

Zeitschrift: Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Band: 1 (1835)

Artikel: Mémoire sur la formation de la surface actuelle du globe
Autor: Ladame, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-100083>

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: 09.02.2026

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

MÉMOIRE

SUR LA FORMATION DE LA SURFACE ACTUELLE DU GLOBE,

PAR H. LADAME, PROFESSEUR,

ANCIEN ÉLÈVE EXTERNE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE ET DE CELLE

DES PONTS ET CHAUSSEES.

(PRÉSENTÉ A LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES NATURELLES DE NEUCHÂTEL, LE 5 MAI 1835.)

La forme des continens, leur répartition sur la surface du globe, la direction et la hauteur des montagnes et des plateaux qui les constituent, sont une série d'objets qui soulèvent, sur leur origine, leur formation et leurs relations, des questions nombreuses et dignes du plus grand intérêt.

Ces questions, présentées dans leur généralité, sont à la fois du ressort de la géographie, de la géologie et de la physique générale. Ces sciences, dans leurs travaux sur ces objets, peuvent s'entr'aider et avoir une influence mutuelle sur leur développement respectif. En effet, si la géographie détermine d'une part la forme des continens, la direction, la hauteur et l'étendue des montagnes et des plateaux, puis comparant ces différens objets entr'eux, cherche les lois de leurs formes et de leur distribution à la surface du globe; d'une autre part la géologie apprenant au géographe que le relief du sol n'a pas toujours été le même, elle étend le champ de ses comparaisons et de ses rapprochemens et lui permet par là de tirer des conséquences plus justes sur les lois des manifestations de cette cause puissante qui a distribué et déterminé les continens et les mers. Ainsi la géographie et la géologie marchent incessamment toutes deux, sous un rapport, à la conquête des lois qui ont présidé aux effets de causes dont la physique générale doit bientôt montrer et calculer les conséquences, qui comprendront dans une même théorie les faits divers, en les liant intimément les uns aux autres.

Ce Mémoire sera une nouvelle preuve des rapports qui unissent ces diverses sciences et de la nécessité de mener de front leur étude.

La recherche des lois d'après lesquelles le globe terrestre a revêtu la surface inégale qu'il nous offre, a une très-grande importance. En effet, la variété des plantes et des animaux est sans doute une des conséquences de ces inégalités; car il y a évidemment une relation entre la puissance qui organise la vie et les circonstances diverses dans lesquelles cette puissance agit. Cette relation une fois connue, et ayant en outre trouvé la loi suivant laquelle le relief du globe s'est développé dans le temps, on pourra expliquer naturellement l'existence de ces nombreux êtres fossiles enfouis dans le sein des couches terrestres. Enfin, joignant à ces faits ceux que les travaux d'Herschel le père sur les nébuleuses, et de Laplace sur la formation de notre système planétaire, ont révélés sur l'origine de notre globe, n'aura-t-on pas complètement son histoire? et la science, après avoir monté de plateau en plateau, aura atteint le sommet de ce mont élevé d'où, portant ses regards en arrière, elle pourra voir dans un développement historique l'ordre génétique de tous les êtres, et avoir la conscience des causes qui déterminent leur naissance, leur développement et leur fin.

Les différens chaînons de cette immense chaîne historique sont loin d'être tous formés. L'astronomie et la géologie ont fait le plus grand pas. Diverses sciences naturelles ont aussi apporté quelques faits, et l'ensemble de ces recherches a déterminé certaines hypothèses qui, par la coïncidence de leurs conséquences avec les faits connus, paraissent devoir devenir le point central de la science de la terre, comme l'attraction newtonienne est devenue le principe et le lien de tous les phénomènes du système solaire; je veux surtout parler ici de l'hypothèse de la liquidité primitive de la terre, et de celle de sa haute température. Comme ces hypothèses sont la base de ce Mémoire, je crois utile de reproduire les faits qui les justifient.

1° La forme de la terre, qui est une sphère aplatie aux pôles et renflée à l'équateur : c'est en effet la forme que prend une masse liquide douée d'un mouvement de rotation.

2° La disposition régulière des différentes masses qui la composent, et sa densité croissante jusqu'au centre; faits qui sont démontrés :

a) Par la nutation de son axe, qui est entièrement due à son renflement à l'équateur.

b) Par les nombreuses observations de l'intensité de la pesanteur.

c) Par la grandeur de son aplatissement comparé à la durée de sa rotation diurne : cet aplatissement est intermédiaire entre celui qui existerait si la terre avait la même densité dans toute sa masse, et celui qui aurait lieu si la densité allait en croissant vers le centre et qu'elle fût infinie en ce point.

d) Par sa densité moyenne, qui est supérieure à celle des couches superficielles, ce qui annonce une plus grande densité dans l'intérieur. Ces différens faits ne peuvent en général convenir qu'à des liquides, car ils se superposent dans leur ordre de densité, et se disposent d'une manière régulière autour d'un point central. La terre présentant maintenant les deux phénomènes d'une distribution régulière de matière autour de son centre, et d'une densité croissante jusqu'à ce même point, elle a dû être primitivement liquide.

3°. Les températures de plus en plus élevées que l'on observe lorsque l'on s'enfonce davantage dans l'intérieur de la terre, et les faits nombreux qui attestent même à la surface une chaleur plus considérable à une époque antérieure à la nôtre; faits qui, tout en appuyant l'hypothèse de la liquidité primitive de la terre, en indiquent en même temps comme cause une chaleur d'origine extrêmement intense.

Toute hypothèse a sa source dans l'observation; mais une fois posée, elle devient l'à-priori d'une foule innombrable de conséquences qu'il faut suivre dans l'observation, pour la justifier, la modifier ou la renverser : c'est cette méthode qui conduit souvent la science à pas de géant à la solution de questions qu'elle n'aurait jamais pu aborder sans elle. Par l'examen des faits, on ne serait certainement jamais arrivé aux formules qui représentent les perturbations des planètes; tandis que l'hypothèse de Newton y a conduit directement.

