

n° d'ordre :

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
PARIS VI - U.F.R. DES SCIENCES DE LA TERRE

THESE DE DOCTORAT

Option : PEDOLOGIE (SCIENCE DES SOLS)

Présentée pour l'obtention du titre de
DOCTEUR de l'UNIVERSITE PARIS VI

par

EL IDRISSI RAGHNI Mohamed

DIFFERENCIATIONS DES SOLS DU PLATEAU DE MEKNES.

RELATIONS AVEC LE MODELÉ ET LE SUBSTRAT CALCAIRE

Soutenue publiquement le Octobre 1992 devant la commission d'examen

M. G. PÉDRO
M. P. ROGNON
M. A. RUELLAN
M. A. BRUAND
M. F.X. HUMBEL
M. R. MOREAU

Directeur de recherches INRA
Professeur Univ. PARIS VI
Professeur E.N.S.A.
Chargé de recherches INRA
Directeur de recherches ORSTOM
Directeur de recherches ORSTOM

Président
Examineur
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur

Ce travail est dédié :

à ma regrettée mère

à ma famille, mon père et mon frère

à mes beaux parents

à Fouzla

**pour le soutien et la confiance qu'ils
m'ont toujours accordé**

à mon épouse, Naïma

**pour avoir patiemment supporté mes
activités de chercheur**

à mes enfants, Myriam et Majda

**pour m'avoir donné toutes les joies du
monde et sans eux, rien n'aurait pu exister
pour moi**

A la mémoire de Maurice LAMOUREUX

AVANT PROPOS

Ce mémoire est le résultat d'un travail entrepris depuis 1987 au Laboratoire de Pédologie de l'INRA de Meknès et au centre ORSTOM de Bondy. Il a été mené de façon parallèle à une activité de chercheur pédologue au Laboratoire de Pédologie de l'INRA de Meknès.

En présentant ce travail, je tiens et il m'est agréable d'adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes qui, soit par leurs enseignements, soit par leurs conseils, soit par leur collaboration technique, ont contribué à en faciliter la réalisation en me faisant bénéficier de leur large expérience en même temps que de leurs connaissances.

Je tiens à remercier en premier les responsables qui, par leur fonction, ont permis la réalisation de ce travail. Monsieur **H. FARAJ**, Directeur de l'I.N.R.A - Maroc et Monsieur **G WINTER**, Directeur de l'Institut Français de Recherche Scientifiques pour le Développement en Coopération France (**ORSTOM**) pour leur soutien et pour toutes les facilités matérielles et administratives qu'ils m'ont accordées au cours de la préparation de cette thèse. Je remercie également Mr. **A.RUELLAN**, ancien Directeur de l'ORSTOM, comme pédologue ayant contribué à la connaissance des sols calcaires du Maroc et comme rapporteur de ce travail.

Je rend un grand hommage à feu Monsieur **M.LAMOUREUX**, Directeur de recherche à l'ORSTOM, qui par ses connaissances des milieux calcaires a été à l'origine de mes recherches sur les altérations et les sols formés sur roches carbonatées. Il m'a conseillé à tous les stades de la réalisation de cette thèse. Il est sans aucun doute à l'origine de ce travail qui lui doit énormément car il m'a fait bénéficier sans compter de sa très grande expérience. Il m'a toujours, depuis l'époque où j'étais étudiant, accordé son soutien inconditionnel avec beaucoup de professionnalisme.

Le monde scientifique et les sciences du sol (pédologie) en particulier ont perdu en ce grand homme un fervent chercheur et ami de la nature. Il a toujours soutenu que la connaissance objective des sols doit passer par une observation anatomique du terrain. Qu'il repose en paix.

Ayant besoin d'approfondir mes connaissances des sols du plateau de Meknès par une approche aux échelles plus grandes, il m'a mis en contact avec Monsieur **F.X. HUMBEL** à qui j'ai une dette énorme. Il m'a guidé pas à pas tout au long de ce travail. Je lui dois la réalisation définitive de ce document. Qu'il me permet de lui dire combien nos longues et amicales

discussions et les nombreuses remises en question de mes hypothèses tout au long de ce texte m'ont été bénéfiques. Je lui exprime ici ma profonde reconnaissance. C'est lui qui de près ou de loin m'a orienté, inspiré, corrigé et stimulé tout au long de la rédaction de ce travail. Que ce patron impétueux et exigeant mais dont une des principales qualités est d'exiger davantage de lui que de ses collaborateurs soit assuré de toute ma gratitude.

