

MÉCANIQUE TERRESTRE

NOTES SUR L'UNITÉ

DES

FORCES EN GÉOLOGIE

Insérées dans les comptes-rendus de l'Académie
des Sciences.

PAR

M. V.-H. HERMITE.



NANCY

TYPOGRAPHIE ET LITHOGRAPHIE DE N. COLLIN

21, Rue de Guise, 21.

1878

MÉCANIQUE TERRESTRE

NOTES SUR L'UNITÉ

DES

FORCES EN GÉOLOGIE

Insérées dans les comptes-rendus de l'Académie
des Sciences.

1^{re} note. — 5 mars 1877. — Tome LXXXIX.

« Le développement progressif, et sans hiatus, d'une faune et d'une flore terrestre, a fait admettre l'existence de terres constamment émergées depuis une époque géologique très-reculée. Cette persistance de la terre ferme, malgré de nombreuses révolutions du globe, conduit, à son tour, à rechercher s'il n'existe pas une relation entre les phénomènes, regardés comme indépendants, qui contribuent à l'équilibre des continents, c'est-à-dire entre les forces qui les nivellent et celles qui les exhausent. Cette recherche paraîtra plus natu-

relle encore, si l'on considère que le volume des eaux est environ 37 fois plus grand que celui des terres émergées, et que le premier effet d'un surgissement de montagne du sein des mers est de produire une dépression correspondante, accompagnée d'un énorme déplacement d'eau.

» Je me propose, dans cette Note, de donner les raisons qui me font regarder la pesanteur comme pouvant servir de commune mesure aux forces qui maintiennent l'équilibre des continents.

» Une des propositions les mieux démontrées, en Géologie, est celle de l'enfoncement graduel d'un bassin au fur et à mesure du dépôt des couches sédimentaires. Ce n'est pas seulement, dit M. Elie de Beaumont, pour expliquer la formation du terrain jurassique qu'on est conduit à l'hypothèse d'un enfoncement graduel ; on y est conduit par l'étude d'une foule d'autres bassins, appartenant aux époques géologiques les plus diverses, notamment par l'étude des bassins houillers et par celle du bassin tertiaire parisien (*Explication*, p. 612). J'admettrai, dans ce qui suit, que l'enfoncement d'un bassin est déterminé par l'augmentation du poids des strates.

» La première conséquence que l'on peut tirer de l'enfoncement d'un bassin est celle d'un bombement correspondant à la périphérie, se produisant sous l'action de forces verticales qui naissent de la dépression.

À ces forces sont directement opposées celles qui proviennent de la pesanteur des strates soulevées et de la rigidité de leur ensemble. Il doit aussi résulter, de l'enfoncement d'un bassin, une augmentation de sa surface, et par suite un état de tension favorable à la production de fractures périphériques. Mais, en raison de la faible courbure des strates, nous ne considérerons l'extension de la surface que comme une cause s'ajoutant à une autre dont la grandeur ne peut être méconnue et qu'il importe d'analyser, parce qu'on peut y trouver l'origine, non-seulement des fractures périphériques, mais aussi celle des autres phénomènes qui accidentent le pourtour d'un bassin.

» Si l'on mène un plan vertical par le centre d'un bassin géogénique, la surface ondulée du terrain y sera représentée par une courbe dont les formes générales rappellent celles de la trochoïde ; les strates successives y dessineront des courbes de même nature, mais dont les courbures seront de moins en moins prononcées. En examinant la courbe de la surface du bassin, on reconnaît que l'action détritique doit s'y exercer avec une intensité bien différente suivant les parties qu'on y considère. Ainsi, cette action est presque nulle au sommet du bombement, sur une certaine longueur, de part et d'autre du point de contact de la tangente horizontale, à cause de la faiblesse des pentes. On peut même admettre que l'action détritique y est nulle pendant

toute la période du mouvement d'exhaussement où le sommet du bombement a dépassé la limite des neiges perpétuelles.

