

NOTE

RELATIVE A L'UNE DES CAUSES PRÉSUMABLES

DES PHÉNOMÈNES ERRATIQUES,

PAR M. ÉLIE DE BEAUMONT.

EXTRAIT DU BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE,
2^e série, t. IV, p. 1554, séance du 5 juillet 1847.

Les feuilles du *Bulletin* qui se rapportent à la séance du 7 décembre 1846 et qui ont paru depuis plusieurs semaines, contiennent (p. 269 du présent volume) une lettre de M. le professeur Albert Mousson et un Mémoire de M. de Charpentier, dont l'objet est de combattre le Mémoire de M. de Collegno *Sur les terrains diluviens des Pyrénées* (1), et de poursuivre dans ce Mémoire l'application, faite par l'auteur aux Pyrénées, de l'hypothèse par laquelle je cherche, dans un *grand dégel géologique*, l'une des causes des phénomènes erratiques.

Je crois nécessaire d'ajouter, à cette occasion, quelques développements à la très courte note que j'ai présentée à la Société dans la séance du 19 mai 1845, et qui a été insérée dans le *Bulletin* (2).

M. de Charpentier discute, au commencement et à la fin de son Mémoire, le rapprochement que j'ai indiqué dans la note ci-dessus mentionnée, entre le phénomène erratique expliqué suivant mon hypothèse et la fusion des neiges du Cotopaxi opérée subitement dans les éruptions de 1742, 1743 et 1744. Par conséquent, mon savant antagoniste aurait pu ne pas oublier qu'en attribuant la fusion des neiges, dont les Alpes et les Pyrénées auraient été couvertes, à des gaz de la nature de ceux auxquels on attribue l'origine des dolomies et des gypses, j'entends parler de gaz comparables à ceux qui se dégagent dans les éruptions volcaniques et auxquels sont dues les averses désastreuses qui dévastent souvent les flancs et les environs des volcans, c'est-à-dire de

(1) *Annales des sciences géologiques*, publiées par M. Rivière. 1843.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e série, t. II, p. 406.



courants gazeux composés en très grande partie de vapeur d'eau.

Or, le calcul ingénieux et sans doute très exact en lui-même de M. le professeur Mousson, qui sert de base à tous ceux de M. de Charpentier, se rapporte uniquement à des gaz permanents qui n'éprouveraient aucune liquéfaction et qui n'agiraient pas par leur chaleur latente. En cela il fait abstraction de la *cause principale du dégel erratique*, dans lequel, comme dans tout autre dégel, la *chaleur latente* nécessaire pour transformer la neige en eau, est provenue principalement de la *chaleur latente de la vapeur condensée*.

On répète chaque hiver à Paris ce dicton populaire, qui sans doute a son équivalent dans tous les pays où il neige et dans toutes les langues, *qu'un bon dégel n'est jamais chaud*. Ce dicton, traduit dans le langage de la physique, signifie que la constitution atmosphérique qui opère le plus rapidement le dégel ou la fusion de la glace et de la neige, est un *air saturé de vapeur d'eau*, qui produit toujours une sensation de froid plus marquée qu'un air sec à la même température (1). Cet air humide opère la fusion de la glace et de la neige, non par l'effet de sa température qui peut être moins élevée que celle de l'air sec échauffé par un beau soleil pendant une journée sereine, mais par la condensation de la vapeur d'eau (2) qui, en abandonnant sa chaleur latente, transforme en

(1) Cette propriété réfrigérante de l'air humide qui en rend l'action si sensible, se révèle par un autre dicton populaire, expression également très fidèle des sensations générales : on dit que *lorsqu'il neige le froid entre dans les maisons*. Les maisons, après la neige, ne sont pas plus froides qu'auparavant : les toits couverts de neige se refroidissent même moins que les toits découverts ; mais l'air qui remplit les maisons est plus humide et produit, à température égale, une impression de froid plus vive. L'air sec est au contraire très mauvais conducteur de la chaleur ; de là vient que les voyageurs qui ont éprouvé, dans l'air sec de la Sibérie, des froids de 30 à 40°, en ont trouvé la sensation beaucoup plus supportable qu'ils ne l'avaient présumé à l'avance. Les masques dont on se couvre le visage en Sibérie, sont plutôt une précaution contre le rayonnement de la neige que contre le contact de l'air.

(2) Il s'est établi depuis quelques années, dans l'Amérique septentrionale, une industrie qui offre une illustration bien remarquable des propriétés physiques de la glace, de l'eau et de la vapeur qui se trouvent mises en jeu dans le phénomène du dégel.

On embarque à la fin de chaque hiver, dans les ports de la Nouvelle-Écosse et de la Nouvelle-Angleterre, de nombreuses cargaisons de la glace magnifique que produisent les froids si rigoureux de ces contrées. Ces cargaisons sont conduites pendant l'été, non seulement à

eau un poids de glace ou de neige presque égal à huit fois le sien.

La vapeur est presque aussi propre à fondre la glace que l'eau à éteindre le feu ou pour mieux dire à refroidir les corps incan-

Londres, mais encore au cap de Bonne-Espérance, à Calcutta, à Batavia, et même à Hong-Kong.

Depuis que cette note a été lue à la Société géologique, j'ai trouvé l'article suivant dans le *Journal des Débats* du 23 octobre 1847 : « Le navire l'Ashburton, chargé de glace, est arrivé à Hong-Kong (côtes de la Chine) le 31 août; il avait quitté Boston le 9 mars. » J'ai lu plus récemment encore, dans le n° du 25 décembre 1847 du même journal, qu'à l'époque du 22 octobre 1847, « le gouverneur général des Indes néerlandaises venait d'accorder à la maison Roselje frères et comp. de Batavia le monopole du commerce de la glace, avec franchise de droits d'entrée, à la condition, acceptée par MM. Roselje, d'avoir toujours en magasin une quantité de glace suffisante pour les besoins de Batavia et de ses environs. » Enfin le n° du 29 septembre 1848 annonce que M. Berne, négociant français à Batavia, « a passé avec le gouverneur général de Java un contrat en vertu duquel il s'est obligé à établir un dépôt de glace sur chacun des trois principaux ports de Java, savoir : à Batavia, à Smarang et à Soërbaja. »

La glace de la Nouvelle-Angleterre, devenue ainsi dans l'Inde un objet habituel de commerce, vogue sur les mers de la zone torride plusieurs semaines, plusieurs mois après que les rivières où on l'a prise, les montagnes au pied desquelles elle s'est formée, ont été débarrassées de leurs glaces et de leurs neiges par les vapeurs du printemps, et, traversant deux fois la ligne équinoxiale, elle arrive à Batavia sans avoir subi un déchet considérable.

Pour la préserver de la fusion, que semblerait devoir provoquer si rapidement le soleil des tropiques, on se borne à entasser cette glace à fond de cale, sur des madriers disposés convenablement, en séparant les blocs de glace les uns des autres par de petits lits de sciure de bois; on a soin également de mettre obstacle à la circulation de l'air. La glace renfermée à fond de cale a promptement condensé, en presque totalité, la faible quantité de vapeur que pouvait contenir l'air qu'on y a renfermé avec elle, ce qui détermine la fusion d'un poids de glace égal à huit fois celui de la vapeur condensée, poids qui ne peut être considérable. Cette fusion opérée, la glace restante n'est plus entourée que d'air où sa température ne peut plus condenser de vapeur, et qui ne peut lui transmettre de chaleur que par son contact aux effets duquel se joignent ceux du rayonnement des parois de la cale. Cet air presque sec, la sciure de bois et la coque de bois du navire sont des corps assez mauvais conducteurs pour que la glace qu'ils séparent seuls des eaux des mers tropicales, dont la température est d'environ 27° 1/2, n'en reçoive qu'une très faible quantité de chaleur, et ne perde par la fusion qu'une partie minime de son poids.

Au contraire, la glace restée dans les rivières se trouvant en con-

descents. L'eau en contact avec un corps incandescent lui enlève sa chaleur qu'elle transforme en grande partie en calorique latent. La vapeur en contact avec la glace lui rend ce même calorique latent qui sert à la fondre, et qui ne fait que passer du rôle *calorique latent de vaporisation* à celui de *calorique latent de fusion*.

La quantité de neige que la vapeur saturée est capable de fondre, augmente dans une proportion très lente avec la température de cette vapeur. D'après le beau travail de M. Regnault sur la chaleur de la vapeur d'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour transformer l'eau à 0° en vapeur saturée à 0°, est représentée par le nombre 606,5, c'est-à-dire égale à 606,5 fois la quantité

tact, dans les dégels du printemps, avec de la vapeur à une température même très peu élevée, mais sans cesse renouvelée, se résout en eau et s'écoule avec une extrême rapidité. Elle est constamment enveloppée par un air à peu près saturé d'humidité qui se renouvelle sans cesse et qui donne lieu à une condensation de vapeur continuelle, et par conséquent à la fusion d'un poids de glace égal à huit fois celui de la vapeur condensée. Le contact de l'air, la chaleur du soleil lorsqu'il brille, produisent aussi leur effet, mais cet effet est bien loin d'égaliser celui qui résulte de la condensation de la vapeur.

C'est ainsi que la glace embarquée se trouve encore presque intacte lorsqu'elle arrive dans l'Inde ou en Chine vers la fin de l'été, après avoir traversé deux fois la zone torride, tandis que la glace de la Nouvelle-Angleterre a disparu depuis six mois.

La glace embarquée est soumise au mode de fusion dont M. Mousson a calculé la marche; c'est pour cela qu'elle ne fond pas.

La glace restée en place est soumise à la cause que j'ai indiquée, à la chaleur produite par la condensation de la vapeur d'eau; c'est pour cela que le dégel s'en opère rapidement.

L'air sec, même lorsqu'il est assez fortement échauffé, n'opère que très lentement la fusion de la neige. Il suffit, pour être bien pénétré de cette vérité, de s'être quelquefois promené sur les glaciers par un soleil de juillet ou d'août, accompagné d'un vent sec du N.-E. On voit en outre la preuve de cette vérité dans les *iourtes* où les Lapons, les Samoièdes et les Esquimaux passent l'hiver. L'air humide agit tout autrement, et ce n'est que dans un climat assez froid pour que l'air y soit presque sec, qu'on peut vivre et faire du feu dans des cavités creusées dans la neige.

La comparaison de ces différents faits aidera à concevoir comment les calculs de M. Mousson, quoique très exacts en eux-mêmes, sont inapplicables à la question qui nous occupe. Ces faits montrent clairement l'extrême différence qui existe, relativement à la fusion de la glace, entre l'action de la vapeur qui lui cède sa *chaleur latente*, et celle d'un gaz sec qui ne peut lui céder que sa *chaleur sensible*.

de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de la même quantité d'eau. D'après le tableau publié par mon savant confrère, la quantité de chaleur nécessaire pour transformer l'eau à 0° en vapeur à 100°, est représentée par 637°; pour la transformer en vapeur à 200°, par 667,5, etc.; et d'après la formule $x=606,5+0,305T$, déduite de l'ensemble des expériences (1), on trouve :

pour 300°	698,0
pour 400	728,5
pour 500	759,0
pour 1000	914,5

La chaleur latente de l'eau ou la quantité de chaleur nécessaire pour convertir la glace à 0°, en eau à 0°, étant exprimée, d'après M. Regnault, par le nombre 79,25, on n'aura qu'à diviser les nombres précédents par 79,25 pour connaître la quantité de glace ou de neige à 0°, qui devrait être employée pour convertir 1 kilogramme de vapeur saturée à 0°, à 100°, etc., en eau à 0°. On trouve ainsi pour la vapeur saturée :

à 0°	$\frac{606,5}{79,25}$	= 7,65
à 100°	$\frac{637,0}{79,25}$	= 8,04
à 200°	$\frac{667,5}{79,25}$	= 8,42
à 300°	$\frac{698,0}{79,25}$	= 8,81
à 400°	$\frac{728,5}{79,25}$	= 9,19
à 500°	$\frac{759,0}{79,25}$	= 9,58 (2)

(1) V. Regnault, *Mémoires de l'Académie des sciences*, t. XXI, p. 726.

