

Leur taille a permis aux reliefs les plus massifs des paysages de montagne, tels les [épaulements](#), de résister à l'érosion qui s'est exercée depuis leur création. De plus, ceux situés à une altitude suffisante, ont été, ainsi qu'il est dit à la page [convergence des altitudes atteintes par les glaciers dans les parties hautes des vallées](#), réutilisés lors de chaque glaciation postérieure au Mindel, pendant lesquelles ils ont été, en quelque sorte, entretenus.

Par contre, on peut trouver étonnant qu'à des altitudes moins élevées, des formes moins massives aient pu résister à l'érosion depuis leur formation lors d'une glaciation ancienne, telle le Mindel, et se révéler encore susceptibles d'être utilisées de nos jours comme sites témoins.

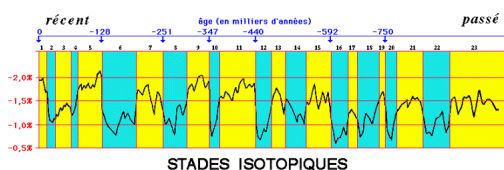
Nous pensons que l'explication de cette résistance réside dans la nature des conditions climatiques qui se sont exercées depuis cette glaciation, en particulier celles que nous appelons « effet congélation ».

L'effet congélation

Il faut d'abord noter que les [eaux glaciaires](#), responsables selon nous de la création des ravinements, étaient inexistantes au moment du pléniglaciaire des glaciations et n'ont fait leur apparition que lorsque, au cours des cataglaciales, le réchauffement du climat l'a permis. Lorsqu'on cherche à évaluer le temps écoulé depuis la création d'une forme de relief glaciaire jusqu'à nos jours, il convient donc de le faire débiter, non au pléniglaciaire, mais à partir du moment où le climat s'était suffisamment réchauffé pour permettre l'établissement d'un débit d'eau suffisant en altitude.

Bien entendu, nous ne sommes pas en mesure de déterminer avec précision cet instant, mais on peut certainement l'estimer à un certain nombre de dizaines de milliers d'années après chaque pléniglaciaire. De plus, une grande partie du temps écoulé depuis le Mindel a été occupée par les glaciations suivantes. Au cours de celles-ci, les ravinements créés au Mindel ont été quelque peu modifiés, mais aussi préservés de l'érosion par ce que nous appellerons l' « effet congélation ».

Voici le graphique des stades isotopiques, c'est-à-dire des températures à la surface du globe, qui montre que, pendant les stades tempérés, représentés en jaune, les températures ont été, quasiment en permanence, inférieures à celle de l'heure actuelle.



Les utilisateurs actuels de la notation A. Penck et E. Bruckner estiment que la glaciation du Mindel a couvert les stades isotopiques 12 à 8, c'est-à-dire qu'elle a pris fin il y a 250 000 ans.

Entre ce moment et notre époque, une grande partie du temps a donc été marquée par des conditions très froides en altitude, au cours desquelles les précipitations météoriques se sont produites sous forme de neige. Leur capacité d'érosion était donc inférieure à celle qui aurait résulté de pluies. La fonte lente de ces neiges donnait naissance à des écoulements superficiels, peu érosifs du fait de la lenteur de la fonte. Même à l'heure actuelle, en hiver, au-dessus d'une certaine altitude, le sol reste gelé pendant plusieurs mois et les précipitations ayant lieu sous forme de neige, leur pouvoir érosif est limité. L'érosion karstique, en particulier, qui nécessite la présence d'eau sous forme liquide, s'est exercée pendant une partie seulement des stades tempérés.

D'autre part le pergélisol, qui régnait pendant les stades froids, a préservé le sol d'une érosion trop intense. Le pergélisol a subsisté longtemps après la fin de chaque stade froid. C'est ainsi qu'à l'heure actuelle, à l'altitude de 3200 mètres à la station des **Deux Alpes (Isère)** ⁽¹⁾, le sol est encore gelé en permanence jusqu'à une profondeur supérieure à 100 mètres,

On peut également noter qu'au-dessus de **Séchilienne (Isère)**, le pergélisol a persisté, vers l'altitude de 800 m, jusqu'à 10 000 ou 11 000 ans avant nos jours, soit 3000 à 4000 ans après la disparition des glaces dans la vallée de **la Romanche** ⁽²⁾. À des altitudes supérieures, le pergélisol n'a donc disparu que plus récemment encore.