Maintenant que l'hypothèse de la liquidité primitive de la terre et de son refroidissement subséquent est admise, pourquoi ne pas chercher à en tirer des conséquences en harmonie avec les connaissances physiques et chimiques que l'on possède? Ainsi, par exemple, s'il est vrai qu'une température élevée ait eu lieu à la surface du globe, que la composition de l'atmosphère ait été autre qu'elle n'est maintenant, que son poids et son étendue fussent alors plus considérables, quelles immenses actions n'ont pas dû être produites? L'étude des phénomènes météorologiques a appris que, dans les circonstances actuelles, il tombe sous la zone torride beaucoup plus d'eau que sur le reste du globe; les ouragans, les orages, les phénomènes électriques y sont plus actifs et plus intenses. Quels auront dû être ces effets sur la surface entière de la terre dans les cir-

constances posées? N'en doit-on pas retrouver des traces? On pourra comprendre alors pourquoi les terrains étendus sont plus stratifiés et plus puissans dans les époques anciennes, comment des plantes et des animaux ont été détruits, enterrés vifs et merveilleusement conservés. D'un autre côté, l'influence du soleil, et par suite celle des saisons, devait être moins considérable, car la terre était entourée d'une enveloppe épaisse et préservatrice, ce qui entraînait une identité plus grande dans les phénomènes et les produits, et moins de variété dans les êtres organisés. La chimie démontre que la chaleur décompose les corps et les ramène à leurs élémens : les parties centrales de la terre doivent donc être des corps simples, isolés ou réunis en petit nombre. La solidification de la surface s'étant faite à une température élevée, la composition des corps formés à cette époque pourra être moins complexe que celles des corps venus plus tard. En poursuivant ainsi ce point de vue chimique, les végétaux composés de trois corps simples ont dû paraître après les corps inorganiques, qui ne présentent que des combinaisons binaires, et avant les substances animales, qui contiennent quatre corps simples et dont les chances de décomposition sont plus nombreuses et les conditions d'équilibre plus limitées.

Ces divers points de vue, ou conséquences de l'hypothèse citée plus haut, ouvrent, comme on le voit, un champ de recherches immenses, et c'est ici surtout que les sciences physiques et chimiques, qui n'étudient les agens que sur l'échelle déjà grande du monde actuel, pouvant les étudier sur des échelles plus étendues en puissance et en activité, ne le feront pas sans en tirer une foule de faits qui contribuent à leur développement. Cette étude n'est point le but que je me propose dans ce moment, je veux rechercher plus spécialement les conséquences de l'hypothèse de la liquidité et de celle du refroidissement de la terre pour l'explication de son relief actuel.

Nous prenons donc la terre à l'époque où elle ne présente encore qu'une masse uniforme et liquide, entourée d'une atmosphère considérable : elle se meut autour du soleil, possède un mouvement de rotation sur elle-même et une température de plusieurs milliers de degrés ; elle est plongée dans un milieu dont la température est au dessous ou voisine de zéro. Un corps est là pour la pénétrer de ses rayons et de sa chaleur, c'est le soleil ; il l'échauffe et retarde son refroidissement, mais son action est variable dans les divers points de sa surface ; sous l'équateur et la zone torride elle est plus puissante que sous les deux régions polaires, qui ne reçoivent ses rayons que sous une grande inclinaison, successivement et à leur tour. De là évidemment un re-

froidissement plus rapide vers les pôles, qui par cela même arrivent plus tôt que le reste du globe à la température convenable pour que la solidification commence, soit qu'elle ait lieu par une action chimique ou par un simple changement d'état. La terre présente alors une calotte solide à chaque pôle; son équateur et ses deux zones tempérées sont encore liquides, mais elles arrivent aussi à leur tour à la même température, elles passent également à l'état solide, et bientôt la terre se trouve entièrement recouverte d'une croûte dont l'épaisseur est variable : plus grande aux pôles, elle va en général en diminuant à mesure que l'on s'approche de la zone équatoriale. Cette croûte devait séparer en deux parties les matériaux dont se composait la terre. Du côté intérieur ils restaient liquides, et la solidification, due à un refroidissement lent, combiné sans doute avec des actions chimiques, augmentait et augmente encore peu à peu l'épaisseur de la croûte. Du côté extérieur, l'atmosphère formée de vapeurs et de gaz, les liquides plus légers que ne l'était la partie arrivée à l'état solide, et qui ne pouvaient passer à cet état qu'à une température plus basse, ont dû donner naissance aux dépôts successifs qui constituent les terrains de stratification, et qui augmentaient aussi la croûte de ce côté. A l'intérieur, les phénomènes ont dû se passer avec régularité; la croûte se formait résistante et liée, croissant d'épaisseur d'une manière assez constante et sans trouble. A l'extérieur, les phénomènes météorologiques, les aspérités du sol déjà formées ou soulevées, ont dû avoir une grande influence sur la distribution des terrains et sur la diversité des produits chimiques et organiques, suivant les circonstances dans lesquelles les corps se trouvaient placés.

Supposons maintenant que pendant ces milliers d'années qui ont vu la surface du globe se former, il se soit développé à mesure dans son intérieur une tension, due, soit à des phénomènes chimiques, donnant naissance à des gaz et à des corps solides d'un plus grand volume que les liquides qui les ont formés, soit à un retrait de la croûte, par suite de son refroidissement; la masse liquide intérieure tendra à sortir; et, si l'on applique ce principe d'hydrostatique, *que les pressions dans les liquides se transmettent dans tous les sens et sans aucune perte d'intensité*, on en conclura que tous les points de la croûte seront également pressés du dedans au dehors, s'ils sont tous placés sur la même surface de niveau : si donc la surface doit céder, elle cédera là où elle est le moins résistante. Cette résistance de la croûte dépendra de sa nature, de

l'intensité de la gravité, de son rayon de courbure, ou de la convexité plus ou moins grande qu'elle présente, et enfin de son épaisseur.

Je reprends successivement ces différens objets.

