

rissements doit aller sans cesse en diminuant, à mesure que le fleuve se rapproche de la stabilité définitive. Si quelques deltas progressent, de nos jours, plus vite qu'aux siècles précédents, c'est parce que les défrichements opérés par l'homme ont, en dénudant le sol, augmenté momentanément la puissance du ruissellement et, par suite, la quantité des matières solides charriées à la mer. Mais toutes les fois que des sondages ont été pratiqués dans les deltas des grands fleuves, on a pu reconnaître par la série des dépôts que leur formation avait été, au début, plus active et plus violente qu'aujourd'hui.

D'une manière générale et à moins d'un changement de conditions extérieures, un moment doit venir pour chaque fleuve où, non seulement la formation du delta s'arrête, mais encore le courant peut n'avoir plus la force d'entraîner les troubles jusqu'au bout. Alors l'embouchure doit s'obstruer et se transformer en marécages, comme c'est le cas pour ces fleuves de l'Asie centrale, où l'activité humaine n'a pas suffisamment veillé à assurer le libre écoulement des eaux par une lutte incessante contre l'alluvionnement.

Bassins perméables. Nappes d'eau. — Le ruissellement ne se produit pas, lorsque la pente du sol est faible, dans les pays où le terrain est perméable. Il y a deux sortes de formations perméables : les terrains *meubles*, c'est-à-dire les sables et graviers, où toute la masse peut être imbibée d'eau, à cause des innombrables interstices que laissent entre eux les éléments ; et les terrains *fissurés*, tels que les calcaires solides et les grès, où l'eau pénètre par des fentes et va se rassembler dans un réseau de canaux souterrains.

Dans les terrains meubles, l'infiltration fait naître, par imbibition progressive, des *nappes d'eau* continues, dont le niveau s'approche d'autant plus de la surface du sol, que la pluie a été plus abondante et l'évaporation moins active. Ces nappes trouvent leur écoulement par des *sources* dans le fond des vallées qui les entament et sur les deux versants desquelles elles se relèvent progressivement, étant mieux protégées sous les lignes de faite contre l'action du soleil, grâce à l'épaisseur plus grande du terrain qui les recouvre.

Quand une couche meuble repose sur un lit d'argile, l'eau

qui s'y est infiltrée, arrêtée par l'imperméabilité de ce dernier, va chercher son écoulement sur les flancs des vallées, aux points où affleure la couche argileuse, en déterminant un *niveau d'eau*, toujours indiqué par la végétation, habituellement par des peupliers. Si l'affleurement subit des ondulations, de petites *sources* en marquent les points les plus bas.

Nappes jaillissantes. — Lorsque la couche absorbante plonge, dans les profondeurs du sol, *au-dessous* d'une couche imperméable, cette dernière retient les eaux sous pression et les oblige à descendre en formant une *nappe souterraine* sans écoulement. Il suffit que, par un sondage ou un puits, on perce la couverture argileuse, pour que les eaux, obéissant à la pression hydrostatique, s'élèvent dans le puits et quelquefois *jaillissent* à la surface du sol (fig. 9). Dans ce cas, le sondage est dit *artésien*.

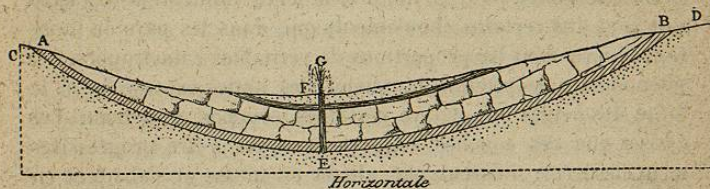


Fig. 9. — Nappe jaillissante. — AB, couche imperméable; CD, couche aquifère; EF, puits artésien.

Les puits artésiens de Paris (Grenelle, Passy, etc.) recueillent, entre 500 et 600 mètres de profondeur, les eaux tombées dans les Ardennes, la Champagne et la Bourgogne sur l'affleurement d'une couche de *sables verts*. Malgré la perte de charge que l'eau subit dans son long parcours souterrain, elle garde encore assez de force ascensionnelle pour s'élever à 40 mètres au-dessus de la plaine d'alluvions de la Seine.

Terrains fissurés. Grottes. — Lorsqu'un bassin hydrographique est formé surtout de terrains fissurés, les eaux d'infiltration circulent à travers les fentes, les élargissent peu à peu, y créent des cavités ou *grottes*, où elles s'accumulent et vont parfois, après un très long parcours, déboucher dans quelque vallée en donnant naissance à des *sources* abondantes (*dhuys*

de la Bourgogne), remarquables à la fois par leur limpidité et leur constance. Telles sont, par exemple, les sources de la haute vallée de la Seine.