(2) Ces nombres, qui résultent d'expériences multipliées, dans lesquelles M. Regnault a encore surpassé, s'il est possible, son exactitude si bien connue, ne s'écartent que faiblement de ceux qui, depuis longtemps, servent de règle à la pratique, dans toutes les industries qui emploient la vapeur. On admet dans l'industrie que la vapeur saturée, quelle que soit sa température, contient par kilogramme 650 unités de chaleur, c'est-à-dire une quantité de chaleur capable d'élever d'un degré la température de 650 kilogrammes d'eau. Dans

Mais au-dessus de 100°, la vapeur qui se dégagerait des fissures du sol ne pourrait plus être saturée ; il faudrait tenir compte de la chaleur qu'elle aurait absorbée en se dilatant, et en supposant que la chaleur spécifique de la vapeur d'eau soit représentée par le nombre 0,8470, que MM. Delaroche et Bérard avaient déterminé (mais qui, d'après les dernières recherches de M. Pouillet, paraîtrait à la vérité un peu trop faible), on trouve qu'elle pourrait fondre un poids de neige égal au sien multiplié

à 200° par.	9,10
à 300° par.	40,47
à 400° par.	41,24
à 500° par.	42,31

On voit par là que la vapeur d'eau est presque toujours susceptible de fondre et de réduire en eau à la température de 0° un

les machines à vapeur, on cherche à condenser cette vapeur sans que l'eau qui sort du condenseur dépasse la température de 35°. L'eau injectée étant à une température moyenne d'environ 45°, on a l'équation suivante pour déterminer la quantité x d'eau de condensation qui doit être employée pour chaque kilogramme d'eau vaporisée dans la chaudière.

$$650 - 35 = x(35 - 45) = x \cdot 20$$

$$x = \frac{615}{20} = 30,75$$

Comme la vapeur avant d'être condensée perd toujours un peu de sa chaleur avant d'entrer dans le condenseur, celui-ci n'a pas besoin de recevoir une quantité d'eau absolument égale à celle indiquée par la formule, et la règle pratique est que le poids de l'eau d'injection doit être égal à trente fois le poids de l'eau d'alimentation. L'eau, dans les circonstances qui viennent d'être indiquées, sort en effet du condenseur à la température de 35°.

Maintenant, si on introduisait dans le condenseur de la neige à 0° au lieu d'eau, et si l'on voulait que l'eau sortit du condenseur à 0°, quelle devrait être la proportion de cette neige par rapport à celle de l'eau d'alimentation? En partant du résultat pratique, on peut déterminer le poids de neige y qui devrait correspondre à chaque kilogramme d'eau d'alimentation ou de vapeur par l'équation :

$$30 \cdot 20 + y \cdot 35 = y \cdot 79,25$$

$$y = \frac{635}{79,25} = 8,04$$

Ainsi, dans le cas que j'ai spécifié, le poids de la neige de conden-

poids de glace ou de neige égal à huit fois le sien , et qu'elle peut en fondre d'autant plus que la température est plus élevée ; mais on peut observer en même temps que sa puissance de fusion n'augmente que lentement à mesure que sa température s'élève, et on conçoit immédiatement que si l'air saturé d'humidité à 20 ou 30° produit un dégel plus rapide que l'air saturé d'humidité à 5 ou 6° seulement au-dessus de 0°, c'est presque uniquement parce que, dans le premier cas, il contient, dans un volume donné, une quantité de vapeur d'eau beaucoup plus grande que dans le second.

Indépendamment de ce qu'il néglige la chaleur latente de la vapeur, M. de Charpentier fait encore abstraction de cette circonstance, que des gaz comparables à ceux auxquels est attribuée l'origine des dolomies et des gypses auraient fait subir à la substance de la neige elle-même un véritable *métamorphisme*, en y introduisant des matières acides et salines qui lui auraient donné la propriété d'être liquide au-dessous de 0° du thermomètre centigrade.

Tout le monde sait que c'est en mélangeant certains acides ou différents sels, et particulièrement du sel marin, à de la glace, qu'on produit les mélanges réfrigérants au moyen desquels on congèle même le mercure. Je rappelle ci-après, dans une note, la composition de plusieurs de ces mélanges, que je tire de la physique de M. Pouillet, et j'ajouterai que c'est la considération de cette propriété qui m'a porté dernièrement à suggérer à des glacialistes pleins de zèle et de talent l'idée de transporter et de répandre sur les glaciers des matières salines à bon marché, telles que les résidus devenus inutiles des teinturiers de Zurich et de Mulhouse. On pourrait peut-être ainsi fondre, à peu de frais, certaines parties habilement choisies des glaciers, et en mettre le fond à découvert ; ce qui permettrait d'examiner d'une manière plus étendue et plus satisfaisante qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, les surfaces polies et striées que ces glaciers sont censés recouvrir.

Ce n'est pas uniquement dans les laboratoires qu'on voit l'action

sation devrait être égal (en nombres ronds) à huit fois le poids de l'eau d'alimentation, ce qui revient à dire que la vapeur saturée est capable de convertir en eau à 0° un poids de neige à 0° égal à huit fois le sien.

Tel est le résultat de la *pratique industrielle* appliquée à la question qui nous occupe. Il rentre dans celui auquel nous sommes arrivés par une autre voie.

des sels sur la glace produire des abaissements remarquables de température. M. Martins a constaté que près des glaciers du Spitzberg (1), la couche inférieure des eaux de la mer se trouve, au-dessous de 70 mètres de profondeur, à une température moyenne de 1°,75 centigrade au-dessous de 0°. Ce fait paraît tenir à ce qu'un glacier à 0° en contact avec la mer, dont la température est supérieure à 0°, fond, en partie, par l'action de l'eau salée sur la glace, et donne de l'eau à une température inférieure à 0° et peut-être même à — 2°, constituant ainsi un appareil réfrigérant d'une grandeur gigantesque.

L'eau de mer, qui ne contient pas au-delà de 0,04316 de matières salines où domine le sel marin, se congèle, d'après M. Despretz, à la température de — 2°,55 et a son maximum de densité à — 3°,67. De l'eau qui contiendrait seulement un centième de son poids du même mélange salin, se congèlerait probablement à — 0°,59, mais elle ne pourrait demeurer solide à 0°, et par conséquent elle ne pourrait subsister à l'état de neige sur un sol que le séjour de la neige ou de la glace aurait amené à la température de 0°, quand même l'air qui l'envirionnerait serait lui-même à 0°. Si donc toute la neige qui recouvre une montagne venait à se trouver mélangée d'un centième de son poids de sels analogues à ceux contenus dans l'eau de la mer, sa température s'abaisserait à — 0°,59, et il en fondrait une quantité correspondante à la quantité de chaleur dégagée par son abaissement de température, à celle que dégagerait l'action des sels sur la neige, et à celle qu'elle recevrait lentement du sol et de l'air extérieur, supposés l'un et l'autre à 0°.

La vapeur, ainsi que nous l'avons vu ci-dessus, peut, au moyen de sa chaleur latente, réduire à l'état liquide une quantité de glace ou de neige à peu près égale à huit fois son poids. Si à ce poids on ajoute celui de la vapeur elle-même, on voit que de la vapeur employée à fondre de la glace ou de la neige, doit produire un courant d'eau pure d'un poids égal à neuf fois le sien. Ce poids serait plus considérable encore si la vapeur était accompagnée de substances salines ou acides propres à produire des mélanges ré-

(1) *Mémoire sur la température de la mer Glaciale à la surface, à de grandes profondeurs et dans le voisinage des glaciers*, par M. Charles Martins. (*Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XXVI, p. 333.) Et *Voyages en Scandinavie, en Laponie et au Spitzberg de la corvette la Recherche*. — *Géographie physique*, t. II, p. 333.

frigérants ; car si , par l'effet d'un mélange de sels et d'acides , l'eau provenant de la fusion coulait à la température de -1° , la quantité de chaleur employée à la fusion se trouverait encore augmentée de toute celle que la masse coulante aurait abandonnée en descendant de la température de 0° à celle de -1° , sans parler du dégagement de chaleur que certains acides et certains sels auraient produit par leur action sur la glace ou sur l'eau (1). Il ne serait pas nécessaire que le mélange de sels et d'acides fût très considérable pour que le courant produit eût un poids égal à dix fois celui de la vapeur. Mais ce n'est pas tout encore , car s'il y avait de la

(1) Pouillet, *Éléments de physique expérimentale et de météorologie*, t. II, p. 554.

Si , en même temps qu'il y a fusion dans ces mélanges , il n'y avait pas d'action chimique dégageant de la chaleur , on comprend , dit M. Pouillet , qu'il suffirait de connaître les capacités des éléments et les quantités de chaleur latente pour calculer d'avance le degré de froid que l'on peut obtenir avec des éléments donnés ; mais la question est trop complexe pour qu'il soit possible à présent d'en faire l'analyse ; nous nous bornerons donc à rapporter les moyens pratiques de faire les mélanges réfrigérants les plus usuels.

Tableau des mélanges réfrigérants.

MÉLANGE DE NEIGE ET DE SEL , OU D'ACIDE ÉTENDU , OU D'ALCALI.	ABAISSEMENT DU THERMOMÈTRE , AU-DESSOUS DE 0° .
Neige. 1	de 0° à $17^{\circ},77$
Sel marin. 1	
Hydrochlorate de chaux. 3	de 0° à $27^{\circ},77$
Neige. 2	
Potasse. 4	de 0° à $28^{\circ},55$
Neige. 3	
Neige. 1	de $6^{\circ},66$ à 51°
Acide sulfurique étendu. 1	
Neige ou glace pilée. 2	de $17^{\circ},77$ à $20^{\circ},55$
Sel marin. 1	
Neige et acide nitrique étendu. 1	de $17^{\circ},77$ à $45^{\circ},33$
Hydrochlorate de chaux. 2	
Neige. 1	de $17^{\circ},77$ à $54^{\circ},44$
Neige ou glace pilée. 1	
Sel marin. 5	de $20^{\circ},55$ à $27^{\circ},77$
Hydrochlorate d'ammoniaque et nitrate de potasse. 5	
Neige. 2	de $23^{\circ},33$ à $48^{\circ},88$
Acide sulfurique étendu. 1	
Acide nitrique étendu. 1	de $27^{\circ},77$ à $51^{\circ},66$
Neige ou glace pilée. 12	
Sel marin. 5	de 40° à $58^{\circ},55$
Nitrate d'ammoniaque. 5	
Hydrochlorate de chaux. 5	de $55^{\circ},55$ à $68^{\circ},55$
Neige. 1	
Acide sulfurique étendu. 10	
Neige. 8	

glace ou de la neige en excès, le courant devrait en flotter ou en tenir en suspension, ainsi que nous le voyons si souvent en hiver dans les ruisseaux des rues de Paris, une certaine quantité dont la température serait abaissée au même degré que la sienne. On conçoit, d'après cela, qu'un courant de vapeur sorti des entrailles d'un terrain couvert de neige, a pu souvent donner naissance à un courant formé d'un poids d'eau, de neige et de glace égal à douze ou quinze fois le sien, sans parler des matières terreuses qui ont pu en outre s'y trouver mélangées.

La plupart des sels et des acides qui existent dans les émanations volcaniques ou dont on peut supposer l'existence dans les gaz auxquels est attribuée l'origine des dolomies et des gypses, sont susceptibles de produire, sur la glace et la neige, des effets analogues à ceux des sels contenus dans l'eau de la mer, ainsi qu'on peut en juger par le tableau reproduit dans la note ci-dessus.

Ces effets ont dû servir d'auxiliaires à la chaleur latente de la vapeur d'eau pour liquéfier les neiges à travers lesquelles ou près desquelles le courant gazeux, dont nous nous occupons, est supposé s'être dégagé. Ils auraient eu toute leur puissance à 0°. Les effets calorifiques de la condensation d'un poids déterminé de vapeur d'eau auraient eu eux-mêmes à 0° une grande partie de la puissance qu'ils auraient eue à 100°, et même à plusieurs centaines de degrés.

On voit par là que l'explication du phénomène erratique n'a pas besoin d'attribuer au courant gazeux qu'elle suppose s'être dégagé par les fissures du sol, une température supérieure à celle qui lui était nécessaire pour vaincre la pression atmosphérique. Elle ne gagnerait que peu de chose à ce que ce courant eût eu réellement une température très élevée. Il est même à remarquer que plus la température du courant serait élevée, plus serait grande la déperdition de chaleur qui s'opérerait par le contact du courant avec les parois de la fissure qui lui donnerait issue, puis avec l'air atmosphérique, et enfin par le rayonnement et par la diffusion de vapeur qui auraient lieu avant que l'eau résultant de la condensation de la vapeur fût descendue à la température de 0°. Cela me porte à présumer que si on entreprenait de fondre une masse déterminée de neige au moyen de la vapeur produite artificiellement dans une chaudière, on trouverait économie de combustible à opérer à une température peu élevée. L'hypothèse qui admet que le *dégel erratique* a été produit par des vapeurs à une

température peu élevée, me paraît aussi être celle suivant laquelle la nature l'aurait opéré avec la *dépense minimum* de chaleur.

