

Chapitre III

Action des différents éléments sur les roches

III.1 Introduction

Le modelé des paysages évolue au cours du temps sous l'action de différents agents d'érosion. Les continents s'aplanissent et tendent vers un niveau de base, celui des océans. Les paysages obtenus reflètent la nature, la composition et l'architecture des formations géologiques. L'eau, la glace, le vent, sculptent les surfaces continentales.

III.2 Action des différents éléments sur les roches

III.2.1 Action de l'air (du vent) sur les roches

Le vent constitue un facteur important d'érosion et de transport des sédiments à la surface de la planète. Il est particulièrement actif dans les régions sèches où la végétation est quasi-absente, comme les déserts. Les régions désertiques, qu'on définit comme les régions qui reçoivent moins de 20 cm de précipitations/an, couvrent près du tiers de la surface terrestre. Les grands déserts du monde (Sahara, Kalahari, Gobi, les déserts d'Australie) se trouvent entre les latitudes 10° et 30° de part et d'autre de l'équateur (Fig.III.1).

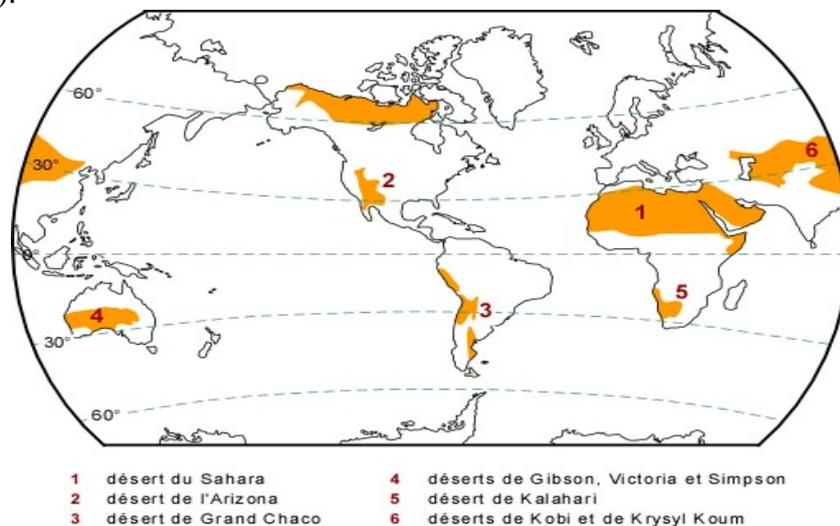


Figure III.1 Les grands déserts du monde

Ces régions sont constamment sous des conditions de haute pression atmosphérique où descend l'air sec, ce qui est aussi vrai pour les régions polaires qui sont aussi considérées comme désertiques compte tenu qu'elles reçoivent moins de 20 cm/an de précipitations (en équivalent pluie).

III.2.1.1 La répartition des déserts

La répartition des déserts est déterminée par la circulation atmosphérique qui dépend de la radiation solaire.

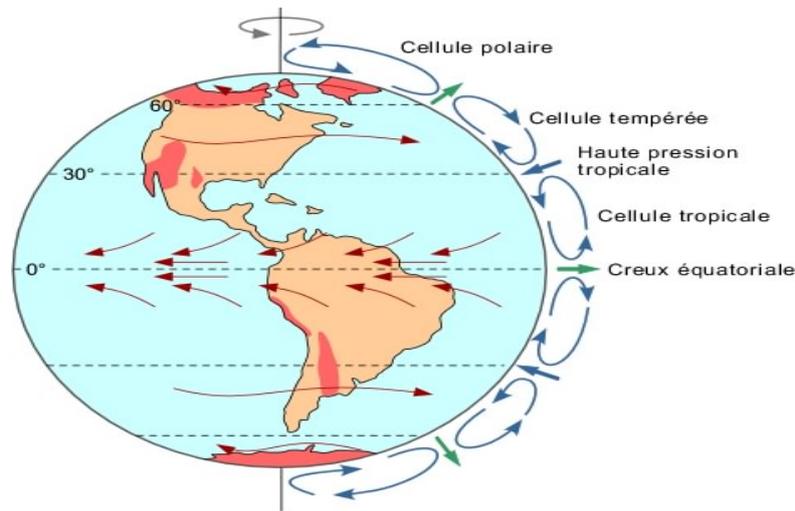


Figure II.2 La circulation atmosphérique

L'air chauffé dans les régions équatoriales a tendance à monter. Il se crée donc à l'équateur, **un flux d'air ascendant** qui détermine une zone de basse pression: le creux équatorial. Arrivé dans la haute atmosphère plus froide, cet air **ascendant** très humide condense et forme les nuages et pluies de la zone équatoriale. L'air se débarrasse donc de son humidité; il s'assèche.

