après s'être détachée de la chaîne qui passe de l'Asie Mineure aux Balkans, glisse vers le sud dans la dépression de la Méditerranée, de même que le Japon dans les profondeurs de la Tuscarora. Il est en effet curieux de constater que le plus grand nombre et les plus dévastateurs des tremblements de terre se produisent dans la partie cintrée convexe du Japon.

Si l'on se fait scrupule d'accepter la mise en jeu de semblables mouvements, que l'on n'oublie pas que, pour le temps, rien n'est pour ainsi dire rigide. L'expérience suivante bien connue en donne une idée. Si, dans un récipient, nous plaçons de l'asphalte quasi-immuable sous une très faible inclinaison, nous verrons, après quelques jours, la mobilité intérieure démontrée par ce fait que l'asphalte aura de nouveau repris une surface horizontale. Or, l'angle de pente de la côte du Japon vers le milieu de la Tuscarora dépasse 1 degré et demi. Cependant, n'oublions pas que le mouvement présumé ci-dessus pour la Crète et le Japon n'est nullement *démontré*. Toutefois, la question surgit de savoir si les nappes de charriage se sont

déplacées moins lentement que, le cas échéant, le Japon le fait en ce moment. Si l'angle de glissement a été plus grand, rien d'impossible à cela.

Notre conclusion est que le glissement des saillies anticlinales des grand-plis, occasionné par la pesanteur, donne lieu à la formation des nappes de charriage.

Dans cet ordre d'idées, rappelons ce que E. Haug dit dans son *Traité de Géologie*, 1907, I, p. 517 : « Enfin, la *théorie de l'écoulement des masses superficielles de l'écorce* suppose elle aussi une force agissant à la manière d'une poussée unilatérale, mais cette force ne mérite plus le nom de force tangentielle, puisqu'elle nécessite, comme condition première, l'existence d'un plan incliné, sur lequel, sous l'action de la pesanteur, les couches glissent en se plissant, de telle sorte que les plis sont déversés dans la direction de la pente ».

Disons, pour finir, un mot de la formation de fins plissements qui se produisent dans une roche quand la résistance à la compression est dépassée. Dans ce cas, la roche subit des mouvements intérieurs qui, surtout quand elle contient du mica, ont pour conséquence de provoquer une schistosité et un petit-plissement très compliqué. De même aussi, au cours de la formation des nappes de charriage, quand un lambeau de l'écorce terrestre glisse sur un autre, il peut se faire que la limite de la résistance à la compression soit dépassée, avec la conséquence inéluctable du petit-glissement.

Ainsi, nous en arrivons à cette conclusion finale *que tous les phénomènes tectoniques, les plus petits, comme les plus grands, sont les conséquences directes ou indirectes de la même cause fondamentale, la pesanteur.*

Reste encore à résoudre à présent la dernière question que nous nous sommes posée : Le mécanisme de grand-plissement néogène et plio-pléistocène est-il le seul dans l'histoire géologique de la Terre ? En ce qui concerne l'existence de glaciers carbonifères (1) et d'une activité volcanique (2), qui eut son apogée à la fin du Carbonifère et au commencement du Permien, il est certain que les mêmes caractéristiques des grand-plisse-

(1) L. de Launay, *La Science géologique*, 1905, p. 466 et p. 495-496. E. Haug, *Traité de Géologie*, II b, 1911, p. 1902.

(2) K. Schneider, *Die vulkanischen Erscheinungen der Erde*, 1911, p. 32.

ments néogène et plio-pléistocène se retrouvent dans la période orogénique hercynienne. Est-il donc si téméraire de conclure que, à cette époque aussi, un mécanisme analogue fut mis en jeu ?

Nous ne parlerons pas davantage de la perspective qui s'ouvre ainsi, nous bornant seulement à attirer l'attention sur ce fait que les anciennes zones volcaniques nous aident à déterminer les bandes anticlinales des grand-plis de la même époque tout aussi bien que la répartition géographique des phénomènes volcaniques actuels nous fournit des indications au sujet de la position des grand-plis de la période néogène et plio-pléistocène.

Ainsi, nous arrivons à ce résultat de pouvoir admettre l'idée du **cycle tectonique** à côté de celle du *cycle d'érosion*.

Au cours du Carbonifère, nous voyons la préparation d'un mécanisme de grand-*plissement commandant toute l'écorce terrestre* avec toutes les manifestations volcaniques qui en découlent, et les mouvements qui sont plus particulièrement liés à la surface de cette écorce ; nous savons qu'un maximum fut atteint dont le résultat le plus marquant est un grand relief imprimé à la partie supérieure de la croûte terrestre avec la *différenciation du climat* inhérente dont le plus haut degré correspond à une période glaciaire ; enfin, nous observons les conséquences de la cessation de ce mécanisme.

Il semble que, en général, les zones anticlinales des grand-plis se refroidissent et se consolident, tandis que, par contre, les zones synclinales se réchauffent et s'affaiblissent (1). Les premières subissent les ravages de la dénudation, tandis que les secondes voient s'accumuler sur elles, en certains endroits, des dépôts sédimentaires. Il est certain que le Néo-Paléozoïque et le Mésozoïque ont été les témoins de mouvements ayant provoqué la formation de grand-plis sans que pourtant le mécanisme qui les engendra ait atteint sa phase de plus grande activité. Ce n'est qu'au moment où le refroidissement général de notre planète fut suffisamment prononcé que l'énergie potentielle accumulée dans l'écorce, dominant la résistance offerte par celle-ci, se transforma en énergie cinétique et qu'un nouveau

(1) Ici encore, il y a lieu de constater la concordance des conclusions de M. Gaillard et des miennes.

*cycle tectonique* commença, c'est-à-dire celui du Tertiaire dont l'apogée fut le grand-plissement néogène et plio-pléistocène. Entretemps, les conditions mécaniques de l'écorce se sont effectivement modifiées et conséquemment, sous le rapport de la répartition, les grand-plis néogènes diffèrent considérablement de leurs ancêtres.