

RENÉ RAYNAL*

Strasbourg

SPÉCIFICITÉS RÉGIONALES DU PÉRIGLACIAIRE D'ALTITUDE DANS LE DOMAINE MÉDITERRANÉEN

Abstract

Various sorts of periglacial phenomena can be observed in the mountains of different mediterranean regions. Permafrost cores exist in some narrow and pinpoint localized geomorphological units on the high massifs of the Southern Alps in the boundary zone between France and Italy, and also probably on the highest ranges in the Middle East; such sites admit active rock glaciers under the present climatic conditions, but the development of their feature and structure has required a long time since the tardiglacial or the holocene age. In reality the most widely distributed features of cold morphodynamic appear in a cryonival tier with some definite limits in altitude: superficial microforms as stone rings, stone stripes and terracettes are typically related with seasonal or pluriannual frost processes.

The inherited formations from the quaternary cold periods are present, also at moderate altitude, and their persistance is very important because they contribute to stabilize the environment. In the northern part of the mediterranean area the stratified slope deposits predominate, specially in the shape of "grèzes litées" below inherited nival alcoves and at southerly or easterly exposure. In the mountains of Northern Africa quaternary cryonival slope deposits are also to be found, but the most frequent are less typical and their origin was related with multiple factors; however some real "grèzes litées" exist also here in different sites.

In the high ranges of the Middle East a very original feature consists of long slopes on soft rock with a regular and linear profile, without detrital cover and without erosion gullies. The genesis of such forms, since the Quaternary up to now, is connected with different combined factors: arid tendance of the climate, hard and lasting seasonal frost in the soil, pellicular solifluction and superficial sheet running from melting snow or ice in spring.

I. DIFFÉRENCIATION INTERRÉGIONALE MODÉRÉE DES MILIEUX PÉRIGLACIAIRES ACTUELLEMENT FONCTIONNELS

Les manifestations actuelles de la morphodynamique en haute montagne à proximité de la limite inférieure des neiges permanentes ne varient pas fondamentalement d'une région à l'autre du vaste domaine méditerranéen: ce qui change surtout en fonction de la latitude ou de l'inégale continentalité c'est l'altitude elle-même à partir de laquelle des phénomènes de type périglaciaire, ou plus simplement cryonival, se produisent. Il n'en existe pas moins des nuances intéressantes à déterminer.

1. L'étage périglaciaire au sens strict apparaît partout distinctement dans le paysage à proximité des glaciers, là où ils existent, ou à l'étage altitudinal immédiatement en contrebas de la limite des neiges permanentes, soit sur quelques centaines de mètres en-dessous de 2600 m dans les Alpes françaises du Sud, de 2800 m dans les Pyrénées orientales, de 4000 à 4100 m dans le Haut Atlas marocain, de 4500 m dans l'Elbourz iranien. Dans ces limites partout où affleurent des roches suffisamment cohérentes et gélives la fragmentation intense qu'elles subissent au printemps et en automne, du fait des fortes oscillations thermiques de part et d'autre de 0°C, alimente des nappes de galets ou de blocs qui ont tendance à couvrir de larges portions des versants. Dans un tel milieu la présence de particules fines dans les débris rocheux permet l'apparition d'un mollisol de dégel, et par conséquent d'un transit solifluidal des

* Université Louis Pasteur, Strasbourg, France.

matériaux. Cependant une telle dynamique, liée à la fusion non simultanée de lentilles ou pellicules de glace inégalement profondes, ne correspond pas nécessairement à l'existence d'un pergélisol. L'analyse des régimes thermiques connus conduit à admettre que celui-ci est présent, très localement, dans le hauts massifs au Nord de la Méditerranée (BARSCH, 1971-1977; EVIN, 1987) et dans ceux du Moyen Orient (HAGEDORN et al., 1978; KUHLE, 1978; RAYNAL, 1986). C'est notamment le cas de certaines cuvettes à inversion de température en hiver, non loin de la limite des neiges permanentes. Partout ailleurs, il s'agit de gélisol saisonnier, ou plus exceptionnellement de gélisol pluriannuel. Il n'en résulte pas moins un développement local de structures telles que cercles de pierres ou sols striés: à la différence de l'Arctique, la profondeur des horizons ainsi perturbés ne dépasse pas quelques dizaines de centimètres (KUHLE, 1987; SOUTADE, 1980; COUVREUR, 1978; RAYNAL, 1977). Le problème se pose de déterminer dans quelle mesure certaines de ces structures sont héritées d'un passé récent (petit âge glaciaire) tout en continuant à évoluer. De toute façon, leur conservation durant la saison chaude, après l'interruption des actions cryergiques, ne pose pas de problème, en raison d'un calme météorologique relatif à ce moment-là.