1°. *La nature de la croûte.* Elle devait être la même sur tous les points du globe quant aux élémens dont elle était composée, puisque la solidification avait dû commencer par les couches de même niveau, qui, comme on l'a dit auparavant, devaient être identiques dans tous leurs points; mais elle pouvait différer dans sa résistance suivant son état d'agrégation, état qui résulte des circonstances qui ont accompagné sa formation : c'est ainsi, par exemple, que les calcaires offrent des résistances fort inégales. Comme il ne s'agit ici que des roches plutoniques qui constituent la plus grande partie de la croûte, c'est du mode de leur refroidissement que dépend la force de la résistance; s'il n'est pas uniforme et régulier, la masse solide sera moins liée, et par suite moins résistante; c'est ici que les phénomènes météorologiques et l'action inégale du soleil joueront le principal rôle. Cependant ces effets seront toujours très-limités, car les phénomènes très-variables de la surface qui n'ont pas une grande durée ne peuvent avoir de l'action sur la marche du refroidissement qu'à une bien faible profondeur, comme l'expérience et les calculs de Fourier l'ont démontré.

2° *L'intensité de la pesanteur.* Il est évident que plus la croûte sera formée de masses pesantes, et plus aussi elle sera soulevée avec peine et portée à une moins grande hauteur.

3° *La courbure de la croûte.* En effet, les vases comprimés dans leur intérieur tendent à prendre la forme sphérique. La terre étant aplatie vers les pôles, c'est là que les soulèvemens se feront de préférence.

4° *L'épaisseur.* Ce que nous devons considérer ici, ce sont les différences qu'elle présente dans les diverses parties du globe, puisqu'elles donnent lieu à des différences de résistance. Le principe d'après lequel, dans l'état actuel de la science, on apprécie approximativement l'épaisseur de la croûte, est aussi celui que nous invoquerons pour juger de ces différences : il consiste à admettre, en partant de la couche dont la température est invariable ou indépendante des variations de chaleur de la surface, que la température va croissant à mesure que l'on s'enfonce davantage, de façon que l'on arrive ainsi à une profondeur telle, que la température est aussi élevée qu'on le voudra, et par suite susceptible de maintenir à l'état liquide tous les corps connus. Pour faire ce calcul avec une exactitude rigoureuse, il faudrait connaître la loi inconnue qui lie la

variation de température avec la profondeur. Nous supposons, comme résultat moyen de quelques expériences, que la température s'élève de 1° C. pour cent pieds. Avec ces données, il est facile de voir que l'on parviendra à connaître, sinon les épaisseurs mêmes, du moins les différences d'épaisseurs, par la simple connaissance des températures superficielles; ainsi, par exemple, si dans un point la température de la couche invariable est à 0° , et à un autre point à 10° C., la différence d'épaisseur, d'après l'hypothèse posée, toutes choses égales d'ailleurs, sera de 1000 pieds. Sans doute il est inutile de remarquer qu'il ne faut pas donner une confiance trop grande à ces résultats, puisque la loi d'accroissement de la température n'est pas suffisamment constatée; mais, cette loi fût-elle différente, nous en tirerions une conséquence qui ne différerait de celle-ci que par des chiffres.

Si l'on connaissait la loi qui unit les températures des couches invariables avec le temps, on aurait la loi d'accroissement de l'épaisseur sur chaque point du globe, et par conséquent les différences d'épaisseur que la croûte a présentées à toutes les époques antérieures à la nôtre. Je vais maintenant énoncer les élémens de la température moyenne d'un lieu quelconque de la surface de la terre, et comparant d'une manière générale leur influence, indiquer quelques unes des conséquences qu'on en peut tirer pour la théorie de la terre. Ces élémens sont : la nature de la surface, les phénomènes qui s'y accomplissent, et l'action solaire.

a) La *nature de la surface*; suivant qu'elle est d'eau ou de terre de différente nature, elle influe sur le rayonnement et sur la quantité de chaleur solaire absorbée. C'est principalement à la différence de constitution physique des deux hémisphères que l'on a rapporté la cause de leur inégale température. Sous ce point de vue, cette considération est importante, car là où auront apparu les premières terres, là aussi le refroidissement aura été moins rapide, et la croûte s'y sera formée plus lentement, et par conséquent avec moins d'épaisseur.

b) Les *phénomènes physiques et chimiques* qui s'accomplissent à la surface ou dans le sein de la terre, phénomènes qui peuvent produire ou absorber de la chaleur.

c) Les *phénomènes météorologiques*, les grands courans marins et les mouvemens des eaux douces, qui tendent à répartir également la chaleur entre les divers points du globe terrestre.

d) *L'action du soleil.* — Tout en reconnaissant l'importance des faits que l'on vient d'indiquer, ils ne sont cependant que secondaires; car on voit évidemment que l'action du soleil l'emporte généralement de beaucoup sur l'influence qu'ils peuvent exercer : c'est en effet lui qui entre pour la plus grande part dans les différences de température que l'on observe pendant le cours d'une année dans un même lieu, ou dans des lieux différens. Ces variations ou différences de température sont si intimément liées avec les mouvemens du soleil, qu'il est impossible de ne pas voir en lui leur cause.

Quant à cette action, il y a deux observations à faire : la première porte sur son intensité, qui varie avec la latitude et avec la distance du soleil. On sait, en effet, que l'intensité de la chaleur croît en raison inverse du carré de la distance. Remarquons à cet égard que la terre ne se meut pas rigoureusement dans une ellipse : elle est entourée de planètes qui lui font éprouver des perturbations, qui influent non-seulement sur la quantité totale de chaleur qu'elle reçoit, mais aussi sur les quantités relatives de chaleur qui tombent sur les divers points de sa surface. Sans doute, on ne doit tenir compte de ces différences qu'autant que ces perturbations présenteraient des retours tellement combinés avec la rotation de la terre et son mouvement dans l'espace, que ce seraient ordinairement les mêmes points qui en seraient affectés. Si petites que soient ces différences, renouvelées pendant un grand nombre de siècles, elles peuvent ascender enfin à une grandeur telle, que l'on soit obligé d'y avoir égard. Il ne faut pas oublier que toutes les circonstances qui maintiennent, même momentanément, la surface à une température plus élevée, diminuent le refroidissement de la croûte sur ce point, et par là ralentissent les progrès de son épaisseur. Il peut paraître dès l'abord que c'est donner ici une importance bien grande aux perturbations planétaires. Cependant les lois de la distribution de la chaleur sur le globe, dont M. de Humboldt a posé les premières bases, n'ont-elles pas signalé des différences de températures sur les divers points d'un même parallèle, et doit-on en rapporter entièrement la cause aux circonstances locales?