Je remercie les membres du jury qui ont bien voulu accepté d'évaluer ce travail :

Mr. G. PEDRO, directeur de recherches à l'INRA et responsable du
D.E.A. de pédologie à l'université Paris VI,
Mr. P. ROGNON., professeur à l'Université Paris VI,
Mr. A. BRUAND, chargé de recherches à l'INRA
Mr. R. MOREAU, Directeur de recherches à l'ORSTOM .

Que les personnes qui m'ont aidé, à des titres divers au Centre ORSTOM de Bondy, soient toutes vivement remerciées de leur collaboration:

- **Mr. J. CRUETTE**, Directeur du Centre ORSTOM de Bondy, qui m'a accueilli et m'a fait bénéficier de toute l'infrastructure adéquate pour mon travail. Je le remercie infiniment.

- **Mr. G. BELLIER**, qui m'a été d'un grand soutien durant mon séjour à Bondy et le long de tout l'itinéraire de ma thèse et qui a continué à le faire à mon retour au Maroc. Je veux lui exprimer ici toute ma gratitude et toute ma sympathie.

- **Mr. C. PRAT**, avec qui j'ai eu de longues discussions sur mon travail et a été pour beaucoup dans mon initiation au traitement de texte par ordinateur. Il a été aussi le compagnon sympathique durant les nombreux week-end où on a travaillé ensemble.

Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui m'ont aidé matériellement à réaliser ce travail : au Laboratoire des Formations Superficielles :

Mr. F. SONDAG, **Mme D. RAYO**, **Mme U. GUENIN**, **Mme M. RICHARD** à la bibliothèque : **Mlle E. ALDEBERT**, **Mme F. DELMAS** et à l'imprimerie :

Mr. J. QUINET, Mr J. BERTHE Mme.I. MONTEIRO qui m'ont si gentiment aidé dans la réalisation de mes analyses, de mes recherches bibliographiques et de la mise en forme du présent document .

Je voudrais également mentionner l'accueil sans réserve qui m'a été fait au centre ORSTOM de Bondy pendant mon séjour dont le bénéfice : rencontres, séminaires, documentations, accueil, y sont extrêmement profitables.

Enfin, je ne peux terminer cet avant-propos sans avoir une pensée reconnaissante, à associer à ce travail et à remercier toute l'équipe du **Laboratoire de Pédologie de l'INRA de Meknès** pour leur participation matérielle durant toutes mes tournées de terrain et tout particulièrement **Mr.L. ALLA.** avec qui j'ai passé de longues heures au fond des fosses et qui a été mon compagnon de terrain durant de nombreuses années.

S O M M A I R E

RESUME

AVANTPROPOS

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION.....	7
PRESENTATION DE L'ETUDE ET OBJECTIFS.....	11
APPROCHES METHODOLOGIQUES.....	15
PLAN DE L'EXPOSE.....	17

PREMIERE PARTIE : CADRE REGIONAL

Chap.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	21
Chap.2 GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE.....	25
Chap.3 BIOCLIMAT ACTUEL.....	35
Chap.4 LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.....	54
- SOLS ET UTILISATIONS ACTUELLES.....	56
- TRAVAUX PEDOLOGIQUES ANTERIEURS.....	57
- ENSEIGNEMENT DE LA CARTE PEDOLOGIQUE A 1/100 000 ET DE L'ETUDE PAR PROFILS : CARACTERES DES TYPES DE SOLS.....	63

DEUXIEME PARTIE : LE PLATEAU DE MEKNES : ORO-HYDROGRAPHIE ET CHOIX D'UN SECTEUR D'ETUDE DETAILLEE

Chap.5 MODELE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	82
Chap.6 RELATIONS SOLS-FACTEURS DU MILIEU : LITHOLOGIE- MODELE.....	112
Chap.7 INTERET D'UNE ANALYSE DETAILLEE. CHOIX D'UN SECTEUR D'ETUDE.....	120

TROISIEME PARTIE : LA COUVERTURE ALTERITIQUE ET PEDOLOGIQUE DU PLATEAU DE MEKNES : ORGANISATION EN PHASES ET HORIZONS LES POSSIBILITES DE FILIATION

Chap. 8 LES SUBSTRATS ET ROCHE-MERES.....	135
Chap. 9 LA COUVERTURE ALTERITIQUE DES CALCAIRES DURS.....	149
Chap.10 DEFINITION ET CARACTERISATION DES ENSEMBLES D'HORIZONS.....	172
Chap.11 RELATIONS ENTRE HORIZONS ET PHASES.....	255
Chap.11 AUTRES TOPOSEQUENCES ET COUPES : COMPARAISON.....	270
Chap.12 LES GRANDS DOMAINES DE PEDOGENESE ET LEUR ARTICULATION.....	276