» Sur les flancs de la courbe, au contraire, l'érosion acquiert toute son intensité et y détermine une ablation dont l'importance ne peut être contestée, puisqu'elle fournit, à elle seule, presque tous les éléments de la sédimentation. La forme de cette ablation est bien connue : c'est la ligne parabolique concave vers le ciel que représente le profil en long des cours d'eau. Il résulte de là un ordre déterminé pour l'affleurement des strates ; les plus anciennes doivent affleurer à la périphérie des bassins, ainsi qu'on le remarque en effet. Cette dénudation des flancs du bombement va en augmentant, jusqu'à ce que le poids des strates et la rigidité de leur ensemble soient assez diminués, sur la zone des flancs, pour que cette zone cède à l'action des forces soulevantes et détermine des fractures périphériques. A partir de la production de ces fractures, un des facteurs de la résistance à l'exhaussement étant beaucoup diminué, le mouvement s'accélère, et la zone intacte du plateau, pesant de tout son poids, s'affaisse et augmente encore le mouvement en sens inverse de la zone des flancs. Cet affaissement n'a rien qui doive surprendre. « Les » *creeps* dans les houillères démontrent que l'action de » la pesanteur commence à se faire sentir aussitôt qu'une » minime quantité de matière se trouve enlevée, même

» à une grande profondeur. Le toit de la mine s'affaisse,
» ou son plancher s'élève, et les couches contournées
» affectent souvent une courbure, un plissement, aussi
» réguliers que ceux qu'on observe sur une plus grande
» échelle dans les chaînes de montagnes. » (LYELL,
Principes, p. 175.)

» Les mouvements si considérables, dont je viens d'indiquer sommairement un des modes de production, ne modifient cependant pas beaucoup les conditions générales d'équilibre d'un bassin. Le poids du bombement n'a pas varié : il est seulement réparti différemment. On peut même concevoir, en vertu du principe de dynamique de la simultanéité des mouvements, que l'exhaussement général du bombement ou de la périphérie d'un bassin peut accompagner ces mouvements secondaires et se poursuivre après leur production.

» L'exemple des creeps, que nous venons de citer, autorise à regarder le phénomène de l'affaissement de la zone des plateaux comme suffisant pour expliquer les accidents stratigraphiques des montagnes, ainsi que les pressions latérales.

» On peut aussi envisager le même phénomène sous un autre point de vue, et y chercher l'origine des foyers volcaniques, dont l'alignement a une connexion évidente avec la direction des montagnes. Le principe de la transformation de la force en chaleur donne lieu de se demander si l'extinction du mouvement de la masse

énorme des plateaux, contre les strates sous-jacentes, ne peut développer des foyers de chaleur capables d'engendrer les phénomènes volcaniques.

» Dans une prochaine Communication, je tâcherai de démontrer que ces vues théoriques ont leur traduction sur le terrain, dans les vastes et singulières dépressions situées au milieu des montagnes. »

2^e Note. — 12 mars. 1877. — Tome LXXXIV.

« Parmi les vastes dépressions situées au milieu des montagnes, celle de la vallée du Rhin est une des mieux conservées et peut leur servir de type. Élie de Beaumont dit, en terminant sa magistrale description des montagnes des Vosges :

» L'imagination se représentait aisément cette plaine remplacée par des montagnes aussi élevées que les Vosges et la Forêt-Noire entre lesquelles elle s'étend, formant de ces deux groupes une seule proéminence légèrement bombée, dont la voûte extrêmement surbaissée s'inclinait légèrement d'un côté vers la Lorraine et de l'autre vers le Wurtemberg. Il semblait qu'il ne manquait que la clef de cette voûte, qui se serait un jour abîmée pour donner naissance à la plaine du Rhin, flanquée de part et d'autre par ses culées restées en place, de manière à former deux escarpements ruineux

en regard l'un de l'autre. C'est ce qu'exprime le diagramme ci-dessous, qui, en figurant le terrain bombé, fissuré, puis écroulé, me paraît indiquer l'origine des failles qui forment le caractère essentiel des montagnes du système du Rhin. »

» Il ne manque à ce diagramme, pour qu'il traduise les principales données de notre essai théorique, que d'y faire figurer la dénudation des pentes inclinées vers la Lorraine et le Wurtemberg.

» De son côté, Léopold de Buch avait déjà assigné un mode semblable de formation à la grande vallée encaissée dans des roches trachytiques qui traverse l'Islande du nord-est au sud-ouest.

» Toutes les dépressions n'ont pas cette symétrie dans leur forme. L'orientation et d'autres circonstances doivent faire naître de grandes différences dans l'activité détritique d'un versant à l'autre. Ainsi, la plaine helvétique qui est voisine de celle du Rhin, mais dont l'orientation est différente, n'offre pas la même symétrie.