Ces divers aspects sont communs à toutes les hautes montagnes méditerranéennes, à l'étage altitudinal immédiatement en-dessous de la limite des neiges. Mais les îlots de pergélisol paraissent, jusqu'à preuve du contraire, absents des massifs marocains: la latitude n'y est pas compensée par une altitude suffisante, compte tenu notamment de l'influence de l'Atlantique proche qui tempère les rigueurs hivernales tout en favorisant l'enneigement.

2. L'étage infra-périglaciale à pelouse de type alpin. A l'aval de l'étage altitudinal périglaciale (au sens propre) l'on pénètre sur un nouvel espace morphodynamique, caractérisé par la présence d'un tapis herbeux sur lequel s'exercent des processus cryonivaux superficiels. Les aspects dans le paysage correspondant à cet étage se situent sur 300 à 400 m de dénivellation de part et d'autre de 2000 m dans les montagnes du Midi méditerranéen français, de 2800 à 2900 m dans le Haut Atlas marocain, de 3200 à 3300 m dans l'Elbourz en Iran et dans le Zagros. On retrouve dans ces diverses régions la solifluxion pelliculaire de dégel sur les pentes, entraînant des particules de matière fine et des petits galets aux dépens soit du sol qui s'est développé sous le tapis herbeux, soit d'une roche affleurante non cohérente: il en résulte l'apparition de „terrassettes” et de „guirlandes de végétation”. D'autre part dans les fonds de cuvettes et sur les surfaces planes s'esquisse un maillage de cercles de galets de dimensions décimétriques et des buttes gazonnées surgissent aux endroits les plus humides. Mais l'on rencontre ça et là, plus particulièrement dans les massifs qui subissent des hivers très rudes et longs (au Nord du bassin méditerranéen et au Moyen Orient), des structures apparemment plus élaborées, telles que cercles de pierres à dimension métrique, qui paraissent fixés par la végétation dans les conditions climatiques présentes, mais dont la partie centrale éclate sous l'effet du gel en „ostiole” terreuse (SOUTADE, 1980; RAYNAL, 1975).

Il faut cependant tenir compte des processus concurrentiels d'origine variée qui interviennent pour perturber ce système cryonival de façon différente suivant les régions. G. SOUTADE a souligné le rôle actif du couvert végétal là où il est relativement continu et bien conservé comme localement sur des

replats dans les Pyrénées orientales. Mais l'intervention de l'homme est un facteur inégalement perturbant. Elle impose au maximum sa marque à l'étage supraforestier des massifs où la transhumance des troupeaux a été pratiquée durant des siècles, faute de place suffisante pour la pâture en plaine et en moyenne montagne: tel est le cas dans les Alpes du Sud, les Pyrénées, les montagnes ibériques, l'Atlas marocain et algérien. L'arrachement de l'herbe et le piétinement du bétail ont engendré des déséquilibres irréversibles dans un milieu fragile du fait de la minceur des sols et de la sécheresse estivale. Ainsi le ruissellement des averses de mi-saison, voire de quelques orages d'été, au lieu d'être absorbé en grande partie sur place par le complexe biomorphopédologique, se manifeste avec une certaine violence sur la surface des versants, qui est compactée et appauvrie en végétation. Des formations pierreuses naguère sous-jacentes, qui avaient été mises en place sous un climat plus froid, réapparaissent, sont délavées de leur matière fine et partiellement remobilisées, donnant des „clapiers” (SOUTADE, 1980). Sur ces surfaces à blocs ou galets la neige et le gel exercent aussi leur action. Par contre, la matière fine se concentre au bas des pentes et dans les cuvettes, où se piègent l'humidité et les eaux courantes („pozzines” et „almou”, entre autres toponymes usités: RAYNAL, 1977). Entre le Midi européen et l'Afrique du Nord, plus on va vers le Sud et plus ces étendues pierreuses prennent de l'extension aux dépens de la pelouse initiale.