QUATRIEME PARTIE : PRINCIPAUX RESULTATS, DISCUSSION ET SYNTHESE

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	304
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	308
LISTE DES FIGURES.....	312
LISTE DES TABLEAUX.....	315
LISTE DES PLANCHES.....	317
TABLE DES MATIERES.....	318
ANNEXES.....	322

INTRODUCTION

L'un des constats fondamentaux de la pédologie est que les **sols** et le **milieu environnant** (actuel et ancien) forment un **ensemble** inséparable. Il est aussi vrai et admis que cet ensemble est très varié.

Pour en comprendre les interactions, diverses approches ont été utilisées. Toutes ces méthodes comportent d'abord une phase d'analyse pour distinguer et caractériser avec un maximum de précision, puis une reconstitution des processus de formation mettant en évidence l'importance relative des différents facteurs du milieu.

C'est après 1950 que les premiers travaux pédologiques prennent au Maroc une certaine importance : W. CAVALLAR (1950) présente une esquisse de la carte des sols du Maroc, G BRYSSINE (1954) établit une typologie des sols du Maroc lors de l'étude des caractéristiques physico-chimiques des vertisols du Rharb, LEPOUTRE (1961) établit les conditions édaphiques propices à la régénération des cédraies marocaines.

Avec l'équipe ORSTOM de G. AUBERT (MASSONI, MISSANTE, WATTEEUW, PAJOT, RUELLAN, GEOFFROY, BILLAUX, ROEDERER, MOREAU) et de pédologues marocains (H.FARAJ, H. GHANEM, A. BOUZZA, B. LOUDYI) apparaissent au MAROC les premiers travaux cartographiques tenant compte de la classification française des sols (C.P.C.S, 1967).

C'est en 1970, qu'une étude plus approfondie permet à A. RUELLAN d'apporter des éléments nouveaux concernant les sols calcaires des régions arides de la basse Moulouya. Cet auteur propose de nouvelles base pour l'étude de ces sols par la révision du concept d'isohumisme, remplacé par un concept de différenciation fondé sur la répartition des carbonates : *les sols à profils calcaires différenciés* sont proposés, la répartition des carbonates dans le paysage tient compte de la quatrième dimension que représente le temps.

Après 1970, l'arrivée de nouveaux pédologues marque un redépart des études de sols au Maroc. C'est alors que dans le cadre de la recherche agronomique, nous apportons notre première contribution à la cartographie des sols du Maroc (EL IDRISSE, 1974).

Ce rapide tour d'horizon des travaux pédologiques et de cartographie des sols effectués au Maroc jusqu'en 1990, nous conduit à faire le point sur ce problème de cartographie des sols à petites et moyennes échelles, ainsi

que sur les multiples controverses soulevées autour des systèmes de classification des sols (C.P.C.S, Soil Taxonomie, F.A.O...).

En fait, y-a-t-il vraiment problème? Il n'y a problème que si les discussions entre spécialistes sont présentés devant les utilisateurs, que les cartes que nous leur fournissons représentent une réalité concrète.

La représentation des unités de sols à petites et moyennes échelles nous a certes été utile en son temps et même si une reconnaissance régionale doit encore être réalisée, il devient nécessaire de changer d'échelle pour *comprendre* comment cette couverture pédologique *s'organise*, comment elle *fonctionne*, comment une expérimentation agronomique peut se *caler sur les organisations* mises en évidence.

Nous en arrivons à penser que l'étude de la couverture pédologique doit avoir une double finalité :

- finalité pédologique, conduisant à une meilleure connaissance de la façon dont les éléments de la couverture pédologique s'organisent, se transforment. C'est alors passer des concepts théoriques du profil isolé et des unités de classification à des concepts fonctionnels et utilitaires,

- finalité agronomique, du fait que des systèmes organisés, fonctionnels, on établit des rapports étroits avec la vie végétale, animale ou biologique, donc avec la mise en valeur et le développement agricole.

A cet effet, partant de la reconnaissance pédologique à 1/100 000 de la région de Meknès (EL IDRISSI, 1989) basée sur l'examen de profils isolés dans le paysage, imposée par l'échelle de travail, la couverture pédologique est constituée par un assemblage plus ou moins complexe de quatre classes de sols référés à la C.P.C.S (1967) : *Calcimagnésiques*, *Isohumiques*, *Vertisols et Fersiallitiques*. La connaissance et la répartition spatiale de ces sols, en l'absence d'étude à grande échelle, est restée sans trouver d'interprétation globale satisfaisante. D'après la littérature et les études réalisées dans la région, plusieurs hypothèses concernant ce sujet ont été soutenues et ont fait l'objet de nombreuses discussions.