» On peut concevoir, par cet exemple, que l'unité dans la cause n'empêche pas une grande variété dans les effets, sous le double rapport des formes et des actions dynamiques.

» Le principal caractère des dépressions est de présenter un volume comparable à celui des aspérités montagneuses correspondantes. Il résulte de là qu'il y a un certain rapport de grandeur entre la cause supposée et l'effet.

« Nous ferons remarquer aussi que les caractères minéralogiques et paléontologiques des strates des grandes vallées d'effondrement sont identiques à ceux de la zone des flancs. Si les premières strates ne provenaient pas de la zone des plateaux affaissés, il faudrait admettre que toutes les conditions de la sédimentation, tant organique que chimique ou arénacée, ont été les mêmes dans des fjords longs de plusieurs centaines de kilomètres que dans une vaste mer ouverte.

» L'étude de cette question offrirait un grand intérêt ; mais elle exigerait un assez grand développement. Il me semble préférable, pour attirer l'attention des géologues sur notre essai théorique, de mentionner les ressources qu'il peut leur offrir pour lever quelques-unes des principales difficultés que présente encore la période glaciaire.

» Les explications de cette période énigmatique doivent satisfaire à deux conditions qui paraissent contradictoires.

» D'une part, l'ancienne extension des glaciers, le grand développement du terrain erratique, l'altitude de ce terrain sur les montagnes et les collines élevées qui leur succèdent semblent exiger l'intervention d'une cause générale qui aurait produit un abaissement de température embrassant de vastes étendues. Mais, d'autre part, on sait que, « si ce froid a donné lieu à des perturbations locales relativement à la distribution des espèces, » il n'a pas contribué pour beaucoup à leur anéantisse-

» ment : nous pouvons conclure de notre examen des
» couches tertiaires et récentes, qui constituent une série
» plus complète et moins interrompue que les roches de
» date plus ancienne, que l'extinction et la création des
» espèces ont été et sont encore le résultat d'un chan-
» gement lent et graduel. » (LYELL, *Principes*, 412.)

» Ces deux conditions opposées peuvent se concilier.

» Si l'on admet, d'après notre théorie, que les vallées longitudinales d'effondrement sont les *témoins* en creux de l'ancienne forme des bombements, l'étendue de ces dépressions donnera une idée exacte de la grandeur des surfaces couvertes de neige alimentant les anciens glaciers. Cette étendue est bien suffisante pour expliquer leur extension primitive, sans recourir à l'hypothèse d'un refroidissement général.

» Quant à l'altitude si anormale du terrain erratique dans les montagnes et sur les gradins périphériques qui forment comme une série d'enceintes dont les pentes douces sont dirigées vers le centre du bassin, elle s'explique par les mouvements du sol que nous avons sommairement indiqués dans notre première Communication. Il résulte de ces mouvements que le terrain erratique a été relevé de sa position originelle, en même temps que les gradins périphériques et les aspérités montagneuses.

» Remarquons aussi que la disparition de la période glaciaire a pu avoir lieu successivement et correspondre à l'affaissement successif de la zone des plateaux qui est

fonction de l'activité détritique de la zone des flancs.

» Dans une troisième Note, si l'Académie me le permet, j'étudierai le degré de certitude des preuves de la théorie géogénique actuelle. J'indiquerai que notre essai théorique ne correspond qu'à un cas particulier des mouvements du sol et qu'on peut présumer qu'une théorie plus générale expliquera les grands mouvements continentaux, ainsi que le relief et la configuration des continents actuels. »

3^e Note. — 11 février 1878. — Tome LXXXVI.

« La notion de l'enfoncement des bassins par suite du dépôt des couches sédimentaires a été mise en pleine lumière par Elie de Beaumont (1), qui, la considérant comme un moyen d'explication générale pour la Géologie, en a fait une application aux divers bombements du grand bassin parisien.

» Nous avons suivi la voie ouverte par l'illustre géologue, en nous appuyant sur le phénomène de la dénudation, qui est la contre-partie de celui de la sédimentation. Mais l'application que nous en avons faite au cas particulier d'un bombement émergé (2) a été peut-être exposée trop sommairement pour appeler l'attention

(1) *Explication de la carte géologique de la France*, p. 612.

(2) *Comptes rendus* des 5 et 11 mars 1877.

des géologues sur des questions presque délaissées.