Dans les montagnes du Moyen Orient, à l'extrême de la pénétration des masses d'air polaire atlantique à l'intérieur de l'Asie, l'étage infra-périglaciaire présente quelques particularités, en raison de la rigueur et de la longueur de la saison froide d'une part, de l'intensité de l'insolation printanière d'autre part. Sur les pentes où affleurent des roches gélives suffisamment cohérentes, une gélification intense tend à inhiber l'installation de pelouses continues, mais le ruissellement, que les averses et la fonte diffusent à travers les pierailles, alimente un tapis de matériel fin au contact de la roche en place: à ce niveau une sorte de mollisol apparaît à un certain moment du printemps et il provoque ça et là le dérapage de quelques paquets de blocs et galets. Dans l'Elbourz, en Iran, et dans le Zagros, en raison des fortes pentes entretenues par une tectonique toujours active, les matériaux ainsi destabilisés s'écoulent en avalanches de pierres au milieu d'un nuage de poussière. Par contre, au même étage, sur roches non cohérentes le dégel engendre l'écoulement de masses solifluidales, d'une ampleur hors de comparaison avec les modestes terrassettes des massifs de la Méditerranée occidentale (RAYNAL, 1975).

3. Des glaciers rocheux actifs dans les conditions climatiques présentes font partie du paysage caractéristique de quelques-uns des hauts massifs montagneux méditerranéens. Il ont pu être reconnus comme tels, là où des investigations précises, et suivant des méthodes variées, ont été menées, notamment grâce au repérage des mouvements sur une durée donnée et à des mesures de résistivité radioélectrique pour renseigner sur la structure interne des appareils. Tel est le cas en divers secteurs des Alpes franco-italiennes et orientales (EVIN, 1987). Les appareils en question se localisent au-dessus de l'isotherme de -2° , qui correspond à la limite inférieure théorique du permafrost actuellement possible. Bien que dans les massifs du Moyen Orient l'on ne dispose pas de mêmes données précises, il est certain que des glaciers rocheux peuvent y être en activité aux alentours et au-dessus de 4000 m (RATHJENS, 1978).

Cependant la constatation du caractère fonctionnel d'un glacier rocheux ne permet pas de conclure à sa genèse contemporaine. En raison de l'extrême lenteur du déplacement des matériaux (quelques dizaines de centimètres par an), on est contraint d'étaler la formation et la mise en place de ces appareils sur une longue histoire, faite du cumul des actions successives de plusieurs épisodes froids, dont les premiers furent nettement antérieurs à l'époque historique. Il nous paraît donc préférable de regrouper à part, en troisième partie de cet article, les éléments relatifs à la typologie interrégionale des glaciers rocheux.

II. DIVERSITÉ INTERRÉGIONALE DES VERSANTS CRYONIVIAUX HÉRITÉS

Des héritages d'une morphogénèse froide quaternaire, ou holocène, s'observent d'une part à la limite inférieure et immédiatement en-dessous des espaces cryonivaux actuellement fonctionnels, où ils sont modérément retouchés par les processus en cours, et d'autre part sur les pentes des moyennes montagnes, où ces vestiges subissent un remodelage plus énergique. L'aspect le plus marquant dans le paysage est déterminé par la présence assez générale de manteaux de débris couvrant les versants. Du reste, leur rôle écodynamique, comme réservoirs d'humidité notamment, a retenu l'attention de diverses catégories de chercheurs. Le caractère hérité de ces formations étant attesté par la pédogenèse, voire la consolidation, il s'agit de préciser, compte tenu des retouches en cours, quelle a été la part réelle d'une morphogenèse froide, de type cryonival, dans leur mise en place. Les dépôts sédimentaires du type des grèzes litées, et plus fréquemment des „groizes” dans les régions méditerranéennes, constituent des critères valables d'une morphodynamique froide, particulièrement s'ils sont associés dans le paysage à des niches nivales façonnées, avec ou sans clochetons, dans une corniche de roche cohérente en contrebas de laquelle ces manteaux de pente nettement caractérisés se sont étalés. On en rencontre un peu partout, à des altitudes qui ont été définies, autour du bassin méditerranéen. Mais dans de nombreux cas, les formations héritées qui couvrent les versants sont moins typiques et d'origine plus discutable. Et l'observation des données sur le terrain fait apparaître à cet égard des divergences interrégionales dans la genèse et l'évolution des complexes géomorphologiques mis en place au cours de phases climatiques plus froides et plus humides que le période actuelle.

