

*René Raynal*

*Rabat*

## QUELQUES APERÇUS SUR L'EXISTENCE ET L'IMPORTANCE DES PHENOMENES PERIGLACIAIRES PREWURMIENS AU MAROC

### Abstract

In Morocco, chiefly in mountainous regions there are traces of five cold and humid periods. These pluvial periods are designated by the local names: Moulouyen (= Young Villafranchien), Saletien, Amirien, Tensiftien, Soltanien-Grimaldien (= Würm).

Formations older than Würm in eastern and central Morocco are more or less stabilised by calcareous crusts owing to which they are well preserved.

Periglacial phenomena occur in the middle Pleistocene formations i.e. in the Tensiftien. These are rock streams (Middle Atlas), éboulis ordonnés and cryoturbations. In various mountains the early Pleistocene is represented by enormous periglacial breccia, solifluxion sheets and block fields. Not everywhere can the Moulouyen formations be exactly distinguished from the Saletien ones.

L'étude du périglaciale dans un pays situé au sud de la Méditerranée passerait facilement pour un paradoxe. En réalité dans mainte région du Maroc, même sous le climat actuel, le gel est un fait banal durant les nuits d'hiver. Mais c'est évidemment la morphologie périglaciaire fossile qui présente ici la plus d'intérêt. A cette latitude seules les oscillations majeures dans le sens du froid furent enregistrées: elles ont laissé dans le relief des témoins qui, grâce à leur schématique simplicité, permettent de jalonner sans trop de discussions la paléoclimatologie du Pléistocène.

### PRINCIPES DIRECTEURS DE L'ETUDE

Les critères et méthodes adaptés à la recherche et à l'inventaire des phénomènes périglaciaires fossiles du territoire marocain différent sensiblement de ceux que l'on utilise d'ordinaire dans les pays de la zone tempérée fraîche ou froide.

### ORIGINALITE DES PHENOMENES PERIGLACIAIRES EN AFRIQUE DU NORD

Afin d'éviter toute équivoque il convient de formuler au préalable la définition du périglaciale qui correspond le mieux à cet ensemble régional: il s'agit des processus géomorphologiques qui exigent nécessairement

l'intervention du froid, c'est-à-dire du cycle gel—dégel, et éventuellement l'action de la neige. En raison de la latitude et des caractères dominants du relief des pays considérés, le domaine imparié à cette morphologie s'est toujours situé essentiellement en montagne, non sans oscillations de la limite inférieure sur quelques centaines de mètres en altitude par suite des fluctuations climatiques du Quaternaire. Or la zone atlantique comporte des massifs dont l'armature est faite d'assises calcaires, marno-calcaires ou gréseuses généralement sensibles à la cryoclastie et susceptibles de fournir d'abondantes masses de débris. Autre donnée originale dont il convient de tenir compte: les périodes froides pléistocènes ont eu ici une dominante humide, d'où leur qualification de pluviales (Raynal 1955). Les nuances qui distinguent les uns des autres les divers épisodes d'un même pluvial sont moins accusées qu'en Europe et correspondent à des variations du régime thermique plutôt que de l'hygrométrie ou de la pluviométrie. Notons en outre que la sécheresse de l'atmosphère et la latitude combinent leurs effets pour donner une insolation intense à certaines heures, même s'il a gelé au cours de la nuit. Oscillation thermique à très courte périodicité — ce qui revient à dire fréquence des cycles gel—dégel — voilà l'une des conditions fondamentales de la morphogénèse régionale. Quant aux autres, elles découlent elles aussi de la violence propre aux climats de type méditerranéen. Nous mentionnerons en particulier la surabondance temporaire de la neige et la rapidité de sa fonte, ainsi que l'importance de l'eau de ruissellement fournie directement par des averses orageuses, qui peuvent intervenir d'une manière répétée même en période froide. Outre la désagrégation physique engendrée par la gélivation, la roche subit donc, sous ces latitudes et pendant un pluvial, une certaine décomposition chimique due à la pénétration plus ou moins profonde de l'humidité dans un sol périodiquement surchauffé. Une roche compacte et résistante donne ainsi des débris hétérogènes, des galets anguleux et plats de calibre variable en même temps qu'une matrice fine, limono-terreuse.

Les formes du relief dites périglaciaires dépendent directement de la mobilisation et du transport de ce genre de matériel. Etant donné la forte valeur moyenne de la pente, conséquence de la localisation des phénomènes en montagne, compte tenu par ailleurs de l'abondance de l'eau de toute origine à certaines saisons, la solifluction et le ruissellement collaboreront à la mise en place des dépôts, chacun des deux processus tendant à dominer alternativement en fonction des fluctuations temporaires du climat. Ces conditions rendent compte de la primauté particulièrement caractéristique des formations de pente du type des *éboulis ordonnés* ou *grèzes liées*, qui exigent à la fois une gélivation intense et un transport (au moins partiel) des éléments par l'eau courante (Raynal 1960). Par contre

l'existence d'un tjâle n'est pas indispensable. Au demeurant l'on passe par transitions inégalement brutales, selon les endroits, de ces dépôts de versants à la couverture limono-caillouteuse des glacis de piedmont (photo 1). Et c'est par là que se situe la limite inférieure, souvent assez floue, du domaine périglaciaire: la surface d'un glacier résulte en effet du travail d'érosion et d'accumulation exercé par des nappes d'épandages intermittentes (Dresch et Raynal 1953; Mensching 1955; Mensching et Raynal 1953; Raynal 1956; Wiche 1955).

