Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 31 (1938)
Heft: 1

Artikel: Contribution à la Théorie des Translations Continentales
Autor: Girard, Raymond de
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-159816

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Contribution à la Théorie des Translations Continentales

par **Raymond de Girard,** Fribourg.

(Communication faite à Genève le 28 août 1937, en séance de la section de géologie de la Société helvétique des Sciences naturelles.)

Table des matières.

	Page
I. Les continents primitifs	76
II. Les chaînes de montagnes	80
III. Les édifices orogéniques	89
IV. La dérive des continents	94
V. Questions générales	98
Bibliographie	103

Avant-propos.

Le désir d'expliquer la formation des montagnes a donné naissance, on le sait, à deux théories principales: celle de la Contraction terrestre et celle des Translations continentales.

ALBERT HEIM, notre maître regretté, passait pour être, parmi les vivants, l'adepte le plus illustre qu'ait eu la Théorie de la Contraction. J'ignore s'il a persisté dans cette opinion jusqu'à la fin de ses jours, mais ce dont je suis certain, c'est que, mettant au-dessus de tout le culte de vérité, il ne m'en aurait pas voulu de ce que je vais dire:

La Théorie de la Contraction repose sur deux idées. Premièrement, l'hypothèse que, depuis son origine, la Terre n'a cessé de se refroidir; secondement, l'opinion que notre Globe étant formé de zones concentriques à composition différente, chacune de ces zones se comporte de même, dans toute sa masse, vis-à-vis des influences extérieures; vis-à-vis des influences thermiques, en particulier.

De ces prémisses, deux conclusion se dégagent:

1° La zone superficielle de la Terre s'est refroidie selon le même rythme, dans toute son étendue et, en conséquence, la croute sialique, quand elle se forma, entoura l'astre d'une enveloppe continue.

2° Le comportement uniforme d'une zone, dans toute sa masse, empêche de voir pourquoi le support magmatique de l'écorce se refroidirait — et, partant, se contracterait — dans l'une de ses parties plutôt que dans les autres; pourquoi le sima retirerait son appui au sial, là plutôt qu'ici, selon tel parcours au lieu de tel autre[1]).

En somme, la Théorie de la Contraction ne permet ni d'affirmer ni de nier qu'un ridement ait dû se produire, dans telle contrée plutôt que dans telle autre; avec telle direction et non une autre. Elle n'exige rien, permet tout et la consé-

---

[1]) Tout ceci, abstraction faite d'influences astrales, toujours possibles.

quence de cette attitude indifférente est que, même si elle triomphe des objections qui lui sont faites à d'autres points de vue, cette théorie demeure inutilisable dans la recherche que nous poursuivons.

Au contraire, la Théorie des Translations est à même de prescrire qu'un ridement a dû avoir lieu, dans telle contrée; qu'il a dû suivre telle direction. Mais pour que la théorie apparaisse ainsi, dans toute sa puissance, il faut qu'on sorte des généralités où on s'est tenu jusqu'ici, il faut qu'on précise les nombreux points restés dans le vague. Ce faisant on verra se déployer des horizons nouveaux, insoupçonnés.

J'ai entrepris cette besogne dans un travail antérieur (Bibl. 1) et me propose de la continuer ici. Mais, pour que les développements que je tenterai soient compréhensibles, je suis obligé de renvoyer le lecteur à mon premier travail; je serai même forcé, une fois ou l'autre, de répéter en l'abrégeant ce que j'ai dit déjà.

I. Les continents primitifs,

Dans la Théorie des Translations, ces continents sont les agents-moteurs, il importe donc de les connaître exactement. Or, on n'a précisé ni leur emplacement originel, ni leur forme.

L'Emplacement.

ARLDT (Bibl. 2) admet deux continents polaires et un équatorial, mais ce système a le tort de comporter des chaînes N–S (les Saharides) en travers du continent équatorial, or nous verrons qu'il n'a pu en naître que dans les fissures des continents polaires.

WEGENER (Bibl. 3) admet une « Pangè » qui, un jour, se déchira et se rétracta en un lambeau (pourquoi?), puis se disloqua de nouveau (pourquoi?), de sorte que ses fragments allèrent occuper la place des noyaux archéens actuels (pourquoi, encore?).

ARNOLD HEIM reconnaît comme moi que Wegener n'a pas réussi à trouver une cause aux phénomènes qu'il invoque (Bibl. 4).

Pour R. STAUB (Bibl. 5), la formation des continents primitifs est attribuable à deux phénomènes:

1° Alors que notre Globe était encore à la phase stellaire de son existence, c'est à dire à l'état de fusion ignée, certaines portions de sa zone sialique firent prise autour de quelques « centres de cristallisation » disséminés « un peu au hasard », sur l'étendue de la planète.

2° Plus tard, pendant que la cohésion était toujours sur la Terre aussi faible qu'aujourd'hui dans le Soleil, ou dans Jupiter, les lambeaux solidifiés et flottant à la surface du sima devinrent la proie de « forces centrifuges », dont on dit seulement qu'elles dérivaient de la rotation terrestre. Ces forces groupèrent les lambeaux sialiques dans le voisinage des pôles, et de leur réunion naquirent deux continents: la Laurasia (Canada-Groenland, Atlantide, Fennoscandie, Angaria et dépendances) au nord, et la Gondwania (Brésil, Afrique, Arabie, Inde-Australie) au sud.

Malheureusement, l'auteur ne définit pas l'emplacement des « centres de cristallisation »; il ne dit pas pourquoi les forces qui rassemblaient les lambeaux

sialiques les ont envoyés précisément aux deux pôles. On est donc forcé de conclure que, malgré l'intervention de ce très distingué géologue, le lieu d'origine des continents n'est pas précisé.

*

Il fallait combler cette première lacune et j'espère y être parvenu, dans mon premier travail, cela de la façon suivante que je rappelle parce qu'il faut que le lecteur la connaisse bien, vu que je serai dans le cas d'y recourir plus d'une fois:

On sait que l'écorce sialique se forma lorsque la température superficielle de la Terre fut descendue à 1000°. Deux suppositions permettraient, à priori, de croire que cette écorce n'a pas enveloppé notre Globe tout entier. Je les ai indiquées, mais en donnant les motifs pour lesquels il faut les rejeter toutes deux. Cela étant, il faut admettre que la Terre s'est refroidie selon le même rythme dans toute sa surface et que, en conséquence, la croute sialique, quand elle se forma, entoura l'astre d'une enveloppe continue. Il n'en est plus ainsi depuis longtemps et je vais dire pourquoi, en me basant sur une expérience de physique dont je règle le dispositif de façon qu'il imite, aussi exactement que possible, les conditions telluriques:

Dans une jatte très évasée, on dépose une couche de mercure et, par dessus, une lame d'eau. On fait tourner la jatte autour de son axe vertical, ce qui engendre une force axifuge horizontale. Le mercure plus lourd, obéissant à cette force plus que l'eau, s'étire et voudrait fuir latéralement. Comme les parois de la jatte lui font obstacle, il rampe sur elles, vers le haut, et forme un bourrelet circulaire, autour de l'eau rassemblée au milieu. Si on ne tourne pas trop vite, la couche de mercure, tout en se renflant sur ses bords, demeure continue sur le fond de la jatte. L'axe de la jatte représente l'axe de rotation de la Terre. Le mercure joue le rôle du sima et on constate qu'il affleure aussi loin que possible de cet axe, c'est à dire sur l'équateur. L'eau figure l'écorce sialique et on voit qu'elle est refoulée vers l'axe de rotation.

Notre jatte ne représente qu'un hémisphère. Imaginons-en sur le même axe, une seconde, tournée en sens inverse, ce sera l'autre hémisphère. Admettons, finalement, que le centre attractif est entre les deux jattes, cela nous permettra de les supprimer: le mercure de l'une portant celui de l'autre. Nous aurons ainsi une représentation exacte des conditions mécaniques de notre Globe et, ce qui est l'objet de notre recherche actuelle, le motif — basé sur une raison de mécanique et pas indiqué, jusqu'ici, que je sache — pour lequel les continents primitifs nacquirent sous forme de calottes polaires.

*

Quant à la formation même de ces calottes, une remarque s'impose: L'expérience précitée montre qu'elles résultent d'un refoulement de l'écorce sialique vers les pôles. Ce froissement dut engendrer des plis de direction E–W, mais la diminution de longueur des parallèles força l'enveloppe à se rider par plis N–S. Cette nécessité régnant dans toute l'étendue des calottes, explique le fait mainte fois relevé que l'archéen est plissé partout. Elle rend compte, aussi, de l'entrecroisement de ses plis, phénomène dont la grande extension est avérée pareillement[2]).

[2]) C'est ainsi qu'à un ridement E–W observé dans les portions du continent primitif septentrional, qui constituent la Fennoscandie et le territoire d'Angara (Asie) — appelé archéen, dans la première de ces contrées; baïkalique, dans la seconde — se superpose un plissement N–S dit algonkien, au Canada et en Fennoscandie; saïanique, dans l'Angara.

Les plis E–W furent continus, autour de chaque pôle ce furent des demi-tores concentriques. Les rides N–S jouèrent le rôle de fronces: rapprochées là où les parallèles étaient les plus courts, elles s'éloignèrent aux latitudes où l'espace manquait moins et, finalement, s'éteignirent. Ce faisant, elles projetèrent, en saillie sur les dépressions intermédiaires, des caps à plongement périclinal qui, plus tard, devaient influencer la direction des chaînes venant à naître dans le sens E–W.

La pellicule sialique étant refoulée de toute part, l'entrecroisement de ses rides forma un réseau que nous devons supposer régulier. S'il ne l'est pas absolument, c'est que des causes autres que celles indiquées ont agi à côté d'elles. Mais le peu d'importance de ces causes secondaires est attesté par le caractère tout à fait subordonné, presque inapparent, de leurs effets.

En somme, le processus que nous venons de constater implique des ridements, mais aucune fissuration. Je suis donc en droit de prendre comme base, dans ce qui va suivre, la notion de calottes polaires continues à l'origine[3]).

La Forme.

Je ne sache pas qu'aucun auteur ait cherché à préciser les contours des lambeaux sialiques qui formèrent les continents primitifs, mais ce que nous venons de dire nous permettra de combler cette seconde lacune aussi:

La péllicule corticale, que des motifs déjà exposés nous forcent à regarder comme originellement continue, a été refoulée vers les extrémités de l'axe de rotation, et cela de tous les côtés également, de sorte qu'elle s'est rassemblée en calottes polaires continues. Mais cette forme originelle que la rotation avait donnée aux continents, la rotation elle-même ne devait pas tarder à la modifier.

Dans l'une et l'autre calottes, en effet, chaque élément était en butte à la fois à l'attraction centripède due à la gravité et à la répulsion axifuge due à la rotation, forces qui donnent une résultante dirigée vers l'équateur. Mais les calottes sialiques nageant sur le sima, leurs éléments peuvent être regardés comme des corps flottants. C'est ce que fit Eötvös substituant comme on sait, au couple que je viens de considérer celui formé par le poids d'un lambeau cortical et la poussée qu'il reçoit du magma qui le porte. Or, en raison de l'aplatissement terrestre, ce couple donne, comme le précédent, une résultante dirigée vers l'équateur.

En outre — il importe de le remarquer — toutes les forces mises en jeu: répulsion axifuge, poids d'un élément sialique, poussée exercée sur lui par le sima, toutes ces forces et par conséquent leurs résultantes, sont contenues dans un plan méridien. C'est donc le long de son méridien qu'était sollicité à se mouvoir l'élément soumis à leur action.