1. Dans la partie occidentale du domaine méditerranéen, la zonation Nord-Sud est significative. L'échelonnement du Nord au Sud des aires bioclimatiques désignées par les termes: „humide subméditerranéen”, „subhumide”, „semi-aride”, „subaride”, distingue entre elles des régions dont les contraintes dues à la déficience des précipitations et à l'importance de l'insolation vont en croissant des Alpes françaises du Sud au Haut Atlas marocain. Malgré les oscillations climatiques du Quaternaire, faisant alterner „pluviaux” et „interpluviaux”, les différences interrégionales entre les milieux bioclimatiques s'ordonnaient suivant la même zonation que maintenant. On peut donc garder les limites des grands compartiments actuels (désignés par leur terme spécifique) pour interpréter les variantes géographiques originales de la morphogenèse des périodes pluviales du Quaternaire (et accessoirement de l'Holocène).

a. Dans les régions actuellement qualifiées de subméditerranéennes (indice xérorhérique de Gaussen-Bagnous inférieur à 40) ou de subhumides (indice compris entre 40 et 100) les couvertures de débris masquant les versants et mises en place au cours de la période würmienne sont présentes partout; des sols plus ou moins colorés (beige à ocre) s'y sont développés au Tardiglaciaire, eux-mêmes fossilisés par une nouvelle série de colluvions à gélifracts qui supporte les sols bruns actuellement en cours d'évolution. Le rôle des processus cryonivaux dans la mise en place de ces couvertures mérite examen et discussion (JORDA, JULIAN, DUBAR, 1988).

Le cas le plus clair est celui des versants où affleurent — au moins partiellement et plutôt vers le sommet — des roches cohérentes normalement gélives. Les galets ou blocs qui tapissent la pente se révèlent, dans des secteurs de ces régions en moyenne montagne, être des gélifracts à l'analyse morphoscopique et morphométrique. La dynamique de mise en place est encore plus évidente là où les coupes donnent des alternances de lits caractéristiques des grèzes et groizes, d'autant plus que souvent en l'occurrence ces dépôts, au profil tendu, sont dominés par un modelé d'anciennes niches nivales. On a ça et là relevé des expositions préférentielles, au Sud-Est et à l'Est, indiquant à la fois la rétention nivale sous le vent dominant et l'efficacité de la fonte printanière. Mais ces manteaux caractéristiques, loin d'être continus, alternent dans le paysage avec des couvertures atypiques. Et dans la mesure ou le climat, plus froid que l'actuel, conditionnait une dynamique cryonivale, des limites inférieures d'altitude ont été décelées par les auteurs: de 300 à 400 m sur le littoral niçois, elles descendent rapidement vers la Provence intérieure jusqu'au niveau des plus basses vallées.

Un dernier point mérite d'être souligné en ce qui concerne ces manteaux de pente d'origine cryonivale dans les moyennes montagnes du Nord de la Méditerranée: la quasi totalité peut être rapportée au Würm, et les rares vestiges de formations antérieures demeurent discutables. En effet, en période interpluviale ces couvertures sont fragiles. Les dépôts würmiens eux-mêmes subissent les assauts d'une érosion accélérée par suite de destabilisations d'origine anthropique, et bien des dépôts de groize, au sol délavé et aux galets bousculés par le ruissellement violent, se transforment en „clapiers” atypiques.

b. Dans les régions actuellement semi-arides à subarides (indices xérothermiques de 100 à 250) sur les marges méridionales du domaine méditerranéen les dépôts de pente d'origine cryonivale sont plus étroitement localisés. C'est d'abord le résultat d'une remontée appréciable de la limite inférieure des grèzes ou groizes associées à des niches de nivation, en comparaison avec les formations et formes équivalentes au Nord de la Méditerranée: à 800 m dans la Dorsale tunisienne, à 1000—1100 m dans le Rif oriental, à 1600—1700 m dans le Haut Atlas marocain. On constate par ailleurs une subordination bien plus étroite aux affleurements de roches particulièrement gélives (certaines calcaires en plaquettes par exemple). Il en résulte une distribution beaucoup plus discontinue, voire par endroits sporadique, du paysage cryonival hérité. Par contre les différences de modelé dues à l'exposition sont ici relativement réduites: les dépôts de pente à profil tendu dominent partout au-dessus des altitudes ci-dessus mentionnées, du fait que le ruissellement diffus de fonte de neige a joué un rôle plus important que les divers types de solifluxion. Dans les

parties les plus hautes des montagnes seulement se manifestent les expositions préférentielles sous le vent, c'est-à-dire vers l'Est et vers le Sud-Est, qui favorisent la genèse du complexe cryonival à niches et dépôts lités.