C'est tout d'abord certains auteurs qui définissent les calcaires tendres (tufs) au sommet des calcaires lacustres durs, comme une formation allochtone, c'est à dire sans relation directe avec le substrat lacustre, voire même comme un faciès terminal de la sédimentation lacustre.

FARAJ (1967), dans son compte rendu sur les sols du Saïs de Meknès, soulève un certain nombre de problèmes sur la génèse des sols sur les formations lacustres qui ont trait à :

- *L'identification de la roche mère et l'influence sur la pédogenèse,*
- *Les calcaires tendres (tufs) sont -ils le résultat de l'altération des calcaires lacustres durs ou sont-ils un faciès sédimentaire?*
- *la différenciation de sols rouges et de sols châtaîns à partir d'un même apport,*
- *pour quelles raisons les sols les plus développés sont des vertisols et les plus minces des sols bruns calcaires ?*
- *la rubéfaction des matériaux est-elle le fait d'une altération en place ou est-elle lithochrome ?*

La forte présence et les individualisations sous différentes expressions morphologiques des carbonates de calcium représentent une des caractéristiques diagnostiques importantes des sols de la région de Meknès.

Les altérations et la ou les pédogenèses ont déterminées une mosaïque de sols, à substratum dur ou tendre et à répartition aussi hétérogène. Cette complexité est augmentée encore par la mise en valeur du plateau (défoncement de croûtes, homogénéisation des horizons supérieurs).

L'objectif général de ce travail s'inscrit dans un double contexte, scientifique et technique.

- Le premier correspond à la mise en évidence de l'importance de la variabilité de la couverture pédologique du plateau de Meknès sur de courtes distances, jetant le doute sur les méthodes de représentation cartographique de cette variabilité sur des secteurs plus larges.

- Le second contexte permet de gérer aisément l'information spatiale obtenue sur les sols, pour répondre à un problème donné d'utilisation pratique des sols.

Pour tenter de mieux comprendre et de représenter cette variabilité, on a été conduit à voir si la connaissance des relations qui pourraient exister entre les sols et les différents facteurs du milieu n'aurait pas une valeur explicative plus grande. Pour ce faire, une étude à grande échelle a été menée par l'approche bidimensionnelle de toposéquences choisies sur un secteur, par leur représentativité et pour les stades d'évolution qu'elles traduisent et qui caractérisent une unité de modelé sur formations calcaires

lacustres sur le plateau de Meknès. Celle-ci a été menée sur un secteur de 41 hectares au Sud de la ville de Meknès pour lequel on disposait d'une carte pédologique de reconnaissance à l'échelle du 1/100 000 (EL IDRISSE, 1989).

PRESENTATION DE L'ETUDE

Ce travail présente les résultats d'une étude pédologique de la partie méridionale du **plateau de Meknès**, unité de paysage à dominante de **calcaire** d'environ 2000 km², situé immédiatement au Sud de cette ville.

L'étude a été suscitée par une demande de recherche finalisée, dont l'objectif était la cartographie au 1/100 000 d'un périmètre centré sur Meknès. La carte réalisée en 1989 (EL IDRISSI, 1989), déborde ainsi largement au Nord sur la région des rides Pré-Rifaines, et n'englobe au Sud qu'un tiers environ du plateau calcaire. Le Sud de celui-ci ne nous est connu que par des parcours de reconnaissance.

Un petit secteur de référence, axé sur une vallée, a fait l'objet d'une étude détaillée dans le but d'établir, dans une couverture pédologique représentative, la continuité des traits structuraux et d'étudier les transitions verticales et latérales entre les horizons ou entre les phases qui composent ces horizons.

Ce Secteur d'Etude Détaillée (S.E.D.) a été choisi parce qu'il contient les principaux types de profils observés ailleurs sur le plateau, et qu'il est proche de notre base de travail (E.N.A.)^{*}. D'autres études plus limitées, de carrières et de coupes en particulier, ont servi à compléter l'information ou à vérifier alentour les relations suggérées par l'étude du S.E.D.

On a recherché alors, sur l'ensemble du plateau, les relations pouvant exister entre la couverture pédologique et les autres composantes du paysage et les facteurs de pédogenèse, notamment le **substrat**, le **modelé** et l'**hydrographie**. On s'est appuyé pour cela sur la documentation disponible et sur nos observations de terrain.