Le débit de ces sources étant régularisé par le long parcours des eaux qui les alimentent et surtout par les réservoirs souterrains qu'elles ont traversés, les rivières issues de ces sources sont généralement exemptes de crues violentes et ne charrient qu'exceptionnellement du limon et des sables. Aussi leur régime est-il très stable et leur action mécanique à peu près négligeable. En revanche, la longue circulation des eaux souterraines à travers les canaux sinueux des grès et surtout des calcaires dérange souvent l'assiette du terrain et provoque des *effondrements* de la surface, lorsque les cavités, produites par l'élargissement progressif des fentes, sont devenues trop larges pour pouvoir continuer à se soutenir.

Éboulements. — C'est aussi à la lente infiltration des eaux que sont dus certains éboulements qui, dans les pays de montagnes, prennent les proportions de véritables catastrophes. Ces phénomènes se produisent quand des pluies excessives ou la fonte des neiges ont délayé certaines couches de terrain. Les assises que ces couches supportent, après s'être progressivement fissurées, finissent par glisser en masse et s'abattent en quelques minutes dans la vallée voisine.

Parmi les éboulements les plus fameux, on peut citer celui du Rossberg, survenu en Suisse en 1806 et dont l'importance a été évaluée à 15 millions de mètres cubes; celui de Salazie (île Bourbon), qui, en 1875, a couvert 120 hectares d'un manteau d'éboulis de 40 à 60 mètres de hauteur; enfin celui de 1881 à Elm, en Suisse, représentant 10 millions de mètres cubes.

En même temps que ces éboulements produisent des dépôts confus, qui rentrent avec les matériaux entraînés par les avalanches dans la catégorie des *dépôts meubles sur les pentes*, il leur arrive parfois de barrer les rivières et d'en changer le cours. Ce changement peut n'être que momentané, si la rivière parvient à emporter l'obstacle après avoir formé en arrière un lac provisoire. Dans ce cas, la débâcle qui résulte de la rupture du barrage exerce des effets destructeurs encore plus puissants que ceux des torrents ordinaires.

Mesure de l'activité des eaux courantes. — Les principaux fleuves du globe emportent à la mer une proportion de matières solides qui paraît atteindre, en moyenne, 38 cent-millièmes du volume de l'eau débitée. D'autre part, le volume total annuel de l'eau des fleuves peut être évalué à environ 23 000 kilomètres cubes. D'après cela, on calcule que les sédiments amenés dans l'océan par les eaux courantes représentent, chaque année, un peu plus de *dix kilomètres cubes* (c'est-à-dire dix milliards de mètres cubes). D'ailleurs les mêmes eaux courantes enlèvent annuellement aux continents, par simple dissolution, près de *cinq kilomètres cubes*. On peut déduire de ces données que, *si l'activité des agents extérieurs demeurait toujours ce qu'elle est aujourd'hui, cinq millions d'années suffiraient pour amener la disparition totale de la terre ferme.*

Cette disparition totale est d'autant plus admissible qu'en analysant le mode d'action des eaux courantes, on peut se convaincre que l'érosion continentale (si aucune cause interne ne vient modifier le relief existant) doit avoir pour terme final l'*aplanissement* complet de toute région, quelle qu'elle soit. Mais il est très certain que l'activité des puissances extérieures n'est pas constante et dès lors le chiffre qui vient d'être établi ne peut être considéré que comme fournissant un aperçu de la puissance des eaux courantes.

§ 4

ACTION DE LA MER

Érosion du rivage. — Nous venons de voir quelle masse considérable de matières solides était apportée, chaque année, dans l'océan. Une partie de cette masse se dépose dans les estuaires et les deltas; mais le reste en franchit les limites et vient se mélanger à tous les débris que les vagues de la mer ont arrachés aux rivages.

Au premier abord, à ne considérer que le bruit habituel des flots, on serait tenté de croire que l'érosion marine doit être supérieure en importance à l'activité beaucoup plus silencieuse des cours d'eau. Il n'en est rien, comme on peut aisément s'en

assurer. Mais auparavant définissons le mode d'action de la mer sur ses rivages.