Il redescend au niveau des latitudes 30°, sous forme d'un air très sec, pour former une zone de haute pression. Ce **couple ascension-descente** forme une cellule de circulation atmosphérique, la cellule tropicale. Ceci engendre une autre cellule atmosphérique, la cellule tempérée qui crée, autour des latitudes 60°, des courants ascendants (Fig.III.2).

Plus vers les pôles, les cellules polaires vont ramener dans les cercles polaires de l'air sec. Il en résulte que les régions qui se situent à la hauteur des latitudes 30° et 90°, dans les deux hémisphères, sont balayées par de l'air sec.

C'est pourquoi on y retrouve les grandes zones désertiques, non pas à l'équateur, comme on pourrait le penser puisqu'il y fait le plus chaud, mais autour des latitudes 30°. Il peut sembler paradoxal de qualifier les cercles polaires de déserts, mais effectivement, même s'il y fait froid, ce sont des déserts où les précipitations sont minimales. Dans les déserts, l'agent principal d'érosion et de transport des matériaux est le vent.

III.2.1.2 Les modes de transport des particules : le vent peut agir si efficacement pour éroder et transporter les particules, c'est qu'il n'y a **ni humidité, ni végétation** pour retenir celles-ci et les stabiliser. Le vent qui balaie la surface du sol entraîne donc facilement ces particules. Les particules sont transportées selon trois modes (Fig.III.3).

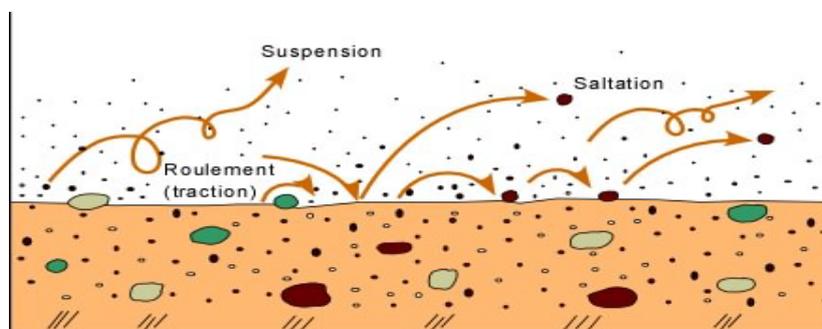


Figure III.3 Les modes de transport des particules

- **Roulement** : Les plus grosses se déplacent par roulement ou glissement (**traction**) à la surface du sol, sous l'effet de la poussée du vent ou des impacts des autres particules.

- **Saltation** : Les particules de taille moyenne (sables) se déplacent par bonds successifs
 - **Suspension** : Les particules très fines (poussières) sont transportées en **suspension** dans l'air (loess), souvent sur de très grandes distances.
- Il en résulte deux structures importantes des déserts : **les pavements de désert** et **les champs de dunes**.

III.2.1.3 Structures des déserts

III.2.1.3.1 Les pavements de désert : Le vent entraîne les particules de la taille des sables, mais n'a pas l'énergie nécessaire pour soulever ou rouler les plus grosses particules. Ainsi, ces plus grosses particules se concentrent progressivement à mesure de l'ablation des sables pour former finalement une sorte de **pavement** qui recouvre les sables et les stabilise, ce qui, par exemple, permet aux véhicules robustes de rouler aisément (Fig.III.4).



Figure III.4 La formation des pavements de désert

III.2.1.3.2 Les champs de dunes : Les sables transportés par le vent s'accumulent sous forme de dunes.

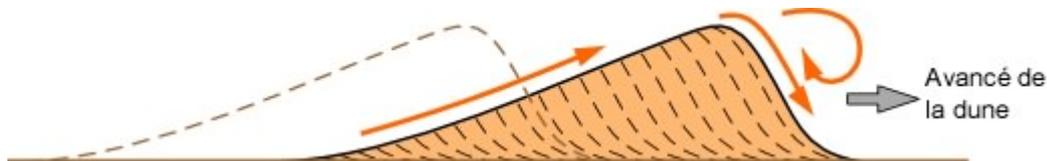


Figure III.5 Les champs de dunes

Ces dernières se déplacent, sous l'action du vent, par saltation des particules sur le dos de la dune; elles viennent se déposer sur le front de la dune, soit par avalanche, soit parce qu'elles sont piégées par le tourbillon que fait le vent à l'avant de la dune (Fig.III.5). C'est ce qui cause la structure interne en laminae parallèles inclinées qui indiquent le sens du déplacement de la dune.

III.2.2 Action de l'eau sur les roches et ses constituants

L'eau issue des précipitations et de la fonte des glaciers circule dans notre environnement. Elle ruisselle et peut s'infiltrer dans le sol et le sous-sol.

