

Quelques réflexions sur le rôle des sols dans l'interprétation des variations bioclimatiques du Pléistocène marocain. ⁽¹⁾

par

A. RUELLAN

Pédologue, maître de recherches O.R.S.T.O.M.

Au Maroc, pays où presque tous les types de climats méditerranéens, xérothermiques, sont présents, depuis le saharien jusqu'à l'humide en passant par des domaines montagneux très froids, l'importance et la netteté des héritages pléistocènes sont souvent impressionnantes : les formes, les dépôts et les sols du Quaternaire post-villafranchien modèlent les paysages marocains et ne peuvent échapper aux observateurs avertis.

Ces observateurs ont été nombreux : la bibliographie concernant le Quaternaire marocain est abondante et la reconstitution chronologique et bioclimatique de cette période continue à être âprement discutée ; le point des problèmes posés a été fait récemment et il paraît donc inutile d'insister ici (Beaudet G., Maurer G., Ruellan A., 1967).

Il peut d'ailleurs paraître curieux que dans un domaine aussi privilégié, l'interprétation des faits reste encore souvent très hypothétique et, en conséquence, assez contradictoire d'un auteur à l'autre. Mais en fait, si les observations de terrain accumulées depuis quelques dizaines d'années sont nombreuses et fondamentales, on doit constater avec regret que ces observations essentiellement qualitatives n'ont été jusqu'à présent appuyées que par peu de données précises ; ainsi, des études d'interprétation assez sûre, telles les mesures sédimentologiques, les travaux paléontologiques et

préhistoriques à l'intérieur du pays, les datations absolues, les déterminations palynologiques, sont encore beaucoup trop rares.

L'utilisation de la pédologie dans cette étude du Quaternaire a été également très négligée. Soit parce que les pédologues se sont contentés trop souvent de procéder à l'inventaire des sols et à leur classification sans essayer de comprendre leur mode de formation, soit aussi parce que, dans les études géomorphologiques, sols et dépôts ont été trop souvent confondus.

Depuis une dizaine d'années cependant, le rôle des sols dans l'interprétation des variations bioclimatiques du Quaternaire marocain a fait l'objet d'une plus grande attention. On peut citer en particulier les travaux de A. Pujos (1957), J. Concaret et Ph. Mahler (1960), R. Raynal (1961), J. Wilbert (1961, 1962), A. Ruellan (1962, 1965, 1966). Les conclusions de ces auteurs sont d'ailleurs assez contradictoires et c'est une des raisons pour lesquelles il semble utile de faire ici le point, non pas tant des hypothèses avancées, mais des faits et des interprétations utilisées : l'interprétation des sols a des limites et ce sont ces limites qu'il faut essayer de préciser, il sera alors possible de dégager les hypothèses bioclimatiques qui paraissent raisonnables dans l'état actuel des connaissances (2).

(1) Communication présentée au VI^{ème} Congrès panafricain de préhistoire et de l'étude du Quaternaire (Dakar, décembre 1967), publiée avec l'accord de l'Association sénégalaise pour l'étude du Quaternaire.

(2) Je tiens à remercier mon ami G. Beaudet, géomorphologue, avec qui je collabore depuis de nombreuses années, et qui a bien voulu discuter avec moi le présent article ; le texte définitif de ce travail est le fruit de ces discussions.

En milieu méditerranéen, le rôle des climats actuels et de la végétation dans la formation des sols reste très discuté. Existe-t-il une zonalité climatique de la répartition des sols ? Les premiers pédologues ayant travaillé au Maroc l'ont affirmé : ils ont cru à une pédogénèse méditerranéenne rapide et essentiellement tribulaire des climats actuels. Par contre, entre les années 1950 et 1960, géomorphologues et pédologues quaternaristes ont été amenés à nier presque complètement ce rôle des climats actuels, estimant que l'énergie de ces climats était trop faible pour expliquer la formation des sols évolués que l'on trouve au Maroc d'après eux, la pédogénèse est actuellement pratiquement arrêtée, les sols évolués du Maroc étant pour la plupart fossiles et témoignant de climats quaternaires plus actifs, climats qui restent d'ailleurs à définir. Mais les recherches plus récentes permettent maintenant de nuancer ces hypothèses un peu trop « extrémistes ».

a) Le rôle attribuable aux climats dans la formation et la répartition actuelle des sols.

Quand, au Maroc, on met côte à côte une carte pédologique et une carte représentant les principales données bioclimatiques, on est obligé très souvent de constater que les corrélations sont difficiles à établir. Par contre, si cette comparaison est faite avec des cartes géologiques et géomorphologiques, les corrélations apparaissent évidentes et nombreuses : dans la formation des sols méditerranéens, l'influence des facteurs relief et roche-mère (propriétés physico-chimiques et âge des formations) est primordiale et vient très souvent masquer l'influence des facteurs climats et végétation.

C'est cependant à dessein que nous utilisons ici le verbe « masquer », un certain nombre de données démontrant en effet que le rôle du climat est loin d'être négligeable :

1°) Tout d'abord il est faux de dire qu'il n'existe aucune correspondance entre les cartes climatiques et pédologiques. Sur des cartes à petite échelle, au niveau de l'ensemble du Maroc, les corrélations peuvent même être très nettes : les sols lessivés (1) se cantonnent surtout dans les régions subhumides et humides, les sols rouges dans les zones semi-arides et subhumides, les sols isohumiques subtropicaux prennent une extension considérable sous les climats semi-arides et arides, les sols calcaires et les sols peu évolués se développent d'une manière progressive et parallèlement à l'aridification, le comportement morphologique des accumula-

tions de calcaire varie en fonction des zones climatiques ; tout ceci démontre que les sols ne sont pas indifférents aux variations climatiques ; il a même été montré que des corrélations climats-sols existaient à l'échelle d'unités géographiques assez réduites (Ruellan A., 1965).

2°) Si l'on a pu croire pendant longtemps à l'existence de grandes unités pédologiques typiquement méditerranéennes, tels les sols rouges ou les sols isohumiques subtropicaux, il semble que cette notion doive être maintenant assez profondément nuancée. Cependant, il reste que les sols des régions méditerranéennes, ceux du Maroc pour le moins, présentent tous dans le détail certaines propriétés qui les distinguent de sols comparables situés sous d'autres climats ; c'est en particulier le cas des structures. Il y a donc très probablement des processus pédogénétiques méditerranéens originaux, conséquences des caractères mêmes du climat xérothermique à hiver humide.

3°) Il est également bon de rappeler que, sur les formations quaternaires post-villafranchiennes (2), il n'a jamais été retrouvé au Maroc de sols à caractères typiquement tempérés ou tropicaux : pas de podzolisation sauf dans le Rif humide ni de ferralitisation. Si ce n'est pas sous un climat méditerranéen plus ou moins humide et plus ou moins chaud que les sols du Maroc se sont formés, on ne voit pas très bien ce que pouvaient être ces climats plus actifs qui auraient, d'après certains auteurs, présidé à leur genèse.

