

PROVISoire

Ped

LE ROLE DES CLIMATS ET DES ROCHES
DANS LES PEDOGENESES EN
BASSE-MOULOUYA

par A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM
Office National des Irrigations

O. R. S. T. O. M.
Collection de Référence

n° ~~B~~ 1279

Communication faite à la réunion de la
Section de Pédologie de la Société des
Sciences Naturelles et Physiques du MAROC.

B E R K A N E
22 à 24 Novembre 1963

Dans les plaines de la Basse-Moulouya (Trifafa, Zebra, Bou-Areg, Gareb), l'étude :

- des roches-mères d'une part, c'est à dire des limons quaternaires ;

- des sols développés sur ces limons, d'autre part ;

fait ressortir une liaison assez troublante entre leurs répartitions et la répartition actuelle des climats. Liaison troublante car à une variation relativement faible des climats correspond souvent une variation importante des caractères fondamentaux des sols. Cette liaison est cependant beaucoup moins troublante si, sortant des plaines, on va un peu voir ce qui se passe dans les montagnes, souvent très hautes, qui encadrent ces plaines : c'est en effet de l'érosion de ces montagnes que proviennent les limons quaternaires des plaines, érosion qui généralement n'a pas agi directement sur les roches, mais sur des sols qui se sont formés dans les produits d'altération de ces roches ; sols dont les principaux caractères dépendent à la fois, de la pétrographie, de la topographie (qui conditionne en particulier l'érosion, les micro-climats et les pédo-climats) et surtout de la climatologie de ces montagnes.

L'étude détaillée des sols des plaines impose une deuxième évidence (A. RUBINIAN, 1962) :

- dans une zone climatique donnée ;
- dans des conditions topographiques identiques ;
- sur des limons quaternaires provenant de l'altération d'une même roche-mère ;
- et en tenant compte de l'influence imprimée aux sols par les caractères propres aux limons des différentes époques quaternaires (caractères qui sont les conséquences des climats des pluviaux qui présidèrent à leurs formations, climats qui furent différents d'un pluvial à l'autre) ;

les sols sont les mêmes, appartiennent au même groupe ou sous-groupe d'évolution pédologique, quelque soit l'ancienneté des dépôts sur lesquels ils se développent, c'est à dire généralement, quelque soit l'époque à laquelle ces sols ont commencé à évoluer : mais leur évolution est d'autant plus accentuée que leur point de départ est plus ancien.

On en arrive alors à formuler, les deux hypothèses suivantes :

1^o) Sinon tout au cours du quaternaire, du moins depuis le quaternaire moyen, les climats qui ont régné pendant les périodes stables au cours desquelles les sols ont évolué, ont toujours été les mêmes.

2^o) Ces climats, dont j'essayerai tout à l'heure d'ébaucher les principaux traits, sans être identiques aux climats actuels, ont probablement toujours eu une répartition identique, parallèle à la répartition actuelle.

Voyons maintenant les choses un peu plus en détail.

Dans cet exposé qui ne concernera que les plaines du Zebra et des Triffa que je connais beaucoup mieux que les deux autres plaines, j'aborderai successivement les points suivants :

1^o) Une description rapide du cadre montagneux : j'insisterai uniquement, connaissant encore très mal ces montagnes, sur les principaux caractères pétrographiques, et sur certains éléments de la topographie que me semblent importants.

2^o) Je résumerai ce qui est connu des climats actuels, dans les plaines et dans les montagnes.

3^o) Je décrirai les principaux sols de la région.

4^o) J'essayerai d'interpréter les pédogénèses, d'en déduire le rôle qui revient :

- à la pétrographie
- à la topographie
- aux climats : quel fut le rôle des climats des plaines; quel fut celui des climats des montagnes ; quels furent ces climats ?.

I. - LE CADRE MONTAGNEUX

Les quatre plaines de la Basse-Moulouya ne forment en réalité que deux dépressions synclinales parallèles orientées WSW - ENE, une seule de ces dépressions appartenant vraiment au bassin de la Moulouya (Zebra - Triffa).

Ces deux dépressions sont d'une part ouvertes au Nord sur la mer, d'autre part bien délimitées, bien encadrées par des massifs montagneux plus ou moins importants.

Ces massifs montagneux sont :

- Au Sud, séparant la plaine du Zebra et la plaine des Triffa du couloir de Taourirt - Oujda, la chaîne des Beni Bou Mahiou - Beni Snassen, très massive, très large, souvent très haute. Cette chaîne est orientée WSW - ENE.

- Plus au Nord, avec la même orientation, séparant l'axe synclinal Zebra-Triffa de l'axe synclinal Gareb-Bou-Areg, la chaîne des Kerker - Kebdana. Elle est nettement plus étroite et moins élevée.

- Enfin, limitant au Nord la plaine du Gareb et à l'Ouest celle du Bou-Areg, la petite chaîne des Beni-Bou-Ifrou, orientée SW-NE, relayée au Nord par le Massif Volcanique du GOUROUGOU

Voyons quels sont les principaux traits topographiques et pétrographiques des deux chaînes limitant les plaines du Zebra et des Triffa.

A.- Les Beni Bou Mahiou- Beni Snassen

C'est un vaste anticlinal jurassique, traversé à l'Ouest par l'Oued Moulouya qui suit une énorme fracture orientée SW - NE.

Ce massif est très nettement scindé^{en} deux parties fondamentalement différentes, la limite étant une faille NW - SE située un peu à l'Est de Taforalt.

1°) A l'Est de cette faille, le coeur du massif est un batholite granitique, entouré de schistes et quartzites primaires, puis par le Permo-Trias constitué essentiellement par des bancs d'argile rouge, des coulées de basaltes doléritiques, et un peu de dolomies calcaires : il s'agit donc essentiellement de roches non calcaires. Ces formations ont été profondément entaillées par l'érosion.