III.2.2.1 L'eau participe à une désagrégation mécanique des roches

Les variations de température entraînent la dilatation ou la contraction des roches soumises à des variations de volumes incessants, une roche fissure puis éclate. L'eau qui pénètre dans les fissures puis gèle avec augmentation de volume ajoute son effet: les cristaux de glace s'accroissent perpendiculairement à la surface de la fente et augmente son ouverture. La roche finit par éclater sous l'action du gel : c'est la **cryofracturation**.

Ainsi, les grès et les marnes, roches gélives et utilisées comme amendement, étaient déposées en tas dans les champs en automne. On les retrouvait pulvérulentes à la fin de l'hiver ce qui facilitait leur épandage.

➤ **Action de l'eau sur les roches granitiques**

- Un affleurement de granite montre des boules dures de granite sain entourées d'un sable grossier. Le sable, appelé **arène granitique**, provient de la **désagrégation progressive et très lente du granite sain**.
- Transformation du granite sain en arène granitique : Un massif granitique présente de nombreuses **fissures** : les **diaclasses** par lesquelles l'eau de pluie va s'infiltrer. **L'eau provoque alors une transformation chimique des minéraux qui composent le granite**. Les minéraux les plus fragiles comme les *feldspaths* et les *micas* vont s'altérer et se transformer en minéraux argileux responsables de la couleur rouille de l'arène granitique.

L'**altération des minéraux du granite** est ainsi responsable du **passage d'une roche cohérente** (le granite sain) à une roche **friable**, puis à une roche **meuble (l'arène granitique)** (Fig.III.6).

Tableau III.1 Caractéristiques du granite sain et de l'arène granitique.

	Granite sain	Arène granitique
Cohérence	Cohérent	Meuble
Couleur	Gris ou rose	Rouille
Minéraux :	Gris - non altérés	Gris - non altérés
• Quartz	Blancs - plus ou moins brillants - non altérés	Gris ; ternes ; ocres - altérés
• Feldspatz	Noirs ou blancs - non altérés	Peu nombreux - très altérés
• Micas	Absence	Poudre argileuse de couleur rouille
• Minéraux argileux		

- Les eaux de pluies vont entraîner par ruissellement les éléments meubles de l'arène (sables et argiles) et dégager ainsi les boules de granite sain. On observe alors des paysages caractéristiques appelés chaos granitiques.

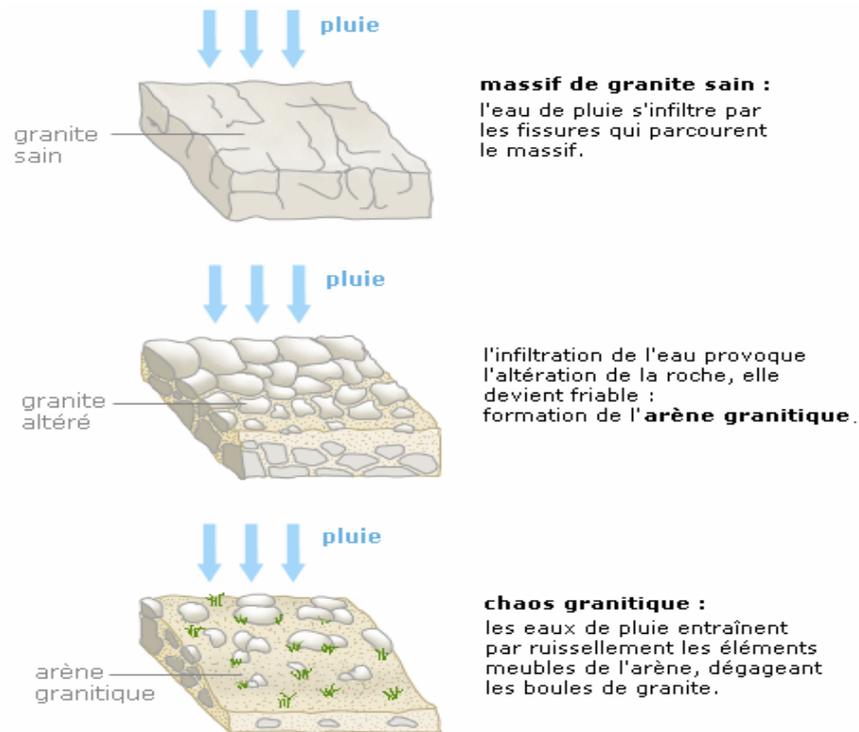


Figure III.6 Transformation du granite.



Figure III.7 Roches granitiques en Bretagne.

III.2.2.2 L'eau, un agent chimique d'altération

De par ses propriétés et son abondance relative, l'eau se trouve à la base de toutes les altérations exogènes des roches. Les molécules d'eau sont chargées électriquement et se comportent comme des dipôles.