Mais la caractéristique la plus marquante des formations cryonivales héritées et déposées sur les versants au Sud de la Méditerranée, en milieu semi-aride ou subaride, correspond à leur cimentation par des encroûtements calcaires, d'une façon quasi universelle pour peu que la roche en place le permette. Cette consolidation, d'autant plus massive qu'elle est ancienne, a préservé de l'érosion certains dépôts antérieurs au Quaternaire récent: ainsi une dynamique cryonivale antéwürmienne a pu être précisée ici, beaucoup plus clairement qu'au Nord de la Méditerranée, et l'équipe des jeunes géomorphologues tunisiens en a souligné de nombreux exemples (BANNOUR, 1979; HENTATI, 1977; HAMZA, 1977).

Les différences dans le modelé et la dynamique quaternaires, telles qu'elles viennent d'être évoquées, concernent essentiellement les situations géographiques extrêmes du Midi méditerranéen français, au Haut Atlas du Maroc et aux montagnes de Tunisie centrale. En position latitudinale intermédiaire, moyennes montagnes du Centre et du Sud de la Péninsule Ibérique ou d'Italie et bordure maritime de l'Afrique du Nord, plus spécialement pour cette dernière en Kabylie algérienne et dans les massifs tunisiens de Khroumirie-Mogod, les aspects liés aux vestiges du Quaternaire froid sont nuancés en fonction de la variété lithologique et de l'érosion actuelle d'origine anthropique. Cette dernière suscite une dynamique violente de démolition des versants hérités, soit par solifluxion d'origine pluviale en milieu subhumide sans hiver marqué (Kabylie, Calabre, Khroumirie), soit par ravinements généralisés en milieu subhumide à roche moyennement cohérente ou en milieu semi-aride (versant oriental et méridional de la Cordillère Bétique, Nord de la Dorsale tunisienne). Les échantillons de modèles de versant hérités du Quaternaire les mieux conservés sont liés à l'existence de corniches calcaires ayant alimenté des nappes de galets gélifractés, lesquelles ont ensuite été cimentées par des croûtes. Ailleurs la marque dans le paysage demeure douteuse, quand elle n'a pas été entièrement gommée.

2. L'évolution originale sur la marge orientale du domaine méditerranéen. Dans la moyenne montagne des régions steppiques qui font suite vers l'Est au bassin méditerranéen, les paysages sont marqués par une originalité commune à de nombreux versants de vallée. Sans doute, là comme ailleurs, là où des roches cohérentes affleurent en corniches (calcaires, grés ou vulcanites diverses), la gélification au cours des périodes froides passées à engendre l'accumulation de tabliers de débris couvrant de larges portions du versant. Mais l'aspect le plus étonnant se rapporte à d'immenses surfaces de versants régularisés en roche non cohérente: certains s'étirent ainsi sur près de 2000 m de dénivellation sans discontinuité, dans l'Elbourz central par exemple. La roche en place y apparaît presque totalement dépourvue de couverture détritique, sauf un dallage pelliculaire et discontinu de menus galets, dont certains portent des indices d'altération. De tels éléments de paysage peuvent être observés dès l'Anti-Liban, mais ils prennent toute leur ampleur significative dans les massifs de l'Iran.

Il va de soi qu'une telle différence dans le modélisé des versants en roche non cohérente, en comparaison des faits communément connus dans la partie occidentale du domaine méditerranéen, a quelque lien avec la continentalité, qui impose des conditions thermiques et hydriques particulièrement contraignantes. Dans les conditions présentes la moyenne des températures de janvier se situe aux environs et même au-dessous de 0°C sur le piémont Sud de l'Elbourz, dans la région de Téhéran — à 1.000—1.200 m d'altitude; elles oscillent de —10° à —15° dans la zone sommitale. Il gèle encore régulièrement en mars et en avril au pied du massif. Quant aux précipitations, dont le total annuel est médiocre (250 à 600 mm sur le versant Sud de l'Elbourz et dans les vallées intérieures, encore moins dans le Zagros), elle se produisent à raison de 75% en hiver et au printemps, en bonne part sous forme solide. Une certaine quantité se perd en sublimation en raison de la sécheresse atmosphérique et de l'insolation, et le reste produit au printemps en ruissellement superficiel et diffus, entrecoupé de regels successifs. Il est admis qu'au Quaternaire les conditions thermiques ont pu être à diverses reprises nettement plus rigoureuses, tandis que les précipitations obéissaient au même régime saisonnier que maintenant, avec des quantités de neige plus abondantes en hiver sur un sol gelé dès l'automne. Gel et dégel devaient alterner au printemps, conditionnant des solifluxions pelliculaires; il en résultait un transit sans violence de débris vers le bas de la vallée, ce que permettait tout un ensemble de conditions favorables: faible dimension des particules issues de la désagrégation des roches peu cohérentes, également des débris sur la pente du fait du ruissellement de dégel, qui demeurait diffus et discontinu dans le temps, migration vers le bas rendue de toute façon possible par les pentes excessives en rapport avec une tectonique toujours active (RAYNAL, 1986).