L'analyse de la couverture des sols a été difficile du fait de la longueur des versants, de la progressivité de certains contacts et, au plan pratique, de la dureté du sol qui ne permet guère d'utiliser la tarière.

Les connaissances acquises localement sur les organisations d'horizons ou de profils, et leurs relations avec le milieu, peuvent servir un objectif de cartographie ou d'application agronomique prenant en compte ces organisations.

* Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès.

Les différents horizons inventoriés se combinent dans un **ordre** bien défini en différenciant **quatre grands "types" de profils**. Le regroupement de profils comparables fait apparaître sur la toposéquence des **domaines** d'altération et de pédogenèse distincts, correspondant chacun à une organisation verticale d'horizons qui coïncident avec les segments définis par le du modelé.

Cependant, étant donné que la couverture pédologique constitue un **continuum**, il existe inévitablement des *domaines de transition* où la variabilité est difficilement réduite et/ou plus complexe et n'a pu être saisie.

Ainsi, en se basant sur les seules caractéristiques morphologiques, d'amont en aval, **quatre principaux domaines pédologiques** sont distingués sur la toposéquence de référence **ME**.

Par contre des portions homogènes de versant, limités par des ruptures de pentes, regroupent des profils variables mais qui restent apparentés par leurs caractères morphologiques principaux, en relation avec un ou plusieurs processus génétiques. Ce sont les **domaines pédo-topographiques**. Leur définition se rapproche de celle d'un profil dominant ayant une extension latérale suivant un segment topographique défini par une dénivellation.

Ces domaines subdivisant les toposéquences sont présentés comme des portions d'unité de paysage (unité cartographique) , correspondant à une tendance pédologique évolutive particulière.

Chaque domaine est défini par :

- la **différenciation pédologique** qui le compose, le rattachement des sols à des unités de classification de la **C.P.C.S**;
- la **position dans le modelé** de la toposéquence **ME**
- l'**articulation spatiale** des différents domaines grâce à des schémas interprétatifs.

Nous n'étudierons pas ici leur fonctionnement et transformations associés. C'est l'objet de l'analyse structurale (Boulet et al., 1982) qui se situe à un niveau d'observation beaucoup plus fin (à très grande échelle) et qui peut être considérée dans ce cas comme une étape suivante de l'étude de la couverture pédologique du plateau de Meknès. Nous nous contenterons d'étudier leur structure interne et d'établir les relations et articulations entre ces différents domaines. Enfin, nous essayerons de reconstituer l'évolution de la couverture pédologique en tenant compte des caractères de surface (modelé) et des caractères internes d'organisation morphologique.

Ce mémoire développe en particulier :

- les résultats pédologiques antérieurs utilisables pour un scénario de cartographie,
- les données pédologiques nouvelles obtenues sur les sites d'études détaillées;
- l'information ou les hypothèses tirées de l'analyse de documents concernant les autres composantes ou facteurs du milieu, la lithologie et l'oro-hydrographie en particulier,
- la mise en évidence d'ensembles de différenciations pédologiques
- la recherche de relations entre ces composantes et les couvertures pédologiques inventoriées,
- une réflexion sur le choix de sites nouveaux d'étude détaillée, ou d'aspects à prendre en compte pour conforter la démarche cartographique.

L'ordre de présentation répond à la logique du scénario proposé pour une nouvelle cartographie plus qu'aux étapes des études réalisées. On met par ailleurs l'accent sur les points délicats ou rarement explicités dans l'exposé d'une démarche cartographique, à savoir :

- dans la phase de reconnaissance l'analyse du modelé menant à la notion "**d'unité de modelé**",
- les critères pris en compte pour le choix de secteurs d'étude détaillée, qui varient selon les objectifs de la recherche et les spécificités du milieu étudié,
- l'attention à porter aux "**talwegs de versant**" et aux **replats-cuvettes** dans la différenciation de la couverture de sols des vallées plus importantes et l'importance agronomique de ces parties de modelé où les sols sont plus profonds, plus argileux et plus humides.

La différenciation des sols et des formations superficielles du plateau de Meknès, présentées dans le cadre de ce scénario cartographique sont associées aux traits suivant du paysage :

- un entablement calcaire en pente relativement forte et infléchie
- un substrat perméable sableux à profondeur variable sur un substrat imperméable marneux,
- une association complexe de calcaire dur ou pulvérulent,
- une faible hiérarchisation du réseau des talwegs principaux,
- des traits karstiques discrets en surface (peu de dolines , quelques lapiès recouverts),
- des marques de déformation tectonique récente,
- un climat à saisons contrastées, à triple périodicité,
- des *talwegs de versant** à sol profond, argileux et humide,
- des accumulations carbonatées en cours de démantèlement témoignant de pédogenèse(s) ancienne(s) fortement encroûtante(s),
- un milieu fortement anthropisé, actuellement en cours de décarbonatation.

