NOTICE SUR LES GLACIERS.

PAR M. AGASSIZ.

Les glaciers sont des masses de glace encaissées dans les vallées ou suspendues aux flancs des hautes montagnes. Leur étendue est souvent très-considérable; ceux qui occupent les grandes vallées des Alpes, descendent en général des plus hautes sommités et se prolongent jusque dans les régions cultivées. Il y a des glaciers qui ont cinq à six lieues de long et même plus, sur une largeur d'un quart de lieue à une lieue et au-delà.

On a divisé les glaciers de plusieurs manières, d'après leur étendue, leur élévation, leur position relativement les uns aux autres. En général, les glaciers, comme les fleuves, sont composés de la réunion de plusieurs affluens, et ceux qui ne se combinent pas avec d'autres n'ont ordinairement qu'un cours très-limité. Je distingue dans tous les grands glaciers trois régions : 1° *le glacier proprement dit* ou la région où la neige qui tombe pendant l'hiver fond complétement pendant l'été ; 2° *le névé*, qui occupe le fond des hautes vallées et dont la surface est de neige grenue ; 3° *les champs ou plateaux supérieurs de neige.* Ces derniers recouvrent les hauts cols, et sont composés d'une neige ordinairement fine et poudreuse.

Chacune de ces différentes régions a sa physionomie

particulière. Le glacier proprement dit est de glace compacte ; sa surface est ordinairement convexe au milieu et souvent parsemée de débris rocheux. Le névé au contraire est concave, très-uniforme, sa surface n'a point de débris rocheux. Les champs de neige se reconnaissent de loin à leur blancheur éclatante, qui contraste avec l'apparence plus ou moins sale du névé. Ils n'occupent d'ailleurs que les pentes des plus hautes montagnes, rarement le fond des vallées. Les champs de neige et les névés réunis forment les mers de glace ou glaciers-réservoirs, dont les glaciers proprement dits ne sont en quelque sorte que les décharges. La limite entre le glacier proprement dit et le névé oscille aux environs de 8,000 pieds dans les Alpes. La limite entre le névé et la neige est plus variable; on peut la placer entre 9 et 10,000 pieds.

La passage de l'une de ces régions à l'autre s'effectue de la manière suivante : Il tombe annuellement dans les régions supérieures une quantité considérable de neige; et comme le soleil n'a pas assez de force pour la fondre toute pendant l'été, elle s'accumule d'année en année dans les grands réservoirs qui sont au pied des plus hautes cimes des Alpes. Mais la neige ne conserve pas plus dans les Alpes qu'ailleurs sa forme primitive ; de cristalline qu'elle était au moment de sa chute, elle devient grenue. Les grains, d'abord petits, augmentent insensiblement de volume, à mesure que l'eau qui résulte de la fonte des couches superficielles s'infiltre dans l'intérieur de la masse, et à une certaine profondeur, qui varie considérablement suivant les localités et les saisons, on voit peu à peu les grains adhérer entre eux et former une glace d'abord très-peu consistante, mais qui devient de plus en plus compacte. C'est l'eau qui, après s'être infiltrée dans la masse, s'y congèle et agit comme un ciment.

La glace des glaciers est fort-différente de celle qui se forme en hiver sur nos rivières et nos étangs. Elle est plus opâque, plus bulleuse, et sa surface, au lieu d'être glissante et polie, est âpre et rugueuse, ce qui fait que l'on chemine commodément et sans aucun danger sur tous les glaciers qui ne sont ni trop crevassés ni trop inclinés. Cette structure particulière de la surface est occasionnée par la présence d'une quantité de petites fissures, les *fissures capillaires*, qui traversent la masse dans tous les sens et la divisent en une quantité de fragments irréguliers dont la grosseur varie de quelques lignes à plusieurs pouces. En se fondant d'une manière inégale, ces fragments donnent à la surface une apparence semblable à celle de la pierre ponce. Mais dans l'intérieur, et là où elle est abritée contre les agents atmosphériques, la glace est unie et d'une belle teinte azurée.