Au-dessus et entourant ce coeur primaire et triasique, vient le Lias inférieur et surtout le Lias moyen (Domérien) plongeant au Nord vers la plaine des Triffa. Ce Domérien, très épais (200 m) est formé de calcaires très durs plus ou moins dolomitiques. C'est ce Domérien qui forme tous les hauts sommets du massif qui sont parmi les plus élevés de toute la région : de l'Est vers l'Ouest on a :

- d'abord une série de sommets assez bas : 600 m à proximité de l'ALGERIE, 800 à 1000 m plus à l'Ouest ;

- puis le massif du J. FOURHAL qui culmine à 1532 m ;

- enfin une série de sommets qui oscillent entre 900 et 1100 m.

D'autre part, et ceci est très important, c'est ce Domérien qui forme toutes les pentes qui descendent vers la plaine des Triffa, pentes assez fortes (20 à 30 %) mais généralement très régulières : je pense qu'une grande partie des limons de la zone centrale et de la zone Est de la plaine des Triffa, en particulier les limons rouges soltaniens sur lesquels se sont développés les sols châtaîns très argileux, proviennent de l'altération de ces calcaires dolomitiques très durs, et non, comme l'a suggéré HEUSCH (1961) de l'érosion du Primaire et du Trias, érosion qui est certainement très importante mais dont les produits semblent avoir été en grande partie dégagés avant le quaternaire (l'étude que je poursuis actuellement sur les dépôts quaternaires des vallées des Beni Snassen donnent à ce sujet de précieux renseignements : altitude de la base de ces dépôts

par rapport au fond actuel de ces vallées et composition de ces dépôts), ce dégagement s'étant essentiellement produit dans deux directions bien déterminées : par l'Oued Cherraa à l'Ouest, par l'Oued Kiss à l'Est.

Au-dessus de ce Domérien, mais n'apparaissant, sur le versant Nord, qu'au pied du massif, il y a des marnes et marno-calcaires du Lias supérieur et du Dogger, puis, après une étroite dépression de piedmont, une ligne de collines du Jurassique supérieur au Nord de laquelle commence véritablement la dépression des Triffa. Ce jurassique supérieur comporte essentiellement des marnes, des grès et des calcaires.

2°) A l'Ouest de la faille, deux faits sont à remarquer :

- Tout d'abord le massif perd progressivement de l'altitude. Si près de Taforalt les sommets culminent encore à plus de 1100 m, près de la Moulouya et à l'Ouest de ce fleuve, la plupart des sommets ne dépassent plus 400 m.

- Ensuite, l'ensemble du massif est constitué par du Jurassique supérieur, avec une couverture localisée de Miocène. Ce Jurassique supérieur, dont une grande partie est du Kimméridgien, comporte encore beaucoup de calcaires et calcaires dolomitiques durs : la plupart des sommets situés entre Taforalt et la Moulouya en sont. Cependant il faut noter que ce jurassique supérieur comporte beaucoup plus de faciès de calcaires gréseux et surtout de marnes et marno-calcaires que le Jurassique inférieur : ceci est très important car ces formations plus tendres s'érodent plus facilement et peuvent donc donner dans les plaines des alluvions et colluvions plus calcaires.

La couverture Miocène, peu développée, est essentiellement composée de conglomérats et grès au Cartennien, formations gréseuses fauves à l'Helvétien supérieur, marnes

vertes souvent gypsifères au Tortonien.

Il y a donc deux différences importantes entre l'Est et l'Ouest des Beni Snassen - Beni Bou Mahiou :

- Une différence d'altitude, l'Est étant plus élevé que l'Ouest, différence qui, nous le verrons tout à l'heure, va accentuer la variation climatique qui existe quand on va de l'Est vers l'Ouest.

- Une différence pétrographique : dans la partie Est, il y a beaucoup de roches non calcaires, et dans la partie Ouest existe une proportion nettement plus importante de roches calcaires assez peu résistantes à l'altération et à l'érosion.

Ajoutons quelques mots sur les Ouled Mansour qui séparent la plaine des Triffa de la mer (altitude variant entre 100 et 200 m) : on y trouve essentiellement des marnes et des grès calcaires du Miocène post-nappe et du Pliocène, et à l'Est un petit anticlinal du jurassique inférieur traversé en cluse par l'Oued Kiss.

B. - La chaîne des Kbdana

Cette petite chaîne très étroite, mais dont les sommets culminent malgré tout entre 700 et plus de 900 m, est un anticlinal jurassique coiffé de dépôts miocènes et surtout de dépôts de la nappe rifaine : unité de Senhadja.

Le Jurassique est essentiellement représenté par deux types de roches :

- Des calcaires et des calcaires dolomitiques très durs appartenant à l'Infralias et au Lias inférieur et moyen.

- Des séries marneuses et marno-calcaires du Lias supérieur et du ^uJrassique moyen.

Dans la nappe, surtout développée sur le versant Sud, et en particulier dans le secteur SW de la chaîne qui domine la plaine du Zebra, on retrouve un peu de tout, mais surtout, semble-t-il, des schistes et quartzites vert-olive du primaire, et du Trias gypso-salin et éruptif.

Le Miocène ante-nappe (conglomérats et grès-calcaires) est disséminé dans l'ensemble de la chaîne, mais il est surtout développé sur le versant Nord. Quant au Miocène post-nappe, avec ses marnes vertes gypsifères, s'il est à peu près inexistant sur le versant Sud, il est au contraire très développé sur le versant Nord, au pied de la chaîne, ceinturant la plaine du Bou-Areg depuis Zelouan jusqu'à son extrémité Est.

II. - LES CLIMATS ACTUELS

D'une façon générale les stations météorologiques étant peu nombreuses et l'étude phytosociologique détaillée commencée par PERSOGLIO n'étant pas terminée, les climats de presque toute la région sont mal connus dans les détails, surtout en ce qui concerne les massifs montagneux.

Voyons cependant quel est l'état actuel de nos connaissances.