Ce sont là autant de traits différents à comprendre et à tenter de relier, en tenant compte aussi de l'histoire régionale du climat et du paysage. Certains de ces traits sont en effet en contradiction apparente entre eux ou avec les conditions actuelles.

Les interventions anthropiques sont également à considérer dans ce paysage de longue histoire agricole et où la nécessaire maîtrise de l'eau et de différentes techniques culturales est à l'origine d'importants aménagements.

* Entaille en forme de dièdre plus ou moins ouvert, souvent oblique, inscrit dans un versant et modifiant généralement les écoulements superficiels ainsi que la couverture de sol.

A P P R O C H E S M E T H O D O L O G I Q U E S

*** Approche scientifique**

A la suite de MILNE (1935) qui mit en lumière les différenciations pédologiques de l'amont vers l'aval des versants, de nombreux chercheurs se sont attachés à l'étude de la redistribution des organisations de sols à l'échelle de ces unités du paysage.

Depuis les premiers travaux de G. BOCQUIER (1971) au Tchad et par la suite de ceux de R. BOULET et al (1978) en Guyane, il est apparu que la répartition et les différenciations des organisations de sols ne se faisaient pas fortuitement dans un cadre de paysage déterminé. Ces organisations évoluent et se transforment essentiellement sous l'influence des flux hydriques. C'est donc aux formes de paysage que l'on fera référence dans un premier temps intimement liées aux fonctionnements hydrodynamique de la couverture pédologique.

Nous avons adopté la démarche toposéquentielle pour relier les variations morphologiques et physico-chimiques verticalement et latéralement le long de la pente. Quatre autres toposéquences ainsi que plusieurs profils isolés ont été étudiés aux alentours de la toposéquence de référence, pour confirmer ou infirmer les observations et résultats obtenus.

Une des originalités de cette approche à grande échelle est d'expliquer de façon cohérente la simultanéité de la différenciation pédologique et certains facteurs du milieu rarement explicités dans l'approche cartographique classique. En plus, son utilisation faisant appel à la notion d'unité de modèle permet d'intégrer l'ensemble des observations dans un modèle cohérent de formation et d'évolution de la couverture de sols et conduit naturellement à considérer son fonctionnement hydrique.

Un autre élément positif de cette approche est, que si le secteur étudié n'est pas forcément représentatif de toute la région, il suffira de simples reconnaissances "faites dans le même esprit", sur des secteurs voisins, par exemple, pour retrouver des systèmes d'organisations semblables ou en préciser les variantes.

Les observations macroscopiques ont été réalisées dans des fosses ouvertes après que des sondages successifs (BOULET et al, 1978) de plus en plus rapprochés aient permis de déterminer les emplacements les plus significatifs et explicatifs des différenciations latérales du sol.

Pour chaque fosse, les observations sur le terrain ont permis de délimiter et caractériser verticalement et latéralement plusieurs horizons. Ces horizons ont été restitués dans leur contexte topographique par une représentation en coupe afin de définir leurs zones d'extension et de mieux étudier leurs interrelations. Enfin ces horizons ont été regroupés dans quatre ensembles caractérisés chacun par la prédominance d'un ou plusieurs critères macroscopiques : *couleur, calcaire, texture et structure*.

Pour comprendre les relations génétiques et structurales entre phases ou horizons, des observations micromorphologiques ont été parfois nécessaires. L'analyse à cette échelle fine a permis aussi de mieux caractériser les corps pédologiques présents.

L'analyse micromorphologique a été faite (à Bondy et à Grignon) sur des agrégats à la loupe binoculaire, et sur des lames minces au microscope optique puis à la microsonde après métallisation des lames au carbone. Les données recherchées concernaient l'identification et l'organisation des constituants du fond matriciel, les assemblages plasmiqes et les traits pédologiques. Ces données ont été reliées à celles obtenues à l'échelle macroscopique et aux résultats des analyses physico-chimiques. Les terminologies utilisées sont celles de BREWER (1964), de FEDOROFF et BULLOCK (1978).

Les déterminations minéralogiques ont été réalisées au Laboratoire des Formations Superficielles de l'ORSTOM de Bondy par Mlle M. GERARD et Mme G. MILLOT sur des résidus insolubles orientés, glycérolés et chauffés pour compléter la caractérisation.