Pour conclure, nous pensons que des érosions importantes n'ont donc pu exister que pendant une faible partie du temps qui nous sépare de la fin du Mindel, jusqu'à ce qu'un réchauffement substantiel du climat ait remplacé les chutes de neiges par des pluies, en même temps que disparaissait le pergélisol de surface.

En conséquence, nous estimons que, par suite de cet « effet congélation », l'érosion a été nettement moins importante depuis la fin du Mindel que ce que pourraient laisser supposer les conditions de climat actuelles.

L'examen des dépôts du **Bec de l'Orient** nous semble permettre de conforter notre opinion.

Modifié le 16 septembre 2016

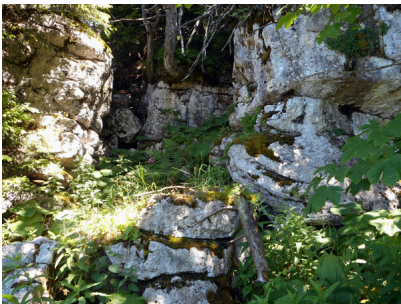
Un exemple typique, celui du Bec de l'Orient

*Le **Bec de l'Orient** est un sommet de la bordure septentrionale du **Val d'Autrans (Isère)**, qui domine la « cluse » de **Voreppe (Isère)**. Son altitude est de 1568 mètres.*

*Durant le Mindel, ce sommet se situait sur la rive gauche du glacier de l'**Isère**, dans une partie moyenne du cours de ce glacier. Nos études, basées sur divers sites témoins des environs, montrent que le niveau du glacier de l'**Isère** se situait ici à une altitude de 1550 mètres au pléniglaciaire du Mindel, alors qu'au Riss, il était à 1200 mètres environ et à 1000 mètres au Würm. Au cours de ces deux dernières glaciations,*

le sommet du **Bec de l'Orient** se situait donc au niveau de la surface glaciaire, ce qui en fait ce que nous avons appelé un sommet modelé au pléniglaciaire.

Sur le sommet du **Bec de l'Orient**, à 1568 mètres d'altitude, un examen sur place permet de remarquer l'existence de deux cordons parallèles formés de blocs de tailles métriques. La seule explication de la présence de ces cordons, à cette altitude et compte tenu de leur orientation, est qu'il s'agit de deux cordons morainiques déposés par le glacier de l'**Isère** et qu'il ne pouvait s'agir que du glacier mindélien à son pléniglaciaire. La formation de ces cordons morainiques s'est donc produite à cette période que l'on estime s'être terminée il y a environ 250 000 ans. Or l'examen des blocs montre qu'ils n'ont pratiquement subi aucune érosion karstique depuis leur dépôt, ainsi que le montre la photo suivante :



Nous pensons donc qu'il s'agit là d'une bonne démonstration de l'existence de l' « effet congélation ».

Deux études récentes montrent le rôle joué par un climat froid, en particulier le pergélisol, dans la conservation de vestiges archéologiques très anciens :

en **Espagne**, sur un ADN humain extrait d'un os daté de 400 000 ans, trouvé à la **Sima de los Huesos**, dans la **Sierra de Atapuerca**, à 1000 m d'altitude ([ARSUAGA J.L. et al](#)),

et en **Asie de l'Est**, sur un ADN de cheval congelé daté de 600 000 ans, trouvé dans le pergélisol ([ORLANDO L.](#)).

En quelque sorte une application de l'effet congélation à un domaine fort éloigné de celui auquel nous nous intéressons dans ce site.

L'effet végétation

Au cours des interglaciaires des dernières glaciations, après réchauffement suffisant du climat, un autre effet de protection s'est exercé, dû celui-là, à la présence de végétation sur les ravinements. Plantes alpines clairsemées au début, landes subalpines, enfin forêts, qui constituent sans doute la protection la plus efficace contre l'érosion. Cette protection végétale n'a d'ailleurs pas attendu la disparition complète du pergélisol pour s'installer ainsi qu'on peut le constater à l'heure actuelle pour certaines forêts polaires.

Un exemple : au cours de l'interglaciaire Mindel-Riss, le climat glacial qui régnait a été interrompu, aux alentours de 200 000 ans BC par une phase au cours de laquelle l'homme est revenu s'installer en **Europe du Nord**. En témoignent les fossiles néandertaliens découverts en 1976 à **Biache Saint Waast (Pas de Calais)**.