4°) Enfin, il faut encore souligner que l'étude des sols dans les régions où la végétation naturelle, essentiellement arbustive, a été conservée, démontre clairement que toutes les conditions y sont réunies, en particulier dans le domaine hydrique, pour qu'une évolution des sols s'y produise normalement. Or, il ne faut pas oublier que, du fait de l'action de l'homme, la végétation naturelle, climatique, du pays, qui fut probablement souvent très dense, a disparu dans une grande partie du Maroc, et souvent à une époque récente ; et il est certain que ce défrichement, responsable d'une aridification du climat, du moins au niveau du micro et du pédoclimat, limitant en particulier la pénétration de l'eau dans le sol, fausse nos idées sur l'importance de l'énergie climatique méditerranéenne.

Les sols du Maroc n'apparaissent donc pas comme totalement indépendants des climats actuels et on peut même admettre que, dans la mesure où bien des sols sont anciens ou évoluent depuis très longtemps, leur développement s'est réalisé sous des conditions climatiques voisines des conditions actuelles. Par ailleurs, et c'est ce qui est important pour l'étude du Quaternaire,

(1) Les dénominations pédologiques utilisées dans cet article sont celles de la classification française (G. Aubert, 1963).

(2) Dans ce texte nous utiliserons souvent le terme de Pléistocène pour désigner ces formations post-villafranchiennes.

il s'avère possible, en région méditerranéenne, de s'appuyer sur l'étude des sols pour essayer de définir ce que furent les milieux bioclimatiques du passé.

Tous les sols sont-ils cependant utilisables pour cette étude ? Certainement pas, et il faut au départ bien fixer les limites actuelles de la méthode.

b) Les principaux processus de formation des sols marocains.

Les processus de pédogénèse sont évidemment plus ou moins rapides et plus ou moins influencés par les conditions locales du milieu (topographie, roche-mère, nappe phréatique, etc...). Il est donc bon d'essayer de distinguer deux grands ensembles de processus.

1) Les processus rapides

Les types d'évolution que l'on peut regrouper sous cette dénomination sont essentiellement les suivants :

- l'évolution et la répartition de la matière organique ;
- la salinisation et l'alcalisation ;
- la vertisolisation ;
- certaines formes d'hydromorphie.

Ce qui caractérise donc tout d'abord cet ensemble de processus, c'est leur rapidité : on peut considérer qu'ils permettent la formation des sols en quelques centaines d'années, peut-être même dans certains cas, en quelques dizaines d'années seulement.

Deuxième caractéristique de ces processus, c'est leur indépendance relative par rapport aux conditions climatiques régionales. Ce sont des processus que l'on peut qualifier « d'azonaux », qui se développent essentiellement en fonction des autres facteurs de la pédogénèse et en particulier de ceux qui règlent le régime hydrique. Bien sûr l'halomorphie s'accroît souvent parallèlement à l'aridité ; les vertisols au contraire sont plus fréquents sous des climats plus humides ; et les faciès de l'hydromorphie varient également en fonction des climats. Mais il s'agit là de liaisons fragiles, d'utilisation dangereuse.

Enfin, troisième caractéristique de ces processus, c'est qu'ils sont souvent réversibles : les sols auxquels ils ont donné naissance peuvent disparaître très vite dès que les conditions locales se modifient ; l'abaissement du niveau d'une nappe phréatique, par exemple, entraînera la destruction des sols halomorphes ou l'élimination de certains caractères peu accentués de l'hydromorphie, élimination qui peut d'ailleurs s'accompagner d'un développement de la vertisolisation (voir à ce sujet les études de G. Bryssine dans la plaine du Rharb :

1965). Il en résulte que les sols marqués par ces processus sont très généralement des sols jeunes dont l'étude ne peut renseigner que sur l'évolution tout à fait récente des conditions locales. Si ces sols se sont formés tout au cours du Pléistocène, ce qui est très probable, ils ont été au fur et à mesure redétruits et on n'en retrouve aujourd'hui que de rares vestiges discutables (sauf, quelquefois, pour la vertisolisation).

En ce qui concerne l'évolution et la répartition de la matière organique, il faut rappeler qu'il s'agit là d'un processus particulièrement rapide, très sensible à de petites variations du couvert végétal. L'action plus ou moins récente de l'homme a donc pu profondément influencer l'orientation de ce processus. L'utilisation du profil organique des sols pour interpréter les conditions du milieu au cours des temps, même les plus récents, est donc particulièrement dangereuse, du moins dans l'état actuel des connaissances : peut-être qu'un jour, des études approfondies des éléments composant cette matière organique permettront de l'utiliser plus efficacement.

1) Les processus lents

Il s'agit là de processus qui semblent avoir nécessité pour pouvoir s'exprimer de très longues périodes, qu'il est difficile de chiffrer, mais que l'on peut quand même estimer à quelques milliers ou dizaines de milliers d'années.

En effet, les sols qui résultent de ces processus n'apparaissent plus comme indépendants des climats actuels et de l'âge des surfaces et dépôts sur lesquels ils se développent. Bien au contraire, on constate que le sens et le degré d'évolution de ces processus varient d'une part en fonction de la zonalité climatique actuelle, d'autre part en fonction de l'âge des formations pleistocènes sur lesquelles ils ont agi (les sols étant souvent d'autant plus évolués qu'ils sont plus anciens). Par ailleurs, les sols résultant ne se retrouvent que sur des aires qui sont morphologiquement stables depuis longtemps.

Il semble donc que ces processus n'aient pu se développer que lors de périodes biostatiques de longue durée et l'étude des sols qui en résultent peut être très précieuse pour l'interprétation des milieux bioclimatiques qui ont dû se succéder au cours du Pléistocène. C'est cette étude que nous allons maintenant brièvement aborder en considérant successivement les grands processus suivants :

- l'évolution du profil calcaire ;
- la rubéfaction ;
- l'évolution des minéraux argileux ;
- le développement de certaines formes d'hydromorphie.

Seuls seront étudiés les processus que nous venons de qualifier de lents, processus qui ne sont pas sous la dépendance exclusive des facteurs locaux et peuvent donc donner naissance à des sols « zonaux ».

a) L'évolution du profil calcaire.

Dans l'ensemble du Maroc, les roches-mères calcaires sont très fréquentes, et l'évolution de ce calcaire dans les sols peut donc être étudiée dans tous les domaines climatiques. Dans l'établissement du profil calcaire d'un sol, trois processus doivent être distingués :

- la décalcarisation des horizons supérieurs ;
- l'accumulation du calcaire dans les horizons moyens ;
- le concrétionnement et le durcissement de ce calcaire accumulé, c'est-à-dire essentiellement la formation des croûtes et des dalles calcaires.