Les propriétés de l'eau vis-à-vis des minéraux s'expliquent essentiellement par cette propriété. Pure, elle se comporte comme un acide faible par les ions H^+ libres qu'elle renferme.

Les réactions mettant en jeu la molécule d'eau sont de différents types et ont lieu essentiellement en climat humide. Les éléments solubles qui en résultent sont lessivés et les parties insolubles restent sur place, se recombinaient pour former de nouveaux minéraux, principalement des argiles. Ces réactions sont :

a) La dissolution

La dissolution est d'autant plus forte que la solubilité des minéraux est élevée, les plus vulnérables étant les minéraux des roches salines (sel gemme, potasse, gypse).



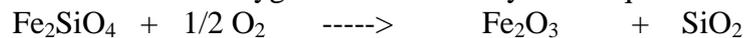
Figure .III.8 Les reliefs particuliers "d'entonnnoirs"

Le gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) est une roche exogène, une évaporite, relativement soluble dans l'eau. Dans les zones montagneuses, sa dissolution crée des reliefs particuliers sous forme "d'entonnnoirs" (Fig.III.8). L'eau, la neige s'accumulent dans de petites dépressions où la dissolution s'opère, donnant des paysages caractéristiques.

b) Les oxydations / réductions

Les oxydations concernent surtout le fer qui passe de l'état ferreux à l'état ferrique.

Exemple pour un minéral d'olivine : olivine + oxygène ----> oxyde ferrique + silice.



Les réductions sont plus rares : elles se déroulent dans les milieux hydromorphes (saturés d'eau de façon permanente ou périodique) et produisent en particulier du fer ferrique au fer ferreux soluble.

c) La décarbonatation

Elle produit la solubilisation des calcaires et des dolomies sous l'action du CO_2 dissous dans l'eau.



Il en résulte des paysages particuliers, associés aux régions calcaires, c'est le cas, par exemple des reliefs karstiques.

Les dolines sont des reliefs de surface du modelé karstique (Fig.III.9). Ce sont des dépressions circulaires dont le fond est occupé par de la *terra rossa*, résidu argileux rouge de la dissolution des calcaires.



Figure .III.9 Surface du modelé karstique « Les dolines »

d) L'hydrolyse

Elle est définie comme étant la destruction d'un édifice moléculaire complexe en édifices moléculaires plus simples sous l'influence de l'eau. Les hydrolyses constituent les principales réactions d'altération.

Elles peuvent être totales lorsque le minéral est détruit en plus petits composés possibles (hydroxydes, ions) ou partielles lorsque la dégradation est incomplète et donne directement des composés argileux. Le bilan général d'une réaction d'hydrolyse peut s'écrire :

Minéral primaire + Eau -----> Minéral secondaire + Solution de lessivage.

➤ Action de l'eau sur les roches calcaires

Les massifs calcaires présentent de nombreuses et larges fissures par lesquelles s'infiltré l'eau. En traversant l'atmosphère et le sol, l'eau de pluie s'enrichit en dioxyde de carbone. Elle devient ainsi capable de dissoudre le calcaire (Fig.III.10).

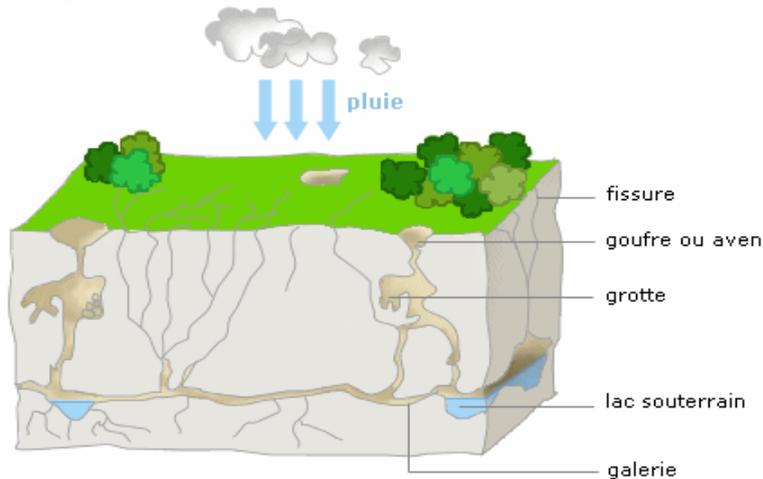


Figure .III.10 Transformation du massif calcaire due à l'infiltration d'eau.

