

Zeitschrift:	Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali
Herausgeber:	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
Band:	130 (1950)
Artikel:	Modelé glaciaire et relief alpin
Autor:	Onde, Henri
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-90471

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Modèle glaciaire et relief alpin

Par

HENRI ONDE (Lausanne)

Il y a plus d'un siècle que la glaciologie a pris rang parmi les sciences, grâce à la contribution décisive d'un groupe de pionniers suisses; VENETZ, DE CHARPENTIER, AGASSIZ, dont les travaux s'échelonnent entre 1833 et 1841 (1). Or, chose curieuse, ce n'est que cinquante ans plus tard qu'on en est venu sérieusement à considérer les glaciers comme des agents d'érosion assez puissants pour modifier la face de la terre. La morphologie glaciaire n'est donc devenue un thème de discussion scientifique qu'un bon demi-siècle après la glaciologie. Les fondateurs de cette dernière ne croient pas au pouvoir des organismes qu'ils étudient. DE CHARPENTIER attribue bien aux glaciers les «surfaces frottées», à leurs eaux de fusion des lapiés et des cuves, ou marmites torrentielles (2; pp. 101, 283, 285); de son côté, AGASSIZ inventorie les «roches moutonnées» — DE SAUSSURE avait depuis longtemps parlé des «montagnes moutonnées» —, mais rejette l'idée d'un enfouissement du glacier dans son lit puisque les glaciers «se meuvent sur des pentes inclinées» et que «les limites de leurs bords oscillant continuellement, ils ne sauraient occasionner d'amples dépressions» (3; p. 188).

A l'encontre d'ALPHONSE FAVRE, toutefois, TYNDALL admet le creusement glaciaire, et avec lui RAMSAY (1862), HELLAND (1877), McGEE (1883). A la fin du siècle, l'idée a si bien fait son chemin qu'on s'y intéresse en Amérique comme en Europe, et qu'en 1899, au Congrès international de géographie de Berlin, PENCK lance le terme d'«Übertiefung», heureusement traduit en français par «surcreusement» (KILIAN). Dès ce moment l'érosion glaciaire est devenue une notion courante. Alors qu'en 1894 PENCK ne se préoccupait que des formes d'accumulation glaciaire et fluvio-glaciaire (4), on le voit diriger en 1903 une excursion dans les Alpes autrichiennes pour démontrer la réalité du surcreusement (5). En dix années les travaux se multiplient, ceux de PENCK et BRÜCKNER, de DAVIS, JOHNSON, HOBBS, RICHTER, HESS, BRUNHES, KILIAN, DE MARTONNE, etc.: ils suscitent, entre partisans et adversaires de l'érosion glaciaire, une controverse qui ne s'est plus éteinte depuis. Alors que l'école dite autrichienne, l'école américaine, l'école géographique de Grenoble, se prononçaient en faveur de la puissance érosive de la glace, HEIM et FOREL en Suisse, JOHANN SÖLCH

en Autriche, prenaient une position sinon purement «antiérosionniste», du moins «antiexcavationniste», se refusant à admettre le surcreusement de cuvettes avec contreparte (6). Un groupe de savants français, enfin, avec BRUHNES et DE MARTONNE principalement, manifestaient leur répugnance à admettre une explication unilatérale du modelé dans les régions, actuellement, ou jadis englacées.

La controverse à propos de l'érosion glaciaire

Se fondant sur l'étude des terrasses alluviales, PENCK et BRÜCKNER (7) supposent l'existence, au début de l'époque glaciaire, d'une pénéplaine à l'issue des Alpes, d'un *Vorland*, dans lequel les glaciers ont surcreusé leur lit bien en contre-bas d'un réseau de vallées séniles. HESS croit même pouvoir retrouver, sur les flancs du lit glaciaire, les entailles correspondant aux différentes glaciations de PENCK et BRÜCKNER, et identifier des auges quadruples. Pour HEIM, par contre, les cuvettes lacustres péréalpines s'expliquent, non par le surcreusement, mais par des mouvements tectoniques, des déformations du sol. BRUNHES soutient une théorie plus nuancée et fait intervenir le creusement conjoint du glacier et de ses eaux de fusion (8). Celles-ci, évacuées non par un émissaire unique mais par deux torrents sous-glaciaires au moins, isolent une échine centrale que le glacier moutonne, et contribuent, par sappement, à raidir le profil transversal du lit, à lui imposer sa forme d'U: «En associant ces deux forces: actif creusement par les eaux courantes et rabotage par la glace, on explique toutes les formes essentielles des vallées dites glaciaires» (8; p. 174). Enfin, M. DE MARTONNE a jeté dans la discussion deux théories, dont l'une, celle du rajeunissement pliocène des Alpes, tend à ramener à des proportions plus modestes le travail glaciaire, et l'autre, une théorie physique, à exposer le mécanisme de ce dernier. On prête beaucoup trop aux glaciers en leur attribuant les auges actuelles excavées dans une topographie mûre. En réalité ils se sont installés dans des vallées déjà rajeunies, donc fortement encaissées, et ils n'ont eu qu'à les mettre en forme, à exagérer certaines irrégularités de leur profil en long, suivant une technique qui leur est propre (9). Le glacier agissant par adhérence à son lit, laquelle varie avec l'épaisseur et la vitesse du flot plastique, son efficacité doit être maxima dès que son cours se ralentit, minima partout où son cours se précipite, son épaisseur diminue, sa surface s'accidente de séracs. Le contact glace-rocher devient plus intime à chaque atténuation de la pente, il se relâche à chaque augmentation de celle-ci: dès lors, entre ombilics d'amont et d'aval, un gradin doit naître et grandir (10).