1°) La décalcarisation des horizons supérieurs est essentiellement le résultat du lessivage vertical et, en tenant compte de l'influence fondamentale exercée par les roches-mères sur ce lessivage, on est amené à distinguer deux zones climatiques :

— Une zone correspondant à peu près aux milieux subhumides et humides actuels : on y constate un lessivage important du calcaire qui semble s'accroître avec le temps.

— Une zone correspondant aux autres régions, plus sèches : on y constate que la décalcarisation des horizons supérieurs diminue parallèlement à l'augmentation de l'aridité mais qu'elle n'augmente pas avec l'âge des sols. Dans une région donnée, dès que l'on se trouve sur des dépôts du Rharbien ou à la rigueur du Soltanien (1), les horizons supérieurs présentent un certain degré de décalcarisation par rapport à la roche-mère, décalcarisation qui ne s'accroît pas sur les niveaux plus anciens et ceci quelle que soit l'importance de l'horizon d'accumulation qui est situé dessous. Il semble donc qu'un équilibre soit rapidement atteint entre d'une part la descente des solutions qui lessivent, d'autre part l'arrivée latérale et la remontée capillaire et biologique du calcaire. Ou alors, si à certaines époques les horizons supérieurs ont été moins calcaires, cela ne se voit plus aujourd'hui.

(1) Rappelons que la chronologie la plus fréquemment utilisée actuellement pour le Quaternaire marocain est la suivante : Villafranchien, Moulouyen, Regréguien, Salétien, Amirien, Tensiftien, Soltanien, Rharbien. Après le Villafranchien, chacun de ces étages correspondrait à un cycle Pluvial-Interpluvial, la mise en place des dépôts date des Pluviaux ou des Interpluviaux selon les régions.

En tous les cas, et ceci est fondamental, l'étude de la teneur en calcaire des horizons supérieurs n'a pas permis jusqu'à présent d'entrevoir que des variations climatiques se soient produites au cours des périodes de pédogénèse du Pléistocène.

2°) L'accumulation du calcaire semble être essentiellement le résultat de ce que l'on peut rattacher au « lessivage oblique » (Beaudet G., Maurer G., Ruellan A., 1967) : le calcaire est apporté latéralement, d'une part par ruissellement superficiel puis pénétration dans le sol, l'eau déjà chargée en calcaire traversant les horizons supérieurs en ne les lessivant que très peu ou pas du tout, d'autre part par circulation diffuse dans les sols et les dépôts et par les nappes phréatiques.

La puissance et la morphologie des horizons d'accumulation de calcaire seraient donc presque totalement indépendantes des horizons de surface.

L'étude de la répartition de ces horizons d'accumulation permet les observations suivantes :

— L'accumulation du calcaire dans les sols est un phénomène qui a eu lieu dans toutes les régions du Maroc et qui se poursuit certainement encore presque partout.

— La puissance (épaisseur, richesse en calcaire) des accumulations varie peu en fonction des climats actuels. Dans les régions semi-arides et arides on constate cependant, parallèlement à l'aridification, une diminution de la profondeur de l'accumulation, et de son épaisseur. Puis quand on passe aux régions sahariennes, on assiste à une baisse assez rapide de l'importance des accumulations.

— Morphologiquement, il y a une certaine variation des accumulations en fonction des régions climatiques : on constate en effet que le concrétionnement et le durcissement, et en particulier le développement des croûtes et des dalles, augmentent nettement quand on va des régions humides vers les régions arides, l'extension maximum de ces carapaces se situant par exemple au NE dans la vallée de la moyenne et basse Moulouya, et au S entre Goulimine et Safi.

— Sur les dépôts rharbiens, l'accumulation du calcaire n'est visible que dans les régions assez humides et reste toujours très discrète. Sur les niveaux soltaniens, les horizons d'accumulation du calcaire se généralisent : cependant ils ne sont jamais très puissants (il n'y a pas de carapace) et disparaissent dans les zones trop arides. Puis c'est sur les dépôts du Tensiftien que les accumulations de calcaire s'étendent ; on assiste en particulier sur ces niveaux à un grand développement des carapaces calcaires qui, depuis le Villafranchien, étaient devenues plus rares : c'est en effet au fini-Villafranchien (Moulouyen), que nous n'abordons pas ici, que se sont déve-

loppées les accumulations et les carapaces les plus impressionnantes.

Tout ceci a-t-il une signification bioclimatique ?

On pourrait à première vue, étant donné les variations que l'on constate d'un étage quaternaire à l'autre, être tenté d'admettre des modifications climatiques importantes. Mais en réalité, nous pensons maintenant qu'il faut assez nettement distinguer les deux stades déjà cités ci-dessus :

— Tout d'abord l'accumulation proprement dite : elle s'est développée pendant des périodes de pédogénèse géomorphologiquement calmes, sous une végétation arbustive probablement assez dense, d'autant mieux et d'autant plus vite que le climat était plus humide et que la période fut plus longue. D'où un meilleur développement des accumulations dans les régions actuellement les plus humides. D'où également l'absence d'accumulation importante dans les dépôts soltaniens et rharbiens, ce qui prouve probablement que sous des climats voisins des climats actuels, les périodes de pédogénèse de ces époques ont été trop courtes. D'où, enfin, les accumulations importantes du Tensiftien qui peuvent s'expliquer par une période de pédogénèse qui a dû être de longue durée ; la présence de ces accumulations dans les régions actuellement très arides ou pré-sahariennes prouve cependant que le climat y fut alors plus humide (100 ou 200 mm de précipitations annuelles supplémentaires pouvant probablement très largement suffire).

— Si l'accumulation du calcaire a eu les possibilités de se développer d'une façon importante, jusqu'au stade de l'encroûtement, une deuxième phase va alors pouvoir commencer : c'est celle du durcissement, de la formation des croûtes feuilletées, des dalles et des pellicules rubanées. Il est possible que ce deuxième stade corresponde à une phase d'assèchement du climat : c'est la fin de la période de pédogénèse biostatique. On s'explique alors le grand développement de ces carapaces durcies dans les régions actuellement arides où les phases d'assèchement ont dû être nettement mieux marquées.

L'étude des profils calcaires apporte donc des renseignements très précieux. Elle confirme d'abord la permanence des climats méditerranéens depuis le début du Pléistocène, avec une régionalisation de ces climats homologue à ce que nous connaissons aujourd'hui. Mais cette étude fait aussi ressortir des petites variations climatiques dont les conséquences (où les amplitudes), faibles dans les régions assez humides, furent d'autant plus nettes que les climats étaient et sont encore plus arides.

b) La rubéfaction.