» Nous nous proposons maintenant de dégager le principe qui nous a servi de base et d'en faire une application générale.

» Nous rappellerons d'abord que la Géologie contemporaine offre déjà un exemple d'explication, par les *causes actuelles*, d'un phénomène qui semblait devoir rester étroitement lié à l'hypothèse de la fluidité ignée. Sir John Herschel a démontré que l'aplatissement des pôles pourrait résulter de la dénudation aqueuse remaniant les terres polaires sous l'influence de la rotation du globe.

» La dépression des bassins est un fait démontré par l'observation des corps organisés renfermés dans leur sein, et les bombements qui en résultent en sont une conséquence géométrique.

» Dans ce changement de forme des bassins, les strates se plient d'abord, puis se fissurent et se fracturent sous la pression exercée par les couches elles-mêmes, c'est-à-dire par leur poids.

» On peut concevoir ces déformations sans hypothèses : elles sont la conséquence d'une propriété essentielle de la matière, dont la conception agrandie par les expériences de M. Tresca, est confirmée par les *creeps* dans les houillères où l'on voit les strates pliées, fissurées, présenter les mêmes accidents que dans les montagnes.

» La grandeur de la pression exercée par les dépôts paraît d'ailleurs suffisante pour déterminer des bombements, car l'épaisseur des dépôts dans les mers anciennes se compte par kilomètres.

» En outre, des zones de dénudation correspondent à la sédimentation; ces deux phénomènes, loin de se nuire, marchent-vers le même but tant que la dépression du bassin n'a pas déterminé de bombements. C'est seulement à partir de ce moment que les conditions sont modifiées.

» L'hypothèse d'un état de mollesse de l'intérieur du globe facilite, il est vrai, la conception de l'enfoncement de chaque bassin considéré isolément. Mais en est-il de même si l'on compare les dépressions de plusieurs bassins? Considérons, pour simplifier, des bassins assez peu étendus pour qu'on puisse négliger la courbure de la Terre et que l'on puisse regarder l'écorce terrestre comme une sorte de *plate-bande* au lieu d'une voûte. Dans ces bassins, toutes choses étant supposées égales, les plus petits exigeant un plus grand poids pour être déprimés devront avoir une profondeur initiale plus grande pour qu'une grande hauteur de dépôts puisse s'y accumuler. Cette proposition est évidemment avouée, considérée dans sa généralité.

» Dans les grands travaux de terrassement, il se présente souvent des mouvements analogues à ceux que nous étudions; quoique produits sur une échelle rela-

tivement très-petite, ces mouvements offrent un grand intérêt, à raison des indications et même des principes qu'on peut en déduire, en vue d'une application aux phénomènes géologiques. Comme exemple, je citerai l'affaissement d'un ouvrage de fortification en terre, que je construisais en 1846 à *Marsal* (Meurthe), dans la vallée de la Seille, et qui a déterminé dans le lit même de la rivière, à 20 mètres environ, le surgissement d'un îlot.

» L'influence de l'érosion est ici évidente : la pression exercée par le poids du remblai s'est communiquée de proche en proche dans le terrain d'alluvion et s'est manifestée, là où le poids à soulever était le plus petit et où la cohésion était la plus faible.

» Les trois facteurs principaux dans cette oscillation, ont été : d'une part, le poids du remblai ; d'autre part, le poids à soulever et la cohésion du terrain, comme forces opposées à la première. C'est la cohésion qui a permis d'élever le remblai jusqu'à une certaine hauteur, sans qu'il se produise d'affaissement. Cette hauteur aurait été plus grande, si la cohésion du terrain avait été plus considérable.

» Le poids du remblai et la cohésion sont évidemment liés par une relation telle, que, si la cohésion augmente ou diminue, le poids du remblai doit augmenter ou diminuer pour produire une rupture d'équilibre qui détermine un mouvement oscillatoire. Lorsque ce mou-

vement commence, la cohésion subit une diminution, qui va en augmentant pendant toute la durée du mouvement, car le terrain se déforme de plus en plus. Il résulte de là que, si l'on avait élevé un nouveau remblai sur celui qui s'était affaissé, il n'aurait pu atteindre une hauteur aussi grande que le premier, à cause de la diminution de la cohésion, et la nouvelle oscillation aurait eu une amplitude moindre.