PLAN DE L'EXPOSE

Cette étude s'articule en **quatre parties** :

La **première partie**, articulée en 4 chapitre, présente le cadre régional de l'étude des points de vue géologique, géomorphologique et bioclimatique à partir des données de la littérature complétées par des observations personnelles. Ensuite, la présentation des sols et de leur utilisation actuelle permet de dégager les grands traits de différenciation de la couverture pédologique du plateau calcaire de Meknès. Les enseignements de l'étude pédologique par profils et la carte pédologique ayant servi au choix du Secteur d'Etude Détaillée sont également présentés.

La **deuxième partie** traite du modelé qui est une composante importante, ayant une incidence sur la distribution des sols du plateau de Meknès. Il a fait l'objet d'une étude plus approfondie. Les relations sols-facteurs du milieu sont discutées ainsi que l'intérêt d'une analyse détaillée d'un secteur d'étude.

La **troisième partie**, principalement descriptive, sera concentrée sur l'inventaire, la caractérisation morpho-analytique et les variations des principaux ensembles d'horizons des toposéquences prises en exemples. Les relations entre les phases et les horizons reconnus sont précisées .

Dans la **quatrième partie**, les différentes données et résultats obtenus sont intégrés et discutés ainsi qu'une interprétation générale des faits observés, pour tenter de tracer un schéma de la différenciation des sols en fonction de leur situation dans le paysage et à formuler des hypothèses sur la nature les phénomènes de différenciations pédologiques. Enfin une approche de cartographie pédologique adaptée à la région étudiée est proposée.

En **conclusion générale** seront traités les principaux résultats auxquels ce travail a abouti et les **perspectives de recherches** seront évoquées.

PREMIERE PARTIE

LE CADRE REGIONAL

PREMIERE PARTIE

CADRE REGIONAL

Dans cette première partie on présente l'ensemble des composantes du milieu étudié.

- la géologie et l'hydrologie empruntées à TALTASSE. P. (1953), MARTIN. J. (1985), BEAUDET. G. (1969), DU DRAINAYS. R. (1975) ;

- la géomorphologie à FASSI. D. (1977, 1978), BEAUDET. G. (1969), AHMAMOU M. (1987). On complètera par nos propres observations de terrain, qui apportent des précisions ou informations locales.

La figure 1 présente le contexte géographique de l'étude et la figure 3 la coupe schématique correspondante.