La rubéfaction reste certainement l'un des phénomènes pédogénétiques les plus caractéristiques du

monde méditerranéen, bien que celui-ci n'en détienne pas l'exclusivité. Cependant les mécanismes et les conditions d'existence du processus sont encore mal connus et laissent le champ à de nombreuses discussions. Tout ce que l'on sait de vraiment sûr, c'est que cette rubéfaction nécessite un bon drainage et des variations hydriques saisonnières assez importantes.

Au Maroc, la rubéfaction des matériaux affecte trois ensembles différents :

— Les sols rouges méditerranéens (rappelons qu'il s'agit de sols très rouges : 5 YR, 2,5 YR, 10 R ; à texture argileuse, décalcarisés dans les horizons A et B, un horizon d'accumulation du calcaire pouvant apparaître à la base du profil).

— Les sols sur alluvions et colluvions pléistocènes et il s'agit alors essentiellement des sols isohumiques subtropicaux.

— Les dépôts pléistocènes.

1) *Les sols rouges méditerranéens* se retrouvent actuellement au Maroc dans des zones climatiques variées. Il est cependant nécessaire de distinguer deux types essentiels de sols rouges :

— ceux formés sur roche-mère calcaire (ou dolomitique) : il s'agit toujours soit de roches très dures, très compactes, dont l'altération est lente, le calcaire libéré pouvant être lessivé immédiatement, soit de roches moins dures mais qui sont alors aussi moins calcaires et qui en s'altérant deviennent très perméables, permettant un lessivage rapide du calcaire (grès dunaires par exemple). Il n'y a pas de sols rouges sur calcaires tendres ou sur marnes : ce sont des roches qui s'altèrent trop vite, libèrent trop de calcaire qui n'a pas le temps d'être éliminé, le sol étant par ailleurs fréquemment rajeuni par une érosion assez active. Il n'y a pas non plus de sols rouges qui se soient développés sur des alluvions ou colluvions quaternaires calcaires (les sols sur calcaires tendres, marnes, colluvions et alluvions calcaires sont cependant souvent rubéfiés tout en restant calcaires : mais il s'agit d'un brun-rouge beaucoup moins intense).

— Ceux formés sur des roches-mères non calcaires qui sont le plus souvent des schistes, des grès et des basaltes quaternaires.

C'est dans les régions subhumides du Maroc, telles le Moyen Atlas ou la région de Rabat, que les sols rouges sur calcaire s'épanouissent et on les retrouve en abondance jusqu'à plus de 2 000 mètres d'altitude et sous des précipitations qui dépassent largement les 1 000 mm. Cependant, les sols rouges sur calcaire se retrouvent également dans des zones nettement plus sèches : il semble que l'on puisse prendre les isohyètes de 400-500 mm comme limite inférieure actuelle. Les précipitations ne sont pas le seul facteur d'humidité à considérer ; l'humidité de l'air, le rythme et l'amplitude des variations de cette humidité, sont certainement éga-

lement très importants ; ce qui compte d'ailleurs, c'est avant tout le pédoclimat et en particulier le régime hydrique du sol : il s'agit là d'un domaine qui est encore fort mal connu au Maroc.

Par contre, sur roches-mères non calcaires et en particulier sur schistes, les sols rouges se retrouvent actuellement dans des régions plus sèches : 250-300 mm de pluie sont suffisants et ces sols disparaissent, deviennent des sols bruns, dès que l'on dépasse 500 à 700 mm.

Le problème de l'âge des sols rouges méditerranéens, du climat qui a permis leur formation, de la pédogénèse actuelle de ces sols, tout ceci est encore abondamment discuté et il est bon de rappeler que de nombreux auteurs estiment que les sols rouges sont toujours des sols fossiles, témoignant d'un climat à tendance tropicale.

Il semble cependant que pour le Maroc cette opinion ne puisse être retenue. Rappelons en effet les points suivants (Ruellan A. : 1966, 1967) :

— Tout d'abord, nous venons de montrer qu'il existe une certaine zonalité climatique actuelle des sols rouges et ceux-ci sont fréquents non pas dans les zones les plus chaudes mais bien au contraire dans les zones actuellement les plus fraîches.

— Il faut ensuite également noter qu'il y a au Maroc toute une zone climatique, semi-aride, où sols rouges et sols isohumiques subtropicaux se côtoient, la répartition se faisant essentiellement en fonction des roches-mères.

— Troisième point : dans les sols rouges du Maroc, l'altération des minéraux primaires n'est pas totale et dans le domaine des argiles, la formation de la kaolinite reste un phénomène rare et limité (ceci semble d'ailleurs vrai pour tous les sols du Maroc, mis à part bien entendu les formations villafranchiennes que nous n'abordons pas ici).

— Rappelons enfin les travaux de M. Lamouroux au Liban (1965, 1966, 1967) qui tendent à démontrer la formation actuelle des sols rouges sur calcaire dans une région climatiquement comparable au Moyen Atlas.

Ces quelques faits, et bien d'autres qu'il n'est guère possible de détailler ici, rendent difficilement plausible l'origine tropicale des sols rouges méditerranéens du Maroc. Bien sûr, le domaine des sols rouges dans le monde à climat méditerranéen est très vaste et il convient d'admettre qu'une partie de ces sols sont fossiles ; mais il est préférable alors de considérer l'hypothèse suivante : dans les régions actuellement trop humides (saison sèche trop courte) et trop froides, le sud de la France par exemple, ces sols dateraient des interglaciaires quaternaires qui ont dû être plus chauds et à saison sèche plus marquée (l'interglaciaire Mindel-Riss semble même avoir été tropical dans tout le sud de l'Europe), le climat actuel ayant tendance à provoquer une « brunification » de ces sols ; au contraire,

dans les régions actuellement trop arides, ils dateraient des périodes pluviales qui ont dû être plus pluvieuses et un peu plus fraîches, la saison sèche d'été restant cependant très marquée : le climat actuel plus sec serait conservateur de ces sols quand la végétation reste suffisante pour limiter l'érosion. Mais entre ces deux zones, dans les régions semi-arides et subhumides, on peut penser que le phénomène se poursuit actuellement : plus ou moins vite et plus ou moins bien selon les roches-mères, les conditions topographiques, le couvert végétal, l'action de l'homme, plus ou moins vite également en fonction des variations fantaisistes des précipitations méditerranéennes.

Les sols rouges peuvent donc confirmer pour le Maroc les conclusions auxquelles l'étude du profil calcaire nous a déjà conduits : permanence, dans les régions semi-arides et subhumides, du climat méditerranéen pendant toutes les périodes de pédogénèse du Pléistocène ; petites variations climatiques ayant permis aux sols rouges de s'étendre vers des régions qui paraissent actuellement trop sèches pour leur formation.