---

[3]) Rüdemann (Bibl. 6) a dessiné un planisphère dans lequel les plis de l'archéen ne se croisent pas mais dessinnent, dans le Nouveau-Monde, des arcs concaves vers le nord, et dans l'Ancien-Monde, des V qui sont, eux aussi, ouverts au nord. Cette conception s'accorde avec mon système et cela de deux façons:

1° Les arcs du Canada et du Grœnland coïncident avec mes plis E–W, moyennant un léger déplacement du pôle nord. Il suffit de transformer les coudes en arcs, pour avoir l'équivalent, à travers l'Europe et l'Asie.

2° Laissant aux rides du Vieux-Monde leur tracé rectiligne, je remarquerai que, dans l'enveloppe refoulée vers les pôles, les plis E–W ne tardaient pas à être coïncés entre les méridiens qui se rapprochent. En prenant une direction oblique, ils se mettaient au large et pouvaient s'avancer plus loin, entre les deux glissières.

Au sein de chacune des calottes originelles, des tiraillements se manifestèrent donc, dont le résultat était de disperser leurs éléments sur des trajectoires divergentes, c'est à dire de fendiller les calottes, en même temps que d'entraîner leur ensemble vers l'équateur. On doit admettre, d'ailleurs, que, dans la pellicule formant les calottes, la cohésion était encore assez faible pour que pussent intervenir efficacement des forces que la plupart des auteurs s'accordent à estimer peu considérables, relativement à la tâche qui leur était assignée.

*

Les calottes se partagèrent donc en segments que leur aspect m'a fait nommer des franges. Chacune de celle-ci est (théoriquement du moins) un prisme vertical dont les bases sont des triangles limités par deux arcs de méridiens et un arc de parallèle. Ce dernier est emprunté à la courbe (plus ou moins régulière) qui limitait en plan la calotte d'origine. Les faces latérales d'un de ces prismes sont donc des plans méridiens; c'est selon ces plans que les franges se séparèrent les une des autres. L'axe d'une frange est la trace horizontale de son plan de symmétrie, lequel, quand la frange se déplace, ne cesse de coïncider avec un plan méridien. L'axe se retrouve comme médiane, dans les triangles de base.

Nous avons donc réussi à définir la forme secondaire que prirent les continents primitifs, la forme avec laquelle ils agirent — et, sans doute, agissent encore — comme compresseurs, dans l'orogenèse. De même que pour fixer l'emplacement de ces noyaux, ce sont uniquement des considérations d'ordre mécanique qui nous ont-conduit au but.

Dimensions.

Ayant défini la forme des franges continentales, il faut dire un mot de leurs dimensions, c'est à dire de leur largeur, leur longueur étant donnée par l'extension des calottes originelles. Or cette largeur résulte de l'accord qui s'est finalement établi entre deux groupes de forces antagonistes en soi: Il y avait, d'une part la nécessité ou se trouvaient les calottes de se distendre, puis de se fendre, pour couvrir l'espace toujours plus grand qu'elles rencontraient dans leur descente des pôles vers l'équateur, et, travaillant dans le même sens, les forces polifuges précédemment définies, qui entraînaient les éléments sialiques dans des directions méridiennes, c'est à dire divergentes. D'autre part il y avait l'attraction mutuelle des particules corticales.

Selon que l'un ou l'autre des deux groupes l'emportait, il se constitua des franges de grandes dimensions comme la canadienne, l'atlantide, la fennoscandienne et la sibérienne, dans l'hémisphère nord; la brésilienne, l'africaine et l'indaustralienne, dans le sud — ou, seulement d'étroites esquilles, comme le seuil atlantique ou les massifs archéens de Taïmyr et du Jennissei qui surgissent dans la bordure W de la frange sibérienne.

Le contour de ces franges nous est souvent masqué par les mers actuelles ou par des sédiments anciens qui l'ont débordé. D'autres fois c'est la répartition même de ces sédiments qui permet de retrouver ce contour qui leur servait de rivage.

Le bloc Pacifique.

On vient de voir que les continents furent, dès l'origine, les éléments principaux de la surface terrestre. Or, à côté d'eux, il en est un autre, d'étendue comparable, d'âge égal et dont le rôle fut important: c'est la dépression du Pacifique.

Plusieurs auteurs, notamment SUESS, HAUG et DE LAUNAY, voient dans le fond du Pacifique une marquetterie de fragments continentaux inégalement déprimés, le tout recouvert par une transgression, conséquence des émersions survenues dans l'autre hémisphère. Mais les propriétés physiques de ce fond contredisent cette manière de voir: Il est plus dense, plus rigide que les autres continents et même les autres fonds océaniques. STAUB explique cela en admettant que le fond du Grand Océan est une croûte de sima qu'un refroidissement brusque a rendu plus dense, plus rigide, que le sima ordinaire. Cette croûte aurait une épaisseur de 60 kilomètres: moins que la plongée des radeaux sialiques mais assez, vu son incompressibilité, pour arrêter leurs déplacements.

Quant à la cause de ce brusque refroidissement, il faudrait la chercher dans le fait que le sima de la région aurait été mis à nu par l'arrachement de sa couverture sialique et cette écorchure proviendrait de ce que, aux débuts de notre consolidation superficielle, lorsque se formaient nos calottes polaires, un lambeau de notre épiderme (sial et sima engrené avec lui) se serait détaché pour aller former la Lune. C'est la théorie émise par PICKERING et G. H. DARWIN, renouvelant la conception sémitique ou présémitique, selon laquelle notre satellite serait sorti de nos entrailles (Bibl. 18). STAUB admet que l'arrachement de la couverture a été préparé par la formation d'une saillie locale. Il a raison et, précisant davantage, j'ajoute qu'une telle saillie implique la distension et, pour finir, le déchirement de la couverture. La disposition la plus simple et la plus symmétrique qu'on puisse attribuer à cet accident consiste en deux déchirures rectangulaires. Or l'une d'elles tendait déjà à se produire, pour une autre raison: c'est celle qui a permis la formation du bourrelet simique alors équatorial. Une partie au moins de son étendue servit aux deux buts à la fois. Quant à la seconde, elle coïncide approximativement avec le méridien de Behring. Le sima qui bombait à l'intérieur de cette déchirure en croix prit la forme d'une pyramide à quatre pans concaves, dont les arêtes N et S formaient des éperons à faces rentrantes. C'est pour faire place à ces éperons que l'écorce, se retirant à mesure que la pyramide grandissait, infligea à chacune de ses calottes une entaille en V qui, plus tard, donna une forme anormale à celles des franges qui avoisinèrent le bombement simique. Refoulés qu'ils furent contre les faces concaves des éperons, les plis adoptèrent le parcours arqué que nous leur voyons dans les Andes nord et sud, dans les chaînes de l'Asie orientale et de l'Australasie.

II. Les chaînes de montagnes.

Origine.

Les chaînes de montagnes sont d'anciens fonds de mer asséchés. La preuve en est le faciès toujours marin des sédiments qui les constituent; les dépôts terrestres de même âge (sels, phosphates, charbons) n'apparaissant qu'en dehors de la chaîne. Si aujourd'hui, la montagne fait partie d'un continent, c'est que les eaux ont abandonné le canal marin où elle s'était formée.

Quant au motif de cet abandon, il saute aux yeux si on compare les fonds de jadis à ceux d'aujourd'hui. Actuellement, le fond des mers est d'une hori-

zontalité presque absolue[4]) et les sédiments qui se déposent sur lui s'étalent en couches planes, sans aucune inclinaison. Dans les fonds devenus montagnes, les strates sont violemment plissées et ce froissement, élevant le fond de l'auge en même temps qu'il en rapprochait les bords, a chassé les flots. La forme même des plis montre qu'ils sont dus à un refoulement horizontal, ayant agi perpendiculairement à la longueur du canal marin.

Translations et plissements.

Dans le système mobiliste, le refoulement qui engendre les chaînes de montagnes, c'est la pression exercée par deux franges continentales marchant horizontalement à la rencontre l'une de l'autre[5]). Comme ces franges plongent profondément dans le sima, elles le refoulent et l'obligent à chercher refuge dans la concavité des anticlinaux formés par les sédiments qui le recouvrent et sont refoulés comme lui.

Les franges sont donc — nous l'avons dit — les moteurs de l'orogenèse. C'est pourquoi certains auteurs donnent à ce que j'appelle des franges le nom de massifs actifs. C'est pourquoi aussi, on ne pourrait, sans méconnaître l'esprit même du système, séparer l'étude des translations continentales de celle des plissements montagnards. C'est d'ailleurs simplifier beaucoup les exposés que de considérer ensemble la cause et l'effet.

Le frottement.

Nous avons, jusqu'ici, admis implicitement que les franges continentales pouvaient se mouvoir librement à la surface de leur support magmatique. Le fait qu'elles y plongent profondément est déjà une certaine entrave à la liberté de ce mouvement, mais il y en a une seconde qu'il faut examiner brièvement.

Le sial qui constitue les franges et le sima dont est fait le support se sont superposés, à cause de leur différence de densités, à une époque où ils étaient encore liquides l'un et l'autre. Mais la différence de ces densités (environ 2,6 et 3,6) étant très faible, on a peine à croire que ces deux milieux se soient séparés franchement, c'est à dire par une surface de niveau. WEGENER pensait qu'il doit exister entre eux une « zone d'indentation » caractérisée par des pointements de sial s'enfonçant dans le sima et des protubérences de sima montant dans le sial, état de choses qui remonterait à l'époque où dut se faire la séparation.

De mon côté, j'ai dit que si les Continents primitifs nacquirent avec la forme de calottes polaires, c'est que la pellicule sialique fut refoulée loin de l'équateur par la formation, en ce lieu, d'un bourrelet simique. Or, ai-je ajouté, ce refoulement plissa la croûte de sial: les synclinaux formés s'enfoncèrent dans le sima tandis que les anticlinaux l'accueillaient dans leur concavité inférieure. Il en résulte que sial et sima furent engrenés l'un avec l'autre. Quoique le sima soit liquide, sa viscosité est telle qu'on peut bien parler ici d'engrenage.

---

[4]) Les mers actuelles présentent, du rivage vers le large, des pentes de 1, 4, 6 et au maximum 8 degrés. Des inégalités de 100 mètres sont séparées par une distance de 100 kilomètres. Seuls les deltas fluviaux offrent des déclivités de 20°, les îles volcaniques 35°, les îles coralliennes 48°, en moyenne, et les glissements sublittoraux, eux aussi, forment des pentes exceptionnelles (Bibl. 7).

[5]) Au lieu de deux franges, il pourrait y avoir une frange et un obstacle fixe. Ce serait, selon WEGENER, le cas pour la chaîne des Andes, resserrée entre le bloc pacifique immobile et les massifs canadien et brésilien, en dérive vers l'ouest.

Cette viscosité, jointe à la plus forte densité, suffisaient à rendre difficile la déformation de ses protubérences — ou de ses dents d'engrenage —, déformation nécessaire pour que le sial pût glisser sur sa base. Qu'on envisage, donc, la disposition mutuelle des deux milieux dès leur séparation, ou celle qui résulta du premier ridement de l'écorce, cela revient au même: il s'établit entre eux une difficulté de glissement, un frottement.

*

Les indentations mutuelles devant se trouver dans toutes les directions, sur la surface séparative et, d'autre part, le ridement primitif des calottes ayant eu lieu dans deux sens perpendiculaires, on arrive à la conclusion que le frottement basal peut se faire sentir aussi bien selon la longueur des franges que selon leur largeur.

Les mouvements des franges consistant uniquement en oscillations méridiennes sans jamais aucun « écart » latéral, c'est le frottement selon la longeur qui seul nous intéresse. Mais celui-ci peut avoir une intensité différente de l'une à l'autre des zônes qui se partagent une frange, dans sa largeur ou dans sa longeur.