» D'après cela, si l'on avait fait abstraction des grandeurs en elles-mêmes, pour ne considérer que les rapports et les lois, il semble qu'on peut admettre les deux propositions fondamentales suivantes : 1° *Les mouvements géologiques se composent d'une suite d'oscillations, séparées par des intervalles de repos consacrés à de nouvelles accumulations sédimentaires* ; 2° *Dans une suite d'oscillations qui affectent une même contrée, les plus anciennes sont les plus grandes.*

» Cette seconde proposition paraît, au premier abord, en contradiction avec les faits observés, car les montagnes les plus récentes sont les plus élevées ; mais il faut considérer que les plus anciennes ont été soumises aux agents détritiques pendant une plus longue durée géologique, et qu'elles ont contribué pour une large part aux dépôts qui ont déterminé les bombements plus récents.

» La phase de la période géologique que nous traversons est caractérisée par des mouvements du sol

d'une prodigieuse lenteur. Peut-être doit-on en chercher l'explication dans les variations de vitesse qui accompagnent tout mouvement oscillatoire. Ainsi, dans l'oscillation de quelques mètres dont nous avons été témoin, il était déjà visible que la vitesse était très-faible, au commencement et à la fin. Mais, lorsqu'il s'agit d'oscillations de plusieurs kilomètres, on conçoit que les vitesses, en vertu de l'inertie, doivent grandir et s'éteindre avec une lenteur proportionnée à l'immensité relative des masses en mouvement.

» On pourrait peut-être expliquer de la même manière l'enfoncement graduel des bassins, au fur et à mesure des dépôts, en le considérant comme correspondant à une phase de l'oscillation où la vitesse de haut en bas est sensiblement la même que celle de l'augmentation des dépôts.

» Le rôle de la cohésion, dans les mouvements du sol, ne se borne pas à l'établissement des deux propositions fondamentales précédentes, il explique aussi l'origine de la chaleur répandue dans le sol. La cohésion a pour effet de diminuer la grandeur des oscillations, et, par suite, de détruire une énorme quantité de mouvement qui doit se transformer en chaleur ; sa fonction peut être comparée à celle d'un frein dans une machine en mouvement.

» L'expression et la mesure de la chaleur ainsi développée sont données par l'*équivalent mécanique*

de la chaleur, dont la découverte est assez récente.

» Les caractères principaux de ce calorique sont d'être répandu partout où il y a eu des mouvements du sol et de présenter des variations d'intensité suivant la grandeur des rayons de courbure.

» Quant à la chaleur localisée dans les foyers volcaniques, elle résulterait, ainsi que les ridements des montagnes, de mouvements du sol d'un ordre secondaire, que nous nous proposons d'étudier avec plus de précision que nous l'avons fait dans nos deux premières Notes sur l'unité des forces. »

4° Note. — 13 mai 1878. — Tome LXXXVI.

» Afin de se rendre mieux compte des mouvements secondaires du sol, auxquels nous attribuons l'architecture des montagnes ainsi que celle de la périphérie des bassins, nous examinerons encore l'affaissement du remblai et le surgissement correspondant de l'îlot dont nous avons été témoins.

» Supposons que, au lieu de suspendre les travaux pour donner au terrain le temps de reprendre de la consistance, on ait continué de remblayer et que, pendant ce travail, l'action des vagues et du courant de la rivière ait produit une ablation sur les flancs de l'îlot, tout en respectant son plateau ; le poids du nouveau

remblai, au lieu d'exercer comme le précédent son action sur l'ensemble de l'îlot pour le soulever, portera son effort sur la zone affaiblie des flancs qu'il soulèvera ; la zone intacte du plateau, n'étant plus soutenue, s'affaissera et contribuera à soulever dans son voisinage la zone des flancs déjà mise en mouvement.

» Il ne paraît pas impossible de vérifier expérimentalement, sur une échelle réduite, ces mouvements, en opérant sur un terrain factice dont la cohésion serait diminuée jusqu'à une limite suffisante. On obtiendrait ainsi une démonstration du mécanisme de ces vastes et singulières vallées d'effondrement, si fréquentes dans les groupes montagneux.

» Les considérations précédentes peuvent s'appliquer à la partie émergée d'un bombement géogénique, car l'atmosphère et la mer produisent une ablation sur la zone des flancs, tandis que la zone du plateau reste intacte, protégée qu'elle est par les neiges qui la couvrent et par les pentes insensibles qui la caractérisent.