A. - La chaîne des Beni Bou Mahiou - Beni Snassen

Le climat actuel de cette chaîne est d'autant plus sec, plus chaud, plus évaporant que l'on va de l'Est vers l'Ouest. Ceci est vrai à altitudes égales et est, bien sûr, accentué par les fortes altitudes de la partie orientale où la neige peut séjourner en hiver pendant plusieurs semaines.

D'autre part le climat est, bien sûr, plus humide et moins chaud sur le versant Nord, orienté vers la mer, que sur le versant Sud.

B. - La dépression Zebra - Triffa

Dans cette dépression, assez bien connue par des stations météorologiques assez nombreuses dans la plaine des Triffa, et une étude phyto-sociologique détaillée dans la plaine du Zebra (PERSOGLIO : 1962), il y a également une très nette augmentation de l'aridité et des températures quand on va de l'Est vers l'Ouest :

- A Ahfir, il pleut plus de 400 mm
 - A Berkane : 370
 - A Boughriba : 300
 - Au centre de la plaine du Zebra : 200 à 250 ;
- il y règne un climat véritablement sub-aride.

Les températures maxima moyens passent de 33° à Berkane, à 34° à Boughriba et plus de 35° dans la plaine du Zebra.

Ajoutons qu'à cela se joint une très nette augmentation de la continentalité.

Un point doit être précisé : il est possible que cette variation du climat d'Est en Ouest ne soit pas progressive mais qu'elle se fasse par bonds liés à la topographie. En particulier il semble qu'il y ait trois régions bien séparées :

- La plaine des Triffa proprement dite, qui est la région la plus humide.

- La dépression de Boughriba, séparée de la précédente par une large zone de glacis moulouyens bombés en anticlinaux.

- La vallée de la Moulouya et la plaine du Zebra, limitées à l'Est par des chaînons jurassiques et des plateaux plio-villafranchiens surélevés.

Dans les détails, il faut ajouter deux points :

1^o) Dans la plaine des Triffa proprement dite, la pluviométrie diminue quand on va vers le Nord : la pluviométrie serait voisine de 300 mm dans la dépression de Madagh, au pied des Ouled Mansour. Bien entendu cette pluviométrie réaugmente quand on passe les Ouled Mansour et qu'on se rapproche de la mer.

2^o) Dans la plaine du Zebra, la pluviométrie, l'hygrométrie et les températures augmentent quand on monte le piedmont de la chaîne des Kbdana.

C. - La chaîne des Kbdana

Il n'existe que peu de renseignements sur le climat de cette chaîne.

Il semble qu'il y soit assez humide, surtout sur le versant Nord. Il y est cependant certainement beaucoup plus aride, à altitudes égales, que dans la partie orientale des Beni-Snassen, surtout sur le versant Sud.

III. - LES SOLS

Voyons donc maintenant quels sont les sols que l'on trouve dans les plaines.

A. - La plaine du Zebra

Mis à part, pour l'instant, les sols sur croûtes et encroûtements calcaires (j'y reviendrais tout à l'heure), presque tous les sols de la plaine du Zebra appartiennent au groupe des sols bruns steppiques subtropicaux.

Ce sont donc des sols :

- à répartition isohumique de la matière organique ;
- présentant un certain lessivage du calcaire et une zone d'accumulation de ce calcaire en profondeur ;
- présentant également un niveau rubéfié et d'accumulation d'argile (ou d'argilogénèse?).

Dans l'étude que j'ai présentée en Juin 1962 au Congrès de Géographie Appliquée de Rabat, j'avais donc souligné, je vous en ai déjà parlé tout à l'heure, que plus les sols étaient anciens, c'est à dire qu'on les trouvait développés

sur des dépôts quaternaires plus anciens, plus ils étaient évolués : quand on passe des sols sur dépôts rharbiens à des sols sur dépôts amiriens, les niveaux d'accumulation du calcaire, de rubéfaction et d'accumulation d'argile, sont de plus en plus marqués et de plus en plus épais.

Il faut cependant souligner deux points qui, sont très importants : dans le centre de la plaine, dont je parle actuellement, et qui est la zone la plus aride, la plus chaude de tout le périmètre, il faut remarquer que :

1°) Quelque soit l'âge des sols, ils restent toujours fortement calcaires en surface (15 à 25 %), et la rubéfaction, en surface comme en profondeur, n'est jamais bien forte.

2°) Si les accumulations de calcaires peuvent être très fortes, surtout quand on se rapproche des zones d'encroûtement et de croûte, elles ne sont cependant jamais ni très profondes ni très épaisses : ces accumulations commencent en général vers 40 cm et n'ont le plus souvent guère plus de 50 - 60 cm d'épaisseur.

Si maintenant nous quittons le centre de la plaine :

- Vers le Sud, pour trouver des sols différents, c'est à dire moins calcaires en surface, plus rubéfiés, il faut sortir complètement de la plaine, monter en altitude, aller dans les zones où le climat actuel est plus humide, moins chaud.

- Par contre vers le Nord, au fur et à mesure que l'on remonte le grand glacis soltano-tensiftien, que l'on se rapproche des Kibdana, on constate que les sols sont de moins en moins calcaires en surface : il y a même des zones de sols châtaîns complètement décalcarifiés sur 50 - 60 cm d'épaisseur. Par ailleurs, ils ont un horizon d'accumulation

dù calcaire, dans des conditions topographiques identiques, de plus en plus riche, de plus en plus épais, et assez souvent commençant plus profondément. Enfin, ils sont de plus en plus rubéfiés, en surface comme en profondeur. Nous verrons que tout ceci est à attribuer, à la fois, à des conditions climatiques de la plaine et des Kebdana ; à l'existence dans les Kebdana de quelques roches-mères non calcaires ; enfin à des conditions topographiques qui régissent en particulier la granulométrie des dépôts et les mouvements de l'eau à la surface et dans les dépôts.