Relativement à la variation en largeur, il faut faire une remarque. A propos de la dimension des franges, j'ai dit que, les forces qui déterminent cette dimension sont les forces polifuges, lesquelles entraînent tous les éléments matériels d'une frange dans des directions méridiennes, c'est à dire divergentes, et, d'autre part, la cohésion moléculaire qui maintient une frange dans sa compacité. Il nous faut revenir à cette question, pour l'approfondir un peu.

Supposons que ce soient les forces polifuges qui l'emportent et voyons ce qui se passera, lors d'une avancée.

Tant que la frange considérée faisait partie d'une calotte non disloquée, son sommet coïncidait avec le pôle et c'est de là que partaient les méridiens de tous les points de la frange. Lorsque celle-ci eut fait une avancée, il n'en fut plus de même. Les éléments situés en 1_1, 2_1, 3_1, 4_1 passèrent en 1_2, 2_2, 3_2, 4_2, cela en glissant sur leurs méridiens respectifs. Mais comme ces trajectoires divergent, la distance de chacun de ces éléments à l'axe de la frange alla en augmentant: Ce fut le cas, par exemple, pour les éléments 1 et 2. Certains même s'écartèrent tellement qu'ils sortirent du périmètre que la frange pouvait couvrir avec la quantité de matière qu'elle possédait: ce fut le cas de 3 et de 4. Pour se prêter à tous ces éloignements, la frange dut s'étirer, se fendiller, et finalement dégénérer en un faisceau de bandes matérielles divergentes.

Cette hypothèse conduisant à la désagrégation des franges nous a été utile précédemment mais, pour notre recherche actuelle, elle est inutilisable. Abandonnons la et revenons à celle qui, donnant la suprématie aux forces de cohésion, assure à une frange le maintien de sa compacité. Dans ce cas, une construction graphique très simple montre que, l'axe de la frange se déplaçant selon un méridien, tous les éléments situés en dehors de l'axe se déplacent parallèlement à lui, de sorte que leurs distances mutuelles ne changent pas.

Cela étant, le frottement qui s'oppose à la translation de ces points agit, lui aussi, parallèlement à l'axe. Si donc il varie dans la largeur de la frange, il a pour effet de partager celle-ci en zones parallèles à son axe.

J'étudierai l'un et l'autre cas avec les chaînes sur la formation desquelles il a eu de l'influence.

Chaînes frontales.

Obéissant aux forces polifuges que nous avons définies, les franges glissent de façon que l'axe de chacune d'elles courre selon un méridien. C'est le mouvement appelé Polflucht, terme que je traduirai par avancée. A mesure qu'elles s'éloignent de leur pôle, à mesure qu'elles se rapprochent de l'équateur, les franges s'écartent l'une de l'autre et l'écartement de deux d'entre elles donne naissance à un canal que sa situation géographique ferait qualifier de méridien et que sa position relativement aux franges bordières me fait nommer détroit latéral.

Puisqu'il y avait deux calottes, il y a deux séries de franges, l'une au nord, l'autre au sud et, comme les franges ne sont pas très distantes, j'appelle chacune de ces rangées une couronne. Entre les deux couronnes, sur l'espace qui séparait les calottes, s'étendait, recouvrant le bourrelet simique, l'Océan, que sa position qualifie de canal méditerranéen, mais que, relativement aux franges, je dois appeler détroit frontal.

Marchant à la rencontre l'une de l'autre, la couronne du nord et celle du sud resserraient entre elles ce détroit, comprimaient le sima qui en constituait le fond et plissaient les sédiments déposés par dessus. De ce refoulement dans la direction méridienne nacquirent des chaînes à parcours E-W que leur situation entre les groupes continentaux qualifie de méditerranéennes tandis que leur position en avant des franges motrices m'engage à les appeler chaînes frontales[6]).

Ce sont: la chaîne huronienne (du précambrien à l'algonkien, plusieurs ridements, localisés en avant des franges. c'est'-à-dire entre les détroits latéraux (?)) — puis la chaîne hercynienne (plusieurs phases, au carbonifère) — enfin la chaîne alpine (phases multiples, au mésozoïque et au tertiaire).

En ce qui concerne le frottement, voici:

Les chaînes qui nous occupent sont nées lors des avancées des franges, celles-ci ont donc agi, dans ce cas, par leur front. Dès lors, il faut prendre en considération, ici, celle des variations du frottement qui a pu modifier ce front, c'est à dire, évidemment, la variation en largeur.

Or nous savons que cette variation eut pour résultat de partager une frange en zones parallèles à son axe, zones qui avançaient à une allure différente, dans la masse (sima et sédiments) qu'elles devaient refouler. Cette masse passive se trouva donc partagée, elle aussi, en zones dont chacune prolonge une zone de la frange, et cela par des plans verticaux dont la trace superficielle figure ce qu'on appelle des « décrochements horizontaux » (Horizontal-transversalverschiebungen).

A la fin d'une première période, une zone rapide de la frange avait formé devant elle un pli, tandis que ses voisines plus lentes n'avaient pas encore agi.

---

[6]) Une remarque s'impose ici. Au moment où les deux couronnes affrontèrent la Tethys, les franges de l'une et de l'autre étaient sensiblement écartées. Or, chaque frange ne comprimant que devant elle, il n'aurait dû naître que des plis limités chacun à la largeur d'une frange. Au lieu de cela, nous avons des chaînes continues sur un grand espace en longitude, mais cela aussi trouve son explication. En effet, l'expérience journalière montre que les plis que nous provoquons à dessein comme ceux qui naissent indépendemment de notre volonté, tous dépassent, en longueur, la largeur du refouloir qui les produit. Il y a là une nécessité mécanique qui doit se faire sentir dans les plis rocheux comme dans les autres. Les rides nées devant les franges voisines mais distantes arrivèrent donc à joindre leurs extrémités, leurs pointes d'extinction (Bibl. 8), ce qui donna une chaîne continue.

A la fin d'une seconde période, la zone rapide avait engendré deux plis[7]), les zones lentes un seul, et ainsi de suite. Par ces refoulements, une chaîne était née dont les diverses travées, « décrochées » les unes par rapport aux autres, comptent des plis en nombre inégal, ceux formés durant une même période — et que, pour cela, j'appellerai contemporains — n'étant pas en prolongement les uns des autres et, qui plus est, l'expérience le montre, pas nécessairement de même style[8]).

Chaînes latérales.

Les chaînes méditerranéennes et à parcours E–W ne sont pas les seules, à la surface de la Terre. Il en est, tout d'abord, un second groupe qui court du nord au sud ou, tout au moins, dans une direction très voisine. Ce sont les Appalaches, la chaîne britannique-norvégienne, l'Oural, les chaînes de la Léna, les plis du Sahara et ceux qui bordent la côte orientale du Brésil. Vu leur orientation, ces chaînes seront dites méridiennes et le fait qu'elles s'intercalent entre mes « franges » me les fait nommer chaînes latérales.

Pour engendrer ces chaînes, il fallut des canaux marins où pussent se déposer les sédiments qui devaient les constituer et un refoulement E–W capable de plisser ces dépôts. La première condition fut remplie par les détroits latéraux que les avancées ouvrirent et rouvrirent, chaque fois qu'elles se produisaient. La seconde condition est d'un exposé moins simple, la voici:

Nous n'avons parlé, jusqu'ici, que des forces polifuges et des avancées qu'elles peuvent déterminer, à l'exclusion de tout autre déplacement. Mais l'étude des chaînes de montagnes oblige à admettre qu'il se produisit aussi des « reculs » (Poldrifte), de sorte que, au total, le mouvement des franges continentales est une oscillation le long des méridiens.

La rotondité du Globe fit que, pour descendre vers l'équateur, les franges durent s'écarter l'une de l'autre. Inversement, pour rétrograder vers les pôles, autrement dit pour revenir sur des parallèles de longueur moindre, les franges durent se rapprocher, ce qui eut pour effet de mettre à l'étroit la couche de sima correspondant à leur plongée et les assises sédimentaires qui s'étaient formées par dessus: c'est le refoulement cherché[9]).

En effet, les bords d'une frange, dont l'axe glisse sur un méridien, se déplacent parallèlement à eux-mêmes. Les canaux que leur écartement avait formés eurent donc des bords parallèles et le refoulement produit par leur rapprochement s'exerça normalement à ces bords. Ce sont là les conditions requises pour la production des plissements, pour la formation des chaînes. De fait, chacun des canaux qui s'étaient ouverts dans la largeur de l'une des couronnes polaires donna, en se refermant, naissance à une chaîne méridienne ou latérale.

On arrive donc à la conclusion qu'un recul doit toujours suivre une avancée et c'est, en effet, ce qui s'est produit. Les chaînes latérales renferment toutes

---

[7]) Le refoulement exercé par la frange immédiatement sur la pellicule sédimentaire engendra le premier pli, tout contre le bord du refouloir. Lorsque ce pli fut serré à ne pas pouvoir l'être davantage, il transmit le refoulement à l'étoffe rocheuse située devant lui, ce qui engendra un deuxième pli, et ainsi de suite.

[8]) Cela signifie qu'une travée de la chaîne présente seulement des plis droits, tandis qu'une autre peut offrir des plis droits et des plis couchés (plis-nappes). Dans une travée, les couches peuvent avoir été flexibles, dans une autre, cassantes.

[9]) Quant aux motifs qui obligèrent les franges à rétrograder vers les pôles, je les ai exposés dans mon premier travail. Il y en a de mécaniques, de physiques et d'astronomiques; ils se réduisent à des courants dans le support magmatique des franges.

des éléments calédoniens et d'autres que j'appelle ouraliens. Les premiers ont été formés au Silurien, c'est à dire après l'avancée huronienne; les derniers au Permien, soit après l'avancée hercynienne.

*

Pour ce qui est du frottement, il semble au premier abord qu'il ne doive pas en être question ici, puisqu'on admet que, dans les reculs, le sial est porté par des courants de sima. Mais j'ai montré, dans mon premier travail, que l'efficacité de ces courants est problématique.

Si, au contraire, ce sont des attractions astrales qui entraînent le sial, celui-ci se déplace à la surface du sima et le frottement entre en cause. Alors, tout ce que j'ai dit à propos des chaînes frontales s'applique aux chaînes latérales, sauf que ces dernières prenant naissance lors des reculs, ce n'est plus par leur front, mais bien par leurs côtés, que les franges agissent. C'est une différence géographique sans influence sur le côté mécanique de la question, attendu que le bord d'une frange s'avançant vers l'intérieur d'un détroit latéral, y refoule les sédiments tout comme un front pourrait le faire, dans le détroit frontal. On arrive donc à des conclusions identiques.

Enfin, quant à la position géographique des chaînes latérales, je rappelle que les bords de deux franges voisines coïncident, en plan, avec des méridiens, mais cela seulement dans la position originelle des franges. Quand celles-ci s'éloignent dans une avancée, ou se rapprochent dans un recul, leurs bords se déplacent parallèlement à eux-mêmes. Comme les plis formés par un recul naissent parallèles à ces bords, les différentes chaînes latérales n'ont de véritablement méridiens que leurs axes, mais l'ensemble de tous leurs plis convergent dans le voisinage d'un pôle.

Pour s'en assurer, on n'a qu'à tracer, sur une carte polaire, la direction des Appalaches grœnlandaises, celle des plis écossais, celle de la chaîne norvégienne, l'axe médian de la large zone ouralienne et celui des plis de la Léna.

*

Il est évident qu'une calotte polaire, dans ses mouvements (avancées ou reculs), se déplaça « tout d'une pièce », puisque la cause du déplacement agissait sur elle toute entière. La conséquence est qu'un recul — puisque c'est ce mouvement là qui nous occupe — quand il se produisit, affecta en même temps, toutes les franges d'une même calotte. On en a la preuve dans la contemporanéité des mouvements qu'effectuèrent toutes les zones latérales.

Chaînes dorsales.