La controverse suscitée par l'érosion glaciaire n'est pas close, et il semble même que les observations les plus récentes tendent à la ranimer. La glace est malléable en profondeur. Sa température reste voisine de zéro et elle se décompose en petits grains sous une charge de rupture à la compression correspondant à une épaisseur de 240 m. (11; p. 18). Une planche abandonnée dans une galerie de recherche forée à travers la

langue terminale du glacier de Tré-la-Tête, dans le massif du Mont-Blanc, s'est incrustée, sans fléchir, dans le plafond en voie d'abaissement rapide (12). Parce que la glace est malléable, les crevasses qui l'accidentent et à la faveur desquelles l'air extérieur pourrait provoquer l'éclatement par gel des roches imbibées d'eau, ne doivent pas descendre très profondément: elles se referment sans doute au voisinage d'une surface limite séparant ce que l'on a appelé la glace «ouverte» et la glace «fermée» (13). Malléable, hétérogène de surcroît, le glacier ne saurait être qu'«un burin de plomb appliqué à une fonte ou un acier».

Mais nous ignorons tout de la glace aux grandes profondeurs, à plus forte raison sous les centaines, le millier de mètres qu'elle mesurait dans les appareils quaternaires. Déjà en interprétant la formule de SOMIGLIANA pour la prédétermination de l'épaisseur de la glace, on a pu conclure à l'existence d'un «cœur» dans le glacier, d'une zone où l'écoulement n'est plus celui d'un corps plastique-visqueux mais d'un corps élastique, et l'on en a tiré des conséquences pour l'aménagement du lit (14).

Par ailleurs, des variations de pression paraissent susceptibles de provoquer, sous le glacier, des alternances de gel et de dégel sans aucune intervention de l'air extérieur (expériences de BLÜMCKE et FINSTERWALDER). Dans la région du bassin terminal, le «cône» du glacier en expansion, bien différent du «bec» des glaciers dégénérés actuels, est capable de puissants effets de soc, de «bull-dozer». Enfin on ne saurait limiter le travail du glacier à une simple action de polissage, d'usure par frottement. Par sa masse énorme, la pression qu'il exerce sur son lit, la fissuration qu'il y peut provoquer, par sa formidable capacité d'arrachement, les mouvements irrésistibles de son flot dans tous les plans, par l'intensification, à son voisinage, dans une atmosphère desséchée à son contact, de la désagrégation mécanique des parois, le glacier s'affirme comme un agent d'érosion dont l'immense travail est aussi efficace que mystérieux.

Le paysage alpin semble précisément témoigner en faveur d'une érosion glaciaire intense et universelle. Dans les parages abandonnés de fraîche date par les glaciers, surgissent des formes qui sont indiscutablement leur œuvre. Loin des fronts actuels, on peut observer des formes analogues, bien que plus amples: entre les unes et les autres l'échelle diffère, non la nature et la filiation. Ces formes, immédiatement identifiables, font précisément défaut dans les massifs que les glaces n'ont pas touchés. Dans les lieux encore occupés, ou jadis parcourus par des appareils notables, il paraît exister une proportionnalité entre les formes attribuées aux glaciers et les courants dont elles seraient issues. En un mot, il est possible d'établir une concordance entre un certain modelé et la glaciation. Parce qu'elle n'est pas fortuite, cette concordance s'impose à l'esprit comme l'expression d'un rapport de cause à effet. Les formes dites glaciaires sont trop visiblement liées aux glaciers pour que l'on ne soit pas tenté de les attribuer à ces derniers, de découvrir en eux l'outil puissant qui les a façonnées.

Les formes dites glaciaires

Parmi ces formes, trop nombreuses pour être toutes mentionnées et étudiées, *les roches moutonnées*, *les cirques*, *les auges* et *les verrous* sont les plus représentatives.¹

Les roches moutonnées (Rundhöcker) et les polis qui les accompagnent ont de longue date retenu l'attention. AGASSIZ les considérait, à juste titre, comme autant de témoins vénérables de l'extension ancienne des glaciers. Les Helleplatten du Haut-Hasli en sont de fort beaux exemplaires dans ces roches granitoïdes si particulièrement favorables au développement et à la conservation de ce type de modelé. Si les polis ne peuvent servir, dans tous les cas, de limite (Schlifffgrenze) pour fixer le niveau supérieur de la glaciation de vallée, ils ont du moins le mérite d'illustrer deux modalités bien différentes du travail glaciaire: l'abrasion (ou polissage) du côté amont, l'arrachement (plucking), avec ou sans désagrégation mécanique, du côté aval. C'est ce que montre le lit fraîchement découvert du glacier du Mulinet en Maurienne (Savoie) et ce qu'ont signalé les observations faites sous la glace à la faveur des crevasses marginales, des *Gletscherrandklüften* (15). Enfin ces roches moutonnées s'opposent, avec une extrême franchise, aux *gezackter Formen*, aux formes déchiquetées, le paysage arrondi ou *Rundling*, au paysage des montagnes à cirques ou *Karling*.