2) Dans les sols isohumiques subtropicaux, la rubéfaction de l'horizon B est un phénomène caractéristique mais qui reste le plus souvent assez discret. Elle est le résultat à la fois de l'accumulation d'argile et d'une certaine « individualisation » des hydroxydes de fer dont le processus exact reste à préciser.

L'étude de ces horizons est intéressante car elle confirme la continuité des phénomènes de pédogénèse, la rubéfaction s'accroissant avec l'âge des sols. Elle confirme également la régionalisation des climats dès le début du Pléistocène, la rubéfaction étant maximum dans les régions semi-arides : elle diminue vers les régions plus humides où les horizons moyens s'assèchent plus difficilement ; elle diminue également vers les régions plus arides par manque d'humidité : comme pour l'accumulation du calcaire, la rubéfaction en pays semi-aride apparaît dans les sols datant du Soltanien, mais elle n'apparaît qu'au Tensiftien dans les régions très arides ; dans les régions pré-sahariennes elle n'apparaît même qu'assez rarement, les climats « rubéfiant » n'y ayant jamais régné ou pendant des périodes trop courtes.

3) Les alluvions et colluvions quaternaires des vallées et des plaines du Maroc sont souvent rubéfiées ; cette rubéfaction peut être plus ou moins intense mais il s'agit généralement d'une coloration assez uniforme qui affecte tout le dépôt.

Plusieurs auteurs ont admis qu'il pouvait s'agir là d'un phénomène pédologique : rubéfaction de l'ensemble du dépôt après ou pendant sa mise en place. Ceci paraît cependant difficilement acceptable : on ne voit pas comment, en pays méditerranéen, un dépôt a pu se rubéfier d'une façon uniforme sur plusieurs mètres d'épaisseur (plusieurs dizaines de mètres quelquefois) ; on imagine également avec peine que cette rubéfaction ait pu se produire au fur et à mesure de la mise en

place des alluvions et colluvions. En réalité, il est toujours facile de démontrer que lorsque les dépôts quaternaires sont rubéfiés, c'est qu'ils proviennent de l'érosion d'un matériau rubéfié situé dans les bassins versants : matériau rubéfié qui peut être soit une roche rouge (Trias ou Pontien par exemple), soit un sol rouge (sols rouges tropicaux du Pliocène et du Villafranchien ou sols rouges méditerranéens du Quaternaire).

Il s'agit donc de dépôts « lithochromes » et on constate qu'au Maroc ces dépôts se sont généralisés à deux époques du Pléistocène : à l'Amirien et au Soltanien ; on peut donc penser que les périodes de pédogénèse qui ont précédé la mise en place de ces dépôts furent particulièrement favorables, par leurs climats et leurs durées, au développement des sols rouges ou rubéfiés ; une de ces époques de pédogénèse fut d'ailleurs le pluvial Tensiftien qui, nous l'avons vu, fut caractérisé par un grand développement des accumulations de calcaire qui peut être justement en partie le corollaire de la formation des sols rouges.

Il faut enfin encore souligner que cette rubéfaction des dépôts amiriens et soltaniens diminue progressivement quand on va vers des climats de plus en plus arides.

c) L'évolution des minéraux argileux.

Sous ce chapitre, trois phénomènes importants doivent être considérés :

— Le fractionnement physico-chimique des minéraux argileux dans les horizons moyens, donnant naissance à une augmentation des taux d'argile. C'est un phénomène qui paraît assez caractéristique des milieux semi-arides et arides et qui s'est poursuivi tout au cours du Pléistocène, plus rapidement dans les régions semi-arides que dans les régions arides. Le processus exact est cependant encore très mal connu.

— Le lessivage avec accumulation dans un horizon B : il s'agit là d'un phénomène qui apparaît dès les régions arides et s'accroît vers les zones semi-arides et subhumides (les sols rouges lessivés sont très fréquents). L'étude de ce lessivage dans les sols marocains au cours du Pléistocène reste à faire. Mais il est bon de rappeler ici, car de nombreuses confusions ont déjà été faites à ce sujet, que ce lessivage est parfaitement compatible avec un climat typiquement méditerranéen aride, semi-aride ou subhumide : il s'agit alors d'un mouvement d'argile purement mécanique, pouvant se produire dans un milieu neutre ou basique, et qui est tout à fait favorisé par les alternances de sécheresse

et d'humidité (voir à ce sujet la description de la formation de l'horizon argillique dans la classification américaine, 1967).

— La transformation des minéraux argileux, sujet sur lequel de nombreuses études sont en cours actuellement. Il est encore trop tôt pour y voir clair mais on peut résumer l'essentiel en rappelant que la kaolinisation post-villafranchienne reste un phénomène rare, que la montmorillonite se développe assez facilement dès que les conditions de drainage ne sont plus très bonnes, que la vermiculite prend de l'importance dans les zones subhumides, que l'attapulgitite apparaît dans les sols des régions arides.

d) L'hydromorphie.

Dans la mesure où, sur certains niveaux quaternaires, on constate une généralisation importante des phénomènes d'hydromorphie, il devient alors possible d'attribuer à ce processus une signification climatique.

Au Maroc, deux exemples importants peuvent être cités :

1°) Le développement des pseudogleys et surtout des concrétions ferrugineuses dans les niveaux les plus anciens du Pléistocène du Maroc nord-occidental ; le phénomène a abouti souvent à la formation de dalles lenticulaires ferrugineuses. Ceci peut témoigner certainement de précipitations assez fortes mais n'y a-t-il pas également là les dernières traces de l'époque tropicale villafranchienne ? Il faut cependant préciser que cette hydromorphie est souvent la conséquence d'un lessivage important de l'argile qui, sur ces niveaux anciens, a donné naissance à une discontinuité brutale entre les horizons A et B et c'est alors ce lessivage qui peut être le témoin de l'humidité plus forte du Pléistocène ancien.

2°) Les dépôts amiriens des régions arides et semi-arides présentent souvent des caractères d'hydromorphie, ne serait-ce que l'individualisation très nette du calcaire en amas friables sur l'ensemble du dépôt : ceci indique probablement une mise en place des dépôts dans des conditions climatiques qui s'étaient maintenues assez humides.

Il ne faut cependant pas oublier que l'hydromorphie n'est pas rare sous climat méditerranéen : les précipitations souvent violentes sur des sols à structure très instable favorisent l'engorgement. L'interprétation climatique de l'hydromorphie doit donc rester très prudente.

III — SIGNIFICATION BIOCLIMATIQUE DES SOLS DANS L'ETUDE DU PLEISTOCENE MAROCAIN

L'étude des sols marocains, à condition qu'elle soit conduite en recherchant les liens qui existent entre ces sols, les climats actuels et les surfaces ou niveaux mor-

phologiques permet donc d'envisager sous un jour nouveau l'évolution bioclimatique du Pléistocène.