Si, dans une frange, le frottement basal variait selon la longueur, l'inégalité de vitesse avec laquelle des zones E–W pouvaient se déplacer dans le sens N–S, pour effectuer une avancée eut pour conséquence que des déchirures, toujours normales aux tractions, se produisirent dans la direction E–W. Il en résulta que ces fentes croisèrent les détroits latéraux, ce qui les mit en relation avec la Tethys et en fit des canaux marins.

De toutes les parties d'une frange, c'est sa pointe éfilée qui a souffert le plus. L'observation le montre. Les franges continentales, assez compactes à l'avant et au milieu, ont leurs arrières morcelés par de nombreux détroits que

leur situation m'engage à qualifier de dorsaux. Comme exemples, je citerai les archipels situés en arrière (au N) des franges américaine et asiatique.

Ce fait d'observation peut s'expliquer, si on se reporte à ce qui a été dit à propos de la formation des calottes polaires. Nous avons vu que la pellicule sialique refoulée dut se rider par plis méridiens. Or le rapprochement de ceux-ci, dans les régions circumpolaires, eut pour conséquence de rassembler en ces lieux une étendue de pellicule étalée, ailleurs, sur de plus grands espaces. Ce rassemblement entraîna une augmentation de poids par unité de surface et cette augmentation força l'écorce sialique à s'enfoncer dans le sima, plus profondément là qu'ailleurs[10]).

C'est précisément dans les régions circumpolaires que se trouvaient, à l'origine, les queues des franges. Pour que l'ensemble de l'une d'elles pût descendre vers l'équateur, il fallait que la queue suivît le mouvement, mais celle-ci, obligée pour cela de refouler le sima plus profondément que ne devait le faire le reste de la frange, resta en arrière. De là les déchirures E–W dont il a été question, de là l'emplacement encore circumpolaire des pointes continentales.

On pourrait dire aussi que, vu l'aplatissement terrestre, la queue de la frange repose plus près du centre attractif que son corps, ce qui a pour effet de l'appliquer plus fortement sur le sima, de l'y enfoncer davantage et, par conséquent, de l'immobiliser plus que le corps qui est moins attiré.

*

C'est lors des avancées que s'ouvrent les détroits dorsaux[11]). Lors des reculs, quand la frange est obligée de se confiner dans un espace de plus en plus étroit, la gêne que cela apporte à son mouvement fait que les zones qui s'étaient séparées se rapprochent et le resserrement peut aller jusqu'à plisser les sédiments déposés dans les détroits. Ainsi naissent des chaînes que leur situation géographique fait qualifier de polaires et leur position tectonique de dorsales.

Ce sont: La chaîne Baffin-Labrador; la « Chaîne des Etat-Unis » avec ses annexes (Mts. Victoria and Albert, Mts. du Prince de Galles), dans les arrières de frange canadienne; celle de la Nouvelle-Sibérie, au nord de la frange asiatique; les Patagonides, dans la frange brésilienne; les montagnes du Cap, au sud de la frange africaine et les Dividing Ranges (Alpes d'Australie). Autant qu'on peut en juger, dans l'état actuel des explorations, toutes ces chaînes sont dues aux reculs que j'appelle calédonien ou ouralien.

A l'inverse des chaînes latérales, bien que nées de reculs comme elles et par conséquent, ayant les mêmes âges, les chaînes dorsales courent (en gros) E–W, comme les frontales qui procèdent d'avancées.

Près de ces détroits refermés, d'autres sont là, réouverts par l'avancée alpine, tels le détroit de Baffin avec ses prolongements (Smith, Kennedy, Robeson); les nombreux détroits de l'archipel canadien; ceux de la Nouvelle-Sibérie; les deux détroits parallèles de Magellan et de Beagle; le détroit de Palk; le détroit de Bass.

---

[10]) C'est le phénomène qui se produit sous les régions plissées de l'écorce, qui manque sous les plaines, et qu'on nomme la plongée des montagnes (der Tiefgang der Gebirge).

[11]) Parce que, à ces moments là, il y a décompression dans les régions circumpolaires. Comme c'est aux reculs que la décompression se manifeste, dans la région méditeranéenne, c'est lors des reculs que s'élargit le détroit frontal.

Chaînes terminales.

Lorsque, pour la première fois, elles s'avancèrent vers l'équateur, les couronnes de franges N et S laissèrent le sima à découvert, sur deux espaces qui, mis en communication avec la Tethys par l'ouverture des détroits latéraux, devinrent les Mers polaires.

Or, quand une frange avance, la mer polaire s'étend derrière sa pointe et l'érosion de celle-ci alimente une sédimentation. Lorsque survient un recul, la frange comprime les strates ainsi formées et il en résulte des plis qui s'arquent autour de la pointe et peuvent réunir les chaînes latérales situées de part et d'autre. Je donne à ces plis le nom de chaîne terminale, en remarquant que le diagnostic d'un tel objet n'est pas toujours facile: Une chaîne qui borde l'extrémité visible d'une frange semble terminale, mais elle ne le sera pas si la pointe se prolonge au-delà, en un plateau sous-marin.

Par exemple, la chaîne de l'île Peary devra être regardée comme terminale, car le talus continental qui la borde est si peu large qu'il semble lui appartenir. Au contraire, la chaîne Finmarck–Kanin–Timan, que dépasse le large plateau sou-marin de Barents, doit être interprétée comme la cicatrice d'une déchirure suivant laquelle cette pointe de frange s'était affaissée. C'est donc une chaîne dorsale.

Oscillations marines.

Nous avons vu que les avancées, en même temps qu'elles resserrent le détroit frontal, ouvrent ou rouvrent les détroits latéraux et dorsaux qui communiquent entre eux. Or le synchronisme de ces effets opposés a pour conséquence que les eaux chassées de la Tethys trouvent à se loger dans les canaux méridiens. Inversement, les reculs ferment — ou referment — les détroits latéraux, tandis qu'ils élargissent le détroit frontal. Ce dernier peut donc accueillir les flots expulsés des premiers.

Nous trouvons donc une loi nouvelle pour les oscillations de la masse liquide. On peut la formuler brièvement ainsi: Régression méditerranéenne = transgression circumpolaire; régression circumpolaire = transgression méditerranéenne[12]).

Anneaux orogéniques.

Récapitulant tout ce qui précède, nous dirons:

Une avancée engendre des chaînes frontales, ouvre ou rouvre les détroits latéraux et les détroits dorsaux, provoque une régression méditerranéenne et une transgression circumpolaire.

Un recul engendre des chaînes latérales, des chaînes terminales et des chaînes dorsales, rouvre le détroit frontal, provoque une régression circumpolaire et une transgression méditerranéenne.

Une avancée et un recul suffisent donc pour entourer une frange continentale d'un cadre de plissements, dont trois côtés, le terminal et les deux latéraux, seront de même âge. Pour que le côté frontal le soit aussi, il faudrait que le cadre ait une origine toute différente; il faudrait qu'il provienne, non des oscilla-

---

[12]) On admet que les franges sialiques plongent dans le sima des faces verticales, sur lesquelles il serait impossible aux sédiments de se disposer « en transgression » ou « en régression ». Mais plus haut — bien plus haut — que la ligne de plongée, règne le talus continental, sur lequel cette disposition est possible.

tions de la frange, mais d'une dilatation de celle-ci, phénomène qui est difficilement admissible. Dans la règle, ce côté est une chaîne frontale d'âge différent. Dès maintenant, nous avons ramené à une forme possible le concept des « anneaux orogéniques » (Faltenkränze, orogene Ringe), dont parlent plusieurs auteurs.

Chronologie.

J'ai indiqué déjà l'âge moyen des chaînes frontales, latérales, terminales, dorsales, et montré que les premières sont dues à des avancées (A), les autres à des reculs (R). On a donc la série suivante:

Algonkien	Silurien	Carbonifère	Permien	Mésoz.-Tertiaire
A: huron. Ch: E-W	R: calédon. Ch: N-S	A: hercyn. Ch: E-W	R: oural. Ch: N-S	A: alpine Ch: E-W

Un fait chronologique est donc acquis, à savoir que, au cours de l'histoire géologique, il s'est formé alternativement des chaînes à direction E–W et d'autres courant N–S. Or ce fait témoigne nettement en faveur de mon système, lequel attribue la formation de toutes les chaînes aux oscillations méridiennes d'une masse unique en somme, dans chaque hémisphère[13]). L'avancée de cette masse, vers la région méditerranéenne, avec les plissements qu'elle cause, entraînant son recul de la région circumpolaire, avec les fissurations qui en dérivent. Le recul de la même masse déterminant des effets réciproques, ces deux mouvements doivent forcément être alternatifs.

*

En est-il ainsi, en réalité? N'observe-t-on nulle part, dans les chaînes E–W, des plis de même âge que ceux des chaînes N–S, ces plis des chaînes frontales pouvant, d'ailleurs, courir E–W ou N–S? Si cela était, il semble qu'il y aurait là une grave objection, j'ai donc le devoir d'y regarder de près.

La question ne se pose pas pour les chaînes calédoniennes, attendu que, contrairement à ce qui a été admis longtemps, il n'existe pas de plis E–W qui aient le même âge. Par contre, elle se pose pour la chaîne hercynienne et spécialement pour ses deux dernières phases: la saalische et la pfälzische de STILLE (Bibl. 9), la première s'étant produite au milieu du Permien inférieur, la seconde après le Permien supérieur et correspondant toutes deux à ce que j'appelle le ridement ouralien[14]).

Or, si je résume les indications fournies par STILLE[15]), j'arrive à la conclusion que des plissements d'âge correspondant à celui que j'appelle ouralien manquent ou sont si faibles, dans les chaînes E–W, qu'on doit douter de leur réalité.

[13]) Les contractionistes attribuent toutes les chaînes à un affaissement centripète. WEGENER attribue les chaînes E–W à la Polflucht, les chaînes N–S à la dérive vers l'ouest. R. STAUB attribue toutes les chaînes à la Polflucht. Moi j'attribue les chaînes E–W à des « avancées » (Polflucht), les chaînes N–S à des « reculs » (Poldrift). Mon système peut donc être appelé la théorie des oscillations méridiennes.

[14]) Ce nom n'est pas très bien choisi, puisque le ridement qu'il désigne ne s'est pas produit pendant la phase du Carbonifère où se déposa l'étage ouralien. C'est parce que ce ridement est connu surtout dans l'Oural que je l'ai nommé ainsi.

[15]) Bibl. 9, p. 101 à 121.

Si même ces plissements s'avèrent réels, il est possible de montrer qu'ils n'infirment pas la loi d'alternance que j'ai établie:

1° Il peut se former, dans les chaînes courant E–W, des plis N–S et d'âge tectoniquement ouralien, parce que lorsqu'elles reculent, les franges décompriment le sima de la Tethys et l'étalent dans le sens méridien, ce qui fendille une chaîne E–W et la partage en zones de même direction. Entraînées par leur support simique, ces zones glissent dans la direction méridienne, mais les parallèles y devenant de plus en plus courts, les zones sont « coincées » entre deux méridiens, et comme ces zones sont des plis, le coincement inflige à ceux-ci des ondulations axiales qui, s'échelonnant les unes derrière les autres, dans l'ensemble des plis, donnent l'apparence de rides transversales à la chaîne. C'est ce que j'appelle le plissement par coincement. Au point de vue morphologique et indépendamment de la question d'âge, on en trouve un exemple en Europe, dans la chaîne hercynienne dont le parcours W–E est jalonné par la culmination armoricaine, la dépression de Paris, la culmination rhénane, la dépression allemande et la culmination bohème.