Une dernière remarque s'impose: pour une même masse montagneuse attaquée par le système d'érosion évoqué, on conçoit que les différences climatiques entre les pluviaux successifs se soient traduites d'une part dans la proportion du volume des éléments caillouteux par rapport à celui des éléments fins (en raison des variations de l'intensité des phénomènes chimiques), d'autre part dans le calibre moyen des galets d'une roche donnée, et enfin dans les limites d'altitude à partir desquelles, vers le bas, un système d'écoulement purement fluviatile prédominait (Dresch et Raynal 1953; Mensching et Raynal 1953; Raynal 1955).

#### DETERMINATION DES FORMATIONS WURMIENNES

Un inventaire relativement précis a été fait en territoire marocain des formations contemporaines du dernier pluvial (Soltanien ou Grimaldien = Wurm). Assez répandues elles doivent à leur jeunesse une quasi-ubiquité; cependant elles sont loin d'exercer ici sur le modèle une tyrannie toute puissante comme leurs homologues des régions tempérées humides, d'Europe occidentale et centrale en particulier. Qu'il s'agisse de dépôts de pente plongeant sous la terrasse flandrienne dans la région des estuaires (Gigout et al. 1957), ou de la couverture de l'étage inférieur dans un système de glacis-terrasses emboîtés (Menschling 1955; Pujos 1955; Raynal 1956), à l'écart de la zone affectée par les phénomènes eustatiques, le Grimaldien-Soltanien se reconnaît toujours à ses limons plus ou moins rubéfiés, à ses galets de calibre modeste et à son outillage atérien. Dans le domaine d'action du système d'érosion périglaciaire ces caractères distinctifs essentiels se retrouvent. Mais le critère le plus décisif des formations wurmiennes, comparées à celles des pluviaux antérieurs, c'est l'absence de croûte calcaire fossilisante, exception faite de quelques ébauches locales en feuillets minces et discontinus.

#### LES CRITERES DU QUATERNAIER ANCIEN ET MOYEN

Les caractères originaux des différents pluviaux qui ont précédé le Grimaldien-Soltanien sont connus grâce à l'observation des traces qu'ils ont laissées dans des paysages morphologiques simples, dont l'évolution

au cours du Quaternaire peut être reconstituée avec évidence: il en va ainsi là où des oscillations climatiques plusieurs fois répétées ont élaboré une famille de glacis ou terrasses emboîtés entre une surface villafranchienne haut-perchée et les talwegs actuels. Des critères ont pu être précisés, permettant de définir et de reconnaître les témoins de certaines étapes du Pléistocène. La valeur de la chronologie établie de cette manière est purement relative.

### L'encroûtement

Les phases climatiques de transition entre pluviaux et interpluviaux ont été marquées par la généralisation des croûtes calcaires de ruissellement, qui s'étalent sur des régions entières en feuillets superposés et interstratifiés à la partie supérieure d'une accumulation de période pluviale (photo 2). Ces concrétions ont pu s'épaissir jusqu'à prendre l'aspect d'une dalle puissante de plus d'un mètre (Margat et al. 1954). Elles ont permis la mise en conserve, sous une sorte de carapace protectrice, des anciennes formes du relief et des dépôts correspondants, dont une érosion agressive aurait sans cela depuis longtemps anéanti les derniers vestiges. Sous les croûtes on peut donc observer en montagne, à diverses altitudes au-dessus d'un seuil donné, des structures périglaciaires qui composent ou remanient des formations colluviales ou alluviales: lits de galets festonnés, poches de cryoturbation, plications, etc...

Certes l'ampleur et l'efficacité de l'encroûtement varient d'un pluvial à l'autre: il est remarquable que la plus puissante de ces concrétions se localise sur l'étage le plus élevé des glacis-terrasses et marque encore le relief actuel de ses larges entablements. Sur les pentes des montagnes il arrive fréquemment que des formations colluviales successives se sont superposées et la séparation chronologique en est rendue aisée par les croûtes intercalées, qui jouent dans la stratigraphie un rôle analogue à celui des sols interglaciaires de la zone tempérée humide (Raynal 1957).

De la répétition régulière des séries de croûtes calcaires observables en coupes profondes dans les régions d'accumulation constante et sur les divers étages des systèmes de glacis-terrasses emboîtés on a pu conclure à la succession de quatre pluviaux antéwurmiens, à savoir, par ordre chronologique du plus ancien au plus récent: Moulouyen (= Villafranchien terminal), Salétien, Amirien, Tensiftien (Choubert 1956; Choubert et al. 1956). Il ne saurait être question, pour le moment, de mettre en parallèle chacune de ces périodes avec l'une des glaciations européennes. Seul le Soltanien-Grimaldien, par l'ensemble de ses caractères originaux —

rapports avec la terrasse eustatique flandrienne, rubéfaction, outillage lithique — affirme un synchronisme indiscutable avec le Wurmien du nord de la Méditerranée (Choubert 1956; Choubert et al. 1956; Raynal 1956).

### Le volume des accumulations

D'une manière générale le volume des matériaux accumulés en période pluviale sur les pentes, dans les vallées et sur les piedmonts décroît entre le Quaternaire ancien et le Quaternaire récent, du Villafranchien-Moulouyen au Grimaldien-Soltanien. Le changement a été tel que les phénomènes ne paraissent plus à la même échelle. Durant la première des périodes froides et humides successives des masses détritiques considérables ont envoié des dépressions sur plusieurs dizaines de mètres; quant à la dernière, elle n'a le plus souvent réussi qu'à remobiliser une partie du matériel accumulé antérieurement, ce qui équivaut à la retouche superficielle d'une morphologie plus ou moins vieille. Mais la décroissance de l'intensité des phénomènes n'a pas suivi une courbe régulière durant la succession des pluviaux.