Les conclusions essentielles auxquelles on est en droit d'aboutir sont les suivantes :

1) Rappelons tout d'abord une fois de plus, car ceci est tout à fait fondamental, que les sols démontrent absolument la permanence d'un climat méditerranéen tout au cours du Pléistocène ; le Villafranchien fut la dernière époque tropicale du Maroc et il est intéressant de noter que l'on ne retrouve pas dans ce pays les sols tropicaux qui caractérisent l'Interpluvial Mindel-Riss du sud de l'Europe.

2) Dès le début du Quaternaire post-villafranchien, la zonation climatique du Maroc fut homologue de la zonation actuelle.

3) Les grands processus de pédogénèse, qui paraissent d'interprétation climatique valable, sont très probablement des phénomènes très lents : il semble donc que les sols qui en résultent n'ont pu se développer que pendant de longues périodes géomorphologiquement stables, biostatiques, et il faut admettre qu'au cours du Pléistocène, morphogénèse et pédogénèse n'ont généralement pas pu être simultanées, mais ont constitué des périodes successives. Bien entendu, ceci est à nuancer et en particulier il est évident que pendant les périodes de pédogénèse, l'évolution du relief s'est quand même poursuivie : mais l'érosion des sols était alors très limitée et localisée, le processus essentiel étant sur les pentes même très faibles, une reptation (creep) très lente des dépôts et des sols, le mouvement étant d'autant plus important que le climat était plus humide et que les différenciations pédologiques entre les horizons étaient plus accentuées (déplacement des horizons A par rapport aux horizons B).

4) Dans l'ensemble, ces périodes de pédogénèse semblent avoir été un peu plus pluvieuses qu'actuellement, surtout au Quaternaire ancien, et on peut même envisager un assèchement progressif de ces périodes au cours du Pléistocène : c'est ce qui expliquerait que peu à peu les effets de cette humidité plus forte n'apparaissent dans les sols que dans les régions actuellement les plus arides ; on doit en effet penser à la notion de « seuil » : 200 mm de pluviosité moyenne supplémentaire en région subhumide se feront certainement sentir dans les sols, mais 50 ou 100 mm pourront n'avoir que peu d'influence ; par contre ces mêmes 50 ou 100 mm en zone aride ou pré-saharienne peuvent tout bouleverser.

5) Presque partout au Maroc, la pédogénèse a dû se développer pendant les périodes pluviales, la morphogénèse étant essentiellement interpluviale. Cette idée doit cependant être largement nuancée :

— La durée des périodes de pédogénèse, c'est-à-dire des périodes pendant lesquelles le climat a été suffisamment humide et le couvert végétal suffisamment développé, a dû être d'autant plus courte que l'on va vers des régions qui sont actuellement plus arides.

— Par ailleurs, dans les régions suffisamment humides, les périodes de morphogénèse, conséquences d'un

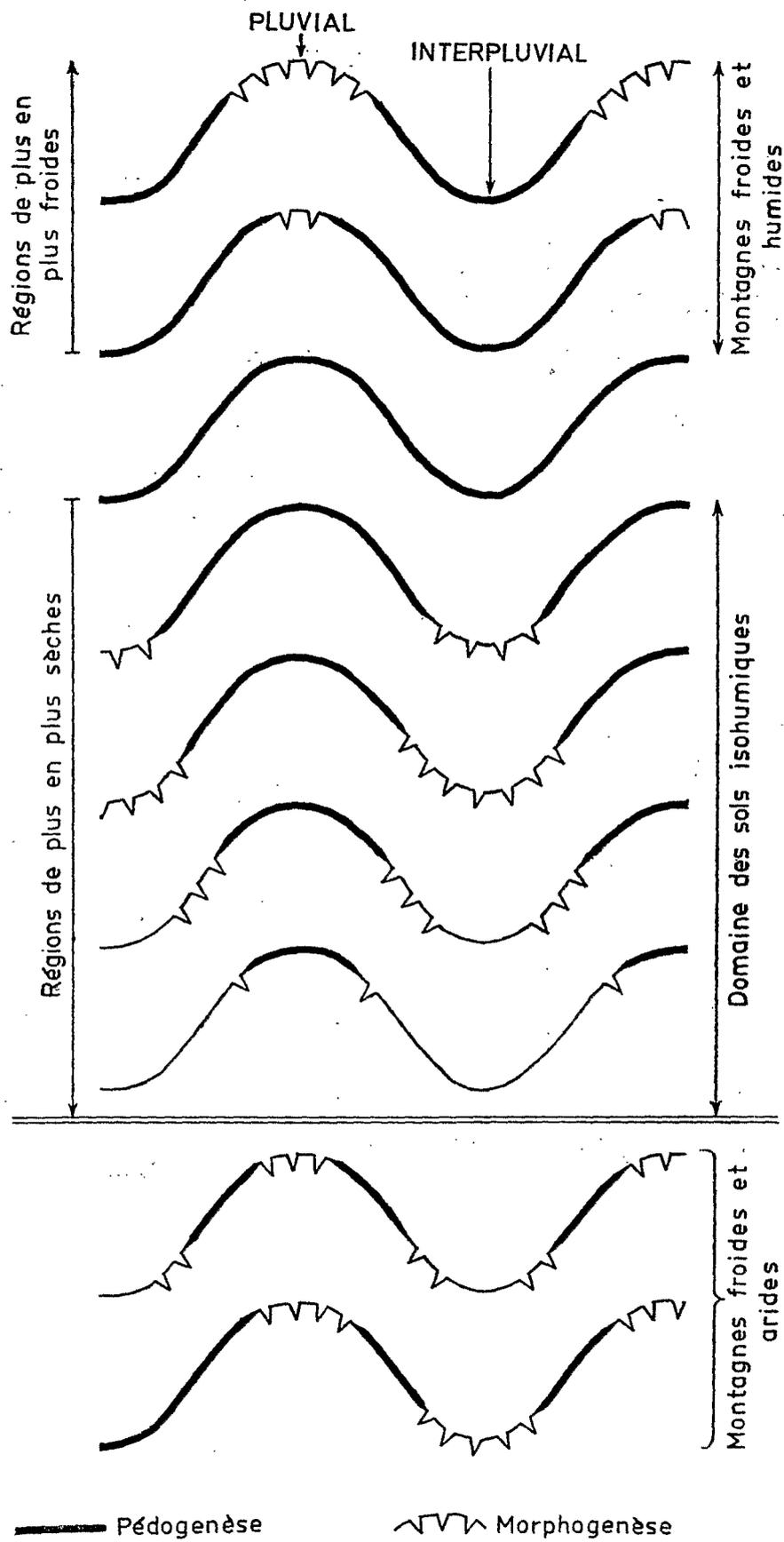
éclaircissement de la végétation, ont dû être essentiellement interpluviales, mais au fur et à mesure que l'on va vers des régions plus sèches, cette période s'allonge peut-être, puis se scinde en deux parties, l'une avant et l'autre après un Interpluvial au cours duquel il ne se passe presque plus rien ; puis enfin la durée de ces deux périodes qui se rapprochent du maximum pluvial se raccourcit de plus en plus (1).