L'intérieur du glacier, aussi loin qu'on a pu pénétrer, a une température à-peu-près constante de 0° ou quelques dixièmes de degré au-dessous. Des observations répétées journellement pendant plusieurs étés consécutifs, m'ont donné constamment les mêmes résultats à des profondeurs de 25, 50, 100, 150 et 200 pieds [1] (de 0° à — 0°,3 et — 0°,4). Un thermométrographe qui séjourna pendant un hiver dans le glacier à la profondeur de 25 pieds marquait également — 0°,3.

Les glaciers sont stratifiés dans toute leur étendue, et chaque couche correspond dans l'origine à la quantité de neige tombée dans les régions supérieures pendant un temps donné. La plupart sont des couches annuelles. A côté des couches, il existe dans l'intérieur du glacier

[1] L'épaisseur des glaciers est plus considérable qu'on ne le pense communément. Il y a au glacier de l'Aar des trous qui ont jusqu'à 780 pieds de profondeur.

proprement dit un système particulier de bandes ou lames parallèles qui correspondent à des fissures superficielles plus ou moins distinctes. Ces bandes sont d'une glace plus bleue et plus transparente que le reste de la masse, c'est pourquoi on les désigne sous le nom de *bandes bleues* ou de *structure rubannée*. Elles sont le plus distinctes dans les régions moyennes, mais elles s'effacent de plus en plus vers l'extrémité du glacier, à mesure que la masse entière devient plus compacte et plus transparente.

Tous les glaciers ont des crevasses dont la forme et les dimensions varient à l'infini. Elles sont ordinairement transversales et perpendiculaires à l'axe du glacier; les unes traversent le glacier de part en part, les autres n'affectent que les bords; ce n'est guère qu'à l'extrémité des glaciers qu'on en rencontre de longitudinales. Les glaciers les plus inclinés sont ceux qui ont le plus grand nombre de crevasses. Mais il est rare qu'elles pénètrent jusqu'au fond. Leur formation, toujours accompagnée d'une forte détonation, est due à plusieurs causes: celles qui traversent en un instant toute la largeur d'un glacier, sans s'élargir sensiblement, sont évidemment le produit d'une tension intérieure, occasionnée sans doute par des modifications dans la température de la masse. Celles qui sont limitées aux bords latéraux ne sont que des déchirures occasionnées par des saillies du rocher.

Les *aiguilles du glacier* sont intimément liées aux crevasses. Quand un glacier est excessivement crevassé, il arrive souvent que la masse entière se divise en énormes tranches qui, livrées isolément à l'action du soleil, deviennent pyramidales et affectent souvent des formes très-bizarres en se fondant. Les aiguilles n'existent jamais que là où le glacier a une forte pente, et il n'est pas rare de voir des glaciers très-bouleversés dans un

point de leur cours reprendre dans leur cours ultérieur un aspect calme et uniforme. Ce n'est pas à dire que tous les glaciers à forte pente doivent nécessairement avoir des aiguilles ; il y en a au contraire de fort inclinés qui en sont complétement dépourvus et qui même ne sont pas très-crevassés. Il faut pour donner lieu à des crevasses nombreuses et partant à des aiguilles, que l'inclinaison se combine avec l'inégalité du sol.

Le *mouvement des glaciers* est un fait aujourd'hui reconnu de tout le monde ; aussi bien, s'ils ne progressaient pas, il y a longtemps que toutes les hautes vallées des Alpes seraient comblées. Par l'effet de ce mouvement lent et continu, les masses neigeuses qui tombent dans les régions supérieures sont charriées dans les régions plus basses où elles se dissolvent sous l'influence d'une température plus élévée. La progression s'effectue dans le sens de la plus grande pente, conformément à la loi de la pesanteur. Saussure attribuait uniquement à l'effet de la pesanteur la progression des glaciers qui, selon lui, glissent sur leur pente. Mais cette opinion ne saurait plus être admise de nos jours ; car s'il en était ainsi, l'impulsion une fois donnée, le mouvement devrait aller toujours en augmentant ; or c'est précisement ce qui n'a pas lieu (1). Il se ralentit au contraire de haut en bas. Il faut donc qu'une autre cause agisse de concert avec la pesanteur, et cette cause c'est la dilatation ou l'augmentation de volume occasionnée par la congélation de l'eau qui s'infiltre dans l'intérieur du glacier par les fissures capillaires. Le

(1) La théorie qui attribue le mouvement du glacier à la fonte de son fond en contact avec le sol, ne saurait non plus être admise exclusivement ; car la fonte, opérée par la chaleur propre de la terre, ne peut produire d'autre effet sur une pente très-peu inclinée, que d'abaisser le niveau absolu de la masse entière.

pérature supérieure à zéro, et au lieu de protéger la glace au-dessous d'eux contre la chaleur ambiante, ils en accélèrent la fusion en creusant des trous qui pénètrent souvent à une profondeur de plusieurs pieds.