2° Il peut se former, dans les chaînes à parcours E–W, des plis également E–W, mais d'âge ouralien, parce que, dans le processus que je viens de décrire, lequel se déroule à l'occasion d'un recul, les chaînons les plus avancés dans ce sens sont coincés et arrêtés, tandis que ceux qui suivent glissent encore. Ces derniers viennent donc butter contre les premiers et s'accolent à eux. J'appelle cela le plissement par accolement. Tout comme l'autre type, ce plissement E–W a lieu dans la région méditeranéenne, pendant que, dans les régions circumpolaires, naissent des chaînes N–S. Comme exemple de ce dernier type, je citerai l'accolement indiqué par STILLE[16]) de chaînes d'âge permien aux flancs sud du Tianchan et du Kouenlun plus anciens (hercyniens).

III. Les édifices orogéniques.

La filiation des chaînes.

En commençant le chapitre précédent, j'ai indiqué, comme étant de règle générale, le facies marin des sédiments montagnards. Or l'étude approfondie des régions alpines a révélé un fait qui semble en opposition formelle avec ce que je disais:

On trouve, dans une seule et même chaîne, deux genres de plis. Les uns sont formés de sédiments relativement jeunes et à facies exclusivement marin; tandis que les autres, constitués par des sédiments beaucoup plus vieux et souvent métamorphiques, portent à leur surface des dépôts d'origine continentale, comme si cette surface avait été longtemps terre ferme.

Il y a donc, au point de vue stratigraphique déjà, une différence profonde entre les deux groupes de plis. Il semble qu'on aît, non pas une chaîne unique, mais deux chaînes dont l'histoire fut différente.

MARCEL BERTRAND déjà, et KILIAN, avertis par la différence des facies, de part et d'autre du géanticlinal briançonnais, voyaient dans cette longue saillie un élément étranger aux plis alpins proprement dits. En outre, la présence à la surface de ce géanticlinal, de la houille avec son substratum de grès et de

[16]) Bibl. 9, p. 121.

« poudingue de Valorcine », les forçait d'admettre que cette saillie avait été formée à temps, pour recevoir la végétation houillère[17]) et ses débris charriés par des torrents avec ceux arrachés au terrain en place, c'est à dire que cette saillie remontait au plissement hercynien. Cela expliquait sa position insulaire, au milieu des eaux où se déposaient les sédiments mésozoïques dont sont faites les rides proprement alpines.

Généralisant cette conclusion, BERTRAND admettait que toute chaîne possède un géanticlinal médian plus vieux qu'elle. Nous savons, aujourd'hui, que ce n'est pas un mais plusieurs massifs interposés qui apparaissent dans une chaîne, comme des amandes dans une pâte. Et je dirai tout à l'heure que la zone médiane d'une chaîne, loin d'être plus ancienne que les bandes marginales est, au contraire, plus récente.

*

La formation d'une chaîne, sans distinction d'âge, d'emplacement ni de direction, résulte, on le sait, du resserrement d'un canal marin. Ce resserrement produit une compression horizontale sur le fond simique du canal et sur les couches sédimentaires entassées sur ce fond. Ces couches se rident parallèlement aux bords du canal et, en se formant, les plis concaves s'enfoncent dans le sima, tandis que les rides convexes accueillent sa masse refoulée dans leur concavité inférieure: le manteau sédimentaire et son support magmatique sont engrenés l'un avec l'autre.

Si, plus tard, les mâchoires de l'étau s'éloignent, la décompression résultante permet au sima d'étaler à nouveau sa surface et la couverture sédimentaire, accrochée à lui par la plongée de ses synclinaux autant que par le remplissage de ses anticlinaux, doit se prêter à cet étalement. Mais, dépourvues qu'elles sont d'élasticité, les assises sédimentaires ne peuvent pas se dérider. Le seul moyen pour elles de suivre l'écoulement de leur support est de se fendre perpendiculairement à son flux. La chaîne, formée de plis longitudinaux et contigus, se partage donc en zones parallèles aux mâchoires de l'étau[18]).

Ce fractionnement permet à l'océan de s'insinuer entre les rides, maintenant écartées, de la chaîne et, comme celles-ci présentent, dans leur longueur, des hauts et des bas, les flots débordent par dessus les dépressions tandis que les culminations demeurent à sec. Quand la mer, ayant comblé de ses dépôts toutes les dépressions qu'elle a recouvertes, se sera retirée, les dômes épargnés formeront au milieu de ce remplissage des chapelets de « massifs interposés » (Zwischengebirge).

Tels sont les deux premiers actes du drame orogénique: un plissement puis le morcellement de la chaîne formée avec sédimendation entre ses ruines. Le troisième acte se fait attendre, mais il viendra sous la forme d'un second ridement qui froissera les dépôts jeunes et flexibles en plis droits ou couchés, tandis qu'il devra procéder par cassure ou effeuillement[19]) (listrification) contre les restes de la première chaîne raidis par des flexions successives et parfois de direction différente, comme aussi par des intrusions magmatiques entre leurs

---

[17]) Exclusivement continentale, ce fait est maintenant hors de doute.

[18]) J'ai écrit, dans mon premier travail, l'expérience par laquelle j'ai pu imiter adéquatement ce processus naturel et l'appareil que j'ai inventé pour y parvenir.

[19]) Tout à fait caractéristique, pour ce genre de dislocation, est le massif du Mont Blanc, spécialement celle de ses arêtes qu'on appelle la chaîne des Aiguilles de Chamonix.

strates localement décollées. Exceptionnellement, il réussira à les replisser encore [20]).

Ces ruines ne pouvant pas se prêter au plissement qui leur est demandé pour la seconde fois, constituent des massifs obstacles que les plis neufs contournent par des « virgations » alternant avec des « serrées » (Scharungen)[21]).

Outre la différence stratigraphique déjà remarquée, il y a donc, entre les deux groupes de plis qui nous occupent, une différence complète quant au « style » tectonique qui les caractérise [22]).

*

C'est surtout le long de son axe que la première chaîne s'ouvre, tandis que vers les bords subsistent des zones à plis assez serrés. C'est donc sur l'axe de la vieille chaîne ou au voisinage de cet axe que la nouvelle se forme. On peut donner des noms différents aux deux moitiés en lesquelles une chaîne, d'abord unique, s'est partagée, sans méconnaître, toutefois, que des fragments de cette chaîne ont pu subsister dans l'intervalle.

Les édifices.

Etant, comme je l'ai montré, différents à tous les points de vue, les deux groupes de plis dont nous nous sommes occupés ne semblent pas pouvoir être attribués à une seule et même chaîne. Je préfère y voir deux chaînes différentes et appeler leur ensemble un édifice orogénique, ce que, avec une signification moins précisée, les auteurs allemands nomment « ein Orogen ». Cette façon de procéder est rendue plus légitime encore par le fait que chacun de ces « édifices », né dans l'un de mes « détroits », sépare deux franges continentales.

Un « édifice orogénique » devra donc être défini: l'ensemble de deux chaînes d'âge, de composition, peut-être de style différents, la plus jeune étant née par suite du morcellement de l'ancienne, cet ensemble, compris dans un seul et même détroit, séparant deux franges continentales.

Les édifices orogéniques sont donc le résulat de la filiation des chaînes. Chacun d'eux comprend une chaîne du premier temps qui, s'étant ouverte, forme les deux bordures de l'édifice — et une chaîne du second temps qui occupe la région axiale, tout en renfermant des restes épars, des ruines, de la chaîne précédente.

*

Pour faire la monographie des édifices, ma méthode sera de puiser dans les auteurs des données positives sur la structure des régions en cause et d'inter-

---

[20]) Tel, par exemple, le « géanticlinal briançonnais » devenu la « nappe du Saint Bernard ».

[21]) Entre ces restes provenant des culminations de la vieille chaîne et, par ce fait, assez hauts pour avoir reçu a leur surface les sédiments continentaux formés tout de suite après la surrection, s'intercalent des plis moins élevés issus des inflexions de la même chaîne. Ceux-ci ont été submergés lors de la transgression mais, comme leurs sommets atteignaient cependant la zone ou s'exerce encore l'érosion par les vagues, ils sont coiffés de sédiments marins à facies néritique.

[22]) Pendant les ridements, il y a fissuration radiale et décollement (Aufblättern), d'où intrusion du sima dans les synclinaux: Apsidolithes ophiolithiques. — Lors de la fracturation, de larges déchirures permettent la montée de magmas acides: Massifs granitiques du type « postalpin ».

préter ces renseignements selon mes théories des franges et de la filiation. On verra que les faits s'adaptent sans difficulté à mon interprétation.

Me bornant aux régions bien connues, c'est-à-dire à l'hémisphère nord, j'y constate la série suivante d'édifices orogéniques et de franges continentales intercalées:

Region circumpolaire.

Edifices doubles: la chaîne du premier temps est calédonienne (post-silurienne); lors de l'avancée hercynienne (au carbonifère), elle s'ouvrit et les sédiments de l'époque envahirent ses déchirures. Lors du recul ouralien (au permien), ces couches furent plissées, et cela produisit la chaîne du second temps. Ces chaînes courent (en gros) N–S et on a, de l'W à l'E:

Frange Laurentia.

(Groenland, Archipel, Bouclier canadien.)

Née au contact du Bloc pacifique, cette frange dut s'adapter à la face NE de la pyramide simique. Cela eut pour effet de donner à son front (andin) une direction NW–SE (au lieu de W–E), à son bord E (appalachien) un parcours NNE–SSW (au lieu de N–S) et de dévier à l'E sa pointe extrême (N–E Foreland). Le détroit latéral qui devait border la frange à l'W s'est confondu avec le détroit frontal refoulé au N par l'éperon de Behring.

Edifice appalachien.

Il longe le bord E du Bouclier canadien. Sa bordure calédonienne W est la zone Gaspesie–Mts. Ozark; sa zone axiale ouralienne comprend les Appalaches proprement dites; sa bordure calédonienne E va de Terre-Neuve au Piedmont-Plateau. Ces 3 zones se retrouvent le long de la côte E du Grœnland avec direction N (Bibl. 13).

Frange Eria.

(Skandik ou Atlantide.)

Cette frange a été submergée par les transgressions résultant de l'avancée alpine, mais son existence est attestée par des preuves stratigraphiques et tectoniques (Bibl. 14).

Edifice britannique-norvégien.

(Bibl. 11).

Il a, comme bordure calédonienne W, la zone des Highlands écossais, partagée en trois par les déchirures longitudinales du Great Glen et de la Midland Valley. Cette zone se retrouve au Spitzberg, dans l'W et le centre de la Grande Ile; tandis que, dans le S de l'Irlande et du Pays de Galles, elle s'enfonce sous la marge hercynienne. La zone axiale de l'édifice, en majeure partie cachée sous la Mer du Nord, embrasse des plis ouraliens que séparent des ruines calédoniennes. Le plus occidental de ces plis émerge par son extrémité S: c'est la Chaîne pennine, représentée au Spitzberg sur les confins de la Grande Ile et de la Terre Nord-Est. L'une de ces ruines « s'éteint » (Bibl. 8) en un éperon que la marge hercynienne chevauchante dut surmonter en dessinant la culmination du Brabant.

La bordure calédonienne E est représentée par la chaîne de Norvège, qui se retrouve dans la Terre-Nord-Est du Spitzberg, et, en éperon de nouveau,

sous la marge hercynienne, dans le Massif de l'Elbe. Elle renferme, dans sa partie S, quatre esquilles sialiques. Vers le N, l'édifice se termine en direction franchement méridienne [23]).

Frange Fennoscandia.

(Bouclier baltique — Bloc russe).

Edifice ouralien.

(Bibl. 12).

Sa bordure calédonienne W n'apparaît que dans le bloc d'Ust-Urt (entre Caspienne et Aral). Sa bordure calédonienne E, au contraire, est très large; bien marquée dans le Sayan et l'Alatau de Kusnezk; elle renferme, à titre d'esquilles sialiques, le « Horst du Jenissei » et le massif de Taimyr. Entre ces deux bordures, s'étend, de la Mer de Kara, par la Steppe kirghise et jusqu'au pied N de l'Altaï, une large gerbe de plis dont l'Oural proprement dit n'est que le plus occidental. Ces plis sont d'âge ouralien, ils courent N–S, leur ensemble constitue la zone axiale de l'édifice, laquelle atteint la mer par le Konstantinow-Kamen, en direction méridienne. Païkoï, Waïgatch et Nouvelle-Zemble ne sont qu'un rameau secondaire de l'Oural proprement dit.