Mettant à profit en particulier ces épisodes plus tempérés qui se sont produits au cours des interglaciaires, tant au cours du Mindel-Riss que du Riss-Würm, la végétation pouvait reconquérir les pentes et les protéger de l'érosion.

Modifié le 25 avril 2016

Et que se passe-t-il aux faibles altitudes ?

Nous avons constaté à plusieurs reprises que les reliefs glaciaires massifs, très pérennes, tels les sommets d'épaulement, conduisaient à des résultats très voisins de ceux obtenus en utilisant des reliefs de petites dimensions, tels les [clapiers d'origine glaciaire](#), apparus plus tardivement, mais moins résistants à l'érosion. C'est le cas en particulier pour le glacier de la **Basse Drôme**.

On peut noter que les variations climatiques agissent en sens inverse sur l'effet congélation et sur l'effet végétation, le premier étant particulièrement actif pendant les périodes froides alors que le second est plus efficace lors des périodes tempérées.

Ceci nous amène à penser qu'à faible altitude, il existe un certain « passage de relais » entre les deux effets et qu'en cas de réchauffement, la vigueur de l'effet végétation permet de compenser la défaillance de l'effet congélation.

Précision des résultats

La précision des résultats chiffrés obtenus dans ces pages peut sembler illusoire. Ils résultent pourtant bien de relevés effectués sur le terrain et sur les cartes, ainsi que sur les vues aériennes qui sont associées à ces dernières. Mais il faut garder à l'esprit qu'à partir de ces relevés, ces résultats ont été déterminés en utilisant deux valeurs numériques qui, elles, ne sont pas connues de manière absolue :

la valeur de 25 m que nous ajoutons à l'altitude du sommet d'un [épaulement](#) pour déterminer celle de la surface du glacier qui l'a créé, alors que la littérature dit « quelques dizaines de mètres ». Cette valeur de 25 mètres s'est toutefois révélée acceptable partout où il nous a été possible de comparer une altitude ainsi calculée à partir de celle d'un sommet d'épaulement avec celle fournie par un autre type de site témoin voisin, dépôt glaciaire ou clavier d'origine glaciaire.

La valeur de 150 mètres que nous utilisons pour déterminer la profondeur de la [surface d'écoulement intra glaciaire](#), qui détermine celle à laquelle circulaient les eaux glaciaires latérales le long des versants. Cette

dernière valeur ne peut d'ailleurs pas être définie d'une manière plus précise, car elle reflète les variations du cheminement des eaux contre les versants, dans les moulins de rive et dans les conduits à l'intérieur du glacier ⁽³⁾.

Certains lecteurs peuvent s'étonner de nous voir mentionner avec une précision métrique les altitudes et les coordonnées des sites témoins ainsi déterminées. En dépit de la pérennité de ces formes au cours d'une partie des millénaires écoulés depuis le Mindel, il semble illusoire de penser qu'elles n'ont pas varié quelque peu jusqu'à nos jours.

Nous ne le pensons pas non plus ! Mais nous avons utilisé une technique habituelle en recherche, c'est-à-dire que nous avons, dans un premier temps, effectué ces mesures avec le maximum de précision possible et en utilisant très strictement nos diverses méthodes. Puis, à la fin de chaque étude, nous avons évalué l'importance des approximations en comparant entre eux, lorsque c'était possible, les résultats obtenus avec des méthodes différentes, sur le même site ou sur des sites voisins, et nous avons tenu compte de cette comparaison dans la valeur de l'altitude finalement indiquée.

Enfin, en ce qui concerne les effets des mouvements tectoniques survenus depuis la glaciation du Mindel, on consultera la page [effet des mouvements orogéniques et du rebond glacio-isostatique](#).

Notes

(1) Communication présentée à la Société Hydrotechnique de France en mars 2014 : Mesures de température par fibre optique dans le permafrost. Le forage 2Alpes-3065-Jean-Michel Krysiecky et al.

(2) in : Modeling permafrost extension in a rock slope since the Last Glacial Maximum : Application to the large Séchilienne landslide (French Alps) [V. Lebrouc](#), [S. Schwartz](#), [L. Baillet](#), [D. Jongmans](#), [J.F. Gamond](#)

(3) Ces valeurs sont déduites des explorations effectuées à la Mer de Glace par *Louis Reynaud*, relatées dans *Crevasses, Séracs, Moulins et Cavités sous glaciaires - Neige Et Avalanches* - Revue de l'ANENA N° 49, nov 89