Poussées par le jeu périodique de la marée et plus encore par les vents dominants, qui viennent du large, les vagues vont assaillir la côte, où déjà l'infiltration des eaux pluviales et les alternatives de la température ont préparé la désagrégation des roches. Ces dernières s'écroutent par morceaux, que le choc des lames continue à déliter, et ainsi la côte recule peu à peu, sous l'effort de l'érosion. Tandis que les matériaux plus durs demeurent sur le rivage, constamment ballottés dans un espace restreint, où ils se contentent d'arrondir leurs angles par frottement mutuel, en devenant des *galets*, disposés en terrasses, d'autres, également durs, mais moins cohérents, se réduisent en fragments plus menus qui, emportés par le flot de retour, viennent former, en avant des galets, une plage de *graviers* d'abord, de *sables fins* ensuite.

Quant aux matières assez fines pour demeurer en suspension dans les eaux agitées, comme les boues qui proviennent de la trituration des argiles, elles vont se déposer plus loin du rivage, aux endroits où la vitesse des lames est moindre et où, par une sorte de filtrage, ces boues peuvent arriver peu à peu dans les couches d'eau inférieures, soustraites aux agitations de la surface. Ainsi prennent naissance des dépôts de *boues* ou *vases*, plus ou moins mêlés de menus débris de nature sableuse. On sait aujourd'hui, par les sondages en eau profonde, que ces vases forment, en avant des côtes, une ceinture dont la largeur se tient entre 250 et 300 kilomètres, de boues tantôt vertes, tantôt bleuâtres.

Activité de l'érosion marine. — Mais ces vases ne renferment pas seulement les matières fines produites par l'attaque des vagues contre le rivage. Elles contiennent, en proportion dominante, les troubles apportés par les fleuves et non déposés dans les deltas. Nous disons en proportion *dominante*. En effet, l'observation prouve qu'il serait excessif d'admettre que l'érosion marine fit reculer l'ensemble de toutes les côtes, en moyenne, de plus de *trois mètres par siècle*. A ce taux, en supposant que les rivages aient une hauteur moyenne de 50 mètres, l'étendue totale des côtes étant voisine de 200 000 kilomètres, il en résul-

terait une perte annuelle de *trois dixièmes de kilomètre cube*, c'est-à-dire hors de proportion avec le chiffre qui représente l'ablation par les eaux courantes. Ce qui prouve bien, d'ailleurs, qu'il en doit être ainsi, c'est que la bande formée le long des côtes, par les dépôts détritiques ou *terrigènes*, comme on les appelle quelquefois, bande très étroite en général, subit un élargissement notable partout où débouche un grand fleuve. Cet effet est particulièrement marqué au-devant de l'embouchure du Gange, comme de celle du fleuve des Amazones.

Stratification des dépôts détritiques. — Tous les dépôts ainsi formés sont des *sédiments*, c'est-à-dire constitués par la chute de matières solides au sein de l'eau. De plus ils sont *détritiques*, c'est-à-dire qu'ils consistent en *débris* empruntés à des *roches* préexistantes. Comme la pesanteur est l'agent de leur chute, ils doivent se disposer conformément aux lois de la gravité; ce qui exige que les débris tombent à plat et s'accumulent de telle sorte, que la surface du sédiment soit toujours horizontale, sauf dans la zone des gravières, où la vitesse de l'eau permet la disposition en couches inclinées. De plus, l'activité de la destruction des côtes étant inégale, puisque la puissance de la vague dépend de l'heure de la marée et qu'en outre une seule tempête peut faire incomparablement plus de travail que toute une série de jours calmes; d'autre part, l'apport des troubles par les fleuves étant essentiellement variable suivant les saisons et le régime des eaux, le dépôt n'est pas continu. Les éléments n'y sont pas à tout instant de la même grosseur ni de la même nature. C'est pourquoi le sédiment doit tendre à se diviser, suivant les surfaces qui correspondent aux plus grandes variations du phénomène, en *couches* ou *strates* distinctes, ce qui légitime l'appellation de *dépôts stratifiés*, appliquée aux formations *sédimentaires*. Remarquons seulement que, s'il s'agit de boues extrêmement fines, déposées à la façon d'un précipité nuageux dans une liqueur tranquille, la stratification pourra demeurer indistincte, à moins qu'elle ne soit accusée de temps en temps par un brusque arrêt de la sédimentation.