Ainsi s'expliquerait la régularisation d'ensemble du versant, par un décapage en surface, qui ne nourrissait pas de couverture importante de débris. On peut considérer qu'à l'époque présente la même dynamique se poursuit, mais très atténuée, d'où le maintien des grands traits du modélisé hérité.

III. TYPES RÉGIONAUX DE GLACIERS ROCHEUX

Les exemples ci-dessous présentés sont caractéristiques de quelques milieux régionaux différents et ne constituent pas une typologie systématique.

1. Alpes du Sud franco-italiennes: échantillonnage démonstratif des conditions de milieu passées et présentes.

Dans les Alpes franco-italiennes des glaciers rocheux ont été évoqués, décrits ou étudiés de façon inégalement exhaustive par divers auteurs, mais une thèse récente (EVIN, 1987) a choisi cet ensemble régional comme base pour une investigation thématique concernant ces formations. La jeunesse relative des appareils étudiés est évidente du fait qu'ils sont logés dans les cirques et auges de la glaciation würmienne; ils gardent pour la plupart les formes de détail du modélisé initial — avec blocs et bourrelets — même dans le cas de ceux qui ne sont plus actifs. Mais des recherches précises décèlent une assez grande diversité quant à la genèse et à l'évolution.

Les plus anciens des glaciers rocheux des Alpes du Sud paraissent attribuables au Tardiglaciaire (Dryas) et leur front se situe assez bas, vers 2600 m pour certains. La majeure partie remonterait seulement au Subboréal et parmi ceux-là ceux qui sont toujours actifs se localisent au-dessus de la limite imposée par l'isotherme -2° , qui oscille de 2700 à 2800 m selon les conditions locales de topographie et d'exposition. Les mesures de résistivité électrique effectuées donnent de précieuses indications sur la structure interne des diverses catégories existantes dans la région. On sait ainsi que seuls les glaciers rocheux encore actifs ont un véritable pergélisol sur toute leur longueur. D'autres, où l'on trouve un noyau ponctuel de glace, même épaisse, n'en sont pas moins devenus inertes.

Enfin les glaciers rocheux des Alpes du Sud permettent de poser le problème des rapports entre glaciers proprement dits et glaciers rocheux. Certains de ces derniers sont des formations originales alimentées directement par la gélification des parois voisines et rendues plastiques par le gel des eaux de fonte des névés. Mais d'autres exemplaires manifestent d'amont en aval une continuité topographique parfaite entre le glacier blanc, le glacier couvert et le glacier rocheux (complexe du Marinet, au Chambeyron, et du glacier du Loup).

2. Hautes montagnes du Maghreb et du Moyen Orient: étagement en altitude de deux types différents dans un même massif.

Des glaciers rocheux ont été reconnus depuis longtemps au Maroc et ils ont fait l'objet d'observations renouvelées à plusieurs reprises (DRESCH, 1981). C'est également le cas en ce qui concerne le massif du Djurdjura en Algérie, où jusqu'à présent les études sont moins avancées. Les hauts massifs marocains atteignent des altitudes suffisantes pour que la glaciation quaternaire y ait sculpté des cirques et auges caractéristiques. Au débouché des auges les plus longues les bourrelets de moraine frontale des glaciers qui les occupaient sont peu marqués dans la topographie, et leur matériel se soude directement vers l'aval à des accumulations de blocailles qui obturent le fond de la vallée et s'allongent sans discontinuité jusqu'à des altitudes relativement basses (2200 m dans le massif du Bou Naceur, au Moyen Atlas; 2400 à 2700 m dans les massifs haut-atlassiques); au-delà vers le bas ces formations sont relayées par des cônes ou glacis-terrasses le plus souvent consolidés, en position dominante par rapport aux basses terrasses. On a donc rapporté tout cet ensemble d'accumulations grossières à l'avant-dernière période froide ou „pluviale” (Tensiftien = Riss).