B. - La plaine des Triffa

Mise à part la zone côtière de Saïdia où les pédogénèses ont été perturbées, en particulier : par l'Eustatisme, /la présence d'une nappe phréatique très proche de la surface, et par l'érosion active, qui se poursuit encore actuellement, de la falaise des Ouled Mansour ; mis à part également, comme dans la plaine du Zebra, les encroûtements et croûtes calcaires dont je parlerai tout à l'heure ; il y a dans la plaine des Triffa trois zones assez bien délimitées correspondant à trois types de sols nettement différenciés : ces trois zones sont celles que j'ai déjà tout à l'heure individualisées sur le plan des climats.

Ces zones et les sols qu'on y trouve, sont les suivants :

a) La région de Schouyaya : le long de la Moulouya, qui appartient encore à la zone aride de la plaine du Zebra, et qui est située au pied de montagnes assez basses, à climat également assez aride. Dans cette zone on trouve des sols bruns steppiques en tout point identiques à ceux de la plaine du Zebra.

b) La zone de Boughriba : nous avons vu que c'est une zone déjà plus humide. D'autre part elle est située au pied de montagnes plus élevées, nettement plus humides.

Dans cette zone, on trouve toujours des sols bruns steppiques ; mais, par rapport à ceux du Zebra ou de Schouyaya :

- ils sont généralement nettement moins calcaires en surface, et ceci d'autant plus que l'on va vers l'Est ;

- la zone d'accumulation du calcaire, dans des conditions d'âge et de topographie identique, est toujours plus riche, plus épaisse et commence plus profondément ;

- la rubéfaction est plus intense, en surface comme en profondeur.

c) La dépression des Triffa : cette 3^e zone, rappelons-le :

- est encore plus humide que les deux zones précédentes ; cependant pas partout ;

- elle est surtout située au pied des reliefs les plus élevés de la région et dans lesquels, à altitude égale, les climats semblent être les plus humides et les plus frais de la région.

- enfin cette zone présente une topographie très régulière, véritable cuvette sans aucun axe de drainage sérieux.

Dans cette zone, les sols sont très différents de ceux des zones précédentes. Ce sont soit des sols bruns, soit des sols châtaîns : nous ne savons pas encore comment les classer car le plus souvent ce ne sont ni de

vrais sols bruns, ni de vrais sols châtaîns. Mais ce qu'il est important de noter c'est que ces sols sont essentiellement caractérisés :

- D'abord par une teneur en calcaire faible ou nulle dans l'horizon de surface. Il faut cependant souligner que l'épaisseur de l'horizon non ou peu calcaire est très variable : il peut avoir de 30 cm à plus d'un mètre d'épaisseur, cette épaisseur semblant en partie liée à la topographie qui conditionne en particulier l'épaisseur des dépôts soltaniens. Il semble donc que ces dépôts soltaniens étaient peu calcaires lors de leurs dépôts. Il faut souligner également, que ces sols sont souvent un peu recalcarifiés en surface, ceci étant dû à la fois à l'apport en surface de dépôts plus récents qui n'ont guère eu le temps de se décalcarifier et au ruissellement en surface qui rapporte du calcaire.

- Ces sols sont aussi caractérisés par une accumulation de calcaire encore plus riche, encore plus puissante et commençant encore plus profondément que celle des sols des deux zones précédentes. Il faut en particulier remarquer que cette accumulation existe très nettement dans les sols sur dépôts rharbiens, avec apparition de taches calcaires très nettes : ceci n'existe pas dans les zones précédentes.

- Enfin ces sols sont caractérisés par une rubéfaction intense.

IV. - INTERPRETATION DES PEDOGENESES

Tout en restant dans le cadre des sols steppiques, les sols de ces deux plaines de la Basse-Moulouya varient donc d'une façon importante quand on va de l'Ouest vers l'Est, et cette variation correspond, se fait parallèlement

à une variation du climat actuel dont l'humidité, la fraîcheur, augmentent quand on va de l'Ouest vers l'Est.

Cette variation climatique semble cependant bien faible, surtout dans les plaines, bien insuffisante pour expliquer à elle seule l'importante variation des sols. Il semble donc que les climats actuels doivent être considérés, et c'est une première hypothèse, comme le reflet d'une climatologie ancienne qu'il faut essayer d'imaginer en fonction des faits pédologiques, climatologie ancienne dont la variation dans l'espace devait être parallèle à la variation actuelle.

Je vais donc maintenant essayer d'imaginer :

- quelle fut cette climatologie ancienne au cours des périodes de pédogénèses ;
- à quels moments se placent ces périodes de pédogénèses dans les cycles des pluviaux - interpluviaux ;
- quel fut le rôle respectif des climats des plaines et des climats des montagnes ;
- quelle fut enfin l'influence de la pétrographie des massifs montagneux et de la topographie sur les pédogénèses, sur la répartition des sols.

J'ouvre ici une petite parenthèse pour souligner qu'il est bien sûr très prétentieux de ma part de formuler toutes les hypothèses que je vais maintenant vous soumettre, alors que bien des éléments d'observations sur le terrain et bien des analyses me manquent encore. Je connais encore très mal les chaînes montagneuses :

- types de dépôts
- types de sols
- analyses détaillées des roches et des argiles
- etc...

Par ailleurs bien des sols des plaines n'ont pas encore été étudiés à fond : or pour obtenir dans une étude comme celle que j'entreprends actuellement des résultats sérieux qui permettent de penser que l'on approche un peu de la vérité, on ne peut se contenter d'observations sur le terrain, même détaillées, et d'analyses classiques ; il faut se lancer, si on en a les moyens dans des analyses détaillées et complexes :

- argile
- minéraux lourds
- analyses complètes des roches
- analyses triacides des sols
- etc...

J'espère pouvoir obtenir une partie de ces moyens sans lesquels on restera toujours dans le domaine des hypothèses vagues et très criticables.