Le *cirque* (Kar), demi-cuvette si apparente dans la nature et sur de bonnes cartes topographiques, qu'il soit vide ou non, est une autre forme élémentaire du modelé glaciaire. Les discussions à son sujet datent déjà de loin. Mais, qu'il dérive d'un entonnoir torrentiel ou d'une niche de nivation, que le recul de ses parois par désagrégation mécanique s'effectue au-dessus de la surface de la glace ou du névé, ou plus bas déjà, dès le pied du mur de rimaye (Bergschrund), il est comme une image synthétique de la morphologie glaciaire. Le cirque se caractérise en effet par la raideur de ses parois, la douceur relative de son fond, de son *Boden*, moutonné et aplani, donc par une rupture de pente accentuée à la base de son périmètre inférieur, par la présence d'un verrou ou d'un gradin de débouché, enfin par son profil en auge, en U largement évasé. Ainsi, entre une forme naissante — le cirque est souvent encore occupé par la glace — et une forme adulte, achevée, l'auge proprement dite dès long-temps libérée, la filiation s'affirme avec évidence. Mais les cirques ne sont pas seulement comme un abrégé morphologique: ils apparaissent comme de redoutables rongeurs de montagnes, qu'ils s'adossent, ou se juxtaposent en escalier (Kartreppe). La désagrégation, spécialement active en raison de l'altitude, s'exerce sur des surfaces que l'entraînement des matériaux par les avalanches et la glace elle-même contribue à entretenir toujours fraîches: ainsi les parois s'amincissent, des cols s'esquissent, des captures glaciaires deviennent possibles. En face du Gornergrat, le cirque de la Schwärze finira par se vider latéralement

¹ Cette conférence était accompagnée de nombreux clichés dont on ne peut donner ici qu'une très brève analyse.

vers le Grenzgletscher, alors que sa direction naturelle, indiquée par une belle moraine frontale, est celle du Gornergletscher. Bien des épaulements et replats (Schultern, Ebenen), regardés à tort comme des vestiges de la topographie préglaciaire, résultent d'un simple effacement de cloisons entre cirques mitoyens, d'une mise en communication de glaciers primitivement isolés dans leurs alvéoles. Le glacier de la Marmolada, dans les Dolomites italiennes, pourrait bien ne pas avoir d'autre origine. Quant à la Tschingelalp, au S.-E. d'Elm (Glaris), elle montre comment une succession de cinq cirques étagés, séparés par quatre gradins, aboutit à une forme complexe: l'auge.

L'auge, l'*U* glaciaire, le *Trog* de RICHTER, le *canyon glaciaire* de McGEE, est remarquable par son profil transversal. A vrai dire celui-ci s'observe dans certaines vallées non glaciaires, aménagées dans un bâti hétérogène, lorsqu'une couche dure couronne, en chapiteau, un sou-bassemement tendre, et quand des éboulis raccordent les versants à un fond remblayé. Mais ces fausses auges sont limitées à un type de structure, l'auge glaciaire, elle, est indifférente à la nature des roches. Elle est taillée, «calibrée» à la mesure d'un fleuve puissant, profond, progressant, imperturbable, droit devant lui. L'unité de l'auge, sensible dans le profil en travers comme dans le tracé, distinguent d'emblée les lits glaciaires des vallées fluviatiles, infiniment plus tourmentées. L'auge, enfin, est une forme ubiquiste, répandue aussi bien dans les parties élevées que dans les parties basses de la montagne.

Au voisinage des centres d'émission des glaces, dans les sections qui ont subi une occupation de très longue durée, l'indifférence de l'auge à la nature des terrains encaissants est souvent saisissante. On le constate à Bonneval, en Maurienne, où l'on voit le profil transversal passer, sans broncher, des gneiss aux schistes lustrés et aux serpentines (16; p. 245). L'*U* se réalise, d'ailleurs, dans n'importe quelle roche. L'auge du Rappental, en Haut-Valais, se creuse au contact des schistes lustrés et des gneiss: s'il en résulte une légère dissymétrie, le dessin général ne diffère pas sensiblement de celui du val Giuf, dans les Grisons, sculpté en pleine pâte cristalline. L'auge, il est vrai, s'aiguise parfois au point qu'on peut être tenté de la prendre pour une forme fluviatile, et non plus glaciaire. Mais un examen attentif des profils transversaux menés par des points assez rapprochés prouve que le passage de l'*U* au *V* se fait d'une manière insensible, si bien que la permanence du calibre exclut l'intervention de deux outils différents. Il y a des auges en *U* et des auges en *V*, celles-ci provenant d'une cause purement dynamique, d'une accélération du courant glaciaire dans une section plus déclive. Ainsi en va-t-il de l'auge du Doron de Termignon, en Maurienne, dans un talweg si bien dominé par les glaciers de Chasseforêt que le profil en *V* des gorges ne saurait avoir d'autre origine que l'*U* du secteur amont (16; p. 242).

Parfois enfin se manifeste une nette tendance à l'emboîtement des versants: dans une auge supérieure, largement dessinée, s'emboutit une auge plus basse et plus exiguë. Ainsi en Valais, dans le Fieschertal. Un tel profil suggère un creusement en deux étapes, effectué par des appa-

reils successifs et de puissance décroissante: il renforce, plus qu'il n'affaiblit, l'hypothèse de l'unité du modelé glaciaire.