Au S, cet édifice, lui aussi, enfonce ses rides sous la marge hercynienne. La preuve en est dans le fait, signalé par Argand (Bibl. 16) que, sur l'alignement montagneux qui va du Touran au Gobi oriental, entre le Tarim et le Baïkal, une région de soulèvement axial coïncide avec le Tien-Chan, l'Alataou dzoungare, le Tarbagataï, les Altaï et le Sayan oriental. Or ces massifs, qui appartiennent à la bordure hercynienne, sont situés précisément au S de l'édifice ouralien, c'est-à-dire sur le prolongement souterrain de ses rides. Celles-ci, selon Argand toujours, s'étendraient au loin vers le S, puisqu'on en retrouverait des apparitions dans les plissements du Kouen-Lun. C'est un exemple typique du phénomène des « tectoniques étagées ».

Frange Angaria.

(Bouclier sibérien, Massif de l'Archipel Nordenskjöld, Massif de l'Anabar, Massif de l'Aldan.)

Edifice iakoutien.

Bordure calédonienne W: les Mts. de Verkhoïansk; bordure calédonienne E: les Mts. Tcherski; entre deux: la zone axiale ouralienne (remplie de sédiments mésozoïques, puis remaniée par les mouvements alpins): chaîne Tasskystabyt, bassins de la Kolyma et de la Kuenga. Après un contour adapté à la forme de l'Angaria, l'édifice pointe directement au N. Vers le S, il doit s'enfoncer sous la chaîne côtière des Stanovoï (Bibl. 12).

Frange Neasiberia.

(Tschuktschen–Masse de Leuchs.)

L'Archipel de la Nouvelle-Sibérie constitue les restes de sa pointe (Bibl. 12).

Entre cette dernière frange et la Laurentia, l'édifice méditerranéen refoulé par l'éperon pacifique de Behring, insinue une boucle convexe au N.

---

[23]) Holtedahl a prouvé que les zones britanniques se relient directement à celles du Spitzberg (Kober, Bibl. 10, 2e éd. p. 238); Schwinner et Bubnoff nient la jonction, si souvent admise, de l'Ecosse et de la Norvège (Bubnoff, Bibl. 11, II, 3, p. 1491). Cela confirme mon interprétation de cet édifice.

Région méditerranéenne.

Un seul édifice triple: la chaîne du premier temps est huronienne (antécambrienne), mais discontinue; la chaîne du second temps est hercynienne (carbonifère); celle du troisième temps est alpine (mésozoïque et tertiaire).

Edifice alpin.

Sa bordure hercynienne N est constituée par les Variscides qui, lors du recul ouralien (au permien) furent partagées en zones E–W, par des déchirures longitudinales (Bibl. 21). Celles-ci demeurèrent ouvertes assez longtemps pour que les sédiments du mésozoïque et même du tertiaire pussent s'y déposer (Bibl. 10). En effet, l'avancée alpine, qui devait refermer ces déchirures en froissant leur contenu, ne le fit que petit à petit et pas partout à la fois. Son action se partagea en une série de phases locales, échelonnées du rhétien à la fin du tertiaire, et eut pour résultat la formation de plis dont l'ensemble constitue le ridement saxonien (saxonische Faltung, saxonische Gebirgsbildung) de STILLE (Bibl. 9).

La bordure hercynienne S se trouve dans les Oranides (Marokkiden de Staub).

La zone axiale est la chaîne alpine proprement dite, dont les plis à sédiments secondaires et tertiaires aussi, se faufilent entre des ruines hercyniennes portant le houiller.

En dehors de son avancée dans la région de Behring, l'édifice se cantonne dans la zone méditerranéenne du Globe et en fait le tour, sans discontinuité.

IV. La dérive des continents.

J'ai prouvé que toutes les chaînes de montagnes peuvent s'expliquer par les oscillations méridiennes des franges continentales et on a pu se convaincre que, enrichie de cette idée, la Théorie des Translations rend compte de toutes les particularités que l'orogenèse présente. Il n'y a donc pas lieu de chercher aux phénomènes des montagnes une explication plus satisfaisante.

L'objet de ce chapitre est tout autre; il se propose de répondre à un doute. On peut, malgré tout, se demander s'il n'y a pas, à côté des oscillations méridiennes, d'autres forces — la contraction étant mise hors de cause — qui seraient elles aussi, capables de produire des ridements.

WEGENER (Bibl. 3) l'a cru. Reprenant et développant une idée émise longtemps avant lui[24]), il a pensé que l'inertie de la lithosphère et d'autres causes encore[25]) empêchent le sial de suivre son support, dans sa rotation diurne, et le forcent à rester en arrière, donnant ainsi l'impression que l'écorce terrestre dérive vers l'ouest.

Cette dérive — la Westwanderung, comme l'appelait WEGENER — a-t-elle lieu réellement, est-elle assez forte pour entraîner les franges continentales, malgré la résistance du sima où elles plongent et des sédiments accumulés entre elles? Autant de questions qu'il faut laisser à la compétence des géophysiciens. Pour nous, géologues, tout se réduit à savoir si cette dérivé, dont nous admettrons l'existence et la force, est de nature à provoquer des ridements.

---

[24]) Voir mon premier travail, p. 89.
[25]) Voir à ce sujet DIVE, Bibl. 15, p. 46.

Système de Wegener.

Ce savant attribuait à la dérive des continents — je dirais la « dérive des franges » — les chaînes méridiennes en général, mais il s'est occupé surtout des Andes. Leur surrection serait la conséquence d'une dérive des vieux continents américains, Canada et Brésil. Cette dérive suppose que l'Amérique, dans son ensemble, a toujours été isolée du Vieux Monde ou qu'elle s'en est séparée, à un moment donné, par l'ouverture de l'Atlantique. WEGENER adopte la seconde hypothèse; mais pour justifier celle-ci, il faut admettre que les deux lèvres de la « fente » ne dérivaient pas avec une égale vitesse.

DIVE cherche à expliquer cela; il dit: « On rendrait compte de l'ouverture de l'Atlantique en admettant que l'Eurasie plonge dans le sima des racines plus profondes que celles de l'Amérique. A cause de la chaîne alpine, des hauts plissements du Caucase et de la gigantesque surrection himalayenne, cette hypothèse n'est pas invraisemblable, surtout si l'on songe qu'en vertu du principe d'isostasie, la grandeur de la partie immergée d'un socle continental peut atteindre neuf fois la hauteur de sa partie émergeant au-dessus du sima ». Et il ajoute: « On comprend, dès lors, facilement que la dérive d'un continent vers l'ouest sera d'autant moins rapide que ce continent sera plus lourdement chargé ».

En elle-même, cette explication serait admissible, les « racines » qu'un bloc enfonce dans son support devant nécessairement l'empêcher de glisser sur lui ou tout au moins entraver ce glissement. Par malheur, ce raisonnement implique une confusion que la géologie ne saurait admettre. On prend le terme d'Eurasie dans son sens géographique, ce qui permet d'incorporer à ce continent les chaînes méditerranéennes et de lui attribuer, à titre de « racines », la plongée de ces chaînes. Or, au point de vue structural, c'est absolument faux. Les plissements dont on parle sont nés dans la Téthys; ils sont formés de sédiments avec remplissage de sima; ils n'ont rien de commun avec les noyaux archéens de l'Eurasie: la Fennoscandie, l'Angaria, etc. On ne peut donc pas invoquer ces plissements pour rendre compte du retard qu'éprouvent ces noyaux[26]).

Les plissements que DIVE invoque appartiennent à la chaîne alpine. Si on voulait considérer ceux, plus grands peut-être, que présenta la chaîne hercynienne, la question resterait au même point, car cette dernière chaîne aussi est née de la Téthys et, par conséquent, n'a au point de vue structural rien de commun avec les franges continentales dont il s'agit précisément d'expliquer la dérive.

*

Je vais essayer de présenter la théorie de la dérive sous une forme un peu différente qui lui permettra de se passer de l'appui inadmissible qu'on lui offre et de s'appliquer, non seulement aux Andes, mais aux chaînes méridiennes en général. On verra si, interprétée de la sorte, la dérive peut être regardée comme une cause d'orogenèse.

Système de l'auteur.

Pour que la dérive vers l'ouest puisse engendrer des chaînes de montagnes, il faut qu'elle trouve des blocs continentaux séparés, cela d'abord pour que

---

[26]) C'est la même confusion dans le passage suivant du même auteur: « Quant à l'Amérique du Nord et au Groenland, les géologues pensent généralement qu'ils n'ont quitté définitivement l'Europe qu'à partir du quaternaire. A cette époque, en effet, les principaux systèmes montagneux de l'Eurasie étaient créés et pouvaient mettre en jeu les forces de dislocation (c'est-à-dire de retard) dont nous avons parlé. » (Bibl. 15, p. 55.)

la mer ait pu se glisser entre eux et y déposer des sédiments, ensuite pour que ces blocs puissent se rapprocher et froisser en chaînes les sédiments interposés.

L'explication donnée pour la séparation des continents étant géologiquement inadmissible, il faut chercher autre chose et, pour cela, recourir au système que j'ai développé: au partage des calottes polaires en franges, sous la double influence des forces polifuges et de la rotondité terrestre.

Cette première condition remplie, on verra les diverses franges dériver à l'ouest, mais en gardant leurs distances, et voici pourquoi. J'ai admis que le frottement basal peut varier à l'intérieur d'une même frange. Cette supposition, faite pour permettre d'interpréter certaines apparences, mais sans motif théorique au fond, m'oblige-t-elle de penser qu'il doit varier, à plus forte raison, d'une frange à une autre? Non. En effet, l'intensité du frottement basal dépend de la structure que présente la surface séparative du sial et du sima, la zone d'« indentation » ou d'engrenage. Nous ne savons rien de précis sur la première mais, je l'ai dit, l'engrenage des deux milieux doit être considéré comme régulier. Il l'était dans les calottes, il l'est demeuré dans les franges issues de leur fissuration. Il faut donc conclure que le frottement basal est le même dans toutes les franges et que, par conséquent, celles-ci n'eurent aucun motif pour ne pas garder leurs distances mutuelles. Mais, effectuée dans ces conditions, la dérive n'eût produit aucune orogenèse.

Pour que la dérive fût un facteur d'orogenèse, il fallait que les franges, obligées de se serrer les unes contre les autres, froissassent en chaînes de montagnes les sédiments interposés. Et, pour que les franges fussent obligées de se presser les unes contre les autres, il fallait que la première vers l'ouest eût été arrêtée dans sa dérive.

Or, comme obstacle susceptible de paralyser la dérive des franges, nous ne voyons que le bloc Pacifique. Cela étant, c'était la frange située immédiatement à l'est de ce bloc, la Laurentia, qui dut être arrêtée la première. Buttant contre l'obstacle, elle plissa les sédiments déposés entre eux, ce qui forma la chaîne des Andes. Puis les autres franges vinrent à leur tour, jouant chacune un rôle identique.

Or, abstraction faite de quelques noyaux, vestiges d'un mouvement très ancien, les Andes que WEGENER avait en vue sont relativement jeunes. Leurs paroxysmes eurent lieu entre le jurassique et le crétacé, entre le crétacé et le tertiaire; leurs derniers mouvements sont pliocènes. Par contre, nous savons que toutes les autres chaînes latérales du continent nord sont des édifices à deux temps, constitués par une chaîne calédonienne (silur. supér.) qui s'est ouverte en deux bordures entre lesquelles nacquit une ride ouralienne (c. à d. d'âge permien).