» Il est très-important de connaître la forme de l'ablation produite par ces deux agents détritiques, car c'est d'elle que dépendent les traits principaux de l'orographie des bassins.

» Les eaux, en s'écoulant par les lignes de plus grandes pentes, créent peu à peu la courbe du lit le plus stable en accommodant le sol à leurs cours, après avoir dû s'accommoder au sol ; cette courbe, qui con-

vient le mieux à l'écoulement d'un liquide dans lequel le volume du courant s'accroîtrait à raison de la distance parcourue, présente une pente sensiblement continue, qui augmente à mesure qu'on s'élève. Elle est concave vers le ciel, et elle se relève rapidement vers le plateau (SURELL, *Torrents des Alpes*).

» C'est la courbe, bien connue des topographes, qui représente le profil en long des cours d'eau.

» Il résulte de la forme de cette courbe que la profondeur de la dénudation augmente jusqu'à la distance du plateau où la courbe se relève rapidement et que les strates doivent montrer leurs affleurements par ordre d'ancienneté, en commençant par les plus récents. Il en résulte aussi que les affleurements des étages d'une formation doivent, à égalité d'épaisseur, montrer leurs projections horizontales, comme formant une suite de bandes parallèles d'autant moins larges que leur altitude est plus grande.

» Ces déductions géométriques correspondent sous le rapport de la planimétrie, aux indications des cartes géologiques.

» Sous le rapport du relief, il y a aussi concordance avec les faits observés, si l'on ne tient compte également que de l'ablation produite par l'atmosphère ; il est donc nécessaire de démontrer que l'action détritique de la mer peut être négligée et qu'elle n'intro-

duit pas de modifications dans l'équilibre des forces qui résulte de l'action atmosphérique.

» La mer ronge son rivage, et en le faisant reculer, produit des terrasses sous-marines dont les pentes douces et réglées entourent les continents et les îles. Ces terrasses se terminent au large par une pente rapide qui les a fait comparer à un socle qui supporterait les terres émergées (DELESSE, *Lithologie*).

» Comme l'action des vagues s'atténue rapidement avec la profondeur, on ne peut guère s'expliquer la continuité de la pente de ces terrasses, jusqu'à des profondeurs qui atteignent 200 mètres, que par une élévation progressive du niveau de la mer correspondant au remplissage des bassins aux dépens de leurs parois. S'il en est ainsi, le volume de l'eau située au-dessus du niveau d'un point quelconque d'une terrasse représenterait celui du terrain moderne accumulé dans les mers depuis l'époque où ce point appartenait au rivage ; et les variations de la profondeur indiqueraient des variations correspondantes dans les accumulations sédimentaires, ainsi que dans la grandeur de l'ablation qui en est la contre-partie.

» Dans cette ordre d'idées, la pente rapide qui termine les terrasses serait l'indication d'une accumulation de dépôts qui aurait fait monter rapidement le niveau des eaux. A cette accumulation correspondrait une période d'une grande activité détritique, qui ne peut provenir

de l'action de la mer sur son rivage, car cette dernière action doit conserver une grande uniformité tant que la nature des roches attaquées ne change pas.

» On est ainsi conduit à attribuer à l'action de l'atmosphère la production de ces dépôts exceptionnels, ainsi que l'ablation qui lui correspond sur les terres émergées. Cette ablation considérable *ayant précédé* la formation des terrasses par la mer, nous devons négliger cette action de la mer sur le rivage et sur la zone étroite de l'agitation des flots.

» On arrive d'ailleurs à la même conclusion par la comparaison de l'érosion à la surface du sol et sous la mer qui a été faite par M. Delesse (*Lithologie*, p. 138) et dont le résultat montre bien que l'atmosphère dégrade plus rapidement les roches que la mer elle-même, malgré sa grande puissance de destruction.

» Si, à notre époque, l'action de l'atmosphère paraît amoindrie, cela tient à ce que les terres ont pris la forme qui leur permet de mieux résister à l'érosion. On aurait donc pu, à la rigueur, ne pas s'occuper des terrasses sous-marines, mais les considérations qu'elles ont fait naître peuvent être utiles ou simplifier la solution de plusieurs questions de Mécanique terrestre.