Cette unité s'exprime, au reste, dans le tracé de l'auge. Celle-ci est peu sinuueuse. On devine qu'elle a été aménagée pour assurer un écoulement bien différent d'un écoulement torrentiel. Par la régularité de son ouverture qui ne se modifie que par larges plans de transition, par son déploiement direct, l'auge se distingue autant d'une vallée fluviatile qu'une route moderne d'un sentier de chèvres. Si le glacier est médiocrement encaissé, il franchit, par diffuence (Gletscherverzweigung, «Bifurkation»), celui de ses versants situé dans le prolongement de son axe de marche, plutôt que de se plier à un coude prononcé. Ainsi ont fait le glacier de la Reuss, dans la région de Brunnen, lorsqu'il s'est écoulé, en partie au moins, en direction des lacs de Lauerz et de Zoug, le glacier de l'Aar, lançant un bras par le Brünig vers les lacs de Lungern et de Sarnen (17). Au contraire, si le glacier est étroitement contenu dans sa vallée, force lui est d'en épouser les contours, mais l'auge ainsi burinée conserve, de bout en bout, un calibre harmonieux: tel le Klöntal, dans les Alpes de Glaris. Vu du Jungfraujoch, le glacier d'Aletsch déploie sa nappe éblouissante en un vaste croissant très ouvert, et son voisin, le glacier de Fiesch, quoique plus sinueux, se décompose néanmoins facilement en quelques alignements raccordés par de larges courbes.

Les auges sont comme un épiphénomène de la glaciation. Même vides, elles évoquent le flot disparu. L'auge de la mer de glace, en amont du Montenvers, et l'auge de Bessans (Savoie) sont identiques, à cette nuance près que le niveau, constitué là par le glacier, est ici remplacé par une terrasse alluviale. Dans la majeure partie des Alpes, le premier plan monumental de l'U glaciaire donne de la profondeur aux vues axiales de vallées, sa silhouette familière se découpe dans la lumière. Le profil caractéristique de l'auge se rencontre à toutes les altitudes, au long du Valais, dans le Conches en particulier, dans l'Urserental, à Meiringen et Innertkirchen sur l'Aar, en amont de Flüelen sur la Reuss, comme dans la région des cols, au Petit-St-Bernard, à la Furka, à la Vanoise, entre 2200 et plus de 2500 m.

L'auge enfin n'est pas seulement remarquable par son profil en travers et son tracé: son profil longitudinal se déprime parfois en ombilics, surcreusés au-dessous du profil d'équilibre des cours d'eau actuels, voire en crypto-dépressions évidées au-dessous du niveau de base marin. L'ombilic de Tignes (Savoie), sur la Haute-Isère, est si merveilleusement dessiné que le plus haut barrage d'Europe s'y édifie sur plus de 150 m. dans la gorge des Boisses, pour retenir plus de 200 millions de m³. Bien que partiellement comblé, le lac Majeur s'enfonce encore de 175 m. sous le niveau de la mer, et près de Grenoble, dans le Grésivaudan, un sondage poussé à 400 m. sous le plan alluvial, à 177 m. au-dessous du niveau de la mer, n'a pas rencontré la roche en place. L'existence des crypto-dépressions atteste l'énorme puissance de l'érosion glaciaire. On a certes invoqué, pour les expliquer, des affaissements du

sol ; mais, outre que ces mouvements sont rarement confirmés par des failles, il est difficile de concevoir des fléchissements limités à quelques axes, perpendiculaires et non parallèles aux chaînes, le long du lac Majeur, du lac des Quatre-Cantons par exemple. L'érosion glaciaire rend infiniment mieux compte de ces anomalies du relief que de prétendus mouvements épéirogéniques «dont la preuve est précisément tirée des faits à expliquer» (9; p. 124, 139).

La belle unité de l'auge est parfois rompue par un accident aussi authentiquement glaciaire que l'auge elle-même : le *verrou* (Riegel). L'obstacle peut être si brutal qu'il fait alors songer à une pierre obstruant un chêneau. A quelque type qu'il appartienne, le verrou se compose naturellement d'une barre, mais d'une barre échancrée d'encoches, et c'est là un fait essentiel. La barre est transversale, oblique ou longitudinale, d'origine structurale ou non. Le verrou classique est transversal et structural, il coupe l'auge d'un versant à l'autre et se situe au contact de deux formations inégalement résistantes. Ainsi le Castelet en Ubaye, dans les Alpes françaises méridionales, le Pas du Roc en Maurienne, le Kirchet de Meiringen dans la vallée de l'Aar. En ce dernier point toutefois, il semble étrange que le calcaire du Malm ait été déchaussé en verrou tandis que le granit d'Innertkirchen, immédiatement en amont, était excavé en ombilic. La structure n'explique pas tout en effet, la dynamique glaciaire joue aussi son rôle. Une barre peut ainsi surgir à l'intersection de deux ombilics et subir un déchaussement sur l'une ou l'autre de ses faces, lors d'une pulsation ultérieure. Le Kirchet se déploie précisément entre deux ombilics de confluence glaciaire, celui d'Innertkirchen (Unterwasser – Urbachwasser – Aar) et celui de Meiringen (Reichenbach – Aar). Le verrou-grardin de Termignon, en Maurienne, a été déchaussé le long de sa face aval par le glacier du Doron de Termignon, et à un moindre degré, en amont, par le glacier de l'Arc en stationnement sur sa ligne de repli.