A. - Première hypothèse, dont j'ai déjà parlé, mais que je tiens à rappeler étant donnée son importance : tout au cours du quaternaire (mais pour être prudent disons depuis le quaternaire moyen), l'évolution des sols s'est toujours faite dans le même sens, accentuant progressivement, dans les zones/^{bien}sûr où les limons les plus anciens n'ont pas été recouverts, certains caractères comme le taux d'accumulation du calcaire, la rubéfaction, l'argilogénèse. Le climat qui a présidé à cette évolution (périodes de pédogénèse) n'a donc pas changé tout au cours du quaternaire : s'il en était autrement, on devrait retrouver superposés ou surimposés des types de sols fondamentalement différents correspondant à chaque période quaternaire ; or ceci, on^{ne} le retrouve jamais.

B. - Cependant, dans la plaine du Zebra, ce climat n'a jamais permis un lessivage important et profond du calcaire de surface accompagné d'une accumulation se faisant sur une

forte épaisseur. On ne peut donc guère penser que ce climat des périodes de pédogénèse fut à la fois (je dis bien à la fois) plus humide et plus frais que le climat actuel. Mais je crois qu'on ne peut guère non plus penser, comme je l'ai cru un certain moment, que ce climat fut identique au climat actuel, seul le facteur temps étant alors responsable du degré d'évolution ; en effet, depuis trois ans, je suis l'évolution de l'humidité d'un sol de la plaine du Zebra après chaque pluie : en dehors de cette dernière année qui fut exceptionnelle et d'ailleurs très intéressante (il a plu 600 mm), jamais l'humidité des pluies n'est descendue au-delà de 35 - 40 cm de profondeur.

On est alors amené à penser à un climat qui serait à la fois très aride et très humide, c'est à dire à un climat très chaud et très sec, entraînant une très forte évaporation, mais entrecoupé par de très fortes pluies :

- ces pluies chaudes ne peuvent lessiver fortement le calcaire (à la fois celui qui existe dans les dépôts et celui qui est apporté après chaque pluie par le ruissellement en surface) : elles manquent de gaz, carbonique et l'évaporation qui suit immédiatement est trop forte.

- l'accumulation de calcaire qui se produit quand même doit alors être expliquée par le lessivage oblique, c'est à dire par l'apport de calcaire par les eaux qui circulent à faible profondeur, ce calcaire étant fixé dans la zone d'activité maximum du système racinaire de la végétation : la ri- se, la profondeur et l'épaisseur de cette accumulation de calcaire dépendent donc à la fois, de l'importance de ce lessivage oblique, de l'importance du lessivage vertical, de la profondeur de l'enracinement de la végétation ; trois phénomènes qui eux mêmes dépendent du relief, du micro-relief et du climat (signalons que l'existence de ce lessivage oblique est mise en évidence par les liaisons qui existent entre le micro-relief et l'intensité des accumulations de calcaire et par la présence d'accumulations de calcaire importantes dans des limons qui manifestement n'étaient pas ou peu calcaires lors de leurs dépôts.

C. - Pendant que ce climat à la fois très aride et très humide régnait dans la plaine du Zebra, si je passe maintenant d'un extrême à l'autre c'est à dire dans les zones montagneuses qui sont actuellement les plus humides, les Beni-Snassen orientaux, je pense que dans ces zones régnaient pendant les périodes de pédogénèse un climat peut-être plus humide, mais surtout beaucoup plus frais, beaucoup moins évaporant, permettant une décalcarification importante et la formation de sols rouges type méditerranéen : ce sont ces sols rouges qui ont été ensuite entraînés au cours des pluvioux dans la cuvette des Triffa où ils se sont accumulés sur une épaisseur variable selon la topographie préexistante et où un climat moins chaud et plus humide que celui de la plaine du Zebra a permis, pendant les périodes de pédogénèse, de maintenir ces sols non ou peu calcaires en surface, le calcaire apporté par les eaux de ruissellement, beaucoup plus importantes que dans le Zebra et probablement très abondantes dans la zone la plus basse et la plus mal drainée (Madagh), étant lessivé plus profondément pour aller former des accumulations de calcaire très fortes (la zone d'activité maximum du système racinaire de la végétation étant par ailleurs probablement plus développée, plus épaisse, permettant donc une accumulation du calcaire à une profondeur plus grande).

D. - Si maintenant nous revenons vers une zone intermédiaire, comme la zone de Boughriba ou le piedmont des Kibdana, zones qui sont situées au pied de montagnes moins hautes et plus arides, et où règne actuellement un climat plus humide que dans le Zebra, mais certainement moins humide et plus évaporant que celui de la cuvette des Triffa :

1°) Autour de ces zones, dans les montagnes, le climat plus aride n'a pas du permettre, pendant les périodes de pédogénèse, un grand développement des sols rouges : ceux-

n'ont pu se développer qu'à très haute altitude, où dans des conditions topographiques favorables (J'ouvre ici une parenthèse pour souligner l'importance qu'a la topographie, liée avec le type de roche, dans la formation des sols rouges : sur pentes fortes, seules des roches dures et diaclasées peuvent donner naissance à des sols rouges. Les grès calcaires, les marnes ou les alluvions calcaires, s'altérant trop rapidement, libérant trop rapidement leur calcaire, trop sensibles à l'érosion ne peuvent donner naissance à des sols rouges que dans des cuvettes ou dans des zones à pentes très faibles).

2^o) Pendant les pluviaux, ces sols rouges, quand ils existaient, ont du être les premiers entraînés ; n'étant pas très abondants, ils n'ont pu aller très loin : ils se sont accumulés sur les piedmonts.

Parallèlement, dans les zones où ces sols rouges n'ont pu se former, où les sols sont donc restés calcaires, ce sont des limons calcaires qui ont été entraînés vers les plaines, se mélangeant plus ou moins aux limons rouges quand ceux-ci existaient aux altitudes supérieures.