» Maintenant, si l'on étudie les différentes circonstances qui peuvent se présenter dans une oscillation géogénique qui aurait élevé jusqu'aux neiges persistantes, depuis le fond de la mer, une zone de terrain

dénudée ou manquant de dépôts par l'influence des courants sous-marins, on remarque tout d'abord qu'il s'est produit des variations de vitesse dans les diverses périodes de ce mouvement oscillatoire. Ainsi la vitesse, très-faible au début à cause de l'inertie, grandit progressivement et acquiert sa plus grande valeur dans la partie médiane de son mouvement, qui correspond précisément à la période d'émergement du plateau. Cette circonstance favorise l'exondation du plateau qui reste moins longtemps exposé à l'action de la mer.

» La zone des pentes émerge ensuite, avec une vitesse dont la grandeur décroît progressivement jusqu'à devenir nulle. Le temps employé pour l'accomplissement de cette dernière période de l'oscillation peut être très-considérable, à raison de l'immensité des masses en mouvement ; il peut dépasser de beaucoup celui qui est nécessaire pour déterminer, sur des pentes nouvellement exondées, une ablation qui a produit les mouvements secondaires dont nous nous occupons. Le bombement de la zone des flancs et l'effondrement de celle des plateaux peuvent donc accompagner le mouvement général d'oscillation, en vertu du principe de la simultanéité des mouvements, et créer une nouvelle surface qui peut subir une nouvelle ablation et devenir le théâtre de nouveaux mouvements secondaires, avant la fin de l'oscillation géogénique.

» La série de ces mouvements secondaires apporte

une certaine complication dans l'ordonnance des aspérités montagneuses ; mais il est peut-être possible d'en démêler les grandes lignes en faisant usage d'abord de notre seconde proposition fondamentale, qui semble établir que les premiers mouvements sont plus grands que les suivants, et ensuite du principe de la coordination de ces lignes avec celles des vallées longitudinales d'effondrement, que nous espérons démontrer dans une prochaine Note, si l'Académie nous le permet. »

5^e note. — 20 mai 1878. — Tome LXXXVI.

« *Les pressions latérales, les failles.* — Pour simplifier l'exposé de ces phénomènes complexes, examinons d'abord les effets de forces dirigées de bas en haut agissant sur un terrain horizontal formé de strates superposées et dont l'élasticité serait nulle. Dans ces conditions, il se produira un bombement que nous supposerons engendré par un profil mené suivant les lignes de plus grandes pentes et se mouvant parallèlement à lui-même le long d'une ligne droite horizontale. L'étendue initiale des strates augmentera depuis la plus profonde, restée horizontale, jusqu'à celle de la surface du terrain ; pour racheter ces différences de grandeur, il se produira des fractures en forme de *coin*, qui découperont le terrain en une suite de bandes pa-

rallèles entre elles et perpendiculaires au profil générateur. Les joints des prismes ainsi formés s'établiront suivant les lignes de moindre résistance, c'est-à-dire perpendiculairement à la surface du terrain. Tous les plans des fractures situées sur les pentes du bombement seront inclinés sur la verticale et se dirigeront sous le plateau; en sorte que, si l'on considère ces plans deux à deux sur chaque versant opposé, ils formeront les joues de *coins* dont le plateau serait la tête. Il résulte de cette circonstance que si, par une cause quelconque, le plateau vient à s'enfoncer, il produira des pressions latérales dont la grandeur sera fonction de l'inclinaison des joints, de la masse effondrée et de sa dénivellation. Ajoutons que cet enfoncement ne peut avoir lieu sans relever un volume équivalent des parties voisines des zones des pentes.

» On peut, avec quelques modifications, appliquer ces considérations aux mouvements secondaires que nous étudions; car, si des fractures peuvent ne pas se produire dans une oscillation géogénique, à raison de la grandeur des rayons de courbure et de l'élasticité des roches, il n'en est plus de même pour des mouvements qui plieraient dans le sens de la largeur la bande relativement étroite de la zone des flancs, parce que les rayons de courbure y sont beaucoup plus petits.

» Comme c'est l'ablation de la zone des flancs qui est la cause déterminante des mouvements secondaires,

il est nécessaire d'examiner l'influence qu'elle a pu avoir sur les conditions des fractures. Or, d'après ce qu'on sait sur la nature de la courbe de l'ablation, il est clair que l'inclinaison des fractures qui lui sont perpendiculaires fait avec la verticale un angle d'autant plus grand que les fractures sont plus voisines du plateau et que, si l'on considère deux fractures voisines du plateau, situées de part et d'autre sur les flancs opposés, elles formeront, comme dans le cas précédent, les joues d'un coin dont le plateau serait la tête. Cette disposition paraît correspondre à l'origine et au mécanisme des pressions latérales, dont on pourra, dans certains cas, mesurer approximativement la grandeur par la dénivellation des strates et l'inclinaison des fractures.