— Dans les régions de haute-montagne, la morphogénèse a dû être essentiellement pluviale sous l'effet de l'action du froid ; la pédogénèse a dû alors se développer pendant l'Interpluvial qui restait toujours assez humide. Cependant entre les montagnes froides et les régions arides (sur le versant Saharien du Haut Atlas par exemple) une zone de transition a dû exister, zone où successivement le froid et la sécheresse ont limité la pédogénèse qui n'a donc pu se développer que pendant des périodes intermédiaires entre les maximum pluviaux et les interpluviaux. Par contre, entre ces montagnes froides et les régions subhumides, dans le Moyen Atlas par exemple, il existe une zone humide où ni le froid, ni la sécheresse n'ont jamais été assez violents pour détruire la végétation : ce sont des zones où la pédogénèse ne s'est jamais arrêtée et où la morphogénèse fut toujours ralentie (il n'y a pas de piedmont post-villafranchien en aval de la corniche ouest du Moyen Atlas). L'ensemble de cette interprétation est résumé dans la figure ci-jointe.

6) Tout ceci doit, bien entendu, encore être nuancé d'un Pluvial à l'autre. Il faut en particulier souligner que la durée des Pluviaux connus s'est progressivement raccourcie : il en fut donc de même des périodes de pédogénèse. Rappelons d'autre part que, vu les croûtes calcaires, on peut admettre qu'après le fini-Villafranchien qui fut peut-être très sec, le premier Interpluvial très marqué fut celui qui suivit le Tensiftien.

7) Enfin il n'est pas inutile de souligner de nouveau qu'actuellement, mises à part les régions très arides, la pédogénèse se poursuit partout où la végétation naturelle n'a pas été détruite par l'homme, la morphogénèse étant alors ralentie. On peut donc admettre que les périodes interpluviales furent plus arides qu'actuellement et que nous ne sommes pas en ce moment en pleine période interpluviale.

(1) Rappelons que l'ensemble de ces hypothèses est encore très discuté, en particulier pour les régions arides (Moulouya, Tafilalt) où d'après plusieurs auteurs, R. Raynal (1961) et F. Joly (1962) en particulier, la morphogénèse et la mise en place des dépôts ne peut être que pluviale car ce sont des phénomènes qui nécessitent une quantité d'eau importante : le passage continu entre les formations périglaciaires des montagnes et les voiles des glaciés confirmerait cette hypothèse. Mais, dans cette optique, le problème de la formation des sols, éludé par ces auteurs, n'est pas résolu : ces sols sont évolués et ont donc aussi nécessité de l'eau et de la végétation. Par ailleurs ils sont forcément postérieurs à la mise en place des dépôts. Faut-il alors imaginer que les interpluviaux ont été suffisamment humides, plus humides qu'actuellement ? cela semble difficile.



Schématisation de la succession morphogénèse-pédogénèse au cours d'un cycle Pluvial-Interpluvial dans différentes régions du Maroc.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G. (1963) : Classification pédologique utilisée par les pédologues français. *Cah. Péd. O.R.S. T.O.M.* ; 1 ; 3 ; pp. 1-7.
- BEAUDET G., MAURER G., RUELLAN A. (1967) : Le Quaternaire marocain ; observations et hypothèses nouvelles. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.* ; Vol. IX, fasc. 4 ; pp. 269-309.
- BOULAIN J. (1957) : Etude des sols de la plaine du Chelif. S.E.S. ; Alger ; 582 p.
- BOULAIN J. (1961) : Facteurs de formation des sols méditerranéens. *Sols africains* ; Vol. VI ; n° 2-3 ; pp. 249-272.
- BRYSSINE G. (1965) : Etude des propriétés physiques des tirs du Rharrb. *Cah. Rech. agron. Maroc* ; n° 20 ; pp. 87-279.
- CONCARET J. et MAHLER PH. (1960) : Note sur les paléosols du Haouz de Marrakech et leur importance agronomique. *Soc. Sci. nat. et phys. Maroc ; Travaux Sect. pédol.* ; t. 13-14 ; pp. 197-202.
- JOLY F. (1962) : Etudes sur le relief du Sud-Est marocain. *Trav. Inst. scient. chérif. ; Série géol. et Géogr. phys.* ; n° 10 ; 578 p.
- LAMOUREUX M. (1965) : Observations sur l'altération des roches calcaires sous climat méditerranéen humide (Liban). *Cah. Péd. O.R.S.T.O.M.* ; 3 ; 1 ; pp. 21 à 41.
- LAMOUREUX M. (1966) : A propos de la formation des sols rouges méditerranéens sous climat humide et sub-humide du Liban. Conf. de Pédol. médit. ; Madrid ; sept. 1966.
- LAMOUREUX M. (1967) : Contribution à l'étude de la pédogénèse en sols rouges méditerranéens. *Science du sol* ; 1967/2 ; pp. 55-86.
- PUJOS A. (1957) : Terres rouges, noires et grises (problèmes de coloration et de datation des sols méditerranéens étudiés en Afrique du Nord). *Soc. Sci. nat. et phys. Maroc ; Trav. Sect. pédol.* ; t. 12 ; pp. 69-85.
- PUJOS A. et RAYNAL R. (1959) : La géomorphologie appliquée au Maroc. *Rev. Géomorph. dyn.* ; X° année ; n° 5-12 ; pp. 103-105.
- RAYNAL R. (1961) : Plaines et piedmonts du Bassin de la Moulouya. Faculté des Lettres, Rabat ; 573 p.
- RUELLAN A. (1962) : Utilisation de la géomorphologie pour l'étude pédologique au 1/20 000° de la plaine du Zebra (Basse Moulouya). *Rev. Géogr. Maroc* ; n° 1 et 2 ; pp. 23-30.
- RUELLAN A. (1965) : Le rôle des climats et des roches sur la répartition des sols dans la Basse-Moulouya. *C.R. Ac. Sci.* ; t. 261 ; pp. 2379-2382.
- RUELLAN A. (1966) : Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc. Conf. de Péd. médit. ; Madrid ; sept. 1966.
- RUELLAN A. (1967) : Conférence sur les sols méditerranéens ; compte rendu de l'excursion en Espagne et au Portugal. *Bull. bibl. de Péd. O.R.S. T.O.M.* ; 16 ; 1 ; pp. 8-21.
- RUELLAN A. (1967) : Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc. *Cah. O.R.S.T.O.M. Série Pédologie* ; Vol. V ; n° 4 ; pp. 421-462.
- WILBERT J. (1961) : Le Quaternaire dans les Doukkala. *Notes marocaines* n° 16 ; pp. 5-30.
- WILBERT J. (1962) : Deux exemples de relations entre la pédologie et géomorphologie au Maroc. *Rev. Géogr. Maroc* ; n° 1-2 ; pp. 31-35.
- X.X. (1967) : Supplement to Soil Classification System (7th Approximation). Soil Survey Staff ; Soil Conservation service ; U.S. Department of Agriculture ; mars 1967.