Enfin, même là où des sols rouges existaient ils devaient souvent être peu épais : rapidement l'érosion a pu atteindre la zone d'accumulation du calcaire de ces sols rouges.

3^o) Ce sont donc des alluvions souvent assez fortement calcaires qui ont été descendues dans ces zones du piedmont des *Mebdana* et de *Boughriba* ; alluvions cependant probablement moins calcaires que celles de la région de *Schouyaya* ou du centre du *Zebra* qui elles, proviennent de massifs très arides ou de la fin de l'érosion de massifs moins arides, les alluvions peu calcaires étant restées sur les piedmonts.

Une fois mises en place, ces alluvions ont été soumises pendant les périodes de pédogénèse, à un climat plus humide et moins évaporant, que celui de la plaine du Zebra : ce climat n'a pu provoquer une recalcification en surface par les eaux de ruissellement. Il a probablement même pu entraîner un certain lessivage, accentué par la position topographique de piedmont ou de cuvette (Boughriba) : ce sont des zones qui reçoivent beaucoup d'eau de ruissellement superficiel et subsuperficiel ; d'où un lessivage vertical et oblique assez important, qui a permis la formation d'accumulations de calcaire assez riches, assez profondes, assez épaisses, accumulations favorisées par ailleurs, dans les zones de piedmont, par une granulométrie plus grossière.

E. - Quel est alors dans tout cela le rôle de la véritable roche-mère, c'est à dire de la roche des montagnes?

Il est important.

1^o) Quand cette roche est non calcaire, tels des schistes, elle a donné dans les plaines des alluvions non calcaires, généralement très argileuses : d'où des sols châtain comme ceux situés localement dans la plaine du Zebra au pied des Kbdana, et probablement quelques uns de ceux situés dans la plaine des Triffa : l'étude des argiles et des minéraux lourds nous permettra peut-être de les circonscrire .

2^o) Mise à part la question topographique, il est certain, comme vient de le montrer LEPCOUTRE dans le Moyen-Atlas (1963), que les calcaires s'altèrent très différemment en fonction de leur dureté, de leur pureté, de leur dolomitisation.

La possibilité de produire des limons plus ou moins décalcariés, plus ou moins rubéfiés, doit en dépendre énormément c'est une étude qui doit être approfondie.

3^o) Enfin , il semble évident que des grès calcaires, des marnes, des calcaires marneux tendres, dont l'altération peut être rapide, libérant ainsi beaucoup de calcaire, et dont l'érosion est facile ne peuvent donner naissance à des sols rouges décalcarifiés que très difficilement, dans des conditions topographiques très particulières. Ils peuvent en outre donner dans les plaines des alluvions calcaires pendant les périodes de pédogénèse, gênant ainsi la décalcarification en surface des sols des plaines. Ils entraînent également une richesse plus grande en calcaire des eaux de ruissellement.

Ces roches calcaires plus tendres étant, nous l'avons vu, plus abondantes dans les Kibdana, dans les Beni Bou Mahiou et dans les Beni Snassen Occidentaux que dans les Beni Snassen Orientaux, la différenciation des sols dans les plaines en a été très accentuée :

La très grande différence qui existe entre les sols de la plaine des Triffa et ceux de la plaine du Zebra est donc la conséquence de l'action de plusieurs facteurs qui ont tous joué dans deux sens opposés :

- le climat des plaines, celui du Zebra étant le plus aride, le plus chaud, le plus évaporant de la région ;

- le climat des montagnes, celui des Beni Snassen orientaux étant le plus humide, le plus frais, le moins évaporant de la région ;

- la topographie qui conditionne les phénomènes de ruissellement et d'accumulation du calcaire ;

- enfin les roches, qui sont dans les Beni Snassen orientaux soit des roches non calcaires, soit surtout des roches

calcaires très dures permettant la formation, grâce en plus à des conditions topographiques favorables, de sols rouges argileux, décalcarifiés.

Il me faut maintenant, en conclusion de cet exposé, essayer de situer ces périodes de pédogénèse dans le cadre des cycles climatiques pluviaux-interpluviaux qui ont été définis au Maroc à la suite des recherches des Géographes et des Géologues.

Je pense que l'on peut schématiser les choses de la façon suivante :

1^o) Partons de la période pluviale proprement dite. Le climat est progressivement (mais probablement rapidement : j'y reviendrai tout à l'heure) devenu plus humide, plus froid, déclenchant bientôt tous les phénomènes bien connus au Maroc d'accumulations dans les vallées et dans les plaines ; accumulations plus ou moins importantes et dont les principaux caractères ont varié d'un pluvial à l'autre. Il est en effet indéniable, l'étude des dépôts en montagne et en plaine le montre bien, que les climats de ces périodes pluviales ont très sensiblement varié d'un pluvial à l'autre : très froid au Salétien, doux et très humide à l'Amirien, froid au Tensiftien, doux et humide au Soltanien ; ces climats étant responsables, par leur intensité, par leur durée, par leur action sur les conditions d'arrachement, de transport et de sédimentation des dépôts, des caractères fondamentaux de ces dépôts et essentiellement de leur granulométrie et leur morphologie, dépôts qui vont devenir les roches-mères des sols des vallées et des plaines.

2^o) Après la période pluviale, le climat se radoucit, redevient plus chaud, plus sec : c'est ce que j'appellerai un "retour au calme, à la stabilité". La végétation se développe. C'est la période de pédogénèse qui commence, période dont j'ai déjà décrit ce que pouvaient être les grands traits climatiques. Ce que je veux simplement resouligner, c'est que l'étude des sols conduit à penser que les climats qui ont régné pendant ces périodes de pédogénèse se sont répétés identiques à eux-mêmes après chaque pluvial : il n'y a aucune liaison entre l'intensité du climat qui a régné pendant le pluvial et celle du climat de la période de pédogénèse qui suivit ce pluvial ; par contre, il est très probable que les durées de ces périodes de pédogénèse ont varié et il est possible qu'il y ait une liaison entre l'intensité du pluvial et la durée de la période de pédogénèse.