Les changemens de forme des lignes isothermes, et les calculs basés sur les faits astronomiques, indiqueront s'il en doit être ainsi.

La seconde observation que l'on peut faire sur l'action du soleil, porte sur la manière dont la chaleur qui nous arrive de cet astre est répartie sur chaque point du globe pendant le cours d'une année; ce qui a une influence sur la température moyenne; température qu'il est très-important de connaître, puisque,

comme on l'a déjà remarqué, elle est sensiblement la même que celle de la couche invariable, à partir de laquelle on estime les épaisseurs de la croûte. Comme la proposition que l'on vient d'énoncer sur la liaison de la température moyenne avec la grandeur des variations de température est très-importante pour le but de ce mémoire, en voici une démonstration par le calcul suivant :

Soit t la température du jour de l'année où elle est la plus basse ;

c l'accroissement journalier et moyen de la température depuis le jour où elle est la plus basse à celui où elle est la plus élevée ;

c' l'abaissement journalier, et, moyen de la température, depuis le jour où elle est la plus élevée jusqu'à celui où elle est redevenue la plus basse, ou = t ;

n nombre des jours pendant lesquels la température croît :

n' nombre des jours pendant lesquels elle diminue :

T température moyenne de l'année.

q, q_1 , q_2 , etc, les quantités de chaleur qui arrivent chaque jour du soleil, en prenant pour unité la quantité de chaleur nécessaire pour faire varier de 1° C. la température moyenne de la substance dont se compose la surface, et qui est comprise sous l'unité superficielle.

Q la quantité totale de chaleur qui tombe annuellement sur les points que l'on considère.

La vitesse v du refroidissement de cette même masse supposée à la température t (les températures étant comptées à partir de celle de l'enceinte qui environne le corps), sera d'après la loi de MM. Dulong et Petit, $= m(a^t - 1)$, a , est le même pour tous les corps et égal à 1,0077; m quantité constante pour chaque corps, mais variant de l'un à l'autre; c'est la vitesse de refroidissement du corps supposé à la température de l'enceinte.

On aura les équations suivantes :

1^{er} jour température la plus basse $t \dots \dots \dots q = m(a-1) + c$

$$\begin{array}{ll} 2^{\text{e}} \text{ jour} & \dots \dots \dots t+c \dots \dots \dots q_i = m \binom{t+c}{a-1} + c \\ \text{etc.} & \end{array}$$

$$n^e \text{ jour} \quad . \quad . \quad . \quad t + (n-1)c \quad . \quad . \quad q_{n-1} = m \binom{t+(n-1)c}{a-1} + c$$

$$n^e \text{ jour} \quad . \quad . \quad . \quad t + (n-1)c \quad . \quad . \quad q_{n-1} = m \binom{t+(n-1)c}{a-1} + c$$

1^{er} jour température la plus haute $t + nc \dots \dots \dots q_n = m \left(\frac{t + nc}{a - 1} \right) - c'$

$$\begin{array}{l} 2^{\text{e}} \text{ jour} \quad . \quad t + nc - c' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad q_{n+1} = m \left(a^{\frac{t+nc-c'}{a-1}} - c' \right) \\ \text{etc.} \end{array}$$

$$n^{\text{e}} \text{ jour} \quad . \quad t + nc - (n'-1)c' \quad . \quad . \quad . \quad q_{n+n'-1} = m \left(a^{\frac{t+nc-(n'-1)c'}{a-1}} - c' \right)$$

faisant la somme des termes de la première colonne et la divisant par leur nombre, on aura pour la température moyenne, en remarquant que l'on a l'égalité, $nc = n'c'$ (1)

$$(2) \quad T = t + \frac{nc}{2}$$

Sommant les premiers et les seconds membres des équations qui forment la seconde colonne, on aura l'équation

$$Q = ma^t \left\{ \begin{array}{cccc} 1 + \frac{c}{a} + \frac{2c}{a^2} & . & . & + \frac{nc}{a^{n-1}} \\ \frac{nc-c'}{a} & \frac{nc-2c'}{a^2} & . & \frac{nc-(n'-1)c'}{a^{n-1}} \end{array} \right\} - m(n+n')$$

$$\left\{ \begin{array}{cccc} + \frac{c'}{a} & + \frac{2c'}{a^2} & . & + \frac{(n'-1)c'}{a^{n-1}} \end{array} \right\} + nc - n'c'$$

qui d'après la relation (1) donne

$$(3) \quad Q = ma^t \left\{ \begin{array}{cccc} 1 + \frac{c}{a} + \frac{2c}{a^2} & . & . & + \frac{nc}{a^{n-1}} \\ \frac{c'}{a} & \frac{2c'}{a^2} & . & \frac{(n'-1)c'}{a^{n-1}} \end{array} \right\} - m(n+n')$$