Si l'on remarque en même temps que le poids de la vapeur nécessaire pour fondre un poids de neige déterminé n'est, dans tous les cas, qu'une assez petite fraction de ce dernier, on voit qu'il est parfaitement inutile, pour l'hypothèse que je soutiens, de supposer que le courant gazeux ait eu une température supérieure à celle qui lui était nécessaire pour vaincre la pression atmosphérique. Ce courant a pu arriver à la surface du sol à une température bien inférieure à celle des courants gazeux qui se dégagent de l'Etna et du Cotopaxi, inférieure même à celle des courants gazeux des soffioni de la Toscane (120°) et des geysers de l'Islande (124°,24) (1).

Le calcul de M. Mousson est donc inapplicable au phénomène erratique, tel que mon hypothèse tend à le faire concevoir. Mais M. de Charpentier y a associé une seconde supposition également étrangère à mon hypothèse : il parle d'une fusion générale qui se serait opérée en *une seconde* ; je n'ai jamais entendu rien de pareil.

Les torrents des Hautes-Alpes, des Cévennes et de beaucoup d'autres contrées montagneuses, font quelquefois irruption dans leur lit desséché avec une rapidité plus grande que celle avec laquelle un homme à cheval peut les fuir, et noient ainsi le voyageur surpris dans leurs gorges. Ces invasions subites résultent d'averses qui sont venues fondre dans les bassins de réception de ces torrents, mais dont la chute a duré un temps appréciable, plusieurs minutes, une demi-heure, une heure. L'eau se rassemble d'abord avec une certaine lenteur, et c'est quand elle est réunie en grande masse qu'elle se déchaîne avec cette vitesse effrayante dont je viens de parler.

Les dégels du printemps, qui exigent toujours quelques heures du souffle d'un vent assez chaud pour être très chargé de vapeur d'eau, produisent eux-mêmes des crues rapides et désastreuses, ainsi qu'on peut le voir dans l'excellent ouvrage de M. Surell sur les torrents des Hautes-Alpes (2), et comme le savent d'ailleurs tous les habitués des hautes montagnes.

(1) A. Descloiseaux, *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. XIX, p. 459.

(2) *Études sur les torrents des Hautes-Alpes*, par M. Surell, ingénieur des ponts et chaussées. L'Académie des sciences, dans sa

Les débâcles des rivières, lorsqu'elles se débarrassent de leurs glaces au dégel, sont des événements soudains, engendrés par des phénomènes qui progressent lentement jusqu'à un certain degré. Ces débâcles se propagent si rapidement, que, pour en atténuer les dangers, on les annonce quelquefois au bruit du canon.

On pourrait citer bien d'autres exemples de phénomènes rapides, préparés graduellement. Le dégel de la masse de neige et de glace éboulée en 1835 de la Dent du Midi produisait des masses boueuses qui grossissaient lentement, se mettaient enfin en mouvement, et qui, à des intervalles assez éloignés, débouchaient avec impétuosité par la gorge du nant de Saint-Barthélemy. Guidé par M. de Charpentier lui-même et par M. Lardy, j'ai vu avec un vif intérêt dans ces débordements boueux, qui flottaient, avec une aisance incroyable, des blocs calcaires de dimensions considérables, quoique inférieures à la profondeur du courant, une image en miniature du phénomène erratique tel que je le conçois.

Le grand dégel erratique produit surtout, comme ceux du printemps, par l'action de la vapeur d'eau sur la neige, aurait exigé de même un certain temps pour la fusion de cette neige et le rassemblement des eaux. En parlant d'une fusion opérée en un instant, je n'ai pas entendu fixer précisément la durée de cet *instant géologique*, et encore moins la limiter à *une seconde*.

Le calcul qui conduit M. de Charpentier au nombre effrayant de 58,000,000 de degrés (1) consiste à introduire cette durée d'*une seconde* dans la formule de M. Mousson. On voit qu'il repose sur deux éléments qui, l'un et l'autre, sont étrangers et même contraires à l'hypothèse que je défends. Je n'aurai donc plus à m'en occuper.

M. de Charpentier fait aussi un calcul sur la quantité d'eau qui aurait dû traverser en *une seconde* la plaine de Lastos, au bas de la vallée de Larboust. Il trouve un nombre de 48,000,000 de mètres cubes, et ce nombre est produit par la multiplication des trois facteurs 400, 1,200 et 100 :

$$400 \times 1,200 \times 100 = 48,000,000.$$

séance du 6 juin 1842, a décerné à cet ouvrage le prix de statistique fondé par M. de Montyon. (*Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, t. XIV, p. 877. 1842.)

(1) Voyez ci-dessus, p. 278 du présent volume du *Bulletin*.

Or, les valeurs de ces trois facteurs sont contestables; chacune en particulier:

1,200 mètres représentent la largeur moyenne de la vallée; cette largeur moyenne n'a pas été mesurée.

100 mètres est la vitesse par seconde que M. de Charpentier attribue au courant erratique. Mais M. de Collegno, bien loin de supposer une pareille vitesse, en repousse formellement la supposition; il rapporte, à la vérité, *exempli gratia*, un calcul qui donnerait une vitesse de 121 mètres, mais il ajoute immédiatement (p. 52 du tirage à part) que *ce résultat est beaucoup trop élevé pour qu'on puisse attribuer une telle rapidité aux courants descendus des Pyrénées* (1).

De mon côté, je n'ai jamais cherché à préciser d'une manière absolue la vitesse des courants diluviens, mais j'ai surtout évité de leur attribuer des vitesses exorbitantes, telles que celle de 100 mètres par seconde. Je ne me souviens d'avoir parlé de la vitesse des courants diluviens que dans un aperçu de mon hypothèse sur leur origine, que j'ai remis en 1832 à M. Arago, et d'après lequel mon illustre confrère a rédigé la note suivante, imprimée dans l'*Annuaire du bureau des longitudes* pour 1832, p. 348.

« La distance du *Thian-Chan*, à l'embouchure du fleuve *Léna*, » est de 8 à 900 lieues. A raison de 100 lieues par vingt-quatre » heures, un courant d'eau la parcourrait en huit jours. Supposons » que le *Thian-Chan* se soit soulevé *en hiver*, dans un pays où » les vallées nourrissaient des *Éléphants*, et où il existait des » *montagnes* couvertes de neige. Les vapeurs chaudes sorties du » sein de la terre au moment de la convulsion, auront fondu une » partie de cette neige et produit une grande masse d'eau à la tem- » pérature de zéro degrés. L'eau se sera précipitée vers la mer, avec » le reste des glaces et des neiges non encore fondues, entraînant » avec elle les corps des animaux qu'elle aura rencontrés dans les » vallées. Or, en huit jours, les cadavres, flottant dans de l'eau à » 0°, n'auront pu se putréfier que très légèrement. Une fois arrivés, » le climat sibérien d'aujourd'hui suffit pour expliquer leur con- » servation. »

En supposant la lieue de 5 kilomètres, la vitesse de 100 lieues par jour, dont il est question ici, revient à celle de 500,000 mètres par jour ou de 5^m,78 par seconde; *un peu moins de 6 mètres par seconde*.

(1) H. de Collegno, *Sur les terrains diluviens des Pyrénées*. (*Annales des sciences géologiques*, publiées par M. Rivière. 4843).

Une vitesse moyenne de 6 mètres par seconde attribuée aux courants diluviens, dans les plaines, suppose qu'ils en avaient une plus considérable dans les vallées des pays de montagnes. Aujourd'hui, les fleuves qui coulent dans les plaines, qui entourent les Alpes, acquièrent quelquefois dans leurs crues des vitesses de 4 à 5 mètres par seconde, et M. Surell calcule, dans son excellent ouvrage sur les torrents des Hautes-Alpes, que ces torrents, lorsqu'ils roulent des blocs de 20, de 30 et même de 60 mètres cubes et au-delà, peuvent avoir une vitesse de 14^m,28 par seconde, vitesse qu'il qualifie d'*excessive*, en remarquant que celle des vents impétueux n'est que de 15 mètres par seconde (1). Si la même proportion devait être suivie dans le cas qui nous occupe, une vitesse de 6 mètres par seconde dans les plaines en supposerait une de 19^m,56 dans les montagnes. Mais il serait aisé de démontrer que, comparativement aux crues des cours d'eau actuels, la vitesse des courants diluviens dans les montagnes n'a pas dû surpasser leur vitesse dans les plaines, dans une aussi forte proportion que celle qui s'observe aujourd'hui dans les crues des torrents comparées à celles des rivières; la vitesse de 19^m,56 est donc probablement trop grande comparativement à celle de 6 mètres par seconde; mais comme celle-ci n'était indiquée que comme un *minimum* qui a pu être dépassé de beaucoup, peut-être pourrait-on supposer que les vitesses des courants diluviens dans les Pyrénées ont atteint non seulement 19^m,56, mais de 20 à 30 mètres par seconde. On pourrait même être tenté d'en supposer de plus grandes encore; mais ces vitesses sont déjà énormes, et, d'après les faits rapportés dans le Mémoire précédemment cité de M. Surell, elles ont dû être capables de produire les effets les plus étonnants.

D'ailleurs, lorsqu'on cherche à se rendre compte de la vitesse que les courants diluviens ont pu acquérir, il faut se souvenir que ces courants n'ont pas dû être formés d'eau limpide. M. de Collegno rappelle dans son Mémoire que, suivant les anciennes idées de Palassou, semblables en cela à celles de Saussure, les courants diluviens ont dû être extrêmement boueux et même pâteux, ce qui empêcherait d'admettre complètement pour eux les vitesses que des calculs même rigoureux pourraient tendre à leur assigner. Un courant d'eau dont la vitesse s'accélère devient en même temps de plus en plus boueux et par suite de plus en plus visqueux, *circonstance qui tend à limiter sa vitesse et à en empêcher l'accroissement indéfini.*

(1) Surell, *Études sur les torrents des Hautes-Alpes*, p. 250.

Dans quelques remarques sur deux points de la théorie des glaciers que j'ai lues à la Société philomatique le 30 juillet 1842 (1), sans sortir des termes généraux, j'ai eu soin de graduer les expressions de manière à exprimer la même distinction. Je disais en effet « qu'avec des pentes et des sections pareilles à celles des courants diluviens, des courants d'eau prendraient des vitesses effrayantes; et que des courants de la boue même la plus visqueuse, formant des *nants sauvages* d'une échelle gigantesque, prendraient encore des vitesses énormes et capables d'effets prodigieux. »

Ici encore j'ai omis de fixer avec précision ces vitesses énormes; mais les nombres mentionnés ci-dessus fournissent les moyens de s'en former une idée. Une grande partie des effets que les courants d'eau sont susceptibles de produire sur leurs lits sont proportionnels au carré de leur vitesse. Le Rhône, à Lyon, dans ses plus grandes crues, atteint rarement la vitesse de 5 mètres par seconde. Celle d'un courant animé d'une vitesse de 20 mètres serait quatre fois plus grande. Ses effets destructeurs seraient donc seize fois plus considérables. Mais si ce courant, au lieu d'être formé d'eau, était formé de boue ayant une densité double de celle de l'eau, les effets seraient encore doublés, et deviendraient trente-deux fois aussi grands que ceux du Rhône dans ses plus grandes crues. Or, si le Rhône venait à choquer ses ponts, ses quais, ses berges avec une force trente-deux fois aussi grande que celle avec laquelle il les choque dans ses plus grandes crues actuelles, il est certain qu'il les balayerait en peu d'instant et en transformerait les matériaux en blocs erratiques et en gravier. De pareils effets peuvent suffire pour expliquer l'origine des vallées, et je crois qu'en attribuant aux courants diluviens une vitesse de 20 à 30 mètres par seconde (2) on atteint à peu près les limites de la vraisemblance; car une vitesse de 30 mètres comporte encore des effets plus que doubles de ceux que je viens d'indiquer,

(1) *Ann. des sciences géol.*, publiées par M. Rivière, p. 565. 1842.

(2) Il n'est personne qui n'ait remarqué des jambages de portes cochères *sillonées* et *striées* par les extrémités des essieux des charrettes. Ces essieux, au moment du choc, ont rarement une vitesse de plus d'un à deux mètres par seconde.

Une locomotive de chemin de fer ne prend que rarement une vitesse de plus de dix mètres par seconde. Or, personne ne doutera qu'une locomotive armée de pointes de quartz ne fût capable de strier la paroi intérieure d'un tunnel.

Les fusils à piston n'ont pas encore fait oublier complètement les

attendu que 900, carré de 30, est plus que double de 400, carré de 20.

Les courants diluviens n'ont pas dû avoir la même vitesse dans tous leurs points : comme nos rivières, ils ont dû quelquefois se ralentir, et c'est alors surtout qu'ils ont dû former des dépôts.