III.2.3 Action des glaciers sur les roches

Lorsque les températures moyennes d'une région se situent sous 0°C, les précipitations se font le plus souvent sous forme de neige et, surtout, les fontes ne sont pas suffisantes pour empêcher qu'il n'y ait accumulation de neige et de glace. On reconnaît deux grandes zones d'accumulation des glaces : les régions polaires et les régions en hautes altitudes. On aura conséquemment deux grands groupes de glaciers : les calottes polaires, et les glaciers alpins (ou de montagnes), en hautes altitudes.

III.2.3.1 Les paysages glaciaires

Les glaciers occupent une superficie de 15 millions de kilomètres carrés, dont 97 % dans l'Antarctique et au Groenland.

Les glaciers résultent de l'accumulation de neige d'une année sur l'autre. La neige persiste au-dessus d'une limite qui est fonction de l'altitude et de la latitude. Au-dessus de cette limite, cependant, certains pics sont trop raides pour que la neige y subsiste : ce sont les *nunataks*. Par contre, d'un glacier peut s'échapper une *languette glaciaire* qui débordera la limite des neiges à une altitude souvent très inférieure. L'extension des glaciers est fonction des conditions d'alimentation et de fusion.

III.2.3.1.1 Les calottes polaires

On estime que les glaces couvrent aujourd'hui à peu près 10% des masses continentales. La calotte polaire de l'**Antarctique** est la plus grande et la plus épaisse. Elle couvre pratiquement tout le continent antarctique (Fig.III.11).

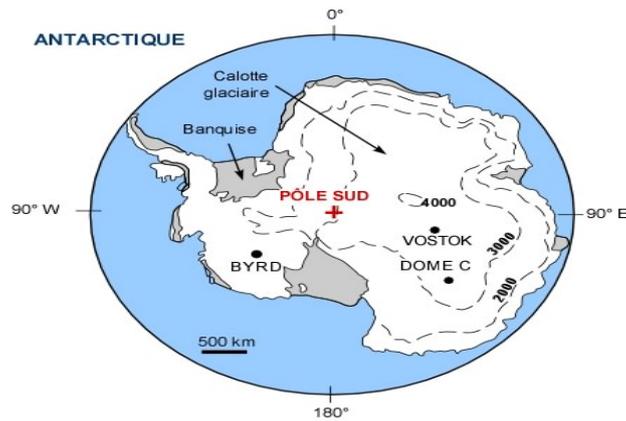


Figure III.11 La calotte polaire de l'Antarctique

A son centre, la glace atteint une épaisseur de 4 000 m. C'est une énorme quantité de glace. Les forages faits à travers ces glaces par les soviétiques en 1988 ont montré que les premiers 2 000 m avaient mis 150 000 ans à s'accumuler, soit un taux annuel moyen d'accumulation de glace de 1,3 cm. Plus récemment, en 1998, un forage a atteint 3623 m de profondeur, représentant 400 000 ans d'accumulation pour un taux annuel moyen de 0,9 cm.

Groenland : La deuxième calotte polaire, elle est un peu plus mince, 3 000 m au centre. Des forages complétés en 1992 par un consortium de 8 pays européens ont montré qu'il a fallu 250 000 ans pour accumuler ces 3 000 m, soit un taux moyen semblable à celui de l'Antarctique de 1,2 cm/an.

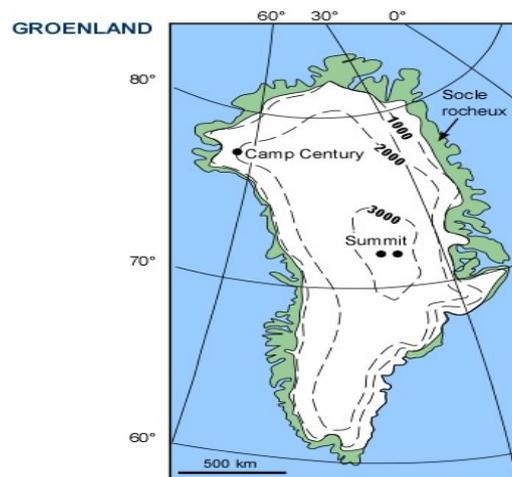


Figure III.12 La Groenland

Cette masse de glace crée une surcharge énorme sur la croûte continentale. Compte tenu de la densité de la glace qui est de l'ordre de 2,7 fois moindre que celle des roches de la croûte terrestre continentale, on peut simplifier en disant qu'ajouter 2 700 m de glace, c'est comme ajouter une épaisseur de 1 000 m de roches à la croûte continentale (Fig.III.12).

Comme la lithosphère continentale "flotte" sur l'asthénosphère, cette surcharge, qui se fait dans un laps de temps géologique très court, a pour effet d'enfoncer le continent.

III.2.3.1.2 Les glaciers alpins

On réfère à la glaciation qui se confine aux hautes montagnes comme à la glaciation alpine, différente de la calotte polaire; alpine, parce que c'est dans les Alpes que ce type de glaciation a d'abord été décrit.