Différentiant les équations (2) et (3), en regardant comme seules variables T, t, c, c' , il vient

$$(2') \quad dT = dt + \frac{n}{2} dc \quad \text{et} \quad ndc = n'dc'$$

$$(3') \quad 0 = ma^t \log a \cdot \left\{ \begin{array}{cccc} \frac{c}{a} + \frac{2c}{a^2} & . & . & + \frac{nc}{a^{n-1}} \\ \frac{n}{n'} \left(\frac{c'}{a} + \frac{2c'}{a^2} & . & . & + \frac{(n'-1)c'}{a^{n-1}} \right) \end{array} \right\} dc$$

$$+ ma^t \log a \cdot \left\{ \begin{array}{cccc} 1 + \frac{c}{a} + \frac{2c}{a^2} & . & . & + \frac{nc}{a^{n-1}} \\ \frac{c'}{a} + \frac{2c'}{a^2} & . & . & + \frac{(n'-1)c'}{a^{n-1}} \end{array} \right\} dt$$

$$\text{Soit } M = \frac{c}{a} + \frac{2c}{a^2} + \frac{3c}{a^3} + \dots + \frac{nc}{a^{n-1}} + \left(\frac{c'}{a} + \frac{2c'}{a^2} + \dots + \frac{(n'-1)c'}{a^{n-1}} \right) \frac{n}{n'}$$

$$\text{et } N = 1 + \frac{c}{a} + \frac{2c}{a^2} + \dots + \frac{nc}{a^{n-1}} + \frac{c'}{a} + \frac{2c'}{a^2} + \dots + \frac{(n'-1)c'}{a^{n-1}}$$

$$\text{Il viendra} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4) \quad Mdc + Ndt = 0$$

$$\text{d'où} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad dt = - \frac{M}{N} dc$$

ce qui donne en substituant dans l'équation (2')

$$(5) \quad dT = \left(- \frac{M}{N} + \frac{n}{2} \right) dc$$

Si, a , égalait l'unité, $\frac{M}{N}$ aurait pour valeur $\frac{n}{2}$; mais comme, $a = 1,0077$, $\frac{M}{N}$ a une valeur supérieure à $\frac{n}{2}$, comme cela résulte de l'inspection des valeurs de M et de

N ; ainsi donc, le coefficient de, dc , est négatif; ce qui indique que lorsque m est constant, la température moyenne s'abaisse quand, c , s'élève. C'est là ce qu'il

fallait démontrer. Par un calcul analogue, on fait voir que la température moyenne resterait constante dans les conditions posées, si on admet pour loi de refroidissement celle donnée par Newton. Ce résultat nous fournit pour première conséquence, que les températures moyennes s'abaissent, en marchant vers le nord, plus rapidement que ne pouvait le faire supposer la seule donnée de la diminution de l'intensité des rayons solaires relativement à leur inclinaison, puisque plus on avance vers le nord, et plus aussi on trouve en général de différences entre l'été et l'hiver.

Une autre conséquence qu'on peut tirer du calcul précédent, porte sur la température des deux hémisphères. En effet, dans l'état où sont aujourd'hui les élémens astronomiques du mouvement de la terre, l'été boréal correspond à l'aphélie, et l'hiver boréal au périhélie. De cette manière, les chaleurs brûlantes de l'été, comme les froids rigoureux de l'hiver, sont tous deux atténués, et cette circonstance élève, toutes choses égales d'ailleurs, la température moyenne de l'hémisphère nord. C'est là ce que les expériences, faites dans les deux hémisphères pour déterminer la température moyenne des divers lieux, la limite des vents alizés de part et d'autre de l'équateur, et les rapports que le magnétisme terrestre soutient avec la chaleur, (rapports que M. Duperré a fait ressortir) démontrent pleinement. Cependant il ne faudrait point voir dans l'excentricité de l'orbite terrestre la cause unique de ce fait : la distribution des continens et des mers est incontestablement la cause la plus active; mais néanmoins, il ne faut point mettre de côté la première; car, avant l'apparition des terres au dessus des eaux, elle subsistait seule pour différencier les températures superficielles et l'accroissement de la croûte sur les divers points de la surface du globe.

L'étude des changemens de forme qu'éprouvent avec le temps les lignes isothermes, fournira des données pour résoudre la question et pour fixer à chaque cause sa part dans la température moyenne; car les élémens du mouvement de la terre ne sont point constans; ils varient avec le temps : le périhélie a un mouvement dans le plan de l'orbite terrestre, qui change constamment la durée des saisons; de manière que, successivement, chaque point du globe participe à une distribution plus égale de chaleur; ce qui élève sa température moyenne. En appliquant ces considérations aux deux hémisphères, on voit que, sous ce rapport chacun d'eux a été favorisé à son tour; de manière que, pendant un certain nombre de siècles formant une période, chaque hémisphère a présenté une température plus élevée. Reste à savoir maintenant si, en définitive, la com-

pensation a été complète, et si la longueur des périodes était suffisante, relativement à la différence de l'action solaire, pour qu'elle agît avec efficacité sur l'accroissement de l'épaisseur de la croûte. On comprend que des actions, même très-différentes dans leur intensité, qui se succéderaient à la surface de la terre dans l'étendue d'une courte période, ne contribueraient pas à faire varier le mouvement régulier de la chaleur dans l'intérieur du globe. C'est ainsi que les différences de température du jour à la nuit ne se propagent dans le sol qu'à une faible profondeur, en sorte que l'on ne peut point dire que, pendant le jour, la croûte croît moins rapidement que pendant la nuit. Il est inutile de dire que cette observation n'infirme pas l'influence de la température moyenne du jour et de la nuit sur le refroidissement et la formation de la croûte.

Je viens d'analyser les élémens de la température superficielle; je devais le faire, puisque c'est elle qui sert de point de départ pour le calcul de l'épaisseur, qui est une des causes de la résistance de la croûte. Ces élémens de température peuvent se réduire à deux, la nature de la surface et l'action solaire. Leur influence relative est telle, que l'un suffit presque à lui seul pour expliquer la différence de chaleur des pôles à l'équateur, et que l'autre est aussi de son côté à-peu-près le seul que l'on invoque pour justifier celle des deux hémisphères. Si nous considérons leur action depuis la formation de la croûte, nous observerons, quant à la nature de la surface, ou, ce qui revient au même, quant à l'influence de la répartition des continents et des mers, que, puisque les terres portent à un plus haut degré la température moyenne, c'est là où les premières terres ont apparu, que la température s'est ensuite maintenue plus élevée, et que par conséquent la croûte s'est formée avec le moins d'épaisseur. Quant à l'action du soleil, nous avons vu, en parlant de la formation de la croûte, que celle-ci devait en général augmenter d'épaisseur plus rapidement vers les pôles que dans les autres parties du globe. Cependant, à ce sujet, il est juste de remarquer que l'influence du soleil a dû d'abord être très-faible, quand on la considère relativement aux hautes températures que présentait la terre, et à l'atmosphère considérable dont elle était entourée. D'où il faut conclure que, dans les premiers temps de la solidification, l'épaisseur de la croûte aux pôles devait peu différer de celle à l'équateur : ce n'est qu'avec les siècles que cette différence s'est accrue, et que maintenant elle a atteint 6000 pieds en faveur des pôles; en faisant cette estimation d'après les bases posées précédemment, savoir : 1° C. d'accroissement de température pour 100 pieds de profondeur, et 60° C. de différence de température entre les pôles et l'équateur.