### Nature du matériel et structure des dépôts

Tous les pluviaux antérieurs au Grimaldien-Wurm, sauf un, ont donné des accumulations de matériel détritique où les éléments grossiers l'emportent sur les éléments fins. Seul l'Amirien se caractérise par des formations essentiellement limoneuses. Comme celles du Grimaldien ces dernières sont rubéfiées, et à peine mieux encroûtées en maint endroit. Ainsi la destruction des témoins de cet étage a été facilitée, d'où sa lacune fréquente.

Quaternaire moyen et Quaternaire ancien sont également remarquables par le calibre de leurs éléments grossiers: il s'agit de galets ou fragments rocheux dont le plus grand diamètre peut mesurer parfois plusieurs décimètres, voire 1 à 2 m. Une telle blocaille représenterait dans le Grimaldien quelque chose de tout à fait exceptionnel. En outre des amas désordonnés, dépourvus d'un triage quelconque, alternent dans les coupes de montagne avec des dépôts plus ou moins régulièrement lités. La localisation très constante de telles formations au pied des hauts massifs semble prouver que l'on a affaire à des accumulations de débâcles de fonte de neige, qui ravinaient périodiquement des grèzes élaborées au cours de périodes ou de saisons plus calmes.

## LES PHENOMENES PERIGLACIAIRES PREWURMIENS

## PLEISTOCENE RECENT PREWURMIEN

Le pluvial tensiftien est la période la mieux connue en dehors du Grimaldien-Soltanien. En effet les reliefs des régions montagneuses ont peu évolué depuis lors; un encroûtement généralisé a protégé une notable part des formes contemporaines et la retouche wurmienne fut faible. On peut admettre une certaine corrélation du Tensiftien avec le Riss *lato sensu*: au bord de la mer les dépôts continentaux et les croûtes de l'avant-dernier pluvial sont ravinés par les formations de la plage ouljienne (Tyrrhénien récent, mer de 7—8 m); et à l'intérieur d'une frange régionale maritime plus ou moins large la terrasse eustatique correspondant à cette transgression ennoie des manteaux colluviaux de pente attribuables à la période tensiftienne.

La limite inférieure des manifestations périglaciaires tensiftiennes passe aux environs de 1400 m dans le Haut Atlas oriental, au lieu de 1800—1900 m pour le Grimaldien-Wurmien; elle est sensiblement déprimée dans le Moyen-Atlas: 1100 m contre 1400 m pour le Wurmien.

Trois types de formes appartiennent à ce domaine morphologique. Les plus générales, les dépôts de pente, se trouvent fréquemment masquées par un manteau analogue d'âge grimaldien, mais les feuillets de croûte calcaire qui terminent l'accumulation tensiftienne permettent de séparer les deux ensembles (photo 3); il arrive aussi qu'au flanc de certaines montagnes, surtout dans les zones à tendance aride, le Tensiftien se présente comme une brèche périglaciaire affleurant directement en surface. Cependant les encroûtements cessent au-dessus d'une altitude qui oscille entre 1800 et 2200 m, ce qui rend plus difficile la détermination précise de la part de chacun des derniers pluviaux dans l'élaboration des formes et dépôts. Compte non tenu du critère de la croûte le Tensiftien des pentes se distingue du Grimaldien par le désordre et le calibre de son matériel, où les gros galets et la matrice fine sont juxtaposés et mêlés d'une manière apparemment capricieuse. Cependant des poches argileuses et des amas sphériques de cailloux anguleux ravinent dans ces formations des lits de galets diversement festonnés. Bref, la solifluction et les coulées boueuses paraissent avoir joué un rôle déterminant dans la mise en place du Tensiftien des versants (Dresch et Raynal 1953; Mensching 1955; Raynal 1956; Wiche 1953). Ce dernier se caractérise aussi par sa teinte claire et blanchâtre, en comparaison du Grimaldien voisin qui est rubéfié. Cette remarque vaut toutefois surtout dans un milieu régional donné; il s'agit de l'étage moyen des montagnes à climat atlantique (1200—2000 m). Par contre sur les versants orientaux du Moyen Atlas, où une nuance aride

s'affirme, une certaine rubéfaction apparaît en altitude dans le Tensiftien, tandis que le Grimaldien lui-même demeure relativement peu coloré (ocre-clair en général). Voilà donc d'autres sources de difficultés locales dans l'interprétation des coupes du terrain.

Une deuxième série de formes périglaciaires caractéristiques s'est développée au cours du Tensiftien sur les glacis-terrasses qui bordent les oueds des piedmonts de la zone atlantique. L'étage n° 2 à compter du bas, qui correspond précisément à l'avant-dernier pluvial, comporte des horizons alluviaux à limons ou lits de galets, dont la partie terminale a pu être localement perturbée par des plications de toutes sortes. Mais une formation colluviale à galets anguleux recouvre et ravine d'ordinaire cet ensemble: c'est elle qui, encroûtée, constitue la dalle protectrice de la terrasse (photo 4).