Indépendamment des observations générales que j'ai rappelées, M. de Collegno remarque spécialement (p. 48 et 58, et en plusieurs autres endroits de son Mémoire) que les grands dépôts, tels que celui de Garen (qui tient à la plaine de Lastos) peuvent être attribués à un *ralentissement* que le courant aura éprouvé par suite des coudes, des étranglements et des élargissements successifs de la vallée, et c'est précisément pour un pareil point que M. de Charpentier, dans ses calculs, prête au courant une vitesse à peu près égale au quart de celle d'un boulet de canon !

Enfin, le troisième facteur, 400 mètres, est la hauteur au-dessus du fond de la vallée actuelle à laquelle on observe les débris erratiques les plus élevés. Or, on peut remarquer d'abord, en thèse générale, que pour expliquer les traces laissées par les courants diluviens sur les flancs des vallées, il n'est pas nécessaire de supposer que ces courants aient jamais été capables de les remplir depuis leur fond actuel jusqu'à la limite supérieure des traces qu'ils ont laissées, car ces mêmes courants, pendant leur durée, ont dû creuser et élargir le fond des vallées de manière à y couler, d'instant en instant, à des niveaux de plus en plus bas.

M. de Collegno remarque d'ailleurs (p. 57) qu'un flot arrivant contre une pente de 20 à 30°, y glisserait en la remontant et pousserait devant lui des blocs qui pourraient atteindre ainsi une hauteur supérieure à celle indiquée par le calcul, c'est-à-dire dans le cas actuel, une hauteur supérieure à celle que le courant n'aurait pas dépassée s'il avait continué son cours en ligne droite. Il rappelle en outre (p. 48) qu'un flot bourbeux peut rejeter à des niveaux assez élevés au-dessus de sa surface, quelques uns des

anciens fusils à pierre. Rien ne ressemble plus aux stries erratiques que celles que la pierre d'un fusil produit sur la platine. Or, M. le colonel d'artillerie Morin, membre de l'Académie des sciences, estime, d'après ses propres expériences, que la pierre d'un fusil choque la platine, en ouvrant le bassin, avec une vitesse d'environ 5 à 6 mètres par seconde.

Je suis convaincu qu'un courant boueux, mêlé de blocs et de fragments de quartz, n'aurait pas besoin d'être animé d'une vitesse de 20 mètres par seconde pour couvrir son lit de stries.

fragments qu'il a entraînés. On peut voir dans l'ouvrage déjà cité de M. Surell, que des torrents dont la vitesse ne dépasse peut-être jamais 15 mètres par seconde, lancent quelquefois des blocs de roches sur leurs bords ou sur leurs ponts, de manière à les ficher dans les charpentes. Ce savant ingénieur démontre qu'une vitesse de 14^m,28 par seconde « peut rendre compte du transport de ces » blocs énormes (20, 30 et même 60 mètres cubes et au-delà), » que l'on voit après les crues dispersés çà et là sur les lits de » déjection. On se rappelle, ajoute-t-il, que le torrent les balaise » avec une telle facilité qu'ils sont souvent *projetés à plusieurs » mètres de hauteur hors de son lit* (1). »

Un torrent qui aurait tourné dans la plaine de Lastos avec une vitesse de 100 mètres par seconde se serait trouvé dans une circonstance éminemment propre à lui faire lancer de pareilles *éclaboussures* à une hauteur supérieure à son niveau moyen, et sans admettre qu'il ait jamais eu cette vitesse énorme, on peut expliquer, par le concours des deux effets que je viens de mentionner, pourquoi les débris erratiques atteignent, sur la pente qui borde au nord la plaine de Lastos et qui devait être exposée au choc du courant, une hauteur *supérieure de beaucoup à celle qu'ils atteignent sur la pente opposée*. De là il résulte que la hauteur de 400 mètres à laquelle on observe encore des débris erratiques sur la pente septentrionale exposée au Sud serait, de toute manière, une mesure exagérée de la profondeur du milieu du courant.

On voit donc que le nombre 48,000,000 de mètres cubes, produit de trois facteurs contestables ou même complètement incompatibles avec les suppositions admises par M. de Collegno, est affecté relativement à la discussion à laquelle il devrait servir de base, d'une inadmissibilité triple et je pourrais dire *cubique*.

Mais il y a plus encore : ce nombre, fût-il calculé rigoureusement, devrait être réduit dans une forte proportion par cela seul que, dans le *Mémoire* de M. de Charpentier, il est censé se rapporter à de l'eau pure, tandis que les courants diluviens devaient être excessivement boueux. M. de Collegno n'a pas oublié de rappeler (p. 53 de son *Mémoire*), que le courant de la débâcle de Bagnes, dans la partie la plus rapide de son cours où il avait une vitesse de 11 mètres par seconde, contenait seulement, d'après l'estimation de M. Escher de la Linth $\frac{1}{8}$ de son poids, ou ce qui revient au même $\frac{1}{8}$, ou un peu plus d'un quart de son volume, d'eau pure. On pourrait être tenté d'objecter que cette proportion

(1) Surell, *Études sur les torrents des Hautes-Alpes*, p. 250.

entre l'eau et la matière terreuse entraînée diffère si énormément de celle qui a été observée dans les rivières les plus troublées par les crues, comme le Rhône, le Nil, le Mississipi, le Gange, qu'on serait tenté de soupçonner qu'elle a été évaluée d'une manière exagérée. Je réponds à cela qu'il n'y a aucune parité entre une *eau trouble* qui tient les matières terreuses en suspension et une *boue coulante*. Je ne crois pas qu'il y ait une très grande exagération dans l'évaluation que je viens de citer, parce que pour rendre molle et coulante une masse terreuse il faut certainement beaucoup moins d'eau qu'il n'en faudrait pour laver et isoler les grumeaux solides qu'elle pourrait renfermer, opération qui exige nécessairement que l'eau *prenne en suspension* toutes les matières terreuses qui y sont mélangées. Or, l'expérience a appris que pour laver les minerais de fer en grains, on peut quelquefois, comme dans le département des Ardennes; ne dépenser qu'un *volume d'eau égal à sept fois seulement celui des minerais bruts* (1). Une grande masse du mortier dont on se sert pour bâtir serait une masse coulante; or, quand un maçon fait du mortier, il n'y met pas, en général, un volume d'eau égal à celui des matières terreuses et sableuses qu'il emploie.

Enfin, il s'est glissé une erreur ou un malentendu considérable dans le calcul que fait M. de Charpentier de la surface dont les neiges, rapidement fondues, ont pu fournir les eaux du courant diluvien de la plaine de Lastos.

D'après la feuille 76 de Cassini, cette surface équivaut au moins à une ellipse dont le grand axe serait de 12,500 mètres, le petit axe de 5,500 mètres, et dont l'aire aurait par conséquent pour mesure $\pi. 6250. 2,750 = 53,996,000$ mètres carrés, ou en nombres ronds 54,000,000 de mètres carrés. Cette surface serait même augmentée d'un quart en sus et portée à 67,500,000 mètres carrés, si on y comprenait, comme il paraîtrait convenable de le faire, les surfaces des différents vallons dont les eaux affluent à Garen et passent en face du village de Cazaux, au-dessus duquel se trouvent ces blocs situés à 400 mètres au-dessus du torrent d'Oo, qui fournissent un des éléments du calcul.

M. de Charpentier n'évalue qu'à 34,000,000 mètres carrés la surface dont les eaux coulent vers la plaine de Lastos; il la réduit par conséquent à moins de la moitié de sa grandeur réelle.

On trouvera peut-être que je me montre sévère à l'égard de ces chiffres, mais il existe une circonstance qui devait à elle seule

(1) Parrot, *Annales des mines*, 2^e série, t. VIII, p. 47. 1830.

rendre ces mêmes chiffres singulièrement suspects d'exagération, c'est qu'en répétant le calcul pour d'autres localités moins resserrées que la vallée de Larboust, on n'arrive plus à la même impossibilité. Ainsi, M. de Collegno, dans la réponse qu'il a faite lui-même, dans une séance du congrès scientifique de Milan, aux objections de M. de Charpentier, réponse qui a été imprimée par extrait dans les actes du congrès et en entier dans le *Bulletin de la Société géologique*, 1844-1845, et qui a formé en grande partie les chapitres 13 et 32 des *Elementi di geologia* de cet habile géologue, M. de Collegno, dis-je, a montré que la fusion subite des glaciers de la Valteline pourrait rendre compte de la distribution des blocs erratiques dans le bassin du lac de Como, même dans ses circonstances les plus étonnantes et dans celles qui sont les plus rebelles à l'explication glacialiste.

Au surplus, tout en signalant l'exagération des nombres sur lesquels MM. de Charpentier et Mousson ont basé leur argumentation, il est une justice que je suis heureux de pouvoir rendre à mes savants amis, c'est qu'ils ont signalé deux points par lesquels la question des phénomènes erratiques est accessible au calcul. Ce qui me paraît prouver que le calcul n'est pas ici hors de saison, c'est qu'il a conduit ces habiles géologues à toucher, avec leur sagacité habituelle, le point délicat de la question, en s'attaquant à la grandeur de la quantité d'eau qui, toute réduction faite, a été nécessaire pour la production des courants diluviens. Ils me paraissent avoir trouvé le moyen de démontrer que, relativement à beaucoup de vallées moins favorablement situées que la Valteline, la fusion des neiges d'un hiver *normal* n'aurait pu suffire pour les produire, et que l'hypothèse de la fusion des neiges ne peut suppléer à l'insuffisance aujourd'hui reconnue de celle de la rupture des lacs (*bursting of lakes*) pour expliquer les phénomènes erratiques par les causes actuelles.

En cherchant, moi-même, dans la fusion des neiges et des glaces un nouveau moyen de rattacher ces phénomènes aux soulèvements des chaînes de montagnes, je n'ai pas eu la pensée de les expliquer par les causes actuelles, et par conséquent je ne me suis pas assujéti à ne prendre en considération que les effets possibles de la fusion des neiges et des glaces accumulées dans un hiver ordinaire.

Chacune des années pendant lesquelles l'écorce du globe s'est hérissée de nouvelles chaînes de montagnes a dû être presque aussi anormale au point de vue météorologique qu'au point de vue géologique, et il paraîtrait assez naturel d'admettre au nombre

des anomalies météorologiques qu'elle a dû présenter la production d'une quantité extraordinaire de pluie pendant l'été et de neige pendant l'hiver. La question de savoir comment cette surabondance a pu être assez grande pour rendre possibles des courants aussi considérables que l'ont été les courants diluviens me paraît à moi-même environnée encore de beaucoup de difficultés ; mais je ferai observer que ces difficultés n'ont rien qui soit particulier à la vallée de Larboust, ni même aux vallées des pays de montagnes. Elles existent pour la plaine de Pamiers (Ariège), pour les plateaux de Jaca, de Pampelune (en Navarre), de Mont-Dauphin (Hautes-Alpes), du fort Barrault (Isère), pour la plaine dans laquelle est creusé le lit de l'Ain, immédiatement au-dessous de Champagnole (Jura), pour les plaines de Munich, de la côte Saint-André (Isère), de la Crau (Bouches-du-Rhône), et pour beaucoup d'autres, tout aussi bien que pour la plaine de Lastos, et si on y voyait un argument suffisant pour couvrir la dernière d'un glacier, on devrait (sauf à expliquer comment un glacier peut produire une plaine) en placer aussi dans les autres, ce à quoi, si je ne me trompe, il a été sursis provisoirement. Les mêmes difficultés se présentent aussi pour les vallées des pays de plaines, où mes savants amis admettent avec moi l'existence des courants diluviens ; et par conséquent, s'il était démontré que ces difficultés ne pussent absolument être résolues, cela ne constituerait pour eux-mêmes qu'un demi-succès. Ils ne doivent pas avoir oublié que c'est seulement en revenant, pour les terrains erratiques des vallées qui traversent les plaines, à l'hypothèse de certains courants diluviens qu'ils ont pu se débarrasser de l'hypothèse des *glaces universelles* et des *plaisanteries* qu'il était aisé de faire sur d'anciens glaciers du Morvan, suivant jusqu'à la mer les vallées de l'Yonne et de la Seine ; sur d'anciens glaciers de la Côte-d'Or, suivant toutes les sinuosités de la Marne et contournant la presqu'île de Saint-Maur pour se réunir, à Charenton, aux glaciers du Morvan ; sur d'anciens glaciers de l'Argonne et de l'Ardenne, suivant tous les contours des vallées de l'Aisne et de l'Oise pour venir se joindre aux premiers à Conflans-Sainte-Honorine.