Faut-il assimiler ces coulées de blocs débouchant des auges à des glaciers rocheux proprement dits? Sans doute elles en ont globalement la forme et la disposition d'ensemble, malgré l'absence de détails caractéristiques tels que les bourrelets lobés. On ne saurait nier l'ambiance froide, au moins cryonivale, du fait de la proximité immédiate des appareils glaciaires de l'époque en question. Ça et là des lentilles de glace ont pu se développer dans la masse détritique ainsi accumulée, et y persister pour un temps. Mais il est difficile d'admettre l'existence d'un vrai pergélisol, qui fût suffisamment continu, aux altitudes plutôt modestes où ces formations sont observables, compte tenu de la situation en latitude. Dans ces conditions il convient plutôt de faire appel à un autre type de dynamique, cryonivale certes, mais favorisée par une certaine abondance de matériel fin parmi les blocs issus de la macrogélification des parois (et partiellement des moraines). Tel est le cas dans les massifs du Mgoun et de l'Ayachi

(Haut Atlas) ainsi que du Bou Naceur (Moyen Atlas), où la charpente structurale jurassique fait alterner calcaires cohérents et marnes ou argiles. On peut donc penser que la fonte printanière des neiges ici abondantes, fonte rapide du fait de l'insolation, était capable de déclencher de véritables débâcles par glissement des blocs sur un matelas de matériel rendu fluant. La mise en place des coulées au fond de la vallée a pu se faire par épisodes intermittents, au rythme rapide (DRESCH, 1981).

Très différentes de ces formations apparaissent d'autres accumulations, plus à l'amont, au creux des cirques ou des auges: elles correspondent davantage au schéma morphologique habituel des glaciers rocheux, avec leur surface chaotique, leur profil transversal bombé, et pour certains des esquisses (ou vestiges émuossés) de bourrelets lobés. Faute de moyens de datation précise, on les a rapportées à l'époque soltanienne (= würmienne) *lato sensu*, Tardiglaciaire inclus. Mais dans aucun des cas considérés il ne s'agit d'un glacier rocheux demeuré en activité jusqu'à l'époque actuelle. En effet le régime thermique des hauts massifs marocains (Moyen et Haut Atlas) ne permet pas le maintien d'un véritable pergélisol. En outre l'on observe que des éboulis de versant actuels ont tendance à déborder sur la surface du glacier rocheux; de toute façon le matériel de ce dernier lui-même est attaqué, dans sa partie superficielle, par les cycles gel-dégel qui interviennent dans les conditions climatiques présentes, et les débris constituent un pavage morphométriquement différent, donnant une topographie plus régulière que la forme initiale. De bons exemples de cette évolution complexe peuvent être observés dans le massif du Mgoun, dans le Haut Atlas central (COUVREUR, 1978).

Les glaciers rocheux mentionnés par A. GOMEZ-ORTIZ (1987) dans la Sierra Nevada d'Espagne semblent appartenir au même type.

Rien d'étonnant à trouver toute une collection d'exemplaires de glaciers rocheux dans les hautes montagnes du Moyen Orient, en raison des conditions climatiques favorables du fait d'une sécheresse relative et de la rigueur hivernale impliquée par la continentalité et l'altitude. Comme au Maroc on note l'étagement de deux types de formations apparentées entre elles, quoique en partie différentes par leur genèse. Les fonds des cirques et auges sculptés dans la zone sommitale de l'Elbourz (surtout dans la partie orientale et sur le versant Sud) supportent au-dessus de 3500 à 3600 m des accumulations de blocailles dont l'aspect morphologique correspond au schéma classique des glaciers rocheux. Les données manquent, en l'état actuel des connaissances, pour préciser dans quelle mesure et au-dessus de quelle altitude ces appareils demeurent actifs, mais leur âge paraît récent. Par contre, une genèse cryonivale combinée avec des interventions intermittantes et catastrophiques de débâcle¹¹ de fonte paraît applicable aux coulées de blocailles qui dans le paysage font suite vers l'aval aux précédentes: elles sont de toute évidence héritées du Quaternaire, et plus anciennes que les glaciers rocheux sommitaux, puisqu'elles sont consolidées par un ciment calcaire partout où la roche locale le permet et que leur front se situe nettement au-dessus des accumulations alluviales récentes. On peut vraisemblablement leur appartenir les accumulations qualifiées de morainiques par M. KUHLE (1976) dans le Kuh-i-Jupar iranien, et qui sont descendues étonnamment bas, malgré la latitude, en direction du piedmont de ce massif.