Débris organiques. — Les animaux qui vivent dans la mer doivent nécessairement, après leur mort, laisser leurs dépouilles

sur le fond. Parmi les coquilles, les unes sont ramenées à la surface et flottent jusqu'à ce qu'elles aient été rejetées, entières ou en fragments, au milieu des graviers littoraux; les autres, celles dont les animaux vivaient enfouis dans la vase, ne laissant passer que l'extrémité de leur tube, demeurent dans le sédiment, avec la position qu'elles occupaient à l'état vivant. Quant aux vertébrés, après que leurs corps ont flotté quelque temps, les dents et les ossements se dispersent plus ou moins et, sous l'action combinée des courants et de la pesanteur, vont se disséminer, partie dans les graviers littoraux, partie dans les boues profondes. De toutes manières, les dépôts marins littoraux, qui ne correspondent pas à des eaux trop violemment agitées, renferment les débris des animaux contemporains de leur formation.

Variété des dépôts synchroniques. — Les sédiments doivent se ressentir, dans leur composition, de la nature des roches qui leur ont donné naissance. En outre, leur puissance, pour un intervalle de temps déterminé, dépend de l'activité de l'érosion, laquelle est essentiellement variable suivant les points. Une même époque verra donc le fond de la mer, au voisinage des côtes, se tapisser de dépôts très différents quant à la nature et à l'épaisseur, et aussi quant à la faune, cette dernière pouvant être *littorale* ou *pélagique* (c'est-à-dire de haute mer). Dans le premier cas, la faune pourra correspondre à des profondeurs d'eau très différentes, ce qu'on devra reconnaître à l'espèce des coquilles enfouies. Dans le second, les espèces varieront aussi, selon qu'il s'agira de fonds rocheux ou de fonds vaseux, de mers chaudes ou de mers froides, etc. En un mot, la diversité des dépôts traduira la variété des conditions physiques.

Parages dépourvus de dépôts. — Nous avons dit que les vases détritiques s'étendaient rarement à plus de 300 kilomètres en avant des côtes. Par suite, dans les océans qui offrent des espaces libres d'une grande largeur, ces espaces ne peuvent recevoir sur le fond aucun dépôt mécanique, à moins que des courants ayant pris naissance près des rivages n'y entraînent, soit directement, soit à l'aide des glaces flottantes, quelques fragments de roches, ou que de menues esquilles de pierre

ponce n'y parviennent après avoir flotté à l'aventure, comme c'est le cas dans le Pacifique. Dans ces régions, il ne peut se former que des dépôts chimiques ou organiques; mais ce sujet appartient à un autre chapitre de la dynamique externe et il en sera question plus loin.

On estime aujourd'hui que les dépôts détritiques en voie de formation, tels qu'ils sont accusés par les sondages, couvrent environ *un cinquième* de la superficie totale du fond des océans.

Il y a, dans le voisinage des côtes, des parages où les dépôts mécaniques font défaut, parce que les courants sont assez puissants pour balayer le fond de la mer. Seulement cela n'arrive en général que dans des détroits de faible profondeur, la vitesse des courants diminuant assez vite au-dessous de la surface.

Intensité variable de l'érosion marine. — Telles sont les conditions normales de l'action dynamique de la mer. Mais une question se pose, celle de savoir si cette action peut s'exercer indéfiniment avec la même intensité moyenne. Les faits ne permettent pas de le croire. A moins qu'il n'intervienne un changement dans les relations de niveau de la terre ferme et de l'océan, une côte, à force de se dégrader, doit finir par acquérir un profil qui la rende de moins en moins accessible à l'attaque des vagues. Déjà nous avons indiqué le rôle protecteur que jouent les cordons littoraux de dunes. Les galets et les limons sont souvent tout aussi efficaces. Ils régularisent le contour des côtes, par suite de leur tendance à former des cordons rectilignes, laissant en arrière des anses ou des *lagunes* destinées à se combler peu à peu. La végétation, lorsqu'elle parvient à s'installer dans l'intervalle de deux grandes marées, produit, sur les vases littorales de récente formation, un excellent effet de consolidation. Même les côtes découpées en falaises finiraient par n'être plus entamées, si la gelée et les infiltrations ne venaient en aide aux vagues, en préparant la division des roches. Ainsi l'intensité de l'érosion marine, à supposer qu'elle ne reçoive pas de secours du dehors, doit aller en décroissant en chaque point, et ses progrès mêmes imposent une limite à son efficacité. Sa valeur se montre d'ailleurs très variable, comme on en peut juger quand on compare la stabilité presque

absolue des côtes de la Bretagne avec l'érosion des falaises de la Hève, progressant à raison de 25 ou 30 centimètres par an, et mieux encore avec l'attaque de certains points des côtes de l'Angleterre et de la mer du Nord, où l'ablation annuelle n'est pas inférieure à un mètre.