Mais de même qu'il y a des auges en V, il y a des verrous obliques et longitudinaux. La barre, dans ce cas, perd de sa valeur d'obstacle, encore que le verrou oblique et marginal de Sion, modelé dans une structure isoclinale plaquée contre le versant droit de la vallée du Rhône, fasse grand effet. Le verrou longitudinal relève de plusieurs causes. En dehors du cas d'un pédoncule de confluent aigu (verrou de Suse), il peut résulter d'un double écoulement sous-glaciaire, ou même glaciaire. A l'extrémité de maints appareils actuels, au glacier de Fiesch, par exemple, un rocher moutonné médian est étroitement embrassé par deux lobes de glace et deux émissaires torrentiels. Deux glaciers cheminant côte à côte après une confluence et travaillant chacun pour son compte, doivent parvenir aussi à individualiser une échine longitudinale. Un tel processus est conforme à ce que l'on sait de l'indépendance dont témoignent les appareils accolés du Karakorum (18). A ce type de verrou longitudinal façonné par un double écoulement semble appartenir le Belpberg, dans la section extra-alpine de la vallée de l'Aar, et son pédoncule méridional vers Seftigen et Zwieselberg.

Quelle que soit d'ailleurs son orientation, la barre ne mérite son nom de verrou que si elle est pourvue d'encoches. Celles-ci, fruit du travail simultané ou alterné des eaux et de la glace, tranchent la barre à des niveaux et à des profondeurs variables. Les écoulements sous-glaciaires multiples les expliquent assez bien, les eaux s'enfonçant dans la roche au fur et à mesure de son déchaussement par le glacier, puis finissant par se rassembler dans un chenal unique, sous la langue recroquevillée à l'ombre, par exemple (19), pour y forer l'encoche la plus profonde. Les eaux sous-glaciaires en charge, semblables à celles qui surgissent des profondeurs du glacier de Corbassière dans la vallée de Bagnes (20) contribuent à coup sûr à la formation des encoches, de même que les eaux et les glaces issues de deux glaciers juxtaposés à des niveaux différents, dans le cas d'un verrou de pédoncule de confluent, par exemple. Certaines encoches, enfin, ne datent vraisemblablement pas du même épisode glaciaire et relèvent d'un creusement épigénique favorisé par la présence d'un manteau morainique ou alluvial (surimposition) (21).

Comme les auges, les verrous se rencontrent à toutes les altitudes. Il y a des verrous hauts et des verrous bas, aussi des verrous complexes, combinaison des uns et des autres. Les verrous hauts sont des verrous d'expansion ou de déperdition glaciaire, c'est-à-dire qu'ils correspondent à une dilatation brusque, et en surface, du glacier, ou au départ d'un bras diffluent de celui-ci. Un tel verrou s'observe le long de la rive gauche du glacier d'Aletsch, dans la crête moutonnée de Riederalp. Le col du Brünig, seuil de difffluence du glacier de l'Aar, est également un bon spécimen de verrou élevé, contrastant avec le verrou bas du Kirchet. Parfois les deux formes se superposent: ainsi dans le grand verrou complexe de Moûtiers, en Savoie. Le glacier de l'Isère à son maximum se dilatait ici à l'extrême, dans un secteur où confluent le bassin de l'Isère supérieure et le bassin très ramifié du Doron de Bozel. Au voisinage de sa surface, sous une épaisseur réduite, il a travaillé par érosion sélective sur les pédoncules de confluents, notamment sur l'écaillle isoclinale d'Hautecour, lardée de quartzites, de calcaires, de schistes, de gypses, de roches cristallines. Plus tard, le glacier moins gros et mieux canalisé, a buriné en contre-bas un verrou de fond d'auge. Il en est résulté un étrange paysage de bosses et d'ombilics, un surgissement de collines cernant des dépressions où se lovent villages et cultures.

Rapports entre les formes glaciaires et les anciens glaciers

Les formes décrites et classées comme glaciaires sont absentes des massifs qui n'ont pas ou n'ont que peu subi l'action des anciens glaciers. C'est une preuve *a contrario* qui ne manque pas de valeur. Dans les Vosges cristallines, plus élevées que les Vosges gréseuses, on découvre une empreinte glaciaire qu'on chercherait en vain dans ces dernières. La comparaison des cartes oro-hydrographiques à 1: 50 000 de Gérardmer et de Cirey est à cet égard des plus instructives (22). Le bassin de Remiremont comporte des verrous, des cirques, des vallées suspendues.

Des auges se dessinent dans la vallée de la Meurthe en amont du Rudlin, dans celle de la Vologne entre Retournemer et Longemer. Dans les Vosges gréseuses, au contraire, dans un matériel à vrai dire plus décomposable, les formes glaciaires se réfugient dans la zone des sommets et font défaut partout ailleurs. Le contraste entre la topographie des Vosges gréseuses, «fouillées au canif», et celle des Vosges cristallines, travaillées «au pouce et à l'ébauchoir», apparaît bien comme le trait distinctif d'un développement très inégal des anciens glaciers.