En outre, ce n'est pas dans sa dérive que la Laurentia fut arrêtée, c'est dans son avancée. En effet, qu'on se reporte à ce que j'ai dit de l'édifice hercyno-alpin, on comprendra que ce n'est pas à côté d'elle mais devant elle que cette frange trouva l'obstacle Pacifique. La résistance qu'il lui opposa n'était pas dirigée S–N, comme celle que rencontrent les autres avancées, elle était dirigée SW–NE, de sorte que sa composante W–E s'opposait nettement à la dérive et suffisait pour arrêter la frange.

En résumé, la chaîne des Andes, qui devrait être la plus ancienne, est au contraire la plus jeune. Cet objet que WEGENER avait surtout à cœur d'expliquer ne peut pas l'être par sa théorie.

Objections.

Celle que j'ai faite à DIVE se rapporte à la façon dont WEGENER concevait la dérive, mais il en est d'autres qui atteignent la dérive en elle-même, dans mon interprétation aussi bien que dans celle de WEGENER.

J'en trouve une première dans les réouvertures qui furent nécessaires pour constituer les édifices orogéniques N–S[27]). On conçoit fort bien que la dérive à l'ouest, rapprochant deux franges selon le processus indiqué, ait déterminé le plissement des couches interposées, ce qui engendra la chaîne du premier temps. Par contre, ce qui est incompréhensible, c'est que la continuation du même mouvement, au lieu de resserrer davantage les plis, les aît écartés et fait naître, entre eux, des déchirures que la mer a envahies. Il faut que cela ait eu lieu pour que fussent accumulés les matériaux qui devaient former la chaîne du second temps, mais il saute aux yeux que, pour obtenir ce résultat, la dérive dut changer de sens.

Plus tard, il fallut qu'elle revînt à son premier sens, puisqu'elle dut rapprocher de nouveau les franges, afin de plisser la chaîne du second temps.

Est-il admissible que, la Terre tournant toujours dans le même sens, son écorce s'en soit décollée tantôt vers l'Ouest, tantôt vers l'Est? Ou bien faut-il croire que le sens de la rotation a varié, que la Terre a été, pour le Soleil, un satellite tantôt direct tantôt rétrograde?

La lithosphère a pu se livrer à ces mouvements alternatifs. La preuve en est l'existence des systèmes à deux temps, mais ce n'est pas la dérive qui les lui a imprimés. En outre, il faut que ces mouvements puissent continuer, sinon les chaînes actuelles ne pourront pas en engendrer de nouvelles. La dérive n'explique pas l'orogenèse perpétuelle que doit provoquer la rotation continue de la Terre.

Un phénomène en rapport étroit avec la dérive, ce sont les guirlandes insulaires de l'Asie et de l'Australie orientales. Leur étude montre clairement le rôle qu'on peut concéder à la dérive et celui qu'on doit lui refuser.

STAUB (Bibl. 5, p. 144 à 146) montre que la dérive crée un vide toujours plus grand entre l'Asie et l'Australie d'une part, le bloc Pacifique de l'autre. C'est très juste et la première remarque qu'il faut faire, c'est que cet éloignement progressif des refouloirs (les franges Angaria et Australie) et du butoir (le Pacifique) a dû paralyser dans une certaine mesure l'action des fronts, lorsqu'ils plissaient entre eux et le Pacifique les chaînes terminales de l'édifice hercyno-alpin. La dérive, loin d'être ici un facteur d'orogenèse, a donc été pour elle une entrave. Pour que ces chaînes aient pu naître quand-même, il faut bien que les avancées opposées des deux franges l'aient emporté et de beaucoup sur leur dérive. STAUB en convient et en trouve la preuve dans le tracé des arcs montagneux, visiblement gêné par la résistance de l'obstacle.

Quant aux guirlandes insulaires, il les interprète comme des chaînes de plissement poussées vers le Pacifique par une composante un peu oblique des avancées en question et il trouve que l'éloignement relatif de l'obstacle fournissait aux deux refouloirs des « occasions » sans cesse renouvelées d'élever

[27]) Pour l'édifice E–W, la dérive n'est pas en cause. Ce sont les reculs qui pourvoient à ses réouvertures.

devant eux de nouvelles cordillières. Il en fournissait l'occasion — d'accord —, mais il en enlevait la possibilité, en supprimant de plus en plus la contrepression nécessaire [28]).

Cette contrepression, c'est-à-dire la résistance du Pacifique, STAUB lui-même y recourt pour expliquer certaines particularités tectoniques de l'Asie orientale, et de son exposé il ressort que ces particularités sont dues à l'avancée du continent contre le Pacifique, c'est-à-dire à l'inverse de sa dérive [29]).

V. Questions générales.

Interprétation des chaînes méridiennes.

ELIE DE BEAUMONT connaissait non seulement des chaînes dirigées en gros E–W, mais aussi d'autres dont le parcours est plus ou moins exactement N–S. Il avait même remarqué que les « systèmes de montagnes » immédiatement consécutifs dans le temps manifestent une tendance à suivre des directions perpendiculaires. Il était dans le vrai. C'est le résultat auquel nous a conduit notre étude de la formation des chaînes. Mais sa découverte fut oubliée: on se mit à regarder les chaînes N–S comme les jambages de simples inflexions qui interromperaient le parcours quasiment rectiligne des chaînes E–W. En somme, on négligea les plissements méridiens, on ne s'occupa plus que des latitudinaux et c'est ce qui permit à MARCEL BERTRAND d'édifier son système du déferlement et de l'accolement des chaînes.

Or les chaînes N–S ne résultent pas de l'inflexion des chaînes E–W. Cette opinion, insoutenable en théorie, est contredite par les faits. En théorie, les strates, assez longues pour former des plis rectilignes (ou à peu près), ne le seraient pas assez pour dessiner des courbes supplémentaires. Le supplément de longueur qui leur serait nécessaire peut être trouvé dans la théorie de la contraction. Le retrait suivant les méridiens déterminerait des plis E–W et la contraction suivant les parallèles forcerait ces plis à raccourcir leur longueur totale, en dessinant des inflexions vers le N ou vers le S. Mais si, pour les motifs indiqués, on rejette l'hypothèse de la contraction, cette justification disparaît.

Dans la théorie des translations, il est impossible d'admettre que le refoulement N–S, déterminant des plis E–W se transforme, par places, en un refoulement E–W, capable d'engendrer des plis N–S. La seule cause qui pourrait forcer un groupe de plis E–W à s'infléchir localement serait la présence d'un obstacle que ces plis devraient contourner. Mais pour former ce contour, il faudrait aux plis un supplément de longueur. Pour le fournir, les strates devraient glisser, de part et d'autre, vers l'obstacle, comme le montre une expérience fort simple, l'obstacle étant représenté par une pièce de bois taillée en triangle et les couches à plisser par une étoffe dans laquelle l'obstacle pénètre, à la faveur d'une entaille pratiquée à cet effet. Quand on exerce sur l'étoffe un refoulement hori-

---

[28]) En somme, STAUB est forcé de conclure que la dérive peut modifier et, selon la position des objets, renforcer ou atténuer l'action des avancées continentales, mais que l'influence décisive reste à ces dernières.

Pour moi, le résultat final est que, vu les objections qu'elle soulève et malgré l'amendement que je lui ai fait subir, la théorie de la dérive n'explique pas le phénomène orogénique.

[29]) WEGENER pensait que les guirlandes insulaires sont des fragments de chaînes hercyno-alpines lachées derrière lui par l'édifice méditerranéen fuyant vers l'ouest. ARGAND admit ce processus et lui donna le nom très expressif de jeu de poupe (Bibl. 16). Je crois que le mieux est de s'en tenir à cette manière de voir.

zontal dirigé parallèlement à l'axe de l'obstacle, on voit les plis qui se forment perpendiculairement à cette poussée s'infléchir localement pour se mouler sur les faces latérales de l'obstacle. Mais, en même temps, on voit les bords latéraux de l'étoffe se rapprocher, ce qui prouve qu'elle afflue pour apporter le supplément de longueur nécessaire. Or cet afflux, impliquant une réduction de la projection horizontale, n'est possible que si le support se contracte, puisqu'il n'y a pas de refoulement E–W: On est ramené à la contraction.

De fait, ce que nous savons des édifices orogéniques suffit pour comprendre qu'ils ne peuvent, ni isolément, ni deux à deux, jouer le rôle qu'on voulait leur attribuer:

Si on considère l'un de ces édifices, on voit, en effet, que ses deux bordures courent parallèlement; elles ne convergent pas et aucun élément courbe ne les réunit par derrière la zone axiale, laquelle en outre remplit tout l'espace entre les bordures. L'édifice n'a donc rien d'un arc ou d'une inflexion.

Les édifices étant pris deux à deux, on pourrait dire que la bordure E de l'un est réunie à la bordure W du suivant par la chaîne terminale de la frange interposée, ce qui donne l'apparence d'un contour greffé sur une corde E–W qui pourrait être fournie par les chaînes méditerranéennes. Mais deux faits sont là pour prouver que ce n'est qu'une apparence. D'abord, une travée — même déviée — doit être du même âge que le reste de l'édifice auquel elle appartient. Or nous savons que, provenant de reculs, la chaîne terminale et les latérales qui forment bordures ne sont pas contemporaines des frontales qui représenteraient la corde, mais proviennent d'avancées. — En second lieu, à chaque inflexion du parcours E–W doit correspondre un hiatus sur son alignement. Or nous savons également que l'édifice méditerranéen se poursuit, sans aucune interruption, tout le long du bord frontal des franges. Cela surtout prouve que les parcours N–S ne sont pas des inflexions du parcours E–W. Et il y a autre chose encore: Nous savons que les plis N–S, calédoniens et ouraliens s'enfoncent sous la marge chevauchante de la bordure hercynienne, E–W. Les plis N–S ne peuvent donc pas être le prolongement (dévié) des E–W, puisqu'ils ne se trouvent pas au même étage. Les chaînes méridiennes n'étaient donc pas expliquées. Maintenant, elles le sont, par mon système qui les attribue aux reculs des franges continentales.

Le rapsodisme.

Ce terme, introduit dans la géologie par SUESS, désigne cette particularité qu'a le phénomène orogénique de se décomposer en phases d'activité, c'est-à-dire de plissement, que séparent des époques de rémission, c'est-à-dire de repos presque absolu. Le terme est de SUESS, mais l'observation a été faite déjà par ELIE DE BEAUMONT.

On a cherché la cause de ces alternances et presque immédiatement on s'est demandé si vraiement l'orogenèse est épisodique ou si, les rémissions apparentes masquant une activité existante mais qui nous échappe, il ne faut pas regarder le phénomène comme continu en réalité. Je crois que, pour répondre à cette question difficile — à ces deux questions plutôt — il faut partager le problème.

Considéré dans ses grandes lignes, le rapsodisme du phénomène orogénique se révèle immédiatement une conséquence de l'oscillation méridienne des deux continents, de ce que j'appelle les deux couronnes de franges.

En effet, dans la région méditerranéenne, les avancées resserrent la Téthys et en plissent le fond: les eaux en sont expulsées. Dans ce processus, les franges continentales se déplacent simplement, tandis que l'océan, lui, perd du terrain de sorte que, à son point de vue et pour la région considérée, une période d'avancée doit être considérée comme une phase négative; au point de vue de l'orogenèse, c'est une phase active.

Dans la même région toujours, les reculs desserrent la Téthys et fendent en long les chaînes que l'acte précédent y avait formées; les eaux peuvent envahir ces déchirures de l'écorce. Ce sont des phases positives pour l'océan, des phases passives pour l'orogenèse.