Le fin gravier qui est entraîné par les ruisselets de la surface agit aussi de différentes manières. Lorsqu'il est accumulé au fond d'un trou, de manière à former une couche continue, et que le ruisseau qui l'avait déposé change tout à coup de cours, cette couche de gravier agit comme une table, c'est-à-dire qu'elle protège la portion du glacier qu'elle recouvre contre l'évaporation et la fonte. Cette portion, ainsi abritée, de creuse qu'elle était devient convexe et forme ces cônes de sable pointus semblables à de grandes taupinières, que je désigne sous le nom de *cônes graveleux*. Si au contraire le gravier ne forme pas une couche continue, il active la fonte et c'est là une des causes pour lesquelles le glacier est ordinairement déprimé dans le voisinage des moraines. Il existe en outre à la surface de presque tous les glaciers une quantité de trous sémicirculaires de la profondeur d'un pied environ dont le fond est tapissé de gravier, et que j'ai désignés sous le nom de *trous méridiens*, parce que le sommet de l'arc est toujours exactement dans le plan du méridien. Leur forme régulière est l'effet de l'action inégale du soleil sur le gravier à différentes heures de la journée. Qu'on ajoute à ces phénomènes les filets d'eau ruisselant de toutes parts, se réunissant en torrens pour se précipiter en cascades dans les crevasses qui s'ouvrent ou se referment tour à tour, et l'on aura une idée de la mobilité perpétuelle de la surface d'un glacier.

Mais tous les débris qui tombent des parois rocheuses sur le glacier, ne restent pas à la surface. Une partie est engloutie dans les déchirures et les excavations des bords

du glacier. Il y a des moraines entières qui disparaissent de cette manière; la majeure partie des débris est pulvérisée par le frottement du glacier, et leur détritus forme une couche particulière de fin sable ou de boue qu'on rencontre dans tous les glaciers entre la glace et le rocher *(la couche de boue)*. Ceux que le glacier ne parvient pas à écraser, ressortent à l'extrémité du glacier sous la forme de galets arrondis, très-lisses et souvent marqués de fines stries rectilignes.

Les glaciers exercent aussi une action continue et très-marquée sur les flancs et le fond des vallées qui les encaissent. Ils les nivellent par le frottement et en arrondissent les angles et les grandes inégalités ; souvent ils les polissent aussi parfaitement que pourrait le faire la main du marbrier, coupant les corps fossiles et les concrétions qui s'y rencontrent, et exerçant leur influence sur la tranche des couches aussi bien que sur leurs plans. En même temps, les particules les plus dures de la couche de boue, entre autres les petits cristaux de quarz agissent comme un émeri sur le rocher que le glacier recouvre, et gravent sur les surfaces polies une multitude de stries rectilignes plus ou moins fines et sensiblement parallèles entre elles. Ces stries sont absolument indépendantes de la structure de la roche, ainsi que du clivage et de la stratification; elles suivent au contraire toujours la direction que les formes du terrain ont dû imprimer aux glaces, soit dans leur marche normale, soit dans leur remous.

Outre ces fines stries, on remarque souvent sur les surfaces polies en contact avec les glaciers, de larges sillons longitudinaux dont la surface est aussi parfaitement lisse et polie. Il est probable qu'ils sont occasionnés par les gros cailloux empâtés dans la glace et qui, à raison de leur volume, doivent user davantage la roche en la frot-