Des débris erratiques de toutes les provenances que je viens de désigner se trouvent réunis ensemble dans les sablières de Rouen, et de toutes les hypothèses proposées pour expliquer leur transport et leur mélange, celle de grands courants parcourant simultanément toutes les vallées dont les eaux affluent à Rouen, est la seule qui puisse mériter un examen sérieux. D'après la grosseur des blocs

et le volume total des débris qu'ils ont charriés, ces courants méritaient bien le nom de *diluvians* ; or, relativement aux courants diluviens, je suis également convaincu de deux choses : la première, c'est qu'ils ont été produits par des forces qui existent constamment dans la nature ; qui, pendant les périodes de tranquillité, sont bien plutôt endormies qu'anéanties ; et qui, dans tous les paroxysmes de leur action, demeurent constamment soumises aux lois ordinaires de la physique : la seconde, c'est que pour produire les courants diluviens, ces forces ont agi avec une énergie *extraordinaire*. Si elles n'avaient pas déployé une énergie extraordinaire, les traces des courants diluviens de différentes époques n'apparaîtraient pas dans la série des phénomènes géologiques comme autant de perturbations et n'auraient pas conduit à recourir aux dénominations de *cataclysmes* et de *terrains clysmiens*. Le soulèvement d'un système de montagnes est en lui-même un fait *extraordinaire*, s'il est vrai, comme j'ai essayé de le montrer, que le genre humain n'a été témoin, tout au plus, que d'un seul phénomène de ce genre.

Je ne puis donc m'effrayer de voir établir que, pour expliquer les courants diluviens, il faut recourir à des hypothèses considérables, et je ne puis que rendre hommage à la justesse d'une pareille déduction.

Au reste si M. de Charpentier et M. Mousson voulaient bien rétablir leurs calculs sur des données plus conformes aux aperçus très nettement indiqués par M. de Collegno, ils trouveraient moins exorbitantes les hypothèses à faire sur les dégagements de vapeur qui, à en juger par les éruptions actuelles, ont pu successivement *précéder, accompagner et suivre* les éruptions des ophites, comme des geysers, et des soffionis temporaires, dont les eaux thermales et salines des Pyrénées ne seraient plus que de faibles vestiges.

S'il s'agissait d'expliquer les courants diluviens par des pluies, il faudrait les supposer immenses ; mais pour les neiges, *qui peuvent s'accumuler* sur les montagnes pendant des années et des siècles, on peut avoir recours au temps pour faciliter l'explication. Lorsqu'on attribue les phénomènes diluviens à de grandes pluies, on est obligé de supposer que toute la quantité d'eau qui y a été dépensée est tombée en très peu de jours ; mais lorsqu'on les attribue à une fonte de neiges, on peut concevoir que toutes les neiges d'un hiver et même, en partie, celles de plusieurs hivers consécutifs y aient été employées. Le recours à la neige réduit à son *minimum* la difficulté de concevoir comment la

quantité d'eau nécessaire aux courants diluviens a pu se trouver réunie à la naissance des vallées.

Le soulèvement du Monte-Nuovo, près de Pouzzoles (29 septembre 1538), fut précédé pendant deux ans par des tremblements de terre. Le soulèvement du Malpays de Jorullo (29 septembre 1759) et la grande éruption du Vésuve, en 1760, furent précédés par une série de tremblements de terre qui dura dix ans, et sur laquelle M. de Collegno a écrit une notice pleine d'intérêt. Les secousses s'étendirent de la Perse au Mexique. Le tremblement de terre de Lisbonne (1^{er} novembre 1755) fut compris dans leur nombre. Plusieurs d'entre eux furent accompagnés de dégagements de vapeur. Les *Hornitos de Jorullo* fumaient encore en 1803, c'est-à-dire quarante-quatre ans après le soulèvement.

Un certain changement dans l'aspect du ciel et une baisse considérable du baromètre (indice de la présence de beaucoup de vapeur d'eau dans l'atmosphère) ont été les signes précurseurs d'un grand nombre de tremblements de terre.

Je ne vois pas ce qui empêcherait de supposer qu'à l'époque de l'éruption des ophites, des vapeurs se sont dégagées pendant longtemps du sein de la terre; que ces vapeurs ont couvert les montagnes de quantités immenses de neige; mais qu'à plusieurs reprises des bouffées plus considérables et subites de vapeurs aqueuses, acides et salines, ont liquéfié les neiges accumulées.

Peut-être ne serait-il pas impraticable de concilier ainsi, jusqu'à un certain point, mon hypothèse avec la partie fondamentale des idées d'après lesquelles M. de Charpentier a si ingénieusement expliqué la formation de ses immenses glaciers. Il suffirait d'admettre qu'un dixième ou même seulement un quinzième de la vapeur se serait dégagé par accès brusques. D'après les calculs exposés plus haut, il n'en aurait pas fallu davantage, car la vapeur aurait pu liquéfier environ huit fois son poids de neige, les sels et les acides auraient concouru au même effet, et la neige n'a pas besoin d'être fondue en totalité pour produire un courant. Peut-être mon excellent maître et ami ne se refusera-t-il pas à me faire de son côté cette légère concession, qui se réduirait presque à reconnaître combien il serait difficile de concevoir que les efforts aveugles des soulèvements eussent réussi à produire, de prime abord, des générateurs de vapeur parfaitement réguliers et complètement exempts d'intermittences (1) et de soubresauts.

(1) On expliquerait très simplement, par ces intermittences, les étages successifs que présentent les vallées des Pyrénées et de beau-

On cherche sur la surface du globe des traces d'anciens glaciers, et il est naturel de les y chercher dans les limites où, comme je me suis empressé de le reconnaître depuis longtemps (1), on peut concevoir que le climat de l'Europe a été autrefois plus favorable qu'aujourd'hui à l'extension des glaciers. Mais il est naturel de chercher aussi, sur la surface du globe, les traces de beaucoup d'autres phénomènes dont l'ordre actuel des choses nous conduit à concevoir la possibilité.

Les inondations les plus étonnantes, et je pourrais dire les plus diluviennes, que les annales de la nature nous présentent, ont été produites, soit par des glaciers, soit par des volcans, et quelquefois par les deux causes réunies. Je rappellerai la catastrophe de Bagnes, celle de la Dent du Midi, celle qui a eu lieu dernièrement, d'après M. le colonel Acosta, dans les environs de Bogota, les éruptions déjà citées du Coto-Paxi, celles de l'Islande, mentionnées par M. Krug de Nidda, celle de l'Etna en 1755, la ruine d'Herculanum et de Pompeia, l'éruption du volcan de Galung-Gung, en 1822, dans l'île de Java, qui fit périr 4000 habitants, celle du volcan de Wunzen, au Japon, qui fit périr, par l'action des eaux, 53,000 personnes.

Voici dans leur ensemble et dans l'ordre chronologique des phénomènes, les passages principaux des récits que La Condamine et Bouguer nous ont laissés des éruptions semi-diluviennes de Coto-Paxi.

Bouguer et La Condamine, étant sur le Pinchincha, le 19 juin 1742, remarquèrent un tourbillon de fumée qui s'élevait de la

coup d'autres pays, étages sur lesquels M. Boubée a appelé à plusieurs reprises l'attention des géologues.

(1) Je demande la permission de reproduire ici le passage du rapport auquel je fais allusion... « Cette supposition d'hivers plus froids en » Europe, pendant la période qui a précédé la nôtre immédiatement, » serait d'ailleurs en harmonie avec plusieurs autres résultats d'observations qu'il serait trop long de rapporter ici... Parmi ces faits curieux, je citerai certaines digues de débris qu'on observe dans les » Alpes, à une certaine distance (quelquefois à près d'une lieue) de » l'extrémité inférieure des glaciers actuels, notamment dans la vallée » de Chamouny et dans celle de Ferret. Les digues dont je parle » m'ont présenté tous les caractères de véritables moraines. Peut- » être le *Gulf-stream*, qui réchauffe aujourd'hui l'Europe occidentale, n'existait-il pas encore pendant les dernières périodes géologiques qui ont précédé la nôtre. » *Comptes rendus des séances de l'Académie*, t. XIV, p. 402 (1842). Rapport sur un mémoire de M. Durocher.

montagne du Coto-Paxi. Nous apprîmes, à notre retour à Quito, dit La Condamine, que cette montagne, qui avait jeté des flammes plus de deux siècles auparavant, peu après l'arrivée des Espagnols, s'était nouvellement enflammée le 15 au soir, et que la fonte d'une partie des neiges avait causé de grands ravages. Revenus à Quito le 22 juin, on n'y parlait que de l'éruption du Coto-Paxi et des suites funestes de l'inondation causée par la fonte subite d'une grande partie des neiges, dont l'amas, entassé depuis deux siècles au moins, couvrait encore la veille toute la partie supérieure de cette montagne (1).

Le dernier incendie (du Coto-Paxi), celui de 1742, qui s'est fait en notre présence, dit Bouguer, n'a causé de tort que par la fonte des neiges, quoiqu'il ait ouvert une nouvelle bouche à côté, vers le milieu de la hauteur. Il y eut deux inondations subites, celle du 17 juin et celle du 9 décembre, mais la dernière fut incomparablement plus grande; l'eau, dans sa première impétuosité, bouleversa entièrement le poste qui avait servi de station à nos sixième et septième triangles; elle monta de plus de 120 pieds en certains endroits. Sans parler d'un nombre infini de bestiaux qu'elle enleva, elle rasa 5 à 600 maisons, et elle fit périr 8 à 900 personnes. Toutes ces eaux avaient 17 à 18 lieues de chemin à parcourir ou plutôt à ravager vers le S., dans la Cordillère, avant de pouvoir en sortir par le pied du Tonguragua; elles ne mirent pas plus de trois heures à faire ce trajet (2). (Cela suppose que la vitesse moyenne du courant était de 6 à 8 mètres par seconde.)

Après 1742, il y a eu de nouveaux embrasements du Coto-Paxi à plusieurs reprises, particulièrement le 27 septembre 1743 et la nuit du 30 au 31 novembre 1744, et les effets ont encore été plus terribles.

En 1744, dit La Condamine, les rivières ou torrents s'enflèrent si prodigieusement que trois ou quatre ponts de pierre furent emportés, et qu'une manufacture de drap très solidement bâtie, à 12 lieues du volcan, fut entièrement détruite. Le village de Napo, distant de plus de 30 lieues en droite ligne, peut-être de plus de 60 par les grandes sinuosités du cours des rivières entre les montagnes, fut enlevé entre minuit et une heure du matin, cinq à six heures après la grande explosion (3). (Cela suppose que

(1) La Condamine, p. 150.

(2) Bouguer, *Mémoires de l'Académie* pour 1744, p. 271.

(3) La Condamine, p. 156.

la vitesse moyenne du courant était de 10 à 15 mètres par seconde.)

Par des lettres de Quito, reçues pendant que cet ouvrage est sous presse, j'apprends que le 3 septembre 1750, *Coto-Paxi* faisait entendre depuis trois jours, sans discontinuation, de nouveaux mugissements plus terribles que jamais, entremêlés de sons éclatants qui faisaient craindre une nouvelle explosion (1).

On voit par ces différents récits que Bouguer et La Condamine ont eu connaissance de quatre inondations produites par le *Coto-Paxi*, dans l'espace de trois ans et demi, et que la seconde de ces inondations, qui a été l'une des plus désastreuses, est résultée de la fusion des neiges accumulées sur la cime de la montagne dans l'espace de moins de six mois, du 17 juin au 9 décembre 1742. La fusion des neiges n'a pu être produite par les laves; car le *Coto-Paxi* est du nombre des volcans qui n'en ont jamais rejeté. Elle ne peut être attribuée qu'au courant gazeux sorti du volcan au moment de l'éruption, et particulièrement à la *chaleur latente* de la vapeur d'eau contenue dans ce courant gazeux, et condensée en partie au contact de la neige.

Cette vapeur s'est probablement trouvée en grand excès, car il n'est pas dit que la fusion de la neige ait influé en aucune manière sur l'allure générale des éruptions du *Coto-Paxi* comparées à celles du *Pinchincha* qui n'entre pas, ou qui entre à peine dans la région des neiges perpétuelles.

Si, au lieu de se dégager en une colonne compacte par une cheminée établie depuis longtemps, le courant gazeux eût trouvé la cheminée fermée et se fût dégagé au-dessous de la neige par une multitude de fissures, comme par une pomme d'arrosoir, une masse de vapeur infiniment moindre aurait pu produire la même inondation. L'inondation aurait été plus forte si le *Tunguragua* avait fait éruption en même temps que le *Coto-Paxi*; mais on sait qu'il est très rare que deux volcans d'un même groupe fassent éruption en même temps. Si les cimes neigeuses des Andes, au lieu d'être isolées, formaient une crête continue, et si des vapeurs s'y dégageaient simultanément par toutes les fissures du sol, au lieu d'un phénomène semi-diluvien, il se produirait un véritable déluge.