Bibliographie

- BANNOUR, H. et BOUALLAGUI, H., 1979. Le Djebel Chambi et ses piedmonts (Tunisie centrale). Thèse 3e cycle Strasbourg et Minist. Agriculture, D.R.E.S., Tunis, 259 p., cartes h.t.
- BARSCH, D., 1971. Rock glaciers and ice-cored moraines. *Geografiska Annaler*, 1971/3-4, p. 203-206.
- BARSCH, D., 1977. Ein Permafrostprofil in Graubünden. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1977/1, p. 79-86.
- COUVREUR, G., 1978. Évolution géomorphologique du Haut Atlas central du Maroc. Thèse Doc. État, Université L. Pasteur, Strasbourg.
- DRESCH, J., 1981. À propos des glaciers rocheux en pays méditerranéens arides. *Recherches Géographiques* à Strasbourg, n° spécial, 16-17 (Hommages à R. Raynal), p. 107-111.
- EVIN, M., 1987. Dynamique, répartition et âge des glaciers rocheux des Alpes du Sud. Thèse Doct. État, Grenoble, Résumé dans Notes et C.R. du Groupe de Travail „Régionalisation du périglaciaire”, fasc. XIII, p. 81-93, Assoc. Geog. Alsace, Strasbourg.
- GOMEZ ORTIZ, A., 1987. Morfología glaciar en la vertiente meridional de Sierra Nevada. *Estudios geográficos*, t. XLVIII, n° 188, p. 379-407.
- HAGEDORN, H. et al., 1978. Periglazialerscheinungen im Shir-Kuh Massiv (Zentral Iran.). Colloque périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords, Université L. Pasteur, Strasbourg, p. 263-279.
- HAMZA, A., 1977. Typologie des érosions à partir d'une détermination à grande échelle des compartiments morphopédologiques du bassin versant de l'Oued-el-Hadjel, Tunisie centrale. Thèse 3e Strasbourg et Minist. Agriculture, D.R.E.S., Tunis, 409 p., cartes h.t.
- HENTATI, A., 1977. Conditions d'équilibre et de déséquilibre des divers types de milieux dans le Jebel Semmama et sur son piedmont. Thèse 3e cycle Strasbourg et Minist. Agriculture, D.R.E.S., Tunis, 276 p., cartes h.t.
- JORDA, M., JULIAN, M. et DUBAR, M., 1978. Compte-rendu d'excursion dans le Haut-pays Niçois; dépôts de pente stratifiés. Notes et C.R. du Groupe de Travail „Régionalisation du périglaciaire”, fasc. XIII, p. 3-19, Assoc. Géog. Alsace, Strasbourg.
- KUHLE, M., 1976. Beiträge zur Quartärmorphologie SE iranischer Hochgebirge. *Göttinger geographische Abhandlungen*, Heft 67, 205 p., 1t. pl. photos.
- KUHLE, M., 1978. Über Periglazialerscheinungen im Kuh-i-Jupar (SE Iran) und im Dhaulagiri-Himalaya (Nepal). Colloque sur le périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords. Université L. Pasteur, Strasbourg, p. 289-311.
- RATHJENS, C., 1978. Klima und Formung in der Solifluktionsstufe des afghanischen Hindukusch (résumé). Colloque sur le périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords. Université L. Pasteur, Strasbourg, p. 289-311.
- RAYNAL, R., 1975. Applied geomorphology (C.R. de mission en Iran). F.A.O., Rome, Départ. Forest, 15 p.
- RAYNAL, R., 1977. Étagement comparé en altitude des processus périglaciaires dans les hauts massifs du Maroc et d'Iran. *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen math.-phys. Klasse*, n° 31, p. 275-290.
- RAYNAL, R., 1986. Asymmetrie und Anomalien der morphoklimatischen Höhenstufen im Elburz-massiv (Iran). *Göttinger geographische Abhandlungen*, Heft 81, p. 81-88.
- SOUTADE, G., 1980. Modèle et dynamique actuelle des versants supraforestiers des Pyrénées orientales. Thèse Doct. État, Bordeaux et Imprimerie Coopérative du Sud-Ouest, Albi, 452 p.