Après avoir exposé les faits divers qui permettent d'apprécier la résistance de la croûte terrestre, il faut revenir en arrière, et se rappeler ce qui m'a conduit à examiner cette question. Elle était une conséquence de la supposition, qu'après la croûte formée, et pendant qu'elle continuait à croître d'épaisseur, il s'était développé à mesure, dans l'intérieur, une tension qui pressait incessamment le liquide à sortir; ce qui déterminait le soulèvement ou le brisement de la croûte là où elle était le plus faible. C'est ici qu'il serait d'une grande importance de soumettre au calcul les élémens de résistance qui ont été indiqués, et qui sont : la gravité, la courbure de la croûte, sa nature et son épaisseur. Il n'est pas possible de le faire maintenant d'une manière complète, vu l'ignorance où nous sommes de l'épaisseur réelle de la croûte, de sa tenacité, et de la loi qui lie dans le temps le développement de la croûte en chaque point avec celui de la tension extérieure. Je me bornerai dans ce moment à présenter quelques considérations générales : elles seront plus ou moins hasardées; car, quand il faut abandonner le calcul et l'estimation rigoureuse des forces que l'on met en jeu, il est presque impossible, surtout si ces forces sont variables, différent peu entr'elles et sont tour-à-tour prédominantes, de ne pas aller trop loin dans les conséquences que l'on est disposé à tirer; je resterai donc dans des généralités qui suffiront, je l'espère, pour faire juger du champ de recherches que cette étude offre aux esprits attentifs.

Si la tenacité de la croûte eût été nulle ou infiniment grande, les phénomènes de soulèvement n'auraient point eu lieu, et la terre ne serait point inégale; car, dans le premier cas, elle aurait été dans le même état de mobilité que les liquides, et dans le second, elle n'aurait pu céder sous des tensions intérieures, et elle aurait ainsi conservé la forme qu'elle avait prise à l'époque de la solidification. C'est donc à une tenacité d'une certaine grandeur que sont dues les ondulations de la surface terrestre. Il est évident que si la croûte est très-tenace, il faudra un grand effort pour la rompre : le liquide intérieur, se trouvant fortement comprimé peu de temps avant la rupture, offrira un volume d'autant plus petit que la pression sera plus intense, et, dès que la croûte cédera, reprenant son volume primitif, il déterminera de très-grands effets; tandis que si la croûte est peu tenace, elle cédera sous de faibles pressions : il y aura moins de différences dans les effets qui se répartiront plus également sur le globe entier. La hauteur des montagnes, l'étendue des plateaux et la plus ou moins grande aspérité de la surface terrestre, sont donc intimement liées avec la tenacité de sa croûte.

Mais non-seulement la tenacité de la croûte terrestre contribue à la rendre plus ou moins rugueuse, elle a aussi, concurremment avec l'épaisseur et la courbure de la croûte et avec l'intensité de la gravité, une influence sur le lieu des soulèvements; c'est ce qui résultera des considérations suivantes :

La pression intérieure, qui dans son intensité croissante doit-enfin rompre la croûte, se partage, en chaque point de la croûte et à quelque époque qu'on la considère, en deux parties : l'une est employée à soulever le poids de la croûte, l'autre détermine dans la croûte une tension qui varie avec sa courbure, et qui, atteignant la limite de tenacité des matières solides qui environnent la masse liquide, les brise; alors le soulèvement s'opère.

C'est la recherche des différences de tensions qui existent dans la croûte en ses différens points, qui nous conduit à fixer les lieux de soulèvement. Ces différences de tensions proviennent de la courbure et de la gravité. Si l'intensité de la gravité est considérable, une grande portion de la pression intérieure sera employée à soulever le poids de la croûte. La proportion de cette pression, qui est utilisée pour développer la tension dans la croûte, sera réduite; mais elle aura une action d'autant plus efficace, que le rayon de courbure sera plus grand.

Dans le globe terrestre, la courbure et la gravité agissent précisément en sens inverse l'un de l'autre, c'est-à-dire que, comme on vient de le supposer, c'est là où la gravité est la plus intense, que le rayon de courbure est le plus grand. La relation qui existe entre les grandeurs de ces deux influences est donnée par la tenacité de la croûte; en effet, le poids de la croûte reste le même; d'où il résulte que la proportion de la pression totale, qui est utilisée pour déterminer une tension dans la croûte, est d'autant plus considérable que la pression totale est elle-même plus grande; de façon que, pour de très-fortes pressions, la différence des tensions dans la croûte ne dépendra plus sensiblement que de la courbure de la croûte. Ainsi, lorsque la tenacité de la croûte sera très-grande, la pression intérieure devra être considérable avant la rupture; et les lieux de soulèvement dépendront de la courbure, ce qui les portera dans le voisinage des pôles. Si la tenacité est faible, l'influence de la courbure pourra être inférieure à celle de la gravité, et les soulèvements se feront dans le voisinage de l'équateur. Enfin, si la tenacité présente une valeur intermédiaire entre les deux précédentes, le lieu de soulèvement pourra se fixer entre l'équateur et les pôles, à une latitude plus ou moins élevée, suivant la grandeur de cette tenacité.