Bouguer et La Condamine, on vient de le voir, parlent de ces inondations comme de phénomènes devenus habituels, devenus pour ainsi dire des *phénomènes courants* pendant la période d'érup-

(1) *Id.*, p. 160.

tion du Coto-Paxi, dont ils ont été les témoins. On pourrait s'étonner de ne pas posséder encore de récits analogues pour les autres volcans des Andes; mais on peut remarquer que ces volcans ne versent pas tous leurs eaux dans une vallée peuplée, cultivée, industrielle, située aux portes d'une grande ville, et que la France, malheureusement, n'a pas constamment entretenu des académiciens à poste fixe pour observer ce qui se passe sur tous les volcans couverts de neige. Le Coto-Paxi est, au reste, un des plus remarquables parmi ces derniers, tant par sa forme régulière que par la splendeur de sa calotte blanche. *Coto-Paxi*, dans la langue des Incas, signifie *masse brillante*.

D'autres volcans couverts de neige ont d'ailleurs été cités comme donnant lieu à des inondations analogues. Voici en quels termes M. Krug de Nidda, dans son beau Mémoire sur l'Islande, parle de phénomènes du même genre qui ont été observés dans cette île.

. . . . Les montagnes (1) qui, sur la côte méridionale, s'élèvent à une hauteur considérable (environ 4500 à 5000 pieds = 1461 à 1624 mètres) appartiennent à la formation trachytique. C'est sur ces montagnes que se rassemblent les masses de glace très étendues de la partie méridionale de l'île. La hauteur, la continuité, la masse non interrompue de ces montagnes de trachytes, de même que la douceur et l'uniformité de leur pente méridionale, font que les rayons du soleil ont plus de force, et occasionnent la fusion ou l'agglutination partielle de la couverture de neige, ce qui peut être la cause qui a favorisé la formation et l'accumulation de ces masses énormes de glace. Nulle part, en Islande, on ne trouve les Joküls (c'est ainsi qu'on nomme les montagnes environnées de glaces) plus grands que précisément dans la partie méridionale, où on devrait attendre un climat plus favorable.

Sous ces puissantes couvertures de glace sont cachés les grands volcans de la partie méridionale de l'Islande, qui sont principalement connus par leur redoutable activité et par les ravages auxquels leurs éruptions sont liées... Les masses de glace qui couvrent le goufre souterrain éprouvent l'effet de la chaleur de l'éruption. Des masses d'eau immenses se précipitent dans les parties basses. Ce qui est épargné par elles devient la proie des courants de laves qui les suivent. En 1783, le Skaptar Jokül fit une éruption devenue célèbre par les ravages qu'elle a causés. Auparavant, on ne connaissait pas ce volcan, et aujourd'hui on ne connaît encore

(1) Krug de Nidda, *Archives de Karsten*, t. VII, p. 424.

que les vallées dans lesquelles se sont précipitées les masses d'eau et les laves ; mais on ne connaît pas jusqu'ici leur source , le goufre éruptif d'où proviennent tous ces ravages (1).

M. Descloizeaux , en montant sur l'Hécla , en 1846 , a reconnu que les laves de l'éruption de 1845 n'ont fondu les neiges accumulées que jusqu'à une petite distance de leur point de contact. De là , il résulte qu'en Islande , comme sous l'équateur , les neiges qui ont été fondues dans les éruptions volcaniques ont dû l'être par l'action des vapeurs.

Il est naturel de rapprocher de ces faits une observation intéressante que M. Eugène Robert a consignée dans son *Voyage en Islande*. Cet infatigable voyageur a observé sur les dépôts siliceux des anciens geysers , depuis le pied de la montagne de Laugarfiall , qui les domine à l'O. , jusqu'auprès des geysers actuels , un grand nombre de blocs arrondis de minosite (dolérite) à petits grains qui paraissent avoir été entraînés par les eaux. Il faut admettre qu'il y a eu là une débâcle capable de transporter ces blocs sur la surface des dépôts siliceux. Ce phénomène est peut-être résultat de la fusion des neiges opérée par des éruptions volcaniques. M. Eugène Robert a aussi observé que la montagne de Laugarfiall , composée de roches phonolitiques d'un gris bleuâtre est , à sa partie supérieure , *mamelonnée et unie comme toutes les montagnes qu'il a supposées avoir été longtemps sous des eaux puis-santes et actives* (2) (*roches moutonnées*).

Je citerai aussi les effets des courants qui , au printemps de 1755 , descendirent de la cime de l'Etna , et qui produisirent dans le *val del Bove* des dégradations dont les traces sont encore visibles. Ces courants furent attribués par quelques auteurs contemporains à une éruption aqueuse ; mais d'autres les attribuèrent , avec plus de probabilité , à la fusion des neiges dont l'Etna était encore couvert.

Si les phénomènes observés à l'Etna en 1755 n'ont pas été le résultat de la fusion des neiges , ils peuvent être cités , comme quelques uns de ceux que présenta la première éruption du Vésuve , qui détruisit dans l'année 79 les villes d'Herculanum , de Pompeia et de Stabia , pour prouver que des quantités d'eau considérables sont quelquefois vomies par les volcans ; mais , sous ce rapport , ils ont été bien dépassés de nos jours par les éruptions

(1) Krug de Nidda , *Archives de Karsten* , t. VII , p. 421.

(2) Eugène Robert , *Voyage en Islande et au Groënland* , minéralogie et géologie , p. 184 et 185.

du Galung-Gung, dans l'île de Java, et du Wunzen, au Japon.

M. Léopold de Buch, dans sa *Description physique des îles Canaries*, traduite en français par M. C. Boulanger, décrit ainsi, p. 440, les éruptions du volcan Wunzen ou Unzen, survenues en 1793 :

5° *volcan du Japon*, *Unsen*, sur une presqu'île, à l'E. de Nanzaki.

La montagne était autrefois large et pelée, mais point très élevée. Les vapeurs qui s'échappaient de son sommet pouvaient s'apercevoir à 3 milles de distance (Kämpfer, I, 120); mais le 18 du premier mois (1793), la montagne s'écroula, et il en résulta un enfoncement tellement profond, qu'on ne pouvait entendre le bruit de la chute d'une pierre lancée de la partie supérieure. Des vapeurs épaisses s'élevèrent pendant plusieurs jours de cet orifice.

Le 6 du second mois, le volcan *Bino-no-Koubi* s'ouvrit à environ une demi-lieue de son sommet, des gerbes de flammes en sortirent et s'élevèrent à une hauteur considérable; en même temps, des coulées de lave se répandirent avec une telle vitesse sur le penchant de la montagne, que toute la contrée, sur un espace de plusieurs milles, fut bientôt en proie à un vaste incendie.

Le 1^{er} du troisième mois, à dix heures du soir, on ressentit dans toute l'île de Kiu-Siu (Kidjo), mais principalement à Simabara, un violent tremblement de terre qui fit écrouler des montagnes, renversa les maisons et crevassa le sol en beaucoup de points. Pendant ce temps la lave ne cessa pas de couler (Titsingh, *Mémoire des Djogouns*, par Abel Rémusat, 1820, p. 203 sq., avec un dessin colorié de cette terrible éruption).

Le 1^{er} du quatrième mois, la terre fut de nouveau violemment agitée pendant une heure, et les secousses furent si fortes qu'elles renversèrent des montagnes, et un grand nombre d'habitations furent ensevelies sous les décombres. En même temps, on entendait de tous côtés un effroyable mugissement souterrain; tout à coup la montagne Miyi Yama se souleva dans l'atmosphère, mais elle s'affaissa bientôt sur elle-même et disparut dans la mer. Les vagues, jetées avec force sur le rivage, détruisirent beaucoup de villages situés près de la mer, et une masse considérable d'eau, sortie par les crevasses de la montagne, submergea toute la contrée. Simabara et Figo ne présentèrent plus en un instant que les traces de la plus affreuse dévastation. On évalue à 53,000 le nombre des personnes qui périrent dans cette épouvantable catastrophe.

M. Lyell, dans la 6^e édition de ses *Principes de Géologie*, et

M. de Buch, dans sa *Description physique des îles Canaries*, traduite en français par M. C. Boulanger, p. 424, rapportent ainsi, d'après M. Van der Boon Mesch et d'après M. Van der Capellen, les principales circonstances de l'éruption de Galung-Gung en 1822.

La montagne de Galung-Gung (ou Galongoon), située un peu au S. du Talaga Bodas, et au milieu de la vallée, entre les deux chaînes de volcans de Java, dans une partie alors fertile et très peuplée de l'île, était couverte, en 1822, d'une épaisse forêt. On voyait à son sommet une cavité circulaire, mais il n'existait pas de tradition d'aucune éruption antérieure. Déjà, pendant le courant du mois de juin 1822, les eaux de la rivière *Chikunir*, qui descend de la montagne, s'étaient troublées, elles déposaient une poudre blanche, exhalaient une odeur sulfureuse, devenaient acides et commençaient à s'échauffer considérablement, trahissant ainsi le grand mouvement de dissolution qui se développait dans l'intérieur. En juillet, les eaux de la rivière Kumir, l'une de celles qui coulent de ses flancs, devinrent pendant un certain temps chaudes et troubles.

Le 8 octobre, à une heure après midi, des mugissements horribles se firent entendre; la montagne se couvrit immédiatement d'une fumée épaisse, on entendit une forte explosion, la terre trembla, et d'immenses colonnes d'eau chaude et de boue bouillante, mêlées de soufre enflammé, de cendres et de lapilli, gros comme des noix, furent projetés de la montagne, comme une trombe, avec une violence si prodigieuse qu'il en tomba de grandes quantités au-delà de la rivière Tandäi, qui est distante de 40 milles (64 kilomètres).

Chacune des vallées atteintes par cette éruption fut remplie par un torrent brûlant, et les rivières, enflées par l'eau chaude et la boue, débordèrent et entraînent un grand nombre d'habitants qui essayaient de s'échapper, et beaucoup de bestiaux, de bêtes sauvages et d'oiseaux. On vit avec étonnement à *Badang*, la rivière de *Chiwulan* charrier vers la mer un nombre immense de cadavres d'hommes, de bestiaux, de rhinocéros, de tigres, de cerfs, et même jusqu'à des maisons entières. Cette éruption d'eau chaude limoneuse continua pendant deux heures, qui suffirent pour consommer la ruine et la dévastation de toute une province. A trois heures, elle avait cessé, mais il tomba alors une pluie épaisse de cendres et de lapilli qui achevèrent de brûler les arbres et les champs épargnés jusqu'alors. A cinq heures, la tranquillité était parfaitement rétablie, et la montagne se découvrit. Mais ce

peu de temps avait suffi pour couvrir de limon tous les villages, toutes les habitations jusqu'à plusieurs lieues de distance. Un espace de 24 milles (39 kilomètres), entre la montagne et la rivière Tandäi, fut couvert de boue bleuâtre sur une telle épaisseur, que les habitants furent ensevelis dans leurs maisons, et que dans toute cette étendue, on ne voyait plus de traces des nombreux villages et des plantations qui y existaient auparavant. Dans cet espace, les corps de ceux qui avaient péri étaient enterrés et cachés dans la boue; mais, près des limites de l'action volcanique, ils étaient répandus sur le terrain en grand nombre et exposés à la vue, en partie bouillis et en partie calcinés.

On remarqua que la boue bouillante et les cendres furent projetées de la montagne avec une telle violence que, tandis qu'un grand nombre de villages éloignés furent complètement détruits et enterrés, d'autres, plus voisins de la montagne, furent à peine endommagés.

La première éruption dura environ cinq heures, et les jours suivants la pluie tomba par torrents, et les rivières, fortement chargées de boue, inondèrent la contrée comme un déluge jusqu'à une grande distance.