Cette diversité trouve sa raison d'être, non seulement dans l'inégalité de puissance des vagues ou de résistance des roches, mais encore dans ce fait que probablement le travail de la mer n'a pas commencé sur toutes les côtes à la même époque, de telle sorte qu'il peut être, suivant les localités, très inégalement avancé.

§ 5

ACTION DE LA GLACE

Chutes de neige. Neiges persistantes. — Il convient maintenant d'étudier ce que devient la partie de la vapeur atmosphérique qui s'est condensée sous la forme neigeuse.

Quand la neige tombe sur des régions de faible altitude, elle est tôt ou tard fondue par les rayons solaires et, suivant la nature du sous-sol, le produit de cette fusion vient accroître la part du ruissellement ou celle de l'infiltration. L'action dynamique de ce produit se confond avec celle des eaux courantes et il y a eu simplement, dans sa manifestation, un temps d'arrêt causé par le peu de mobilité des particules neigeuses. En outre, il est à remarquer que la neige, par la lenteur avec laquelle elle fond, facilite l'infiltration sur les pentes, en faisant pénétrer goutte à goutte, dans le sol, de l'eau qui aurait pu ruisseler à la surface, si sa chute avait eu lieu sous la forme liquide. Elle contribue donc encore de ce chef à la régularisation du régime des cours d'eau et à la diminution de leur puissance mécanique.

Bien plus important est le rôle de la neige qui tombe sur les hautes montagnes, dans ces régions où la raréfaction de l'atmosphère est telle, que la chaleur de la saison chaude ne parvient pas à fondre la totalité des neiges tombées pendant la saison froide.

Dans ces conditions, les neiges deviennent *persistantes* ou *perpétuelles* et peuvent s'amonceler en quantités considérables.

Cette permanence des neiges se manifeste à partir d'une certaine ligne dont l'altitude, variable avec les contrées et l'abondance des neiges, est de 2800 mètres en Suisse, de 3500 à 4300 mètres au Caucase, tandis qu'elle s'abaisse au niveau de la mer, dans l'hémisphère méridional, dès le 62° degré de latitude. Plus le climat est exempt de variations, plus la limite des neiges persistantes est nette et stable. Sous les tropiques, elle forme, entre 4700 et 5000 mètres d'altitude, une ligne horizontale d'une netteté absolue. Au contraire, sa position varie beaucoup dans l'hémisphère nord, à cause de la grande différence entre l'hiver et l'été.

Avalanches, névé. — Quelle que soit l'abondance des chutes de neige, l'accumulation d'une matière aussi meuble a nécessairement une limite. Quand cette limite est dépassée, des paquets de neige tombent sur les pentes, formant les *avalanches*, si redoutées des montagnards, non seulement à cause de leur masse, mais à cause de la quantité de pierres et de blocs qu'elles peuvent entraîner dans leur chute.

Ou bien les avalanches glissent sur une pente qui ne permet pas leur concentration et, dans ce cas, la neige, après avoir accompli son œuvre et déposé sa charge de matériaux solides, alimente en fondant les torrents voisins; ou bien l'excès des neiges persistantes est dirigé, par la convergence des cimes, vers un réservoir en forme de grand cirque, où il s'emmagasine et devient, après avoir subi diverses transformations, la source d'un *glacier*. Ce réservoir est donc, pour le glacier qu'il alimente, un *bassin de réception* des neiges, équivalent du bassin de réception des torrents.

Au moment où la neige tombe sur les hautes montagnes, elle est à l'état de petits cristaux en forme d'étoiles. Bientôt ces cristaux subissent, sous l'action des rayons solaires, un commencement de fusion et deviennent des granules plus ou moins arrondis, dont l'ensemble forme une sorte de poussière blanche très mobile. En s'accumulant dans les grands cirques, cette poussière de neige commence à s'agglomérer, l'eau qui provient de la fonte superficielle des grains se congelant dans leurs

interstices. De là résulte un amas peu cohérent de granules, parsemé de bulles d'air, qu'on appelle le *névé*.