3^o) Vient ensuite la période de formation des encroûtements et croûtes calcaires. Là je crois que l'on peut avancer deux hypothèses :

- Ou bien il s'agit vraiment d'une période climatique différente : il y aurait augmentation de l'aridité et de la fréquence des grosses pluies, accentuant le lessivage oblique, ce phénomène ne s'étant produit d'une façon nette, depuis le quaternaire moyen, qu'une seule fois : au Tensiftien.

- Ou bien il s'agit, et je crois cette idée plus valable, tout simplement d'une question de temps : la période de pédogénèse du tensiftien a été nettement plus longue que celle de l'Amirien ou du Soltanien. Le lessivage oblique du calcaire a donc travaillé pendant très longtemps entraînant dans les zones topographiquement ou granulométriquement "favorisés", c'est à dire dans les zones pouvant à la fois recevoir beaucoup d'eau et s'assécher très rapidement (piedmonts, rebords de terrasses, ruptures de pentes, zones caillouteuses), une accumulation de plus en plus importante de calcaire : l'encroûtement calcaire se forme progressivement.

Il arrive ensuite bientôt un moment où cette accumulation est telle que chaque nouvelle grosse pluie provoque un engorgement de l'encroûtement formé, suivi naturellement d'un dessèchement rapide du sommet de cet encroûtement : le sommet de l'encroûtement durcit progressivement et commence à se feuilletter sub-horizontalement ; c'est la croûte qui se forme lentement. Il arrive enfin un autre moment, où cette croûte devenant de plus en plus imperméable, une partie de plus en plus importante de chaque grosse pluie ne peut plus pénétrer en profondeur : l'eau ne pénètre en profondeur que dans les zones où l'encroûtement ne se produit pas : ce sont par exemple les cuvettes, les fonds de vallées où l'assèchement ne peut être assez rapide. Dans les zones de croûte il se produit alors un lavage de tout ce qu'il y a au-dessus de la croûte : la croûte est mise à nu. Chaque nouvelle pluie va alors provoquer un ruissellement de surface qui, toujours suivi d'une période d'évaporation intense, donne naissance à la dalle rubannée de surface qui, je l'ai souvent constaté, est nettement mieux développée dans les zones où érosion et ruissellement peuvent être plus rapides.

J'ouvre cependant ici une parenthèse pour préciser qu'il n'est peut-être pas indispensable d'imaginer la mise à nu de la croûte comme préalable à la formation de la dalle rubannée : celle-ci peut peut-être également se former à faible profondeur.

Enfin, je pense que l'ensemble de ce raisonnement que je viens de faire pour le Tensiftien peut peut-être s'appliquer à une période comme le Moulouyen : il aura fallu seulement un temps énorme pour arriver à faire la dalle compacte de 10 à 20 cm d'épaisseur qui termine les croûtes moulouyennes, dalle qui ne peut être attribuée au ruissellement mais qui doit bien être considérée comme l'aboutissement extrême des phénomènes successifs et répétés d'hydromorphie et de dessèchement brutal.

4^e) Vient enfin la période inter-pluviale proprement dite : il y a assèchement du climat, c'est à dire diminution importante de la fréquence des grosses pluies. On en arrive, je pense, au climat actuel. Il s'ensuit :

- Une concentration du ruissellement et une reprise du creusement linéaire, qui avaient d'ailleurs déjà commencé pendant la période de pédogénèse : la présence d'ancroûtement et de croûte tensiftiens au sommet de la pente qui rattache une terrasse ou un glacis tensiftiens à la terrasse ou glacis soltaniens, semblent le prouver.

- Une diminution probablement importante de la couverture végétale.

- Un ralentissement important de toute pédogénèse.

5^e) Et c'est alors que survient, probablement rapidement, brutalement, un nouveau pluvial qui sur des montagnes à peu près dénudées va entraîner une intense érosion des sols formés pendant la période de pédogénèse précédente, sols qui vont devenir dans les plaines les roches-mères sur lesquelles se développeront les sols de la prochaine période de pédogénèse. Je pense que le passage de l'inter-pluvial au pluvial a toujours été rapide ; s'il en avait été autrement une nouvelle période de pédogénèse se placerait entre les deux : or aucune observation de terrain ne nous a permis jusqu'à présent de la mettre en évidence.