Enfin dans les vallées de la haute montagne il existe des glaciers rocheux que l'on peut rapporter à l'avant-dernier pluvial en raison de leur disposition dans l'emboîtement des formes et aussi de la structure de leur matériel (Dresch et Raynal 1953). La partie amont s'enracine au fond de cirques excavés dans les parois rocheuses de la région sommitale (photo 5). A l'aval ces accumulations passent à des cônes dont les coupes montrent une imbrication de dépôts lités et soliflués. Le glacier rocheux proprement dit tient à la fois de la moraine et de la coulée de pierres dans l'axe d'une vallée. Blocs à faces lisses et blocs entièrement anguleux s'y côtoient. Les exemples les plus spectaculaires sont localisés dans les vallées du versant oriental du massif du Bou Naceur (Moyen Atlas), entre 2700 et 2200 m d'altitude.

De l'analyse qui précède il ressort que le Tensiftien fut vraisemblablement plus froid et plus sec que le Grimaldien-Wurm. Plus froid puisque la limite inférieure du périglaciaire de l'époque se situe à 400—500 m en contrebas de celle des formes équivalentes du Wurm; plus froid, comme le montrent aussi les témoins de phénomènes de cryoturbation, qui semblent avoir nécessité la présence d'un sous-sol gelé de longue durée. Quant à la sécheresse elle a pu être l'obstacle majeur à la rubéfaction, sauf là où l'altitude compensait localement la déficience générale du climat de l'époque. Enfin les solifluxions massives prouvent que la couverture végétale était peu dense, même dans les parties basses de la montagne, c'est-à-dire à l'étage qui ne souffrait pas excessivement du froid.

#### PLEISTOCENE ANCIEN

##### Définitions

L'un des cinq pluviaux n'intéresse pas directement la présente étude du fait qu'il ne paraît pas avoir subi un climat rigoureux, c'est l'Amirien.

Il faut donc remonter jusqu'au Quaternaire ancien pour trouver une nouvelle collection de témoins d'une évolution géomorphologique à caractère péri-glaciaire. Du reste à ce moment-là crise climatique et crise tectonique vont de pair. Deux périodes froides et humides ont pu être distinguées dans le Pléistocène inférieur: Moulouyen et Salétien. Elles sont séparées par une phase d'assèchement prolongé, qui n'a peut-être pas pris tous les caractères d'un véritable interpluvial, mais qui coïncida avec le paroxysme du soulèvement épirogénique de l'Atlas, donc avec une efficacité accrue de l'érosion linéaire.

Les dépôts de ces deux périodes se localisent sur les plus hauts glacis-terrasses, aux niveaux n°s 5 et 4 au-dessus du fond des vallées. Selon les conditions tectoniques locales ces étages morphologiques se distinguent l'un de l'autre dans le paysage avec une inégale netteté: les dépôts du n° 4 peuvent ravinier ceux du n° 5 en se superposant à eux, ou encore s'y emboîter et se situer en contrebas de plusieurs dizaines de mètres. Le pluvial moulouyen a été rapporté au Villafranchien terminal; on y trouve de la *pebble culture* très primitive. Quant au Salétien il comporte de l'outillage du même type, mais plus évolué. Il n'est pas possible pour l'instant de préciser davantage les corrélations chronologiques de ces deux pluviaux (Choubert 1956; Choubert et al. 1956).

### Manifestations

Au cours des pluviaux du Quaternaire ancien l'activité morphogénétique fut intense et même brutale. Les manifestations du climat froid et humide ne se cantonnèrent pas seulement dans des massifs montagneux élevés, mais elles débordèrent largement sur les plaines et les piedmonts.

Le Moulouyen, ou Villafranchien récent, coïncide avec le passage du „chaud tertiaire au froid quaternaire”. Témoin le matériel caillouteux de l'époque, qui traduit un façonnement physique plus actif qu'auparavant. Les galets, débités à diverses reprises par cryoclastie, ont été inégalement émoussés suivant l'importance des phénomènes régionaux de ruissellement: en tout cas ils sont plutôt plats, ce qui permet très généralement pour une roche donnée de les distinguer des ovoïdes caractéristiques du Pliocène (Tricart et al. 1955). En montagne (Moyen Atlas et Haut Atlas oriental), au-dessus de 1500—1800 m, le Moulouyen a donné des dépôts de pente du type des *éboulis ordonnés* ou *grèzes nivales* (photo 6): ces formations comportent des gravillons calibrés, dépourvus de matrice fine et disposés en lentilles au milieu d'horizons de galets grossièrement lités et non émoussés. La mise en place paraît imputable à un ruissellement de fonte lente des névés saisonniers (Raynal 1960). Un grand nombre

de coupes (Itzer et Midelt, en Haute Moulouya) montrent que le haut de la série a été raviné par des coulées de solifluction qui emballent de la blocaille hétérométrique. Enfin une croûte compacte fossilise le tout: elle se compose, à la base, de concrétions discontinues, cassées et reprises en solifluction; la partie supérieure, par contre, comprend un empilement de feuillets minces qui présentent en coupe un aspect varvé. Il s'agit de croûtes de ruissellement et d'évaporation, formées à la surface d'un sol encore fréquemment humecté pendant une période de dessèchement et de réchauffement (Margat et al. 1954).

Les galets anguleux, que fournissait la désagrégation physique des roches compactes des montagnes, ont été transportés plus ou moins loin de leur origine par de puissantes nappes d'épandage, qui les ont étalés sur les piedmonts, où ils ont constitué du fait de leur transit un outil idéal de pédimentation. Une partie d'entre eux demeure sur place, plus ou moins consolidée par l'encroûtement (Dresch et Raynal 1953; Mensching et Raynal 1953; Raynal 1955, 1956; Wiche 1955). Ces témoins des processus d'érosion et d'accumulation du Moulouyen forment la couverture de gigantesques glacis, qui donnent aux paysages du Maroc semi-aride leur allure originale (Haute et Moyenne Moulouya, par exemple).