Formation des glaciers. — Les couches inférieures du névé sont de plus en plus compactes à cause de la pression qu'elles supportent. D'ailleurs le cirque dans lequel les neiges se sont emmagasinées débouche toujours dans une gorge plus ou moins encaissée, où le névé, sollicité à la fois par son poids et par la pression d'amont, est forcé de descendre. De cette manière, le névé finit par arriver dans une zone de moindre altitude, où la température est au-dessus de zéro. La fusion partielle qui en résulte augmente la compacité de la masse, et ainsi, de la poussière neigeuse des cimes, on passe à cette glace cohérente, translucide, parsemée de fissures capillaires et parfois de veines bleuâtres, qui caractérise les *glaciers* proprement dits.

Un glacier peut donc être qualifié : un appareil naturel qui a pour fonction de débiter l'excès des neiges persistantes, tombées sur toute l'étendue d'un cirque montagneux.

En tout cas, de même qu'un fleuve est alimenté par les sources ou le ruissellement, de même un glacier a besoin, avant toute chose, d'abondantes chutes de neige, et comme celles-ci résultent de la condensation de la vapeur atmosphérique, des vents humides sont par-dessus tout nécessaires à la production des glaciers. Le froid tout seul n'en saurait faire naître, et c'est pour cette cause que les glaciers sont si rares dans le Tibet, où l'air arrive sec, s'étant dépouillé de son humidité sur le flanc de l'Himalaya.

Crevasse. Regel. — La glace étant inextensible et à peu près dépourvue de plasticité, elle se fissure sans cesse lorsque, dans son mouvement de descente, elle subit des compressions ou des dilatations. Mais les crevasse ainsi produites sont bientôt comblées par des chutes de neige ou de menus fragments de glace, autour desquels les eaux d'infiltration, provenant de la fonte superficielle, viennent se geler de nouveau, en faisant du tout, sous l'effort de la compression d'amont, une masse solide. La continuité de la glace, constamment interrompue par la formation des crevasse, est donc aussi constamment rétablie par le *regel*. L'ensemble de la masse étant d'ail-

leurs maintenu dans un milieu où règne une température supérieure à zéro, il en résulte pour la glace une tendance à se rapprocher de la forme liquide et la pression des parties supérieures s'y fait sentir en même temps que l'action de la pesanteur. Les fissures capillaires divisent d'ailleurs sa masse en grains qui peuvent se mouvoir les uns relativement aux autres. De cette manière, il est permis de dire qu'un glacier est un fleuve ou plutôt un torrent d'eau glacée, dont l'analogie avec les eaux courantes se prononce d'autant plus nettement que la température ambiante est plus élevée.

Mouvement des glaciers. — Des mesures précises ont en effet permis de constater que les glaciers cheminent avec une vitesse variable, plus grande en été qu'en hiver, plus sensible à la surface qu'au fond, et atteignant son maximum au milieu de la largeur, tandis que, sur les bords, elle est réduite par le frottement des parois. Avant ces mesures, on savait déjà qu'un glacier restituait en aval les objets tombés à sa surface en amont. Par exemple, l'échelle abandonnée en 1788 par les guides de Saussure, au pied de l'Aiguille Noire, avait été retrouvée en débris, cinquante-sept ans plus tard, à 4 kilomètres et demi plus bas. En Suisse, la vitesse moyenne de la glace, à la surface, varie depuis 2 à 5 centimètres jusqu'à 1 m. 25 par vingt-quatre heures. La vitesse des grands fleuves étant habituellement comprise entre 0 m. 50 et 1 m. 50 *par seconde*, on en peut conclure immédiatement qu'un glacier est un appareil naturel, par lequel le mouvement du produit des précipitations atmosphériques se trouve retardé, au moins dans la proportion de *un à cent cinquante mille*.

Effets de transport. Moraines. — Mais si la vitesse d'écoulement est ainsi considérablement ralentie, la puissance de transport est, au contraire, accrue. En effet la glace, en descendant, entraîne nécessairement tout ce qui tombe à sa surface. Un glacier est toujours encaissé entre deux parois abruptes, le long desquelles s'écroulent les blocs détachés des sommets par la gelée ou par les avalanches. Les produits de ces chutes forment, sur les deux bords du courant de glace, deux traînées latérales, connues sous le nom de *moraines*. On constate aisément que ces moraines se déplacent peu à peu, obéissant

au mouvement de la glace qui les porte. Même, lorsque deux glaciers se réunissent en un seul, la moraine de droite de l'un se joint à la moraine de gauche de l'autre, et par là se forme une moraine médiane, qui peut garder longtemps son individualité, apparaissant comme une trainée noire vers le milieu de la largeur du glacier résultant. Et si cet effet se répète plusieurs fois, on distingue, à la surface de ce glacier, autant de trainées, d'inégale largeur, qu'il y a eu d'affluents puissamment puissants (fig. 10).