Le cas des Alpes-Maritimes, dans le Sud-Est de la France, est aussi très frappant. Ici les glaciers quaternaires n'ont point envahi toute la montagne comme ils l'ont fait dans les Alpes françaises du Nord. Ils se sont arrêtés à une ligne jalonnée par Vaucluse sur le Verdon, Marie sur la Tinée, Lantosque sur la Vésubie, Saorge sur la Roya. De là des contrastes topographiques entre secteurs englacé et non englacé. Sans doute des gradins de confluence ont été signalés dans la partie non visitée par les glaces, mais une telle forme n'appartient pas, en exclusivité, au modèle glaciaire, et s'observe partout où une fluctuation du niveau de base amène un tronc fluvial à travailler plus vite et plus fort que ses affluents. Quant aux faux verrous, également signalés dans la partie des Alpes du Sud non englacée, celui de la Mescla par exemple, au confluent du Var et de la Tinée, il leur manque et les roches moutonnées et les encoches latérales, de sorte que si le nom de barre leur convient, celui de verrou ne saurait en aucun cas leur être appliqué (9; p. 123).

Il existe une relation d'un autre ordre entre formes glaciaires et anciens glaciers: une certaine proportionnalité entre le calibre des auges et la puissance des appareils qui les ont occupées. Les vallées sont si exactement calibrées que tout accroissement ou tout fléchissement de la capacité érosive de l'agent glaciaire s'est traduit par une modification corrélatrice des profils longitudinaux et transversaux des auges. Le calibrage en largeur et en profondeur croît normalement d'amont en aval, avec le volume du courant. A chaque gros confluent glaciaire correspond un ombilic. Mais, de même qu'un cours d'eau peut subir des pertes par infiltration souterraine, le glacier peut s'appauvrir dans ses parties élevées, par diffuence. Alors, sous l'appareil anémié, l'auge se rétrécit, son fond s'exhausse, tandis que, grâce au renfort du flot dérivé, un glacier voisin approfondit et élargit son lit. Le jeu des confluences, des diffuences est donc un facteur décisif, et si le modèle se modifie à chacune d'elles, c'est bien qu'en définitive le glacier est un agent d'érosion. L'auge de l'Arc, en Maurienne, n'est pas seulement plus ample que celle de la Haute-Isère, en Tarentaise, parce que son bassin d'alimentation est à la fois plus vaste, plus haut, mieux revêtu de glaces: elle est également fort différente par son calibre, généralement régulier et croissant. Cela provient de la conformation du réseau de l'Arc, composé d'un tronc médiocrement ramifié, fortifié à intervalles réguliers par des affluents beaucoup plus courts et inclinés que la section du cours principal en amont de chacun d'eux. Dans ces conditions, le glacier collecteur croît progressivement, son auge se montre rarement coupée de verrous et de

gradins. A ce type mauriennais ou valaisan, s'oppose le type tarin, également réalisé dans le Haut-Hasli, avec un collecteur ramifié, garni d'affluents disposés en bouquets et de peu inférieurs au tronc principal. De là de brutales confluences glaciaires, de subites dilatations d'auge séparées par des verrous et des gradins.

En Maurienne, l'auge de Bonneval, de dimensions déjà respectables, s'élargit encore en aval de Bessans après les confluents de l'Avérole et du Ribon. Elle se réduit quelque peu et s'aiguise en aval de Lanslebourg parce que, d'une part, le glacier de l'Arc a perdu une partie de son flot par le Mont-Cenis, d'autre part en raison de l'attraction exercée par le berceau déprimé de Termignon. A Termignon, un gradin-verrou, le seul accident notable d'origine glaciaire sur quelque 30 km., coïncide avec un secteur où dominent les gypses affouillables et la confluence du Doron, riche en glaciers. A l'autre bout de la Maurienne, au contraire, le glacier de l'Arc à son maximum s'évadait par-dessus son versant gauche, et le fond de l'auge, moins surcreusé, remontait. De ce fond, en partie détruit par suite de l'encaissement d'une auge plus récente, œuvre d'un appareil moins puissant mais mieux contenu, un témoin subsiste: le beau replat des Hurtières. Le Valais appartient au même type que la Maurienne, et le réalise avec une ampleur digne d'un outil infiniment plus puissant, si l'on en juge par le rapport des glaciers actuels aux surfaces (5,5% en Maurienne, 18% en Valais). A part le verrou transversal de St-Maurice, le verrou oblique et marginal de Sion, aucun grand accident glaciaire n'interrompt la noble ordonnance de l'auge valaisanne jusqu'en amont de Brigue. Mais dans la région de Lax, Ernen et Fiesch, un type à ombrilics s'esquisse avant que l'auge majestueuse se déploie à nouveau dans le Conches. C'est que, dans ces parages, convergent les deux puissants glaciers de Fiesch et d'Aletsch dont les bassins comptent à peine moins de surfaces englacées que le bassin du Rhône en amont d'eux. Cette convergence s'opérait en outre dans un espace restreint, le glacier d'Aletsch diffuant par-dessus la crête de Riederalp. De là deux gradins: l'un au débouché du Conches, l'autre entre Lax et Grengiols. Ces gradins ont été lacérés plus tard par les glaces et les eaux issues du Fiescher Tal. et du Binnental, ce dernier alimenté par une diffuence du glacier de Conches. Ainsi monte-t-on de 880 m. à Grengiols à 1196-1249 m. à Ernen-Mühlebach, par un talweg éventré par les canyons du Rhône et de la Binna, bossué par le long replat d'Ernen.