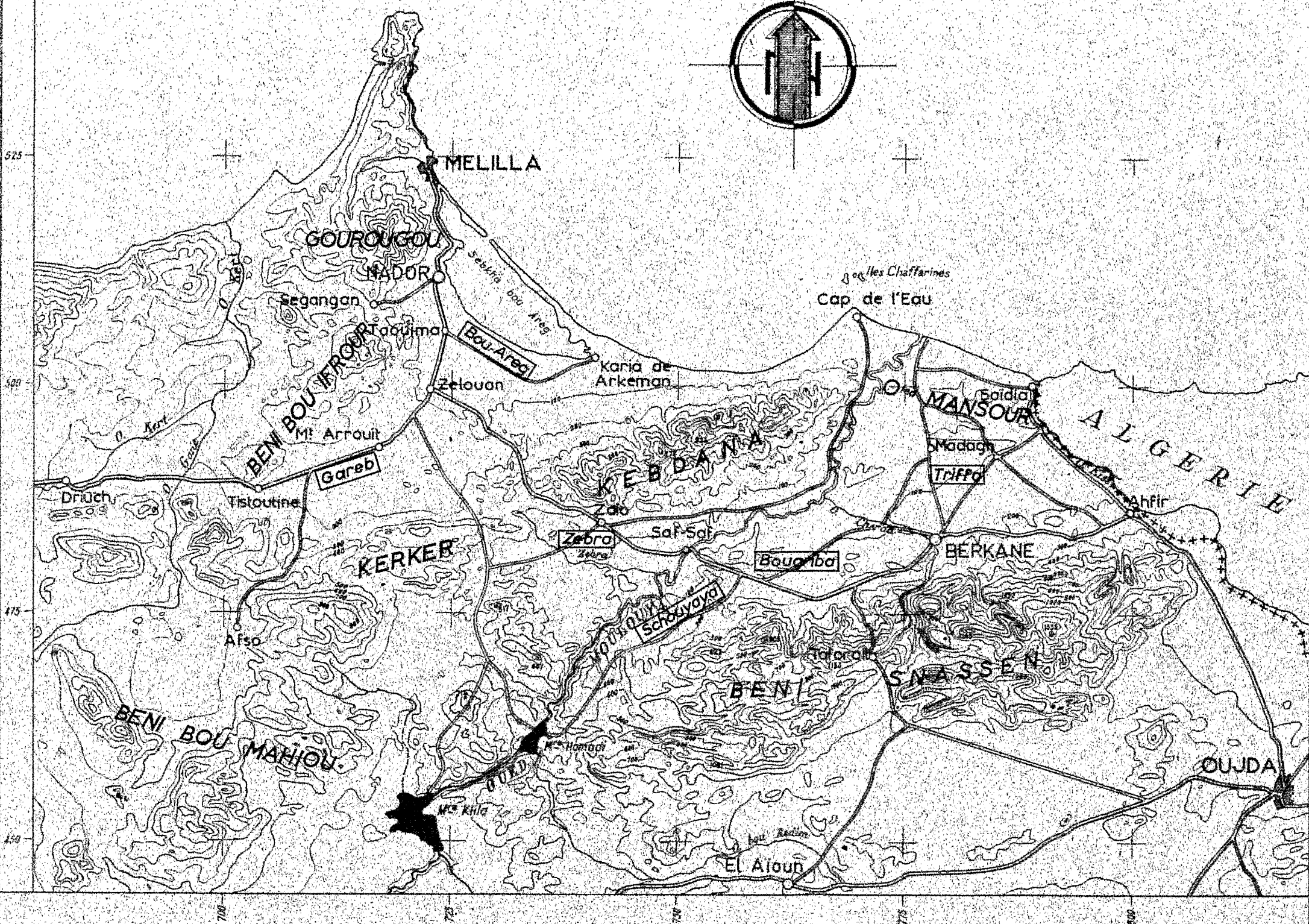
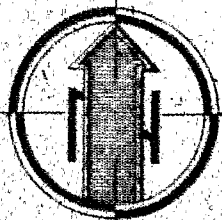
B I B L I O G R A P H I E S O M M A I R E

- CHEVRON VILETTE A. de : "Notes sur la géologie et la morphologie de la région des Triffa".
ORSTOM ; Div. de la Mise en Val. et
du G.R. du Min. de l'Agric. du Maroc ;
52 p. polyc. (1954).
- CHOUBERT G. : "Essai de corrélation des formations
continentales et marines du Pléi-
stocène au Maroc". C.R. du V^e Con-
grès de l'INQUA (Madrid-Barcelone)
(1957).
- CHOUBERT G. : "Compléments à la note intitulée :
Essai de corrélation des formations
continentales et marines du pléi-
stocène au Maroc". Note présentée à
la réunion au Maroc de la Comm. de
Géom. Périgl. de l'Un. Géogr. Int. ;
18 p. polyc. (1959).
- CHOUBERT G. et AL. "Essai de classification du quaternaire
continental du Maroc". C.R. Ac. Sci. ;
t.243 ; pp. 504-506 (Juillet 1956).
- GIGOUT M. et RAYNAL R. : "Corrélation des phénomènes marins et
continentaux dans le quaternaire
marocain". C.R. Ac. Sci. ; t.244 ;
n^o 20 ; pp. 2528-2531 (Mai 1957).
- GIGOUT M. et RAYNAL R. : "Retouche à la corrélation des phéno-
mènes marins et continentaux dans
le quaternaire marocain". C.R. Ac.
Sci. ; t.248 ; n^o 15, pp. 2223-2225
(Avril 1959).

- HEUSCH B. : "Irrigation de la Basse-Moulouya rive droite : étude agronomique du périmètre des Triffa". SOFETIM ; Div. de la Mise en Val. et du G.R. du Min. de l'Agric. du Maroc ; 215 p. polyç. (1960) ; avec cartes des sols au 1/20.000^e et autres cartes.
- LEPOUTRE B. : "Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines". Ann. de la Rech. For. au Maroc ; Tome 6, fasc. 2 ; 211 p. (1957-1961 ; paru en Mars 1963).
- PERSOGLIO I. (*) : "Etudes phytosociologiques dans la Basse-Moulouya (voir chap. 5 de la 2^e partie du rapport sur l'aménagement de la Rive Gauche de la Basse-Moulouya). ONI (1962-1963).
- RAYNAL R. : "Oscillations climatiques et évolution du relief au cours du Quaternaire". Notes Marocaines ; n^o 5 ; pp. 10-14 (1955).
- RAYNAL R. : "Plaines et piedmonts du Bassin de la Moulouya". Imframmar ; Rabat ; 617 p. (1961).
- RUELLAN A. : "Utilisation de la géomorphologie pour l'étude pédologique au 1/20.000^e de la plaine du Zebra (Basse-Moulouya)". Rev. de Géogr. du Maroc ; n^o 1 & 2 ; p. 23 à 30 (1962).

(*) Nous venons d'apprendre la mort tragique de Monsieur PERSOGLIO, survenue le 27 Décembre 1963. Je tiens ici à rendre hommage à la mémoire de cet homme qui était pour moi un ami et un précieux compagnon de travail, et dont les études bioclimatiques et phytogéographiques ont une très grande valeur scientifique.

M E R M E D I T E R R A N E E



LA BASSE MOULOUYA

Echelle 1/500,000^e



Equidistance des courbes: 100 m.