Pendant le transport, les blocs des moraines, fortement pressés contre les parois de la gorge, les usent, les polissent et souvent y tracent des stries ou rayures. Il en est de même sur le fond, lequel est en outre balayé par des courants sous-glaciaires, produits de la fonte partielle de la glace, qui charrient de la boue fine et de petites pierres. Tout cela finit par arriver en un point où l'ablation, c'est-à-dire l'intensité de la fonte de la glace, sous l'influence d'une température extérieure qui croît à mesure qu'on descend, devient justement égale à l'alimentation. Alors le glacier s'arrête, laissant s'échapper de son extrémité un torrent, dont l'eau est laiteuse à cause des fines particules qu'elle charrie.

Quand un glacier est puissamment alimenté, comme c'est le cas en Suisse pour la Mer de Glace du Mont-Blanc, son extrémité parvient sans peine jusqu'à la zone des cultures, et c'est un contraste remarquable que celui de cette nappe glacée avec les campagnes verdoyantes et les forêts qui arrivent presque à son contact. De même, en Nouvelle-Zélande, des chutes de neige d'une ampleur considérable parviennent à pousser le front de quelques glaciers jusqu'à une faible distance de la mer, au milieu de régions où se développe tout à l'entour une végétation luxuriante.

À l'extrémité libre d'un glacier, les moraines et les matériaux transportés sur le fond s'épanouissent en un amas demi-circulaire, qualifié de *moraine frontale*. C'est un mélange sans stratification de gros blocs, pour la plupart anguleux, de cailloux, de petites pierres et de boue d'un gris d'ardoise. Beaucoup des cailloux de cette moraine sont *polis*, *frottés* ou *rayés*. Cela est surtout fréquent avec les pierres calcaires, qui reçoivent beau-

coup mieux les stries, mais aussi les perdent très vite par frottement dans l'eau ou par exposition à l'air.

Quelques-uns des blocs des moraines sont de dimensions énormes et dépassent tout ce que les torrents les plus violents seraient capables de déplacer. De cette manière, un glacier se révèle à nos yeux comme un instrument de transport d'une grande efficacité, qui aide à faire arriver, dans une situation de

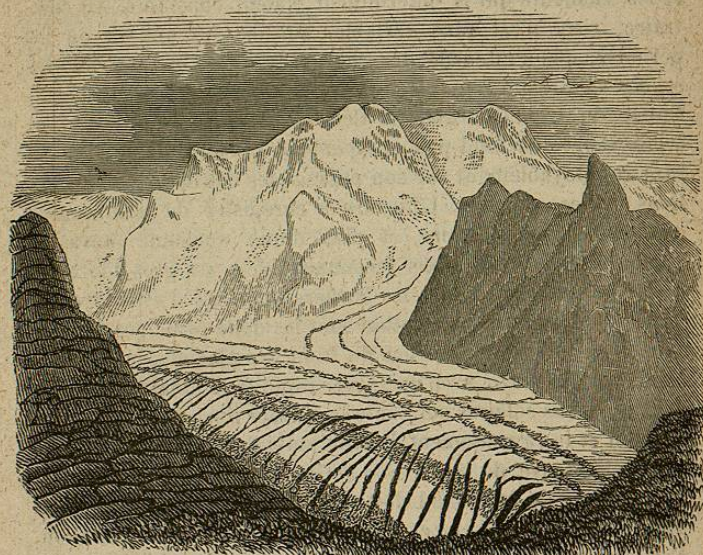


Fig. 10. — Moraines, crevasses et parois polies du glacier de Gorner.

meilleur équilibre, soit des blocs arrachés à ces hautes cimes que l'eau courante ne saurait atteindre, soit des matériaux défiant, par leurs dimensions, la puissance des cours d'eau. En même temps les glaciers régularisent, en les emmagasinant comme dans un réservoir, les produits des chutes de neige et assurent l'alimentation des fleuves en été, soit juste au moment où ils en ont le plus besoin. D'ailleurs la neige, par sa condensation, a restitué aux régions supérieures la chaleur latente que l'évaporation avait prise dans des pays plus chauds, tandis que, pour fondre, une fois transformée en glace, elle devra

emprunter à des régions inférieures le calorique nécessaire. Les glaciers contribuent donc à *égaliser* les climats du globe.