En hautes montagnes, on aura deux types de glaciers: la calotte alpine formant une grande superficie de glace couvrant les sommets, à partir de laquelle s'écoulent des glaciers alpins confinés aux vallées (on dit aussi glaciers de montagnes, glaciers de vallées).

Dans les secteurs montagneux qui se situent au-dessus de la limite des neiges persistantes, c'est-à-dire sous 0°C en moyenne, l'eau s'accumule sous forme de neige qui se compacte en glace. Mais la glace ne peut s'accumuler indéfiniment. Puisque les zones d'accumulation ne sont pas confinées, la glace s'écoule (Fig.III.13). Il peut paraître difficile de concevoir que la glace s'écoule, mais, en faisant intervenir le facteur temps, la glace se comporte comme un matériau plastique, ou tout au moins semi-plastique. Le poids du matériel à la zone d'accumulation initie et conduit l'écoulement de la glace en poussant sur toute la masse qui s'écoule. Cet écoulement est lent: 180 m/an pour les plus grands glaciers des Alpes, de 90 à 150 m/an pour les glaciers plus petits. Le schéma suivant illustre le système glaciaire alpin.

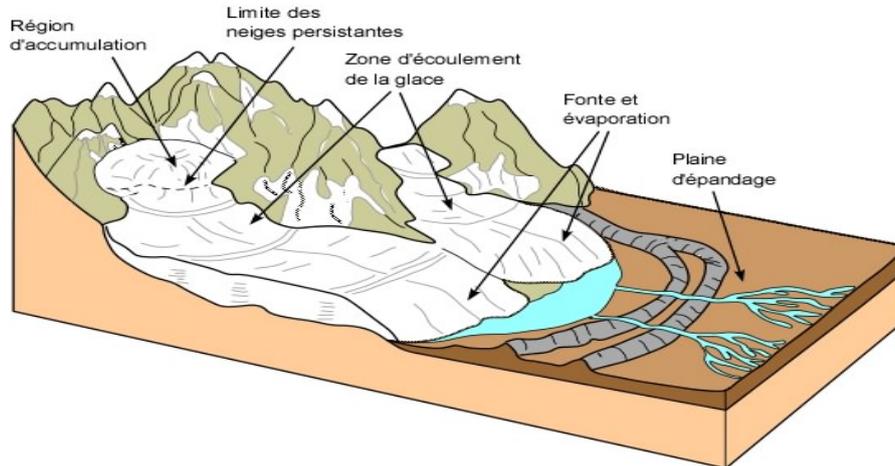


Figure III.13 Le système glaciaire alpin.

III.2.3.2 Le travail de la glace

Le glacier se répand sur une certaine distance. Rendu à une altitude où les températures moyennes sont au-dessus de 0°C, il y a fonte et évaporation au front du glacier. Si les températures annuelles moyennes et le taux de précipitation demeurent assez constants sur une période de temps assez longue, soit plusieurs dizaines ou même centaines d'années, il s'établit un équilibre entre l'alimentation, la vitesse d'écoulement, et la fonte et évaporation au front, ce qui fait que le front du glacier demeure stationnaire.

Si au contraire, il y a augmentation ou diminution des températures moyennes, le front retraite ou avance. Sur le glacier et au front du glacier, la fonte de la glace produit des eaux de circulation qui distribuent les sédiments piégés dans le glacier et forment, à l'avant du glacier, **une plaine d'épandage**.

Les glaciers alpins sculptent la montagne d'une manière bien caractéristique, facilement reconnaissable. Les schémas qui suivent illustrent ce modelage. Les glaciers empruntent souvent un relief déjà modelé par les cours d'eau. Rappelons que les vallées creusées par les cours d'eau ont un profil en V (Fig.III.14a)