Le modelé glaciaire dans le relief alpin

Les glaciers se sont élevés très haut dans les Alpes. On le constate grâce à l'erratique, aux roches moutonnées, aux cirques. En Maurienne, le burinement de l'auge principale approche de 2700 m. En Valais, les courants glaciaires généraux ont sans doute franchi l'Eggerhorn, par plus de 2500 m., si l'on en croit le modelé de ce sommet entre Binnental et Rappental. A Martigny, le glacier atteignait encore 2100 m. (24). Quant à la glaciation de cirque, elle a tout envahi, les versants et les

crêtes. En fait, la montagne entière a reçu la visite des glaciers et subi leurs atteintes. C'est bien l'impression que laisse le paysage alpin, qu'on le découvre de la langue terminale de la Mer de Glace, par exemple, ou du Grimsel. Partout bâillent les auges, s'étagent les replats, s'arrondissent les épaules moutonnées au-dessous des murs déchiquetés des cirques, émergent des verrous chauves ou boisés. Et l'on a peine à comprendre pourquoi les tenants les plus décidés de l'érosion glaciaire, et tant d'autres après eux, ont voulu retrouver des traces du modelé préglaciaire dans des massifs à ce point labourés et travaillés. Un cas extrême aidera à saisir l'intérêt de la question ainsi posée. Le Cervin érige son obsédante pyramide au-dessus d'un socle aplani qui se poursuit, par delà le glacier de Gorner, au Riffelberg et à Riffelalp. Ces deux formes antithétiques suscitent des hypothèses non moins radicalement opposées. Le Cervin, issu de l'adossement de plusieurs cirques, pour les partisans de l'érosion glaciaire, repose sur un plateau regardé par d'autres comme préglaciaire. Une montagne géante, d'origine glaciaire, peut-elle donc s'élever au-dessus d'un piédestal d'origine fluviatile et miraculeusement conservé ?

Si le Cervin est une cloison résiduelle de cirques (25; p. 237), si les glaciers ont été capables de dégager, dans une crête, un monolithe de cette taille, son piédestal ne saurait être l'œuvre d'un autre agent d'érosion. Mais, précisément, l'origine glaciaire du Cervin n'est pas évidente. Splendidement isolé, vu du côté suisse, il l'est beaucoup moins contemplé du Breuil, sur le versant italien. Dans le Valtournanche, il apparaît flanqué vers l'ouest de cimes altières, Testa del Leone, Dent-d'Hérens (4171 m. contre 4476 m. au Cervin), et plus au sud de cette dernière, par les Grandes Murailles. Une érosion par cirques adossés, ouvrant le col de Tournanche (3484 m.) entre le Cervin et la Dent-d'Hérens, est concevable à la rigueur en ce point; elle l'est moins à l'est du Cervin. De ce côté règne en effet une longue épaule dont l'altitude atteint péniblement 3500 m. à la Testa Grigia et au Theodulhorn. Pour retrouver un 4000 mètres, il faut pousser jusqu'au Breithorn. Un créneau de cette taille, la destruction de 8 km. de paroi sur une hauteur d'un millier de mètres, cela dépasse sans doute les moyens de l'érosion glaciaire. L'isolement du Cervin sur son flanc oriental paraît, en fait, antérieur à l'époque glaciaire. Deux nappes se soudent ici, celle de la Dent-Blanche dont le Cervin fait partie, celle du Mont-Rose à laquelle appartient le Breithorn. Entre les deux s'intercale une enveloppe de terrains plus tendres que les gneiss, ou du moins plus hétérogènes, donc plus vulnérables, schistes lustrés et micacés, plus ou moins armés de serpentines, d'amphibolites. Dans ce bâti, l'érosion préglaciaire avait dû travailler déjà avec vigueur.

Mais alors, faut-il admettre l'âge pliocène de la surface du Gornergrat et penser que le glacier protège le relief, qu'il le «ménage» mais ne l'«aménage» pas ? Les coupes géologiques (26) prouvent que toute cette zone déprimée est modelée en surface structurale, c'est-à-dire qu'elle est grossièrement accordée au pendage général des nappes vers le N.-N.-O.

En outre, une surface d'érosion fluviatile ne dévalerait pas ainsi de 3000 à 2200 m., à moins d'admettre sa déformation par un gauchissement quaternaire. Enfin, ce qui frappe l'observateur le moins averti, c'est que cette prétendue surface est le royaume des roches moutonnées et des ombilics. On a ainsi le sentiment d'un vaste *Boden* aménagé par des glaciers de cirque rayonnants, dans lequel les glaciers actuels se sont encaissés. Dans ces conditions on ne voit guère ce qui pourrait subsister d'une surface préglaciaire, sinon un emplacement.