Il devient évident, par les considérations précédentes, que la tenacité de la

croûte joue un très-grand rôle dans tous les phénomènes de soulèvements. Dans ce qui précède, on a supposé que l'épaisseur de la croûte était la même dans tous les points du globe; mais on sait, d'après ce qui a été énoncé sur la formation de la croûte, qui est due au refroidissement de la terre, qu'il n'en est point ainsi. La croûte s'étant formée plus épaisse dans le voisinage des pôles que dans les autres portions du globe, la résistance de ces régions s'est graduellement accrue, et, par cette raison, les soulèvements successifs ont dû en général s'éloigner des pôles pour se rapprocher de la zone tropicale; et, si l'on considère que plus la résistance de la croûte est grande, plus aussi la pression intérieure doit atteindre une grande intensité pour la rompre, on comprendra que les soulèvements récents doivent présenter en général des plateaux et des plaines immenses, ou des montagnes portées à une grande hauteur : c'est ainsi qu'on peut expliquer la hauteur considérable des montagnes dans le voisinage de la zone torride, la grande étendue des terres dans la zone tempérée, et l'absence de hautes montagnes aussi bien que de plaines étendues dans le voisinage des pôles. Ces conséquences ne sont cependant pas absolues, et j'ajouterai plus bas quelques considérations qui montreront comment on pourrait expliquer la présence des montagnes très-élevées dans le voisinage des pôles, ou des soulèvements considérables dans ces régions.

Une observation que je ferai encore sur le lieu des soulèvements, c'est que les terres maintenant une température plus élevée que les liquides, c'est dans l'hémisphère où les terres ont apparu d'abord, que le refroidissement a eu lieu ensuite avec le moins de vitesse; c'est donc là que les soulèvements ont dû avoir lieu de préférence : ainsi se trouverait expliquée l'abondance des terres dans l'hémisphère nord, si l'on pouvait arriver à justifier leur apparition première au dessus de l'équateur; et on y parviendra, en admettant que les élémens astronomiques du mouvement de la terre étaient, à l'époque des premiers soulèvements, les mêmes qu'ils le sont aujourd'hui. Le développement considérable des terres dans l'hémisphère boréal serait aussi expliqué, si, par l'étude des phénomènes astronomiques, on démontrait que cet hémisphère reçoit une quantité de chaleur du soleil plus grande que l'hémisphère austral, ou qu'elle lui est répartie d'une manière plus égale.

Je m'arrête ici, car je crains de dépasser le point des prévisions que l'on peut formuler lorsque l'on n'a pas la mesure exacte des forces qui sont en jeu et la connaissance des lois de leurs variations : je me borne à résumer maintenant

quelques-unes des conséquences que l'on pourra tirer, je crois, sans développemens ultérieurs, des idées développées dans les pages précédentes.

1° Que par leur moyen, on peut espérer de rendre compte d'une manière satisfaisante de l'étendue considérable des terres au dessus de l'équateur.

2° Qu'il est possible de justifier la hauteur considérable des montagnes dans le voisinage de la zone torride, et leur moindre élévation dans le nord.

3° Que lorsqu'un soulèvement a eu lieu suivant une certaine direction, un relèvement des mêmes points n'arrivera pas en général; à moins que la résistance de la croûte ajoutée au poids de la colonne liquide soulevée au dessus du niveau des autres points, qui ne le sont pas encore, ne présente une résistance plus faible que celle que ces derniers opposent au soulèvement.

4° On déduira aussi que des soulèvemens lents peuvent avoir lieu sur de grandes étendues de la croûte, quand elles offrent des résistances tellement combinées, par rapport aux surfaces de niveau, qu'elles tendent à céder sensiblement sous les mêmes tensions. La croûte cède alors en s'élevant lentement, en produisant des déchiremens partiels; c'est ainsi qu'on peut expliquer le mouvement ascensionnel de la Suède et du Chili.

5° Que des soulèvemens peuvent en définitive s'opérer sur des points très-résistans, lorsque tous les points plus faibles ont cédé auparavant. C'est de cette manière qu'on peut expliquer les soulèvemens renouvelés sur les mêmes points, et ceux du voisinage des pôles. Il est aussi possible de montrer que les soulèvemens, après avoir eu lieu suivant une direction, ont *une influence* sur la direction des soulèvemens subséquens, et que, sous ce point de vue, tous les soulèvemens et toutes les montagnes ne font qu'une famille, dont les membres sont liés entr'eux par leur ordre génétique. On verra également qu'il est possible de justifier toutes les directions de soulèvemens.

6° Que si la théorie que l'on vient d'énoncer à quelque fondement, elle n'aura complètement atteint son but, que quand elle sera parvenue à établir une relation mathématique entre la direction des lignes de moindre résistance, le temps et le rapport qui existe entre la cause qui développe la tension sous la croûte (1) et l'accroissement de résistance de la croûte elle-même; alors on pourra *donner les lois de la distribution des montagnes et des continens, et fixer la durée des époques géologiques*. C'est surtout ici que le géographe, en recherchant à posté-

(1) Cause qui a sans doute sa source dans la formation même de la croûte.

riori les lois de cette distribution, et le géologue, en déterminant l'ordre successif des soulèvements et leur nombre, apporteront des faits très-importans, et fourniront ainsi les conditions auxquelles devra satisfaire la formule générale qui les comprendra tous. — Tous les travaux sur la chaleur du globe relatifs à sa répartition, à son mouvement dans son intérieur ou à la surface de la terre, de même que ceux sur l'action du soleil, déduits de tous les élémens astronomiques du mouvement de la terre autour de cet astre et de l'intensité même de la chaleur envoyée par lui, auront une grande influence sur la solution de la question, car ils fourniront des données importantes sur l'épaisseur de la croûte terrestre en chaque point du globe; mais il est évident qu'il est très-difficile, pour ne pas dire plus, de reconnaître maintenant à priori tous les faits, même ceux qui sont généraux, qui doivent en amener la solution complète : la discussion en est délicate, et ne peut pas être établie aisément dans l'état actuel des diverses sciences que cela intéresse.