Au bout de quatre jours, le 12 octobre, à sept heures du soir, ces horribles phénomènes se renouvelèrent. Un tremblement de terre général fut suivi par une éruption dont on entendit le bruit pendant toute la nuit. De nouveaux torrents d'une eau boueuse chaude et chargée de limon, se précipitant vers la vallée, entraînaient avec eux des rochers et des forêts entières, de manière que des collines furent élevées dans des parties où peu de moments auparavant il n'y avait qu'une plaine. Il fut bientôt impossible de reconnaître cette vallée, auparavant si fertile et si peuplée. Tous les habitants, sans pouvoir seulement songer à la fuite, furent enterrés sous ces limons, et l'on pense que pendant cette nuit plus de deux mille personnes ont perdu la vie dans le seul district de *Singaparna*, au N. de cette terrible montagne. Dans cette seconde éruption, plus violente que la première, de gros blocs de basalte furent lancés à 7 milles (11 kilomètres) de distance du volcan. Il est dit dans une des relations que la forme de la montagne se trouva totalement changée: que ses sommets s'étaient écroulés, qu'elle était tronquée, et que l'un de ses flancs, qui avait été couvert d'arbres, était devenu un vaste abîme de forme demi-circulaire. Cette cavité se trouvait environ à moitié chemin, entre les sommets et la plaine, et était entourée de rochers escarpés, qu'on disait avoir été entassés dans un ordre nouveau pendant l'é-

ruption. On assure que de nouvelles collines et de nouvelles vallées furent formées. Les rivières Banjarang et Wulan changèrent de cours dans l'espace d'une nuit (celle du 12 octobre). Le rapport officiel porte que 114 villages furent détruits, et que plus de 4,000 personnes périrent (1).

Après cette éruption, le volcan resta en mouvement; il fumait encore le 12 novembre, et lançait en l'air des nuées de vapeurs. Peu de jours après l'éruption, le peintre hollandais Payen se détermina à partir de la ville de Badang pour le volcan qu'il a décrit dans une lettre à M. Reinwardts. Il trouva que la quantité de cendres diminuait à mesure qu'il approchait de la base de la montagne; cependant il ne put l'atteindre: le limon et des crevasses nombreuses l'en empêchèrent, et les mêmes difficultés se représentèrent pendant tout le mois de novembre (Boon Mesch, p. 47). Il parle de changements que la forme de la montagne présentait après le 12 octobre, mais il ne décrit pas le goufre demi-circulaire ouvert dans son flanc.

M. Blume, botaniste, a examiné sur les lieux le limon dévastateur vomé par le volcan. Il était d'une couleur brune jaunâtre, terreux, friable, exhalait une odeur sulfureuse et brûlait sans difficulté. Il n'y a point de doute qu'il ne fût en grande partie composé de soufre. Les Malais nomment ce limon *buah*, c'est-à-dire pâte, et il est évident, dit M. de Buch, que cette matière est analogue à la *moja* de Quito, qui, en 1798, couvrit la malheureuse ville de Riobamba.

Il semble donc, ajoute cet illustre géologue, que l'effet de l'action volcanique dans l'île de Java serait de développer en même temps une immense quantité de vapeurs sulfureuses et aqueuses, qui s'emparent de la roche dont l'intérieur de la montagne est composé, la décomposent jusqu'à en faire une pâte, un *buah*, et enfin, quand la masse solide est détruite de manière à ne pouvoir plus opposer assez de résistance, les vapeurs se font jour au dehors, et la matière fluide s'échappe par les crevasses, non comme un courant de laves visqueuses, mais comme des torrents d'eau qui jaillissent par chaque petite ouverture qu'elles peuvent atteindre. On ne peut donc regarder toutes ces eaux que comme des *eaux distillées*, et il faut croire qu'il en est de même de celles de ces deux rivières, qui sortent du cratère du volcan d'Idjen; car ce

(1) Van der Boon Mesch, *De incendiis montium Javæ*, etc.

Lug. Bat., 1826, et rapport officiel du président baron Van der Capellen.

cratère se trouve presque à la cime d'une montagne isolée, qui n'est dominée par aucune autre montagne avoisinante.

Je remarquerai en passant cette circonstance que le torrent, gonflé par les eaux chaudes provenant de l'éruption, flottait un grand nombre de cadavres d'hommes, de tigres, de cerfs, de *rhinocéros*. D'après M. Lyell (1), la première indication que les habitants de Badang reçurent de cette calamité, le 8 octobre, fut la nouvelle que la rivière Wulan entraînait à la mer des corps humains et des cadavres de cerfs, de rhinocéros, de tigres et d'autres animaux. Si Java avait renfermé des *éléphants*, comme Ceylan, le courant en aurait flotté également. Ces cadavres ont été portés jusqu'à la mer; seulement, l'eau étant chaude, si la mer avait été à plusieurs centaines de lieues de distance et si le courant avait mis plusieurs jours à l'atteindre, ils y seraient arrivés en putréfaction. Mais si la même quantité de vapeur, accompagnée de sels et d'acides, avait rencontré à la surface du sol une quantité surabondante de neige, elle aurait donné naissance à un courant quinze fois plus considérable, à une température inférieure à zéro. Ce courant aurait produit des dégâts incomparablement plus grands, se serait chargé de beaucoup plus de débris terreux et pierreux, aurait flotté les cadavres d'un beaucoup plus grand nombre d'animaux, et on aurait vu une *seconde édition du transport des éléphants et des rhinocéros de l'Asie centrale dans la mer Glaciale*.

On voit par là, une fois de plus, combien la discussion des points les plus épineux de la question des phénomènes erratiques se lie naturellement à la considération des effets les mieux constatés des émanations volcaniques.

Tous ces effets tendent à prouver qu'il peut se dégager, du sein des laboratoires intérieurs du globe terrestre, des quantités immenses de vapeur d'eau, et peut-être même d'eau chaude et généralement salée. L'embarras n'est donc pas d'imaginer comment des neiges auront pu fondre, soit une fois, soit à plusieurs reprises, suivant l'hypothèse qu'on adoptera sur l'unité ou la pluralité des courants diluviens. Le *point délicat*, comme je le disais tout à l'heure, est de bien expliquer comment des neiges ont pu s'accumuler sur les montagnes en quantité suffisante.

Nous entendons parler dès l'enfance des neiges qui couvrent les hautes montagnes, des vastes calottes de glace qui environnent les pôles. Ces régions glacées nous paraissent tellement le domaine de la neige que nous ne réfléchissons pas toujours assez au contraste

(1) Lyell, *Principles of geology*, 6^e édit., t. III, p. 263.

singulier que présente un globe, incandescent à l'intérieur, dont un simple puits artésien fait jaillir une source thermale, et dont la surface est en partie couverte de neige ; sur ce qu'un pareil état de choses offre en lui-même de dangereux, par la disproportion immense qui existe entre la quantité de la chaleur intérieure et celle qui serait nécessaire pour fondre toutes ces neiges ; sur ce qu'il y a d'improbable à ce que l'équilibre merveilleux qui permet à ces neiges de subsister pendant les périodes de tranquillité ne soit pas dérangé quand l'écorce solide et froide du globe terrestre vient à être violemment brisée et agitée.

Il me paraît très difficile de concevoir que des glaciers se maintiennent d'une manière permanente sur les parties de la surface du globe qui, dans ses révolutions, deviennent le théâtre spécial des phénomènes de soulèvement. On propose d'admettre que, pendant les premiers siècles qui ont suivi l'éruption des ophites, des glaciers immenses se seraient étendus dans les vallées des Alpes et des Pyrénées : une des nombreuses difficultés qui me paraissent s'opposer à ce que cette hypothèse soit admise, consiste en ce que, pendant cette période peu stable encore et sans doute fertile en tremblements de terre, il a dû se dégager souvent du sol même des montagnes, des bouffées de vapeur capables de fondre les glaces et les neiges et de les faire couler en torrents. Dans ces montagnes, on ne saurait trop le rappeler, il existe encore des eaux thermales. La source d'Ax (Ariège) a encore une température de 82°,5 ; celle des vapeurs qui se dégagent des geysers n'est que de 124°,24. Qu'on imagine ce qui serait arrivé si toute l'eau sortie en 1793 du volcan d'Unsen, en 1822 de celui de *Galung-Gung*, était sortie à l'état de vapeur (comme cela a lieu le plus souvent), et si cette vapeur avait rencontré sur les montagnes autant de neige qu'elle peut en réduire à l'état de courant, c'est-à-dire un poids de neige égal à douze ou quinze fois le sien ! Or, qui pourrait soutenir que la réalisation d'une pareille rencontre, à l'époque du soulèvement des ophites, doive être regardée comme impossible, ou même comme improbable ? Et s'il est probable qu'un phénomène pareil a dû se réaliser, où aller chercher les traces qu'il n'a pu manquer de laisser sur la surface du globe, si ce n'est dans le terrain erratique ?

Au point de vue de la géographie botanique, on a ingénieusement comparé le globe terrestre à deux montagnes couvertes de neige, accolées base à base ; au point de vue géologique et particulièrement au point de vue spécial qui nous occupe, on peut le comparer de même à deux volcans couverts de neige, accolés base

à base. L'analogie serait incomplète si les calottes de glace de ses pôles n'étaient pas entrées quelquefois en fusion, comme celle du Coto-Paxi, et n'avaient pas produit des débâcles proportionnées à leur grandeur.

L'hypothèse que j'ai soumise en 1830 à l'appréciation des géologues a pour objet de faire entrer en ligne de compte, dans l'explication des phénomènes géologiques, la réalisation possible de ce danger de la fusion subite des neiges, qui menace réellement tous les jours les habitants du globe terrestre, et de faire entrevoir aux naissances des vallées, où les phénomènes diluviens ont laissé les traces les plus sensibles de leur passage, des causes analogues à celles qui produisent de nos jours les inondations les plus redoutables. S'il y a de la hardiesse dans mon hypothèse, ce que je suis bien loin de nier, peut-être n'y en aurait-il pas moins à vouloir limiter la puissance que la nature a pu déployer par cette voie dans ses moments de perturbation (1).

Au reste, pour qu'on n'attribue pas à l'hypothèse dont il s'agit plus de hardiesse qu'elle n'en a réellement, je demande la permission d'en reproduire ici textuellement l'énoncé primitif. Je le transcris avec toutes les fautes que le progrès de la science a déjà corrigées, tel qu'il a été imprimé au printemps de 1830 dans les *Annales des sciences naturelles*, t. XIX, p. 213. Il constitue une note distincte qui, dans la table des matières (p. 239), est indiquée sous le titre suivant, qu'on n'accusera probablement pas d'être trop systématique :

« *Incertitude de la cause des phénomènes diluviens.*

» Les effets des courants diluviens sont beaucoup mieux connus
» que leur origine. On ne doit pas perdre de vue qu'au moment de la
» convulsion qui a donné son relief actuel à la chaîne principale des
» Alpes (du Valais en Autriche), la contrée au milieu de laquelle
» elle parut présentait déjà de très hautes montagnes, puisque le
» système des Alpes occidentales existait déjà depuis longtemps, et
» n'était baigné, au moins dans une grande partie de ses con-
» tours, que par les eaux de quelques lacs d'eau douce, élevés

(1) Lorsqu'on raisonne sur les phénomènes qui pourraient avoir été produits par des vapeurs dégagées du sein de la terre, on ne doit pas totalement perdre de vue les raisons d'après lesquelles des astronomes de premier ordre ont regardé comme possible que les neuf petites planètes, Cérés, Pallas, Junon, Vesta, Astrée, Hébé, Iris, Flore, Métis, ne soient que les débris d'une planète plus grosse qui aurait fait explosion; des *débris erratiques!*

» eux-mêmes au-dessus des mers d'une quantité plus ou moins grande. Les neiges dont ces hautes montagnes ne pouvaient manquer d'être couvertes ont dû être fondus en un instant (1) par les gaz, auxquels est attribuée l'origine des dolomies et des gypses, et les eaux provenant de leur fusion ont sans doute couru, et peut-être pour beaucoup, à la production des courants diluviens des Alpes.

» Les Alpes scandinaves donneraient lieu à une remarque du même genre.

» La chaîne des Pyrénées, au contraire, si remarquable par la simplicité et, si l'on peut s'exprimer ainsi, par l'unité de sa structure, semble s'être élevée *en une seule fois* (2) du milieu de dépôts horizontaux, et, selon toute probabilité, du fond même des mers où s'étaient formés les derniers d'entre eux; aussi ne présente-t-elle pas, au moins sous une forme bien remarquable, le phénomène des grandes pierres transportées (3). M. de Charpentier ne l'y mentionne pas; MM. Dufrénoy et de Billy ne l'y ont jamais remarqué. Le témoignage d'aussi habiles observateurs me fait supposer que les blocs du Pic du midi d'Ossan, remarqués par Palassou, sont un phénomène purement local, et probablement l'effet d'un éboulement (4).

» Tout porte à croire que le phénomène des grandes pierres transportées n'existait pas non plus dans les Alpes occidentales,

(1) Un *instant géologique* n'est pas une période de temps rigoureusement définie; une *seconde*, une *heure*, un *jour*, sont des durées qu'on peut également sous-entendre dans l'emploi de cette expression sans en forcer le sens habituel.

(2) C'était une erreur: l'unité de la structure générale des Pyrénées n'empêche pas qu'on ne puisse y distinguer six à sept systèmes de dilocations, ainsi que je l'ai reconnu avec M. Dufrénoy, et comme M. Durocher l'a fait voir avec plus de détail encore.