Déplacements de l'extrémité des glaciers. — La position de l'extrémité libre d'un glacier résulte d'une sorte de lutte entre la quantité de glace qui arrive par l'amont, et la fusion superficielle due à l'action directe du soleil et à celle de l'air ambiant. Cette extrémité ne pourrait demeurer fixe que si les éléments qui la déterminent étaient constants. Au contraire, rien n'est plus variable, suivant les années ou les périodes, que l'intensité des chutes de neige et l'activité des rayons solaires. Aussi voit-on se produire un déplacement continu du front du glacier. Celui-ci tantôt recule, mettant à découvert son fond poli et *moutonné*, tantôt s'avance, labourant impitoyablement sur son passage les cultures, les plantations et les maisons. L'histoire a enregistré de nombreuses oscillations de ce genre, et plus d'une ancienne moraine, aujourd'hui cultivée, mais reconnaissable à ses gros blocs, se montre en des points que les glaciers ont cessé d'atteindre.

Si l'ablation et l'alimentation sont les deux principes antagonistes qui règlent la position du front des glaciers, leur action ne se fait pas sentir avec une égale rapidité. L'ablation s'exerce par les rayons solaires sur toute la surface libre du glacier, par le soleil et le rayonnement de l'air ambiant sur la partie inférieure du fleuve de glace. Son action est donc immédiate, et l'influence d'un été chaud doit se traduire sans délai par une diminution de longueur et d'épaisseur. Quant à l'alimentation, c'est surtout par l'augmentation de la masse des névés qu'elle est efficace. Sans doute, une partie de la neige tombe directement sur le glacier et en accroît la masse; mais cet effet est peu de chose à côté de celui que doit produire l'excès des névés accumulés, pendant tout un hiver neigeux, sur la surface entière du cirque où s'alimente le glacier. Or, avant de se révéler dans les régions inférieures, cet excès de névés doit se transformer et opérer une descente progressive qui, d'après le taux moyen de la vitesse des glaciers, demande au moins quelques années.

En Suisse, l'observation montre qu'une série d'hivers neigeux met quelquefois vingt-cinq ans à manifester son action. Et comme celle-ci, une fois commencée, continue à se produire, il

arrive souvent que les mouvements de l'extrémité libre soient contradictoires avec l'ensemble des circonstances ambiantes, un glacier continuant à progresser pendant une suite d'années chaudes et sèches.

Influence de la jonction des glaciers. — Il est à remarquer aussi que les déplacements de l'extrémité des glaciers peuvent devenir, en quelque sorte, disproportionnés en apparence avec la cause qui les produit. En effet, si deux d'entre eux, jusqu'alors séparés, viennent à se réunir, ils formeront en général, une fois soudés dans une gorge commune, un courant dont la largeur ne sera pas égale à la somme des largeurs des affluents. Il faudra donc que l'épaisseur du glacier résultant soit plus considérable. Mais comme la fusion de la glace s'opère surtout par la surface et que cette dernière n'a pas augmenté en proportion de la masse, le glacier, mieux défendu contre l'ablation, s'avancera plus loin que ne l'aurait fait isolément chacun des deux affluents, cheminant sans se réunir. Ainsi, dans le cas où une exagération des chutes de neige provoquerait la rencontre de plusieurs glaciers habituellement isolés, l'extrémité libre pourrait progresser beaucoup plus loin que ne le ferait supposer l'allure des affluents avant leur réunion.

Profil des gorges occupées par les glaciers. — Un glacier est un remarquable instrument de *déblaiement*. La glace, par le frottement des pierres transportées, fait disparaître sous un poli uniforme toutes les inégalités de la gorge qu'elle remplit, et sa pression suffit pour écarter de son lit tous les obstacles. Aussi quand, à la suite d'une longue série d'années sèches, le niveau de la glace s'abaisse en même temps que le front recule, on voit à découvert l'ancien lit sous la forme d'une gorge au fond assez plat, aux parois escarpées, ayant une section qui rappelle la lettre U, tandis que la section des vallées torrentielles, où les versants sont plus sujets à s'ébouler, a plutôt la forme d'un V.

Mais si la glace excelle à déployer son chemin en écartant tous les matériaux meubles, du moins on ne l'a pas encore vue se creuser un lit dans les roches dures.

Toutes les gorges aujourd'hui occupées par des glaciers laissent apercevoir des parois polies et arrondies jusqu'à une hauteur bien supérieure à celle que la glace a jamais atteinte