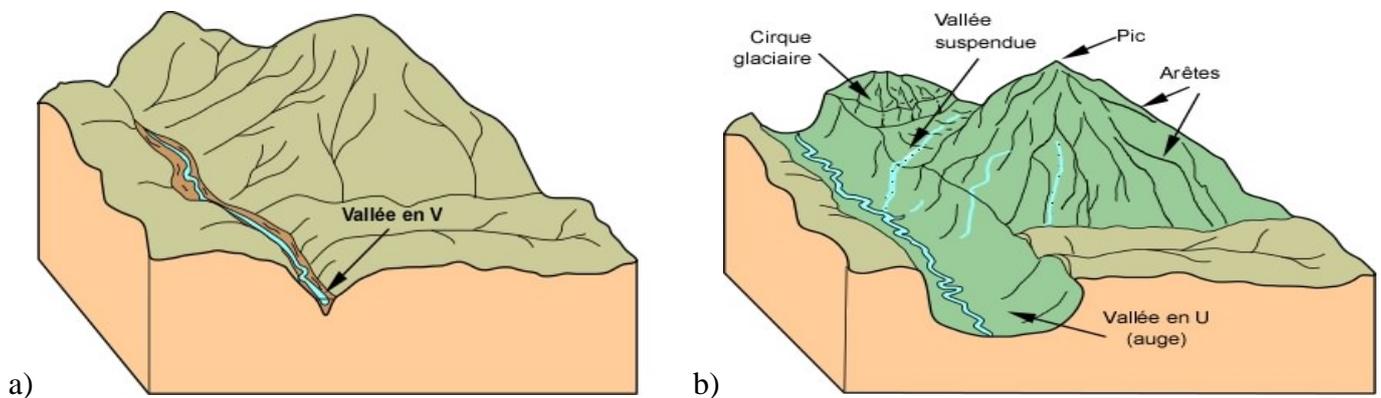


Figure .III.14 Le modelage des vallées par les glaciers alpins

Durant la glaciation, l'écoulement des glaces creuse à nouveau les vallées. C'est une masse importante qui agit sur la roche de fond comme un bulldozer. Le creusement n'est pas instantané, mais se fait progressivement à mesure de l'écoulement sur de longues périodes de temps. Progressivement, vont se

creuser des vallées qui peuvent atteindre des centaines de mètres de profondeur. Ces vallées auront un profil bien caractéristique en U (on dit aussi en auge).

Le glacier façonne le lit rocheux par les processus de raclage et de polissage. **Le raclage** résulte du frottement exercé sur la roche en place par les blocs et les débris contenus dans la glace. Sur les parois, le raclage crée des cannelures larges de 5 à 50 cm et de deux à cinq fois moins profondes.

Sur les parois et sur le fond, les pierres emportées créent des stries profondes de quelques millimètres. Sur le fond, les pierres donnent naissance à des griffures, sillons étroits, qui fournissent des indications quant à la direction et au sens de l'écoulement de la glace.

Le polissage est l'œuvre d'une glace peu chargée en matériaux grossiers. S'il dure longtemps, il entraîne une usure en arrondissant les saillies et donne naissance aux *roches moutonnées*. La glace érode également par **quarrying**, c'est-à-dire par déchaussement de blocs (surtout dans le cas des roches diaclasées). La glace façonne les matériaux transportés : les matériaux de la moraine de fond sont plus triturés que ceux de la moraine de surface et contiennent par conséquent plus de limon. Les matériaux glaciaires sont peu aplatis et peu émoussés.

Après la fonte des glaces, on aura un paysage de cirques glaciaires (anciennes zones d'accumulation de la glace), de vallées dites en U (**auges glaciaires**) (Fig.III.14b), de pics et d'arêtes délimitant des vallées suspendues résultant du creusement par des glaciers plus petits venant se fondre dans le glacier principal.

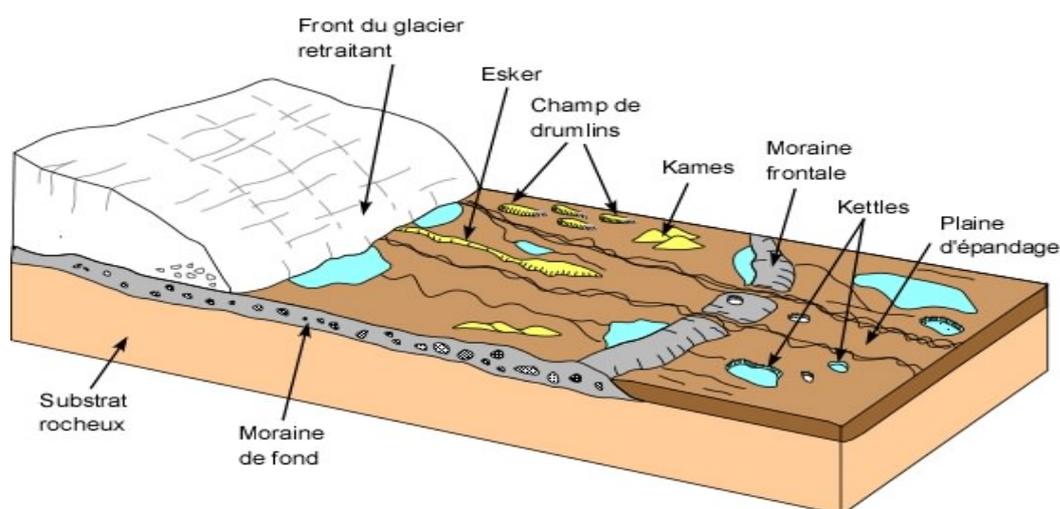


Figure III.15 Les principaux dépôts qui caractérisent le paysage post-glaciaire

La figure III.15 montre les principaux dépôts qui caractérisent le paysage post-glaciaire :

Moraine frontale: dépôt formé au front du glacier, quand le glacier a atteint son avancé maximum et qu'il est stationnaire, par l'amoncellement des fragments rocheux de toutes tailles arrachés au substrat par le glacier, ainsi que des sédiments produits par l'abrasion de la glace sur la roche. Ce mélange de sédiments s'appelle **un till**.