En résumé le Moulouyen a enregistré diverses fluctuations au cours de la péjoration du climat, qui marque le Quaternaire ancien: il y eut d'abord, selon toute apparence, une phase froide et humide, avec d'abondantes nivations; puis une tendance au dessèchement et à l'aridité se manifesta progressivement, non sans quelques à-coups saisonniers ou périodiques, qui engendraient des phénomènes de solifluction et des décharges torrentielles.

Durant le pluvial salétien les processus périglaciaires prennent de l'ampleur: là où des grèzes nivales d'étaient développées au Moulouyen, voici maintenant des coulées de blocailles qui enfouissent des versants entiers. Des massifs les plus élevés de la région atlasique débouchent sur les piedmonts de gigantesques cônes où un matériel au calibre démesuré, mais fortement hétérométrique, s'entasse sur des dizaines de mètres. Nombre de blocs atteignent plusieurs m<sup>3</sup>. Ainsi en va-t-il au pied du Jebel Ayachi (Haut Atlas oriental) et du Bou Naceur (Moyen Atlas). Ces masses détritiques ont été collectées sur les versants de vastes cirques, dont l'excavation date de cette époque et où devaient s'entasser des quantités considérables de neige, en raison de leur exposition sous le vent: ils s'ouvrent en effet au NE, à l'E et au SE. Le Rif abonde aussi en coulées de ce type: leur disposition dans un ensemble emboîté permet de les attribuer à un pluvial du Quaternaire ancien, postérieur toutefois au Moulouyen (Bab Taza). Toutes ces formations présentent des analogies frappan-

tes avec les *rañas* de la péninsule ibérique (Menschling et al. 1957; Raynal 1956).

Cependant, même en dehors du domaine périglaciaire proprement dit, le Salétien, beaucoup plus que le Moulouyen, tranche sur les autres pluviaux par le volume et le calibre du matériel qu'il a accumulé. Des coulées de blocs encombrent les versants des chicots quartzitiques de la Meseta occidentale, ravinant les formations du Villafranchien, jusqu'à une limite inférieure de 600—700 m dans le massif d'Oulmes et même jusqu'à 250—300 m à l'arrière-pays de Casablanca. Il y a là un délicat problème de géomorphologie climatique. Faut-il faire appel à une intense gélivation et à une solifluction de type périglaciaire dans des régions aussi basses, où le climat actuel est doux? Certes on a noté des exemples de lits de galets villafranchiens dont les éléments ont subi des craquelures caractéristiques et un débitage en lames plates, avant d'être partiellement ressoudés au Quaternaire moyen par une croûte calcaire ou ferrugineuse (Arbaoua, plateau de Salé). Il paraît certain que le Maroc Atlantique a connu au Quaternaire ancien des épisodes relativement froids. Cependant les coulées de blocaille quartzitique de la Meseta peuvent s'expliquer aisément, si l'on suppose que la décomposition tropicale du Tertiaire avait isolé des quartiers de roche saine dans une matrice à dominante argileuse. Dans un tel milieu une succession de copieuses averses au cours des premiers pluviaux a été capable d'engendrer des phénomènes de glissement en masse, d'autant plus que ces précipitations saisonnières et vraisemblablement brutales devaient s'abattre sur un sol mal protégé par une couverture végétale peu dense.

Il ne faut pas oublier, en effet, que même durant les périodes réputées humides du Quaternaire l'Afrique du Nord a subi un régime pluviométrique fort capricieux, marqué par des saisons contrastées, comme actuellement. Le principal changement qui intervenait par rapport aux interpluviaux c'était une augmentation sensible des masses d'eau (ou de neige) reçues en moyenne chaque année. Mais la répartition devait suivre à peu près la même courbe. Diverses variantes climatiques du type semi-aride, à fortes précipitations intermittentes, pouvaient fort bien coïncider chronologiquement avec des enneigements durables, voire pérennes en montagne.

#### Bibliographie

- Choubert, G. 1956 — Essai de corrélation des cycles marins et continentaux pléistocènes du Maroc. *C. R. Acad. Sci.*
- Choubert, G., Joly, F., Gigout, M., Marçais, J., Margat, J., Raynal, R. 1956 — Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc. *C. R. Acad. Sci.*