d'une autre roche que les parois environnantes; mais en remontant le glacier, on arrive toujours à leur origine. Les moraines peuvent, sous ce rapport, être envisagées comme le répertoire de toutes les roches qui existent dans le bassin d'un glacier. Elles sont superficielles dans toute la région du glacier proprement dit. En revanche, tout ce qui tombe sur le névé s'y enfonce, et les blocs qui sont ainsi enterrés passagèrement dans cette masse incohérente, ne reparaissent à la surface que là où commence le glacier. C'est par conséquent avec raison que l'on signale comme limite entre le névé et le glacier le point où les moraines commencent à surgir. Les moraines terminales ou frontales se lient directement aux moraines latérales, et comme elles sont adossées contre la tranche terminale du glacier, il en résulte que le glacier doit les pousser devant lui lorsqu'il est en progression, et les laisser en place lorsqu'il se retire. C'est en effet ce qui arrive. Le nombre des moraines successives à l'issue d'un glacier indique par conséquent autant de retraits successifs du glacier, à partir du moment où il déposa celle qui est la plus éloignée de son extrémité inférieure.

Isolés, les débris qui gisent à la surface du glacier donnent lieu à plusieurs phénomènes remarquables. Les plus gros de ces fragments, protégeant la partie de la glace qu'ils recouvrent contre l'action des rayons solaires, des pluies et de l'évaporation, se trouvent peu à peu par l'abaissement du reste de la surface, isolés au sommet d'un large piédestal ou d'une colonne de glace : ce sont les *tables des glaciers*. Si au contraire les fragments ont seulement quelques pouces de diamètre ou moins encore, il se passe un phénomène contraire. Absorbant les rayons solaires avec plus de force que la glace, en leur qualité de corps opaques, leur masse entière se trouve élevée à une tem-

tant. Il ne faut pas les confondre avec d'autres sillons tortueux qu'on rencontre dans les régions calcaires (les *Karrenfelder)*, qui sont le résultat de l'érosion des eaux qui circulent sous les glaciers ou sous les neiges annuelles.

Les divers phénomènes que je viens d'énumérer ne se rencontrent pas seulement dans le domaine des glaciers actuels; on les retrouve dans une foule de localités où, de mémoire d'homme, on ne se souvient pas d'avoir vu des glaciers. On a cité dans presque toutes nos grandes vallées des accumulations de blocs en forme de digues qui ressemblent, à tous égards, aux moraines actuelles. C'est ainsi que de Saussure déjà signale dans la vallée de Chamouni d'anciennes moraines couvertes en partie de végétation. Ces dépôts morainiques se retrouvent également avec les mêmes formes et les mêmes caractères jusqu'à une grande distance du siége actuel des glaces, dans une foule d'autres vallées qui n'ont pas de glacier à leur origine. De là on les a poursuivis de proche en proche jusque dans la plaine suisse et même sur les flancs et dans l'intérieur du Jura.

Les roches polies, de leur côté, s'étendent aussi fort au delà du domaine des glaciers actuels. On les retrouve dans l'intérieur des Alpes avec leurs sillons et leurs stries sur presque toutes les roches assez dures pour résister aux influences délétères de l'atmosphère. Il y a même des endroits, loin des glaciers, où elles sont d'un lustre qui est à peine égalé par les plus fraîches de celles qui sont de nos jours soumises à l'action du glacier; et, comme elles sont de leur nature plus continues et plus persistantes que les moraines, elles nous permettent de suivre comme à la piste, les anciens glaciers jusqu'en des lieux où on ne les aurait jamais soupçonnés. Dans d'autres endroits, elles ont perdu leur lustre et leur poli; mais elles

ont conservé cette forme arrondie qui est un signe non équivoque de leur origine. On leur donne alors le nom de *roches moutonnées*.

Il existe une limite de hauteur que les roches polies et moutonnées ne dépassent pas dans l'intérieur des Alpes et dont la continuité se poursuit parfois sur de grandes étendues. Au-dessus de cette limite, qui est entre 9 et 10,000 pieds, les cimes et les arêtes sont toutes dentelées et délitées, tandis que les massifs sous-jacens sont lisses et arrondis. Cette ligne est si tranchée dans certaines localités qu'on est presque tenté d'y voir la limite de deux roches différentes. Sa pente est moindre que celle des glaciers les moins inclinés.

Enfin l'on rencontre parfois dans l'intérieur des Alpes des blocs isolés, au sommet d'arêtes escarpées et dans des positions telles qu'ils ne peuvent y avoir été déposés que par une force agissant lentement. Ces blocs que je désigne sous le nom de *blocs perchés* se retrouvent aussi bien dans les vallées inférieures que dans le domaine des glaciers actuels.