» Considérons maintenant l'action des forces soulevantes sur la zone des flancs ainsi découpés par les fractures en bandes parallèles. Chacune de ces bandes participant de la forme générale de l'ablation, c'est-à-dire étant plus profondément dénudée dans la partie plus voisine du plateau, subira, dans cette partie, une action plus grande, puisque le poids y est moins considérable. Ces bandes prendront donc toutes une inclinaison plus grande que celle qu'elles avaient avant d'avoir éprouvé l'action des forces soulevantes. La courbe initiale de l'ablation, au lieu de rester sensiblement continue, prendra la forme d'une *scie*, dont la pente

des dents sera disposée de façon que les pentes roides regarderont le plateau. Cette disposition représente l'architecture normale de la périphérie des bassins dans toute la vaste zone qui s'étend jusqu'aux aspérités des montagnes.

» Par suite de l'action des forces soulevantes, les fractures seront transformées en *failles* dont le *toit* semblera avoir glissé sur le *mur*, mais dont le mécanisme est précisément inverse, quoique présentant la même apparence.

» Plusieurs autres circonstances qui accompagnent les failles peuvent également s'expliquer sans s'écarter du même ordre d'idée, c'est-à-dire en les rattachant au principe de la pesanteur.

» L'affaissement de la zone des plateaux, tout en déterminant des pressions latérales, fait surgir dans son voisinage, sur la zone des flancs, un volume égal à celui qui s'est affaissé. Cet effet vient s'ajouter à celui des forces soulevantes, qui a déterminé l'architecture normale des bassins : il agit de la même manière sur les fractures en accentuant les reliefs ; il donne par sa combinaison avec les pressions latérales le relief souvent si complexe des montagnes.

» *Périodes glaciaires et interglaciaires.* — Avant la production des mouvements secondaires, l'oscillation géogénique présentait une zone de plateaux couverts de neiges persistantes, d'une étendue comparable,

sinon égale, à celle de la plaine helvétique, de la vallée du Rhin, etc. Les glaciers alimentés par des surfaces aussi considérables devaient s'étendre au loin et fournir un terrain erratique dont les glaciers actuels ne peuvent nous donner qu'une faible idée. L'affaissement de la zone des plateaux, tout en mettant fin à la période glaciaire, a relevé en même temps et par place le terrain glaciaire à des hauteurs anormales qui devaient contribuer à rendre énigmatique la conception de cette période.

» L'explication que nous proposons d'une période si rapprochée de l'époque actuelle semble s'accorder, d'une part, avec le fait observé que les périodes glaciaires n'ont pas contribué pour beaucoup à l'extinction des espèces et, d'autre part, avec l'existence de périodes interglaciaires qui excluent la plupart des explications proposées, et en particulier celles qui sont tirées des considérations astronomiques.

» Les périodes interglaciaires s'expliquent de la même manière, par une série de mouvements secondaires, dont nous avons parlé dans notre précédente Note. La seule condition à remplir pour leur production est que l'oscillation géogénique qui accompagne ces mouvements intermittents ait relevé jusqu'à la hauteur des neiges persistantes leur niveau supérieur.

» *Phénomènes calorifiques.* — La seconde proposition fondamentale exposée dans la troisième Note sur l'unité

des forces, en établissant que l'amplitude des oscillations géogéniques diminue de grandeur, depuis les périodes géologiques anciennes, conduit à établir que la chaleur développée par ces oscillations a été aussi en diminuant. En effet, on peut admettre que la quantité de mouvement absorbée par la cohésion, et qui s'est nécessairement transformée en chaleur, a diminué proportionnellement avec la grandeur des oscillations. Cette chaleur, communiquée par le sol à l'atmosphère et combinée avec la différence d'altitude des terres émergées, a pu créer ces climats que les géologues attribuent aux périodes anciennes.

» Pareillement, la chaleur développée par les mouvements secondaires, et en particulier par l'affaissement de la zone des plateaux, a dû diminuer et atténuer les phénomènes éruptifs depuis les anciennes périodes géologiques. »