Moraine de fond: dépôt morainique sous le glacier.

Moraine latérale: dépôt morainique aux marges du glacier confiné.

Drumlin: moraine de fond remodelée par l'avancé du glacier.

Esker: dépôt fluvio-glaciaire serpentiforme formé par des cours d'eau confinés qui se situaient à l'intérieur ou sur le glacier; la fonte du glacier laisse un lacet de sédiments.

Kame: dépôt fluvio-glaciaire dans une cavité ou une dépression du glacier qui, après la fonte forme de petits monticules.

Kettle: dépression dans une moraine ou un dépôt fluvio-glaciaire créée par la fonte d'un bloc de glace emprisonné dans les matériaux.

L'accumulation des glaces ne causent pas que des surcharges et des dépressions importantes à la croûte terrestre. L'alternance des périodes d'englaciations et de fontes causent des fluctuations du niveau des mers.

Le stockage des eaux terrestres dans les glaces polaires entraîne un abaissement du niveau marin, alors que la fonte des calottes polaires s'accompagne d'une remontée de ce niveau. Par exemple, on note des abaissements allant jusqu'à 130 m plus bas que le niveau actuel à certaines périodes. La courbe qui suit montre qu'il y a 20 000 ans, le niveau marin était plus bas de 100 m qu'aujourd'hui (Fig.III.16).

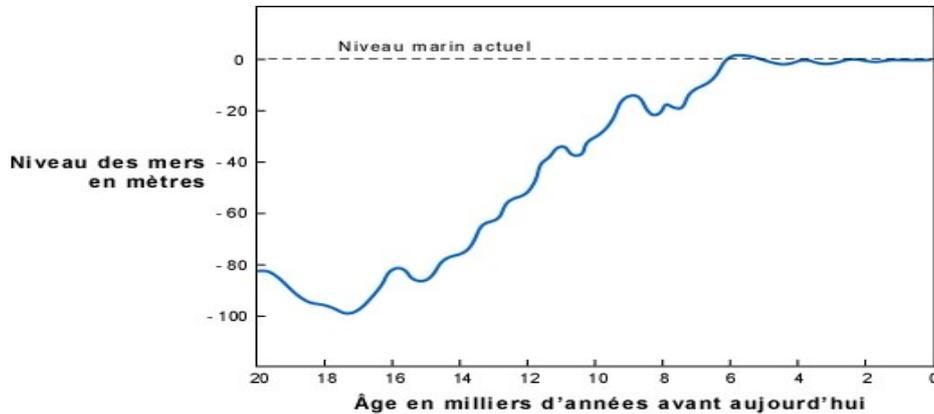


Figure .III.16 Le niveau marin

III.2.3.3 Les argiles de la Mer de Champlain : des argiles sensibles

Un des héritages que nous a légué le Grand Age Glaciaire dans les vallées est un risque naturel important : les glissements de terrain reliés aux argiles sensibles. En plusieurs endroits, ont laissé d'épais dépôts de boues pouvant atteindre les 50 mètres d'épaisseur. Ces boues sont en fait une farine de roche produite par l'érosion glaciaire, composée à 80-90% de quartz et de feldspath, et à 10-20% de phyllosilicates (des argiles au sens minéralogique du terme).

Cette farine de roche a été déposée dans un milieu marin dans des eaux contenant 35 gr/l de sels. Ces sels agissaient comme liant dans le sédiment en développant des forces ioniques entre les particules de quartz et de feldspaths, ce qui contribuait à stabiliser le dépôt.

Avec le retrait de la mer, les dépôts ont été traversés par les eaux douces des pluies qui ont lessivé les sels, détruisant par le fait même une grande partie de la cohésion du sédiment. La présence d'agents dispersifs, comme les acides organiques provenant de l'humus des sols, ont contribué aussi à affaiblir la cohésion du dépôt. Ces boues sont sensibles à la déstabilisation ("d'argiles sensibles", même si en fait il y a très peu d'argiles proprement dit), entre autres, par les séismes ou des activités anthropiques. Ce sont ces "argiles" qui ont été responsables des grands glissements de terrain qu'on a connus à Nicolet en 1955, à Yamaska en 1974 et à St-Jean-Vianny en 1971 où il y a eu 31 morts et des dégâts très importants.