Les volcans pourraient peut-être présenter une objection importante à la théorie générale du soulèvement qui vient d'être exposée; il est, en effet, généralement admis que les volcans sont formés par des canaux qui font communiquer le noyau liquide avec la surface; ainsi donc, si cette communication existe, comment peut-il se faire qu'une tension se développant graduellement sous la croûte et sur le noyau liquide, elle ne fasse pas sortir peu-à-peu le liquide, et, limitant ainsi la tension, ne lui permette pas d'arriver à une grandeur suffisante pour soulever la croûte? Mais il faut remarquer :

1°. Qu'en supposant le soupirail du volcan rempli de liquide à une certaine hauteur, la croûte n'en sera pas moins pressée à l'intérieur par l'équivalent d'une colonne liquide, dont la hauteur égale la distance verticale qui sépare le noyau central liquide de la surface libre de la colonne soulevée.

2°. Que la matière qui constitue ce liquide, venant d'une couche profonde, est bien plus pesante qu'une autre colonne quelconque prise dans la croûte depuis le même niveau inférieur, et la différence de poids entre ces deux colonnes est même d'autant plus grande que la croûte devient plus épaisse, puisque le liquide, venant de couches de plus en plus profondes, est de plus en plus pesant. Pour le dire en passant, on peut tirer de là la conséquence, que, si la force qui cause les éruptions a été sensiblement la même dans tous les temps, ainsi que cela a dû être, si les éruptions sont dues à des causes chimiques instantanées, les volcans ont dû diminuer en nombre et en activité, à mesure que la croûte se

formait et devenait plus épaisse : envisagés de cette manière, ces faits deviennent une nouvelle preuve de la formation successive de la croûte.

Ainsi la tension intérieure peut augmenter jusqu'à devenir égale à la pression exercée par cette colonne liquide, avant que la substance intérieure s'écoule au dehors, et sans doute cette pression peut ainsi devenir suffisante pour briser la croûte et la porter à une hauteur beaucoup plus grande que le volcan lui-même; car, par exemple, en supposant une colonne de liquide de 18 lieues de hauteur, il suffit de lui donner une densité de $\frac{1}{9}^e$ plus grande que celle de la croûte, pour qu'elle puisse soutenir une colonne de la croûte égale à vingt lieues. Mais, dira-t-on, si les choses se passent ainsi, le liquide intérieur ne pourra plus arriver à la surface. C'est en effet une conséquence nécessaire, si l'on admet l'hypothèse mécanique de M. Cordier sur la cause des volcans, qui consiste à voir dans le retrait de la croûte la cause des éruptions; mais il n'en est pas de même quand on la regarde comme chimique; alors les masses considérables de gaz qui se développent, lorsque l'eau ou certains liquides atteignent cette couche centrale incandescente formée de corps simples ayant une grande affinité pour l'oxygène, déterminent une action brusque instantanée, et la pression qui en résulte ne se transmet plus, (comme quand elle s'est développée lentement dans toute la masse liquide, suivant toutes les directions et sans aucune perte d'intensité); car, en vertu de l'inertie, il faut un certain temps pour que les actions se transmettent : cette action brusque peut donc être accompagnée d'une force d'une grande intensité, capable de soulever de puissantes masses liquides, d'ailleurs considérablement allégées par la grande masse de gaz qui s'échappent en même temps, et qui la soulèvent comme de l'écume. La théorie développée dans ce mémoire aurait donc pour une de ses conséquences de donner aux éruptions volcaniques une cause chimique.

Si les conséquences contenues dans ce mémoire se vérifient un jour, elles deviendront une preuve bien grande de la liquidité primitive de la terre et de la formation successive d'une croûte laissant sous elle un noyau liquide. Sans doute, on ne pourra répondre à l'objection tirée des marées de ce noyau, qui devraient soulever la croûte deux fois en vingt-quatre heures, à moins d'admettre en même temps une résistance suffisante dans la croûte pour s'opposer à cet accroissement de pression. Sans doute que dans les premiers temps de la solidification, la croûte devait être soulevée par ces marées intérieures, qui ont dû avoir une influence sur sa formation; et peut-être qu'on doit rapporter à elles

une partie de la difficulté que l'on éprouve à déterminer la forme exacte de la surface actuelle du globe.

Les résultats que j'ai présentés dans ce mémoire ne doivent pas s'appliquer seulement à la terre, car, d'après l'hypothèse si ingénieuse et si satisfaisante de Laplace, sur la formation des planètes, elles ont dû toutes passer par les mêmes phases; partant de la nébulosité, elles sont arrivées à l'état liquide, ce qui est d'ailleurs prouvé par leur forme sphérique et leur aplatissement. Incontestablement un refroidissement prolongé a dû les couvrir d'une croûte. Les tensions qui ont pu se développer dans leur intérieur, ont dû également avoir les mêmes conséquences; ainsi l'on ne sera pas surpris que l'on ait découvert des montagnes dans Mercure, Vénus et la Lune; on en aurait certainement constaté dans toutes les planètes, si elles présentaient toutes des phases comme celles que je viens de citer. La hauteur des montagnes et la distribution des continens et des liquides, s'il en existe à leur surface, peut être prévue d'après les mêmes principes que ceux qui nous ont servi pour la terre. Il faut tenir compte de la pesanteur à leur surface, de leur aplatissement et de l'action solaire. En ne tenant compte que de cette dernière, et en observant que Mercure et Vénus ont leur axe de rotation diurne extrêmement incliné sur leur orbite, on en conclura que le soleil a une action à-peu-près égale sur toute leur surface; d'ailleurs, leur temps de révolution autour du soleil est moins long que celui de la terre. La croûte qui recouvre ces corps doit donc être à-peu-près d'une égale épaisseur à tous ses points : les résistances étant plus égales, les soulèvements peuvent y être plus étendus; et en observant que la tension intérieure doit avoir sa cause dans la formation de la croûte elle-même, celle-ci n'a dû céder que sous des tensions plus considérables, et en conséquence les montagnes ont dû être portées à une grande hauteur; ce qui résulte des observations.