(3) Cette expression fait allusion au Mémoire de M. J.-A. Deluc (neveu), *Sur le phénomène des grandes pierres primitives alpines distribuées par groupes dans le bassin du lac de Genève et dans les vallées de l'Arve* (1827): mémoire qui, après les mémorables écrits de Saussure et de M. de Buch, me paraît un des plus intéressants qui aient été publiés sur ces matières avant le *travail classique* de M. de Charpentier sur le *terrain erratique du bassin du Rhône*. Je suis étonné de ne pas le voir cité plus souvent.

(4) En visitant les Pyrénées l'année suivante (1834) avec M. Dufrénoy, j'ai reconnu mon erreur à cet égard, sur laquelle je me suis empressé de revenir dans mes publications subséquentes, et que M. de Charpentier et M. de Collegno ont depuis complètement rectifiée.

» avant le redressement des couches de la chaîne principale des Alpes.

» Si la cause que j'ai indiquée précédemment a eu une grande part à la production des courants diluviens, le célèbre torrent de la vallée de Bagnes, produit par la rupture subite de la digue de glace qui retenait un très petit lac, a dû en présenter, quoique en petit, une image assez fidèle, et d'habiles observateurs ont en effet été frappés de l'analogie des effets qu'il a produits avec ceux des courants diluviens.

» On peut encore déduire de ce qui précède que, si les Pyrénées ont commencé à se couvrir de neige pendant le dépôt de l'argile plastique et du calcaire grossier, cette neige n'a été fondue subitement dans aucune des révolutions de la surface du globe arrivées depuis lors (1). On ne pourrait peut-être pas dire que les Vosges aient de même été préservées, depuis leur dernière convulsion, de fontes de neige instantanées. On y observe en divers points quelque chose d'analogue au phénomène des pierres transportées (2).

» Si on objectait à ce qui précède que le peu de permanence de la neige et de la glace les fait sortir du domaine de la géolo-

(1) C'était une erreur : il y a eu depuis lors le dégel ophitique. Je doute d'ailleurs aujourd'hui qu'à l'époque du calcaire grossier des montagnes de la hauteur des Pyrénées, situées sous la latitude des Pyrénées, aient dû être couvertes de neiges perpétuelles.

(2) Des observations récentes et bien connues ont, en effet, montré que les phénomènes erratiques sont très développés dans les Vosges ; mais plus ils y sont développés et plus il est remarquable que le Jura, les montagnes de la Grande-Chartreuse, celles du Vercors, du Devoluy, le Mont-Ventoux, et en général toutes nos grandes montagnes calcaires, quoique plus élevées que les Vosges, ne présentent que de très faibles traces de phénomènes erratiques qui leur soient propres. La raison pour laquelle, à hauteur égale, les traces des *phénomènes erratiques* sont beaucoup plus développées dans les montagnes primitives que dans les autres, tient probablement de très près à celle qui fait que les *tremblements de terre* et les *sources thermales* sont beaucoup plus fréquents dans les contrées composées de roches éruptives et dans celles que ces roches ont disloquées en se soulevant. Le Jura, privé de tout pointement de roches éruptives, remarquablement pauvre en sources thermales, très rarement secoué par les tremblements de terre, m'a frappé depuis longues années par le contraste qu'il offre avec les parties des Vosges les plus voisines de Plombières, de Luxeuil, de Sultz matt, sous le rapport des phénomènes erratiques.

Si des difficultés insurmontables ne me paraissaient pas s'opposer à l'admission du système glacial, il me serait facile d'y rattacher

» gie , je rappellerais que les glaces voisines des embouchures des
» fleuves Léna et Viloui n'ont pas fondu depuis le redressement
» des couches de la chaîne principale des Alpes , époque à laquelle
» ont cessé de vivre les espèces d'éléphants et de rhinocéros, dont
» un certain nombre d'individus se sont conservés dans ces glaces
» avec leur poil, leur peau et leur chair encore mangeable.

» L'état de conservation presque parfait de ces énormes cada-
» vres serait une raison de présumer que la catastrophe qui les a
» transportés jusqu'à leur position actuelle a eu lieu pendant
» l'hiver de notre hémisphère boréal, ce qui supposerait beau-
» coup plus de force encore à la cause dont j'ai essayé de faire
» admettre au moins le concours dans la production des courants
» diluviens. »

En reproduisant ici cette note, je rappellerai que le même volume des *Annales des sciences naturelles* renferme, de la page 60 à la page 110, une *Description du second terrain de transport des vallées de la Durance, du Rhône et de l'Isère* (diluvium de quelques géologues), dans laquelle je crois avoir répondu d'avance à quelques unes des objections qu'on a élevées, dans ces derniers temps, contre la théorie des courants. Je crois inutile de reproduire ici mes arguments, non plus que ceux que M. de Collegno a consignés dans son mémoire sur les terrains diluviens des Pyrénées, inséré, en 1843, dans les *Annales des sciences géologiques*, publiées par M. Rivière. J'aurai peut-être l'occasion d'y revenir une autre fois.

Avant de terminer cette réplique, je crois devoir consigner ici, afin qu'on puisse la comparer plus facilement à la mienne, l'hypothèse par laquelle sir James Hall a proposé d'expliquer le phénomène erratique des Alpes.

« Il est évident, dit l'illustre auteur des expériences sur la
» fusion du calcaire en vases clos, qu'une vague se répandant sur
» ces hautes vallées alpines, en été, flotterait et entraînerait
» toute la glace qui y existe sous forme de glaciers et qui est ac-

mon hypothèse. Il me suffirait de supposer que pendant l'existence de ces immenses glaciers qui auraient couvert les Alpes, les Pyrénées, les Vosges, le Morvan, l'Ardenne (a), seraient survenus des soulèvements auxquels remonterait l'origine des dolomies, des gypses, des sources salines et thermales.

(a) J'ai déjà mentionné ailleurs les moraines de Pont-Aubert et de Spa. Elles me paraissent exactement comparables aux prétendues moraines des Vosges. (*Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, t. XIV, p. 98.)

» cumulée dans les vallées plus élevées, et avec la glace tous les
» blocs de pierre qui y sont enveloppés ou qui y sont attachés de
» quelque manière que ce soit. Le courant chargé de ce fardeau
» s'échapperait par toutes les ouvertures et coulerait en particulier
» par ces dépressions qui actuellement, ainsi que nous l'avons dit,
» permettent de voir le sommet neigeux du Mont-Blanc de cer-
» tains points de la face du Jura où les blocs abondent.

» On peut maintenant rendre raison de l'existence des masses
» énormes, déjà mentionnées, qui se trouvent près de Genève et
» au coteau de Boisy, et le même système s'appliquera aussi aux
» blocs des rivages de la mer Baltique, qui peuvent avoir été por-
» tés à leur place actuelle, non par une position permanente et
» tranquille de l'Océan, variant par degrés très lents, comme
» Wrede l'a allégué, mais par une vague diluvienne subite, dé-
» ferlant sur quelque district situé, soit à un niveau assez élevé,
» soit assez près du pôle pour être le siège de glaciers (1). »

J'ignore pourquoi sir James Hall a supposé que la vague dilu-
vienne, à laquelle il a recours, est venue battre les Alpes *en été*.
S'il avait supposé que cette vague les eût battues *en hiver*, on pour-
rait combiner l'hypothèse de sir James Hall et la mienne.

En discutant les effets possibles d'une fonte subite des neiges
accumulées d'une manière extraordinaire dans des circonstances
anormales, je n'entends nullement faire abstraction de ceux qu'a pu
produire le déplacement subit des eaux répandues sur la surface du

(1) Sir James Hall, *On the Revolutions of the Earth surface.*
(*Edinburgh Transactions*, t. VII, p. 59.)

« It is obvious, then, that a wave washing, over these
» high alpine valleys in summer, would float and carry off all the ice
» in the glaciers, and accumulated in the higher valleys, and, along
» with the ice, all the blocks of stone imbedded in it, or attached to
» it in any way. The stream with this load, would find its way through
» every opening, and would in a particular manner flow through
» those depressions which at this day, as we have said, afford a view
» of the Snowy summit of Mont-Blanc, from certain places on the face
» of Jura were these blocks abound.

» The enormous masses already mentionned, which are found near
» Geneve and ad the coteau de Boisy may now be accounted for; and
» the same system will apply also to the blocks upon the Baltic, wich
» may have been brought to their present place, not by a permanent
» and steady position of the Ocean, varying by slow degrees, as has
» been alleged by M. Wrede, but by a sudden diluvian wave washing
» over some district situated either at a sufficiently high level, or near
» enough to the pole, to be the seat of glaciers. »

globe. J'ai indiqué ailleurs (1) le concours probable du déversement vers le N.-O. des eaux du grand lac de la Bresse, dans la production des phénomènes diluviens qui s'observent aux environs de Paris. L'absence d'ossements cétacés dans les dépôts erratiques, qui contiennent tant d'ossements d'éléphants, devrait sans doute, comme l'a judicieusement observé M. Fournet, rendre très réservé dans l'emploi de l'hypothèse des vagues diluviennes; mais cette absence est loin d'être constatée d'une manière universelle. Les dents d'éléphants, de rhinocéros, d'hippopotames sont faciles à reconnaître, mais les grands ossements trouvés dans les terrains diluviens ne sont pas toujours aussi faciles à déterminer, et beaucoup de ces ossements ont peut-être été classés un peu légèrement, à cause de leur grandeur seulement et de leur réunion avec des dents d'éléphant, parmi les ossements des grands quadrupèdes. D'ailleurs, l'objection si spécieuse en apparence qu'on tirerait de l'absence d'ossements de cétacés n'aurait une importance réelle qu'autant qu'on supposerait que la mer qui a produit le courant était une *mer peu profonde et peuplée jusqu'au fond*. Le fond d'une mer profonde comme l'Océan loin des côtes, ou même comme la Méditerranée, ne renferme guère plus de cétacés que la Sibérie ne renferme aujourd'hui d'éléphants et de rhinocéros: la surface de la mer loin des côtes en renferme elle-même très peu. Si donc le fond d'un océan très profond avait été soulevé de manière que ses eaux dussent ruisseler sur les terres continentales, la plus grande partie de ses eaux aurait pu y ruisseler sans y entraîner de cétacés. Le fond du courant marin, qui aurait agi le plus directement sur les continents, aurait été formé le plus souvent des eaux froides et désertes du fond de la mer, qui sont plus denses que tout le reste. Les carapaces des infusoires qui existent peut-être jusque dans le fond des mers les plus profondes, ont-elles été suffisamment recherchées dans les dépôts erratiques? Les animaux qui pullulent quelquefois dans des régions de la mer très éloignées des côtes, ne seraient guère propres à laisser des débris reconnaissables dans de pareils terrains. La partie des eaux de la mer, qui est habituellement peuplée d'animaux propres à y laisser des débris distincts, est probablement bien loin de former un dixième de la masse totale. Il y a donc bien des chances pour qu'un dépôt diluvien, formé par une irruption des eaux marines, ne renferme pas de

(1) Traduction française du *Manuel géologique* de M. de La Bèche, p. 655; — et *Traité de géognosie* de M. Daubuisson, continué par M. Amédée Burat, t. III, p. 359.

débris marins. J'ai supposé que les eaux du lac de la Bresse ont concouru à la formation du dépôt erratique de la vallée de la Seine. Au moment de son déversement vers le N.-O., ce lac, réduit à une faible profondeur par les dépôts qui s'y étaient accumulés, pouvait être peuplé jusqu'au fond, et dans les parties les moins grossières du terrain erratique des environs de Paris on rencontre un grand nombre de coquilles lacustres.

J'ajouterai encore, d'une part, que les eaux résultant d'une fonte subite des neiges auraient flotté les parties non encore fondues des glaciers avec tous leurs blocs, tout aussi bien que les eaux d'une vague marine diluvienne; et, de l'autre, que les courants produits par une vague marine diluvienne se seraient changés d'eux-mêmes en courants de boue tout aussi bien que ceux qui seraient résultés d'une fonte subite de neiges.

Étant donnée une quantité d'eau placée à la naissance d'un sillon ou d'une fente susceptibles de devenir une vallée, les effets qu'elle produira seront toujours les mêmes, quelle que soit son origine, et ces effets sont faciles, sinon à calculer, du moins à prévoir d'une manière générale.

Le point délicat de la question, comme je l'ai dit précédemment, est de savoir comment une quantité d'eau suffisante a pu se trouver rassemblée aux points de départ des courants diluviens, de ceux qui ont parcouru les plaines aussi bien que de ceux qui ont sillonné les montagnes.