- Dresch, J., Raynal, R. 1953 — Note sur les phénomènes glaciaires et périglaciaires dans le Moyen Atlas, le bassin de la Moulouya et le Haut Atlas oriental. *Notes Serv. Géol.*, t. 8, Rabat.
- Gigout, M., Mortier, F., Raynal, R. 1957 — Sur le Quaternaire récent dans la région de la basse Moulouya. *C. R. som. Soc. Géol. France*.
- Margat, J., Raynal, R., Taltasse, P. 1954 — Deux séries d'observations nouvelles sur les croûtes du Maroc. *Notes Serv. Géol.*, t. 10, no 122, Rabat.
- Menschling, H. 1955 — Das Quartär in den Gebirgen Marokkos. *Pet. Mitt., Ergzh.*, Nr 256.
- Menschling, H., Raynal, R. 1954 — Fussflächen in Marokko. *Pet. Geogr. Mitt.*, Jhg. 98.
- Menschling, H., Raynal, R., Maurer, G. 1957 — Les phénomènes périglaciaires dans le Rif (Maroc). *V<sup>e</sup> Congrès INQUA*, Madrid—Barcelone.
- Pujos, A. 1955 — Réflexions sur la rubéfaction des roches et des sols dans le nord marocain et le Maroc oriental. *Soc. Sci. phys. nat. Maroc.*, *Travaux Sect. pédologie*.
- Raynal, R. 1955 — Oscillations climatiques et évolution du relief au cours du Quaternaire. *Notes Marocaines*, no 5.
- Raynal, R. 1956 — Les phénomènes périglaciaires au Maroc et leur place dans l'évolution morphologique. *Rapp. Comm. Morph. Périgr. UGI, Rio de Janeiro 1956; Biuletyn Peryglacjalny*, nr 4.
- Raynal, R. 1957 — Bodenerosion in Marokko. *Wiss. Ztschr. Univ. Halle*.
- Raynal, R. 1960 — Les éboulis ordonnés au Maroc. *Biuletyn Peryglacjalny*, nr 8.
- Tricart, J., Joly, F., Raynal, R. 1955 — Morphométrie des galets nord-africains. *Notes Serv. Géol.*, t. 13, Rabat.
- Wiche, K. 1953 — Klimamorphologische und talgeschichtliche Studien im Mgoun-gebiet (Hoher Atlas). *Mitt. Geogr. Ges. Wien*.
- Wiche, K. 1955 — Fussflächen im Hohen Atlas. *Österr. Akad. Wiss.*, 1.

#### DISCUSSION

J. Tricart: La très belle communication de M. R. Raynal ouvre des vues de grande importance pour la reconstitution des paléoclimats. Il semble que, dans bien cas, ceux-ci aient abouti à des conditions sensiblement différentes de celles qui sont réalisées aujourd'hui. Telles seraient les périodes pluviales marocaines.

La mise en place des épandages grossiers, mal usés et mal triés, très largement étalés des glaciis me semble devoir être due à des crues violentes et brusques, arrachant les débris disponibles sur les versants et les chassant jusque sur les piémonts. Les alluvions, à la différence de celles des fleuves, n'étaient pas soumises à un transport discontinu avec progression saccadée par courts bonds, encore moins à un transport par saltation avec forte usure et triage progressif. Des matériaux présentant les caractères décrits par M. Raynal se rencontrent dans toutes les accumulations de débâcle

où un transport très violent et en masse, effectué tout d'un coup du versant jusqu'à l'épandage a lieu.

De semblables crues, fréquemment répétées, supposent d'autres types de temps que de nos jours. Il faut admettre de très brusques fontes des neiges par redoux accentué, probablement accompagné de pluies tièdes. Sur des pentes raides, c'est à la suite de violentes oscillations de température accompagnées de fortes pluies provoquant la fonte de la neige que de telles crues se produisent. Un exemple catastrophique récent en est donné par la crue du Guil (Hautes-Alpes) en Juin 1957 (voir J. Tricart, *Rev. Géogr. Alpine*, 1958).

R. Raynal: Dans les accumulations de piémont réalisées du Maroc au cours des pluviaux le caractère de débâcle de fonte paraît d'autant plus évident qu'en raison de la latitude des quantités considérables de neige fondent rapidement sous un soleil chaud, même en hiver. C'est du reste ce que l'on observe encore à l'époque actuelle, après les précipitations neigeuses, dans le Moyen Atlas et le Rif; mais en interpluvial l'intensité de tous ces phénomènes demeure fort réduite et ne permet que des retouches locales et superficielles d'une morphologie fossile.

P. Birot: La belle communication de M. Raynal est au cœur du dilemme: périglaciaire ou semi-aride, qui se pose quand il s'agit de comprendre glacis d'érosion et d'épandage.

Pour les glacis d'érosion, le modèle idéal serait le suivant: une cryoclastie hivernale qui fournit les débris. Mais j'avoue mon embarras en ce qui concerne l'agent de transport: nappe boueuse alimentée par la fonte des neiges ou des averses brutales? Peut-être les deux à la fois, au printemps en régime de circulation méridienne qui favorise alternativement la fonte des neiges et l'inversion de l'air arctique déterminant les précipitations les plus brutales en Afrique du Nord.

En tous cas, il faut exclure l'idée d'un tjäle et l'été devait être chaud et sec. Pour les glacis inférieurs à 700—800 m le terme de *périglaciaire* lui-même pour caractériser le système d'érosion semble discutable. L'absence, indispensable, d'une végétation continue doit être due à la fois au froid de l'hiver et à la sécheresse d'un long été.

R. Raynal: 1° les termes *périglaciaire* et *semi-aride* ne me paraissent pas être ceux d'un dilemme, mais plutôt ceux d'une association dans le cas d'un pays comme le Maroc. Il existe une variété à tendance aride de la morphologie froide. Elle est caractérisée par une grande brutalité dans les oscillations thermiques et dans les précipitations, qui interviennent du reste sous les formes les plus variées.

2° Je suis entièrement d'accord avec M. Birot en ce qui concerne l'agent de transport. Une précision: les coulées boueuses prédominent à l'amont des glacis de l'Atlas Marocain, d'où la topographie bosselée de cette partie, tandis que le ruissellement diffus l'emporte dans les secteurs moyen et aval, d'où leur platitude et le litage relatif du matériel de leur couverture.