Tous ces divers phénomènes, que la plupart des géologues s'accordent à attribuer à une ancienne extension des glaciers dans l'intérieur des hautes Alpes, tels que les roches polies et moutonnées, les moraines, les blocs perchés et tout cet ensemble d'accidents qu'on comprend sous le nom collectif de *phénomène erratique*, se reproduisent avec les mêmes caractères en dehors du domaine des Alpes. On les retrouve entre autres tout-à-fait semblables dans le Jura, et comme les blocs erratiques du Jura sont évidemment d'origine alpine et qu'il est facile d'indiquer, pour un grand nombre d'entre eux, la localité d'où ils proviennent, quoi de plus naturel que d'en conclure que l'agent qui transporte encore de nos jours des

blocs semblables loin de leur gisement, a jadis étendu son action jusque dans le Jura, et qu'une grande nappe de glace recouvrait toute la plaine suisse !

Mais le champ des phénomènes erratiques n'est pas limité au Jura. Il s'étend à une foule d'autres contrées. On a signalé des roches polies, des blocs erratiques et des anciennes moraines dans la Forêt-Noire, dans les Vosges, en Angleterre, en Ecosse, en Irlande, en Suède, en Norwège, en Finlande, aux Etats-Unis, etc.; et comme ces phénomènes s'y présentent en général avec le même caractère qu'en Suisse, je suis porté à croire qu'ils sont l'effet d'une même cause, et qu'à une certaine époque l'Europe entière a été couverte d'une vaste nappe de glace. Cette époque est probablement celle de la disparition des grands mammifères que l'on trouve déposés dans les graviers glacés du Nord. On peut même, jusqu'à un certain point, déterminer la différence qui existait entre la température moyenne de l'époque des glaces, et la température moyenne actuelle des différentes contrées où l'on trouve des traces du phénomène erratique. On a découvert en Ecosse, sur les bords de la Clyde et ailleurs, dans des limons postérieurs aux terrains tertiaires, des coquilles fossiles que j'ai trouvées identiques avec celles qui habitent maintenant les contrées arctiques, entr'autres les côtes du Grönland, dans des localités dont la température moyenne est de 8° inférieure à celle de l'Ecosse. Je me suis en outre assuré que certains fossiles quaternaires de Sicile ont leurs analogues vivans dans les mers du Nord, précisément dans des limites qui correspondent aussi à une différence de 8° en moins dans la température moyenne. Or si, comme je crois pouvoir le démontrer, la déposition de ces limons post-tertiaires coïncide avec l'époque de la plus grande extension des glaces que je suppose avoir en-

vahi l'Europe, n'est-on pas en droit d'en conclure que la température moyenne d'alors était de 8° inférieure à celle de nos jours?

La différence de hauteur à laquelle descendent de nos jours les neiges éternelles sous les tropiques et dans nos contrées tempérées, comparée à la limite inférieure des traces du phénomène erratique sous nos latitudes et dans les régions équatoriales, donne les mêmes résultats; d'où nous concluons, d'après les lois de la répartition de la chaleur, que lorsque les glaciers descendaient dans les Andes du Pérou jusqu'à des niveaux de 8 et 9000 pieds au dessus de la mer, ils devaient envahir non seulement la plaine Suisse pour atteindre le Jura, mais qu'ils recouvraient aussi uniformément tout le nord de l'Europe (1).

Ainsi cette idée d'une époque glacée, intermédiaire entre celle de la disparition des derniers animaux éteints, qui ont peuplé l'Europe, et la création des êtres vivant maintenant, idée qui paraissait si hazardée lorsqu'elle n'était appuyée que de l'étude des phénomènes erratiques proprement dits, se trouve maintenant étayée de preuves toutes nouvelles, tirées de la distribution des êtres organisés à la surface du globe et des limites auxquelles les glaces s'étendaient jadis et s'étendent encore maintenant sur les pentes des montagnes de différentes zônes.

(1) J'exposerai les faits dont je viens de donner les résultats les plus sommaires, dans un nouvel ouvrage que je prépare sur l'ensemble des phénomènes erratiques et des glaciers.

Neuchâtel, octobre 1843.

L. Agassiz.