L'érosion glaciaire, dans l'état actuel de la science, relève pour une large part de l'hypothèse. Mais cette hypothèse, la morphologie alpine la postule avec insistance. C'est l'érosion glaciaire qui rend compte de la façon la plus harmonieuse, la plus claire et la plus simple, du relief des Alpes, c'est elle qui s'accorde le mieux avec ce que l'on connaît des formes topographiques mineures observables dans les laisses des glaciers actuels. On ne saurait toutefois attribuer aux glaciers, si grands qu'ils aient été, la paternité des lignes directrices du relief, du tracé des vallées, de certaines cimes de premier rang. Cette réserve faite, il reste que les formes glaciaires revêtent à la façon d'un épiderme, de la tête aux pieds, la quasi-totalité de la grande chaîne européenne, que modelé glaciaire et relief alpin sont deux termes synonymes, ne sont qu'une seule et même notion.

Ouvrages cités

- (1) ONDE H. Observations glaciologiques en Suisse et en Savoie il y a un siècle. *Revue de Géographie alpine*, Grenoble, 1948; p. 399-409.
- (2) DE CHARPENTIER J. *Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône*. Lausanne, 1841.
- (3) AGASSIZ L. *Etudes sur les glaciers*. Neuchâtel, 1840.
- (4) PENCK A., BRÜCKNER ED. et DU PASQUIER L. *Le système glaciaire des Alpes*. *Bull. Soc. Sc. Nat. Neuchâtel*, XXII, 1894.
- (5) BRUNHES J. et GOBET L. *L'excursion glaciaire du IX^e Congrès géologique international*; *La Géographie*, Paris, 1903; p. 357-376.
- (6) FOREL L.-A. *Etudes glaciaires*. *Archives des Sc. phys. et nat.*, Genève; XXX, 1910, p. 229-254.
SÖLCH J. *Fluß- und Eiswerk in den Alpen zwischen Oetztal und St. Gotthard*. *Petermanns Mitt. Ergänzungshefte* Nrn. 219 u. 220, 1935.
- (7) PENCK A. et BRÜCKNER E. *Die Alpen im Eiszeitalter*. Leipzig, 1901-1909.
- (8) BRUNHES J. *Le problème de l'érosion et du surcreusement glaciaires*. *Actes de la Soc. helvétique Sc. Nat.*, 90^e session, Fribourg, 1907; I, p. 155-175.
- (9) DE MARTONNE EMM. *Quelques données nouvelles sur la jeunesse du relief préglaciaire dans les Alpes*. *Rec. Trav. offerts à J. Cvijic*, Belgrade, 1924.
- (10) DE MARTONNE EMM. *L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines*. *Annales de Géographie*, Paris, XIX, 1910 et XX, 1911.
- (11) KOECHELIN R. *Les glaciers et leur mécanisme*, Lausanne, 1944.
- (12) WAEBER M. *Observations faites au glacier de Tré-la-Tête à l'occasion de l'aménagement d'une prise d'eau sous-glaciaire*. *Rev. de Géographie alpine*, Grenoble, 1943; p. 319-343.
- (13) HAEFELI R. *Entwicklung und Probleme der Schnee- und Gletscherkunde in der Schweiz*. *Experientia*, Basel; II, Nr. 1, 1946, p. 1-7.
- (14) UDESCHINI P. *Moto plastico-viscosa dei ghiacciai*. *Boll. del Comitato glaciologico italiano*, Torino, n° 25, 1948; p. 25-46.

- (15) CAROL H. Beschreibung einer Gruppe von Gletscherranklügen am Obern Grindelwaldgletscher. *Mitt. Geographisch-Etnographisch Ges. Zürich*, 1943/1945
- id. Beobachtungen zur Entstehung der Rundhöcker. *«Les Alpes»*, 1943, 6.
- (16) ONDE H. La Maurienne et la Tarentaise. *Etude de Géographie physique*. Grenoble, 1938.
- (17) BECK P. Eine Karte der letzten Vergletscherung der Schweizer Alpen. *Mitt. Nat. Ges. Thun, Bern*, 1926.
- (18) VISSER PH. C. Gletscherüberschiebungen im Nubra- und Schyockgebiet des Karakorum. *Zeitschr. für Gletscherkunde*, 1932 (März).
- (19) BÉNÉVENT E. Sur les encoches du verrou glaciaire. *C. r. Académie des Sciences, Paris*; t. 158, 1914; p. 743–744.
- (20) MARIÉTAN I. Un cas d'épigénie au glacier de Corbassière dans la vallée de Bagnes (Valais). *Bull. Soc. Vaudoise Sc. Nat., Lausanne*, 1923; p. 91–94.
- (21) LUGEON M. Sur la fréquence dans les Alpes de gorges épigénétiques et sur l'existence de barres calcaires de quelques vallées suisses. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, 1901.
- (22) Géographie lorraine, publiée par la Soc. lorraine des Etudes locales dans l'Enseignement public. Nancy, Berger-Levrault 1937.
- (23) BLANCHARD R. Les Alpes Occidentales. V: les Grandes Alpes françaises du Sud. Grenoble et Paris, 1949.
- (24) FAVRE Alph. Texte explicatif de la carte du phénomène erratique... *Matiériaux Carte géol. Suisse*, XXVIII, 1898.
- (25) HOBBS W.-H. Les glaciers de montagnes et les formes de terrain correspondantes. Trad. A. Allix. *Rev. de Géographie alpine, Grenoble*, X, 1922.
- (26) GÜLLER A. Zur Geologie der südlichen Mischabel- und der Monte Rosa-Gruppe. *Eclogae Geol. Helvetiae*, vol. 40, 1947.