RÉSUMÉ

D'après l'étude de certains processus de pédogénèse qui se sont poursuivis tout au cours du Quaternaire (évolution du profil calcaire, rubéfaction, évolution des minéraux argileux), des hypothèses nouvelles peuvent être émises sur la paléoclimatologie du Pléistocène marocain :

1°) Tout au cours du Pléistocène, les climats furent de type méditerranéen ; le Villafranchien fut la dernière époque tropicale du Maroc.

2°) Dès le début du Pléistocène, la zonation climatique du Maroc fut homologue de la zonation actuelle.

3°) Les processus de pédogénèse cités ci-dessus sont des phénomènes très lents : les sols qui en résultent n'ont donc pu se développer que pendant de longues périodes géomorphologiquement stables, biostatiques, et il faut admettre qu'au cours du Pléistocène, morphogénèse et pédogénèse n'ont pas pu être simultanées, mais se sont développées au cours de périodes successives.

4°) Dans l'ensemble, les périodes de pédogénèse semblent avoir été un peu plus pluvieuses qu'actuellement, surtout au Quaternaire ancien, et on peut même envisager un assèchement progressif de ces périodes au cours du Pléistocène.

5°) Presque partout au Maroc, la pédogénèse a dû se développer pendant les périodes pluviales, la morphogénèse étant essentiellement interpluviale. Cette idée doit cependant être nuancée en fonction des zones climatiques et d'un Pluvial à l'autre.

6°) Actuellement, mises à part les régions très arides, la pédogénèse se poursuit partout où la végétation naturelle n'a pas été détruite par l'homme, la morphogénèse étant alors ralentie. On peut donc admettre que les périodes interpluviales furent plus arides qu'actuellement : nous ne sommes pas en ce moment en pleine période interpluviale.

بعض الآراء حول دور التربة في تفسير التغيرات المناخية

في المغرب خلال البليوستوسين

نستطيع الآن عرض نظريات جديدة عن المناخ القديم في المغرب خلال البليوستوسين وذلك اعتمادا على دراسة بعض عمليات تكوين التربة التي استمرت طوال الزمن الرابع (تطور القطاع الكلسي ، احمرار التربة ، تطور المعادن الصلصالية) .

(1) تنتمي أنواع المناخ التي كانت سائدة طوال عصر البليوستوسين الى نوع مناخ البحر المتوسط ، وبذلك تكون فترة الفيلافرايشيان آخر فترة مدارية في المغرب .

(2) يكاد يشبه التقسيم المناخي للمغرب منذ بداية البليوستوسين التقسيم الحالي .

(3) تتميز عمليات تكوين التربة الأنفة الذكر ببطئها الشديد ، والنتيجة المحتمومة أن التربات الناجمة عنها استغرق تكوينها فترات طويلة وهادئة جيومورفولوجيا وتحت غطاء نباتي . والثابت أن النشاط الجيومورفولوجي وتكوين التربة عمليتان لم تحدثا في آن واحد ولكن كانت احدهما تلي الاخرى .

(4) يبدو أن فترات تكوين التربة كانت أوفر أمطارا نوعا عما هي عليه الحال الآن ، ولا سيما بالنسبة للزمن الرابع القديم ، ولربما قلت تدريجيا أمطار هذه الفترات خلال البليوستوسين .

(5) يتفق تكوين التربة في كل جهات المغرب تقريبا والادوار الممطرة ، بينما اقتصت بالنشاط الجيومورفولوجي الفترات التي تخللت الادوار الممطرة والتي شج فيها المطر نوعا . ومع ذلك لا ينبغي تطبيق هذه القاعدة بحرفيتها ، بل يتعين الاخذ في الاعتبار نوع المنطقة المناخية من ناحية ، والدور الممطر ذاته من ناحية أخرى .

(6) وباستثناء المناطق الجافة استمر تكوين التربة في الوقت الحاضر في الجهات التي لم يخرب الانسان نباتها الطبيعي اذ فيها يتباطأ النشاط الجيومورفولوجي . ونستطيع أن نسجل أن الفترات التي تخللت الادوار الممطرة كانت أكثر جفافا مما هي عليه الحال الآن . وعلى هذا الاساس لا يمكن اعتبار الفترة الحالية فترة تتوسط فعلا دورين ممطرين .

SOME CONSIDERATIONS ON THE PART TAKEN BY THE SOILS INTERPRETATION OF THE BIOCLIMATIC VARIATIONS DURING THE MOROCCAN PLEISTOCENE AGE

From the study of certain pedogenetic developments which occurred during the Quaternary (evolution of the calcareous profile, rubefaction évolution of argileous minerals) new assumptions can be put forward on the palaeoclimatology of the moroccan Pleistocene period.

1 — During the entire Pleistocene Age climates were of the mediterranean type ; the Villafranchian period was the last tropical era of Morocco.

2 — From the outset of the Pleistocene age the delimitation of climatic zones in Morocco was similar to the present one.

3 — The development of the pedogenesis previously mentioned are very slow phenomena : the soils which arose from them could therefore spread out only during long geomorphologically stable biostatical periods, and it must be admitted that during the Pleistocene age morphogenesis and pedogenesis could not be simultaneous, but spread out over successive periods.

4 — On the whole the periods of pedogenesis seem to have been slightly more rainy than at present time, especially during the Ancient Quaternary, and one can even envisage a progressive drying up of these periods during the Pleistocene age.

5 — Almost everywhere in Morocco pedogenesis must have developed during spells of rain, the morphogenesis being mainly interpluvial. However this idea has to be modified depending upon climatic zones and from one spell of rain to another.

6 — At the present time, putting aside very arid regions, pedogenesis wherever is developing where the natural vegetation has not been destroyed by man, morphogenesis being then slowed down.

It may therefore be supposed that the interpluvial periods were more arid than at present time ; we are not at this moment in a fully interpluvial era.

A. Ruellan

Maître de recherches O.R.S.T.O.M.

**QUELQUES REFLEXIONS SUR LE ROLE DES SOLS
DANS L'INTERPRETATION DES VARIATIONS BIOCLIMATIQUES
DU PLEISTOCENE MAROCAIN**