Dans ce que j'appelle les régions circumpolaires, les choses se passent à l'inverse. Ce sont les reculs qui, resserrant les détroits, en plissant le fond, en chassant les eaux, deviennent les phases actives et négatives à la fois. Ce sont les avancées qui, rouvrant les détroits, fissurant les chaînes qui s'y étaient formées, accueillant les eaux tout à l'heure bannies, deviennent les phases passives en même temps que positives.

Cette réciprocité peut se représenter par le schéma que voici:

	A. huron.	R. caléd.	A. hercyn.	R. oural.	A. alpin.
Rég. circumpol. N	+	—	+	—	+
Rég. méditerr. .	—	+	—	+	—
Rég. circumpol. S	+	—	+	—	+

et, considérant les deux régions cirumpolaires comme ne formant qu'un seul groupe, on peut dire: Les rapsodismes des deux groupes de régions forment quinconce.

Voilà pour l'océan. Pour les montagnes, on trouve une réciprocité analogue qu'on peur formuler ainsi:

La formation des chaînes méditerranéennes s'accompagne du morcellement des chaînes méridiennes.

La formation des chaînes méridiennes s'accompagne du morcellement des chaînes méditerranéennes.

C'est cette réciprocité des effets entre deux groupes de régions qu'on a prise pour du rapsodisme sévissant dans chacun d'eux.

Mise en rapport de causalité avec l'oscillation méridienne des continents — seule interprétation vraie de leurs translations — l'orogenèse se montre localisée, à chacune de ses crises, dans l'un des deux groupes de régions que nous venons de distinguer. Il convient donc de modifier, dans ce sens la loi chronologique de l'orogenèse (das orogene Zeitgesetz) promulguée par STILLE (Bibl. 9). On pourra bien dire, avec lui, qu'une même crise orogénique a touché « des contrées très diverses », car les Appalaches, la Norvège, l'Oural, par exemple, sont des contrées très différentes bien qu'appartenant toutes à la même région. Par contre, on aurait tort d'ajouter qu'une même crise peut affecter « les points les plus divers de la surface terrestre », car cette crise est nécessairement limitée à l'un de nos groupes de régions et à lui seul. La loi chronologique ne peut donc devenir une loi de simultanéité (Gleichzeitigkeitsgesetz) qu'à l'intérieur de l'un de nos groupes régionaux.

*

Un point encore, qui se rapporte aux oscillations marines, mais que je n'ai pas pu toucher en parlant d'elles, parce que je n'avais pas encore exposé la filiation des chaînes: Les transgressions partent, originellement, de la Tethys. C'est lors des avancées, quand elle est rétrécie par le progrès des franges, qu'elle se voit obligée d'expulser son trop-plein. Alors s'offre à elle, pour la soulager, un ensemble de récipients que j'appellerai globalement les exutoires. Ce sont les détroits latéraux, les détroits dorsaux et les mers polaires, que l'avancée vient précisément d'ouvrir ou de rouvrir, en écartant les franges tout en les éloignant de leur pôle et en fissurant leurs arrières. Les détroits latéraux accueillent une partie des eaux en excès, en logent ce qu'ils peuvent dans leur concavité et transmettent le reste aux détroits dorsaux et aux mers polaires, car tous ces vases sont communiquants. Ainsi la Tethys est soulagée juste au moment où elle en a besoin.

Tel fut le processus mais l'aide qu'il comporte ne fut que partielle; elle laissa toujours un excès de liquide que la Tethys dut épancher sur la marge frontale des blocs continentaux. Cette aide, en outre, n'eut pas toujours la même efficacité, elle dépendait de la réceptivité des exutoires et il est facile d'imaginer le rythme selon lequel cette dernière à varié. Lors de la première avancée, la huronienne, les exutoires qu'elle venait d'ouvrir purent fonctionner en plein. Il n'en fut déjà plus de même, à la seconde avancée, la hercynienne, parce que les détroits latéraux et sans doute aussi quelques dorsaux étaient partiellement obstrués par les ruines de la chaîne de premier temps que le recul calédonien y avait édifiée et que cette avancée n'avait pu que morceler. A la troisième avancée enfin, l'alpine, les exutoires, entièrement remplis par la chaîne du second temps qu'ils devaient au recul ouralien, demeurèrent sans efficacité et il en fut de même dans la suite. Les détroits mués en chaînes de montagnes faisaient dès lors partie du domaine continental sur lequel les transgressions qui suivirent durent s'épancher sans dérivatif.

Nous venons de voir que les avancées tendaient à remplir les exutoires. Lorsque ceux-ci recevaient plus d'eau qu'ils n'en pouvaient loger, ils débordaient et le même effet se produisait lors des reculs qui, toujours, les resserraient. Ces deux circonstances font comprendre que, à côté des transgressions émanant de la Tethys, il s'en soit produit d'autres, provenant des canaux méridiens ou des mers polaires.

Il y a donc lieu de distinguer trois types de transgressions et, comme les conditions biologiques étaient forcément différentes dans les trois milieux émetteurs, on reconnaîtra l'origine d'une transgression aux caractères paléontologiques des sédiments qu'elle a déposés.

*

Si, quittant le domaine des généralités, on envisage la minutie des détails, on se trouve en présence de faits qui ne sont plus en rapport avec l'oscillation méridienne des franges continentales et que par conséquent nous n'avons pas à examiner.

Tenons nous en donc au rapsodisme dans ses grandes lignes, ou, ce qui revient au même, à l'oscillation méridienne des franges et cherchons à en découvrir la cause première.

Pour cela, revenons à l'expérience de physique qui nous a révélé le mode de formation des calottes polaires. Appliquant au corps terrestre le processus réalisé au laboratoire, nous avons conclu que, aux temps les plus anciens, le

sima, refoulant la pellicule sialique vers les pôles, s'était rassemblé en un bourrelet équatorial.

Que ce bourrelet vienne à s'aplatir, le sial pouvant remonter sa pente amoindrie, sera capable d'obéir à la force polifuge: les franges exécuteront une avancée. Que, au contraire, le bourrelet se gonfle — ce qui le fera s'élargir — le sial sera repoussé à nouveau et, glissant sur les flancs du bourrelet, se retirera: nous aurons une période de recul.

Les oscillations méridiennes ou le rapsodisme viennent donc des variations du bourrelet, mais d'où proviennent ces variations elles-mêmes?

Ce qui a poussé le sima à crever son enveloppe pour se tuméfier le long de l'équateur, c'est la force axifuge développée par la rotation terrestre, ou bien c'est l'attraction d'un corps céleste qui se rapprochait de nous.

Dans la première hypothèse, il a suffi que notre vitesse de rotation diminuât, pendant une phase de l'histoire géologique, pour que le bourrelet s'aplatît et que se produisît une avancée des franges. Or, comme action freinante, on peut songer à une recrudescence d'attraction solaire ou à l'attraction de la lune, cette dernière spécialement est intéressante parce que, selon HÖRBIGER (Bibl. 20), nous aurions déjà eu plusieurs lunes. Rien n'empêcherait donc d'attribuer les avancées qui produisirent à l'influence de ces corps étrangers.

Dans la seconde hypothèse, ce sont les mêmes astres qui entrent en scène, mais avec un rôle diamétralement opposé. Au lieu que leur attraction, freinant notre rotation, détermine l'aplatissement du bourrelet et rende possible des avancées, cette attraction fait gonfler et s'élargir le bourrelet, ce qui, chaque fois, détermine un recul.

Pour que l'action de ces astres engendre un rapsodisme, il faut qu'elle soit intermittente. Il faut que chacun de ces corps célestes apparaisse, agisse et disparaisse, or c'est-là précisément ce qui caractérise les « lunes » dans la théorie de HÖRBIGER. C'est donc à elles que nous recourerons de préférence[30]).

---

[30]) La théorie de H. HÖRBIGER, ingénieur viennois, étant peu connue en pays de langue française, j'en résume brièvement les points qui nous intéressent:

Ce savant part de l'idée que la résistance de l'éther empêche les astres de conserver des orbites plus ou moins circulaires et les force à convertir leurs trajectoires en spirales. Ce serait le cas pour les planètes et les météores, en particulier pour les corps dont nous avons fait, faisons et ferons nos satellites. Ces « lunes », en se rapprochant de nous, exercent sur notre Globe une attraction croissante. La Lune actuelle circule dans un plan qui ne s'écarte de l'équateur terrestre que de 18°, on suppose que ses prédécesseurs et ses successeurs ne s'en écarteront guère davantage. C'est donc vers la zône tropicale que durent et devront être attirées, à chaque nouvelle « lune » et dans l'ordre de leur mobilité, notre athmosphère, ce qui, privant le reste du Globe de sa protection, y occasionne des périodes glaciaires; notre hydrosphère, ce qui cause des « déluges tropicaux », comme en racontent les traditions de nombreux peuples vivant dans ces contrées; finalement, notre lithosphère, ce qui pourrait avoir sa part dans l'orogenèse, ou plutôt, à cause de sa densité supérieure, la zône simique du Globe, d'où le bourrelet équatorial qui nous occupe.

Toutefois, la masse de la Terre étant beaucoup plus considérable que celle des corps qu'elle a attirés, elle finit par les désagréger. Leur influence disparaît avec ses conséquences, jusqu'à ce qu'un nouveau satellite vienne reprendre l'œuvre interrompue. Cette œuvre est vraiment rapsodique.

Bibliographie.

1. R. DE GIRARD: La formation des chaînes de montagnes. Bull. Soc. fribourgeoise Sc. nat., Vol. XXXIII, p. 84, 1937.
2. TH. ARLDT: Handbuch der Palaeogeographie. 1919—1922.
3. A. WEGENER: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig, 3. Aufl., 1922.
4. ARN. HEIM: Energy sources of the earth's crustal movements. Intern. Geol. Congr., Report XVI Session, U.S.A. 1933, Vol. II, p. 909, 1936.
5. R. STAUB: Der Bewegungsmechanismus der Erde und seine Ursachen. Berlin 1928.
6. B. RUEDEMANN: Precambrian paleogeography. Proceed. Nat. Acad. Sc., vol. V, 1919.
7. R. DE GIRARD: Cours de Géologie synthétique, 2e éd. Neuchâtel, 1938.
8. R. DE GIRARD: Recherches de tectonique expérimentale — Théorie de l'extinction des plis. Fribourg et Paris 1908.
9. H. STILLE: Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin 1924.
10. L. KOBER: Der Bau der Erde. 2. Aufl. Berlin 1928.
11. S. VON BUBNOFF: Geologie von Europa. Berlin, Bd. I, 1926; Bd. II, 1, 1930; Bd. II, 3, 1936.
12. K. LEUCHS: Geologie von Asien, Bd. I, 1. Berlin 1935.
13. L. KOCH: Geologie von Grönland. Berlin 1935.
14. H. FREBOLD: Geologie von Spitzbergen, etc. Berlin 1935.
15. P. DIVE: La dérive des continents et les mouvements intratelluriques. Revue gén. Sc. pures et appliquées, XLIV, N° 20, p. 586, 1933.
16. E. ARGAND: La tectonique de l'Asie. Congrès géol. international, C. R. XIIIme session, Belgique 1922, Fasc. 1, 1924.
17. E. HAUG: Traité de géologie. Paris 1908—1911.
18. R. DE GIRARD: La genèse chaldéenne et la géologie moderne. Revue thomiste, Fribourg 1893, p. 257.
19. E. ARGAND: Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes. Actes Soc. helv. des Sc. nat., 101e session, Neuchâtel 1920 (1921).
20. H. HÖRBIGER (Hörbiger-Fauth): Die Welteislehre.
    H. W. BEHM: Welteis und Weltentwicklung, Leipzig, 1926—1931.
21. H. BECKER: Mittel- und Westeuropa. Regionale Geologie der Erde, Bd. 2, III, Leipzig 1938.

Manuscrit reçu le 16 décembre 1937,
complété le 23 mai 1938.