3° En-dessous de 700—800 m il est évident que l'on ne saurait parler d'un système d'érosion périglaciaire dans les pays d'Afrique du Nord. Il y a eu simplement, au cours des pluviaux du Quaternaire ancien, des phénomènes localisés de cryoclastie et de solifluction, surtout lorsque la nature de la roche s'y prêtait.

P. de Béthune désire faire remarquer que le caractère de dépôt d'averse signalé dans les interventions précédentes n'est pas spécifiquement interglaciaire. Il se souvient d'avoir été le témoin en janvier 1934 d'une coulée de boue, résultant d'averses violentes dans les San Gabriel Mountains granitiques au nord de Los Angeles (Californie méridionale) avec épandage d'un matériel très hétérométrique sur des kilomètres de distance.

R. Raynal: Une roche marno-argileuse, comportant des bancs plus solides, peut fort bien donner, après des averses d'une densité exceptionnelle, des phénomènes de solifluction ou des coulées de boue qui n'ont rien de spécifiquement périglaciaire. Au Maroc on constate ces faits, même à l'heure actuelle, dans le Rif. Mais dans le Moyen Atlas les massifs sont constitués par une armature de calcaires compacts, qui à basse altitude résistent fort bien aux précipitations brutales. Les cônes et glacis de piedmont que nous avons présentés se trouvent au débouché de montagnes qui ont comporté des glaciers rocheux et de véritables cirques; leurs flancs sont couverts d'éboulis ordonnés. Il y a donc là un milieu incontestablement froid, quoique semi-aride; et dans ce cas il est tout à fait légitime d'employer le terme *périglaciaire*.

J. Dylik: La présentation remarquable de M. Raynal me fait poser une question concernant le rôle des grèzes littées comme indicateur de la morphogénèse. Quels sont les processus correspondant à la formation considérée comme corrélative et quelles sont les formes du relief qui en résultent?

Selon les faits que j'ai eu l'occasion d'observer la position des grèzes littées et, en conséquence, leur rôle morphogénétique n'est pas toujours le même. Dans la vallée du Rhône aux environs de Valence M. Birot a bien voulu me montrer des grèzes sur un versant tellement raide que

sans doute il ne s'agit d'autre chose que d'éboulis. Cependant les localités où ce processus n'est pas acceptable sont beaucoup plus fréquentes et parfois on peut voir la formation discutée en relation avec des surfaces qui ne sont que faiblement inclinées. Je voudrais demander à M. Raynal si les grèzes litées au Maroc sont à lier au développement des versants donnant des glacis d'accumulation (équiplanation) ou plutôt à des glacis d'érosion (altiplanation).

R. Raynal: Les grèzes litées étudiées au Maroc se sont développées en corrélation avec des glacis d'accumulation. Des matériaux de même origine (débris de roches gélivées transportés à la fois par solifluction et ruissellement) couvrent un versant de montagne et le glacier de piedmont attenant. Cependant plus à l'aval il existe, mais dans certains cas seulement, une zone de transit qui correspond à une surface de glacier d'érosion. Enfin, plus à l'aval encore, le glacier se soude à la terrasse d'un cours d'eau.

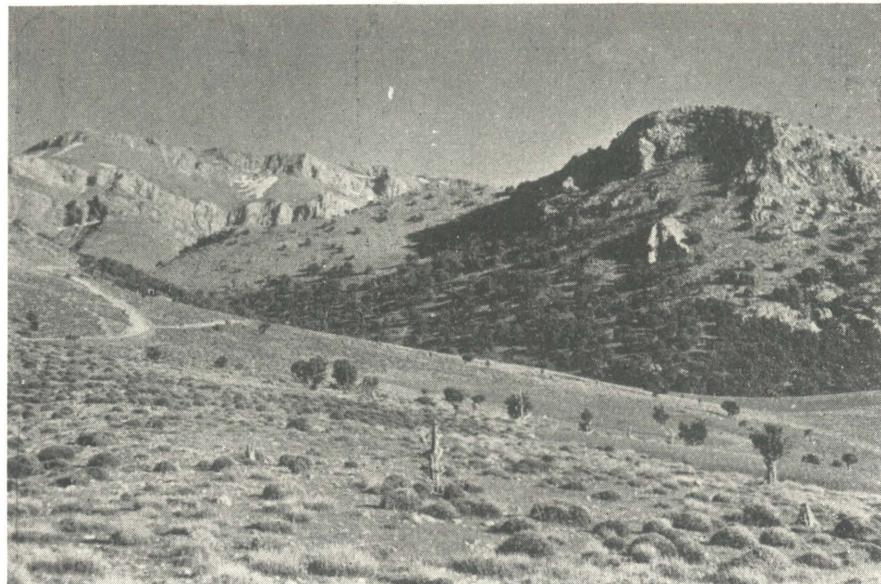


Photo 1. Passage (de gauche à droite) d'un versant couvert d'éboulis ordonnés à un glacis de piedmont, sur le massif du Jebel Ayachi (Haut Atlas oriental)



Photo 2. Fossilisation d'un dépôt caillouteux de période pluviale par une croûte feuilletée (piedmont d'Enjil, Moyen Atlas méridional)



Photo 3. Manteau de pente périglaciaire (solifluction et grèze) du Tensiftien: col du Zad, Moyen Atlas. Feuilllets de croûte calcaire; au-dessus, Wurmien peu épais (partie brune de la coupe)

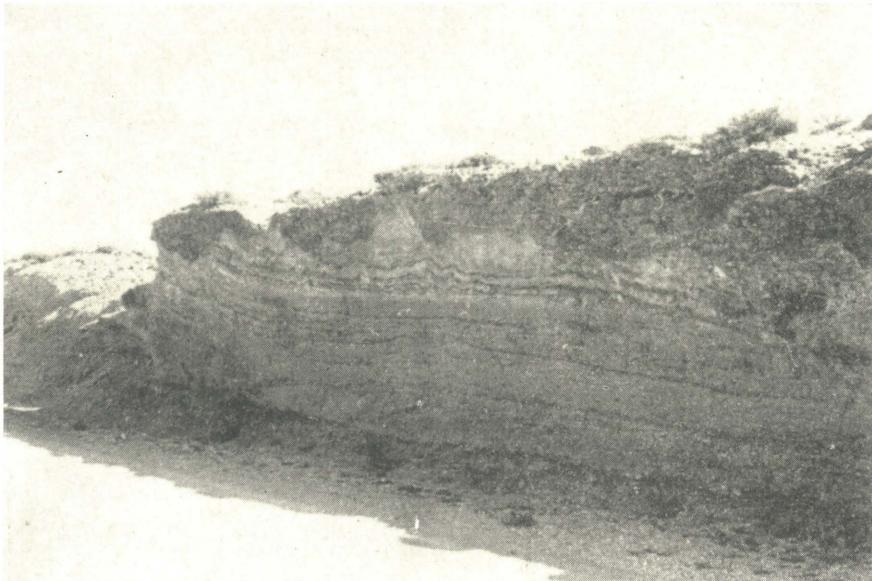


Photo 4. Plissements de cryoturbation et coulée de solifluction encroûtée sur la terrasse tensiftienne de l'oued Ansegmir (haut-bassin de la Moulouya)



Photo 5. Glacier rocheux tensiftien dans le massif du Bou Naceur

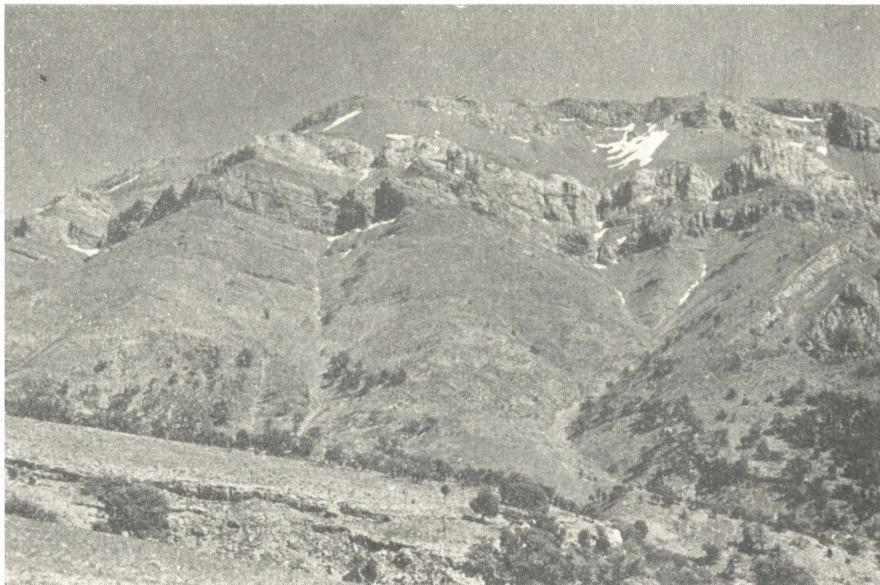


Photo 6. Grèze litée du Quaternaire ancien (Moulouyen) consolidée en dalle: massif du Jebel Ayachi (Haut Atlas oriental)

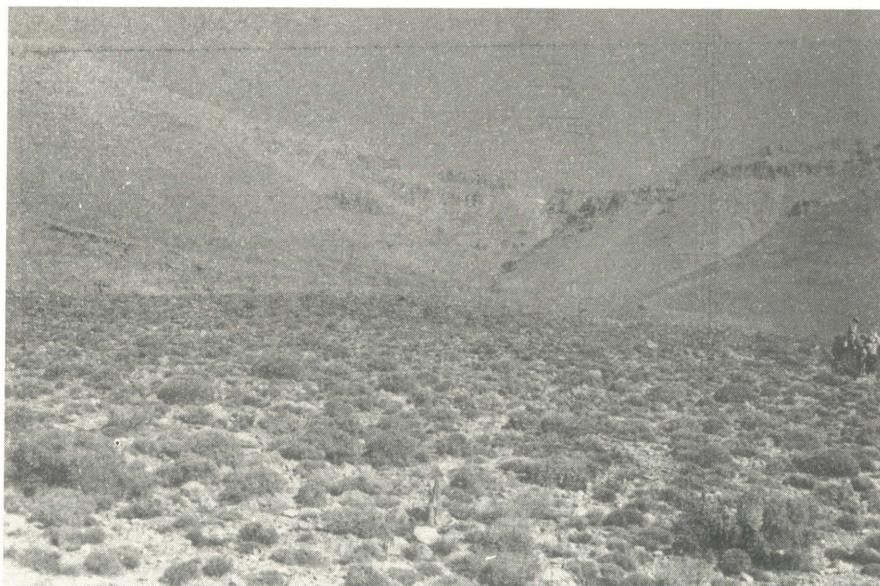


Photo 7. Coulée de blocaille du Quaternaire ancien (Salétien) dans le massif du Bou Naceur (Moyen Atlas oriental)