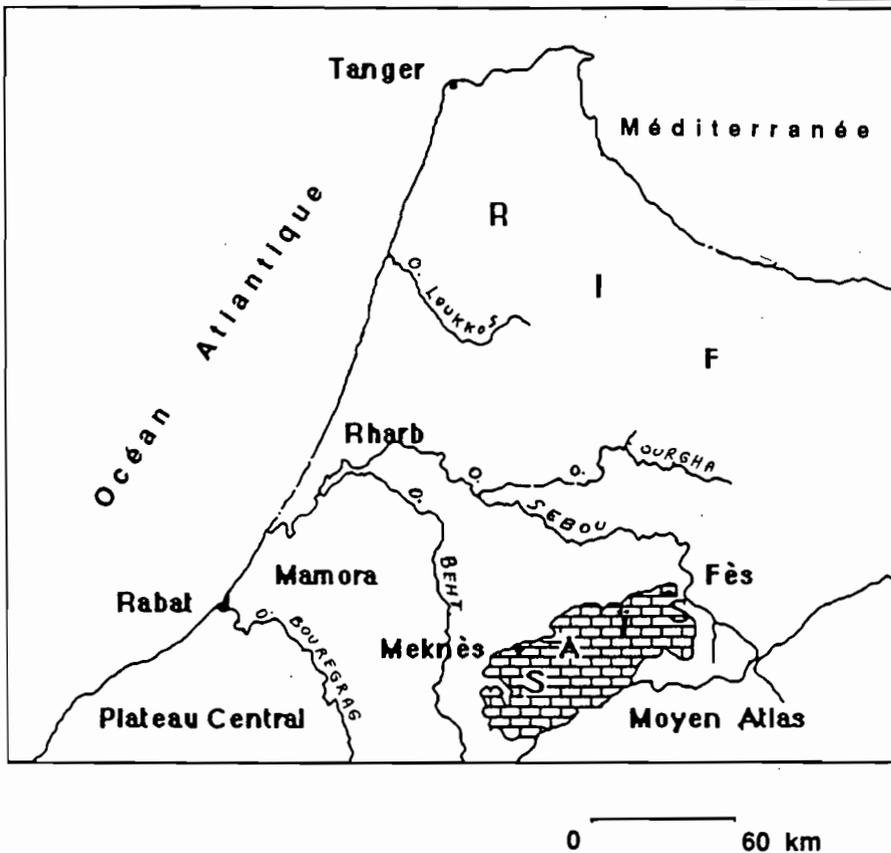
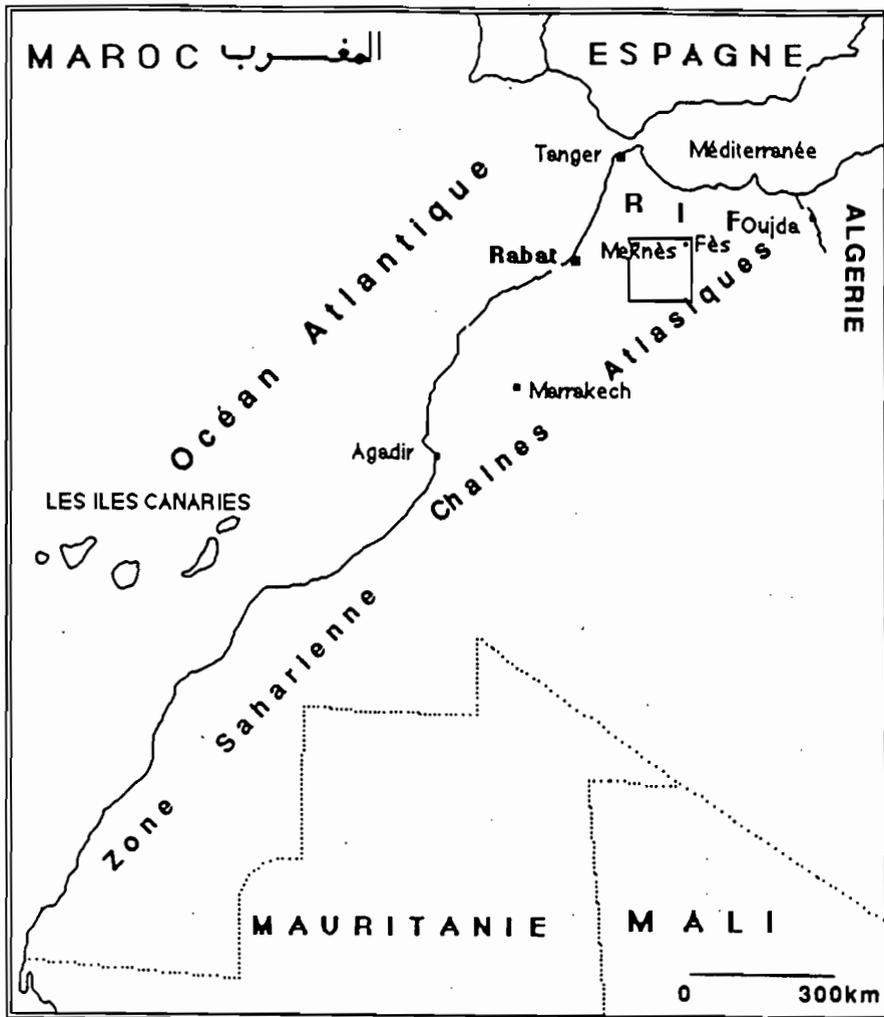


FIG. 1 : LE PLATEAU DE MEKNES ET SON CONTEXE GEOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1

SITUATION GEOGRAPHIQUE

1.1 REGIONS NATURELLES DU MAROC

Le Maroc est situé à l'extrémité Nord-Ouest de l'Afrique. Il est largement ouvert sur la Méditerranée au Nord et l'océan atlantique à l'Ouest, sur plus de deux mille kilomètres de côtes.

En prenant en considération le relief actuel et les processus de son façonnement, quatre régions physiques ou unités géomorphologiques en constituent le contenu structural :

- le **domaine rifain** qui est une vaste frange montagneuse faite de terrains secondaires et tertiaires. Il représente la partie du pays la plus tardivement constituée et la plus instable, et aussi celle où l'érosion, très active, pose le plus de problèmes. Ce domaine est séparé du plateau central et du Moyen Atlas par le sillon sud-Rifain qui, évasé à l'Ouest dans le Rharb, se rétrécit progressivement dans le Saïs pour aller se terminer au Nord-est du pays;

- le **Plateau Central** est une vaste étendue, largement ouverte sur l'Atlantique et comprise entre la chaîne rifaine et les chaînes atlasiques. Il se présente sous forme de plaines et de plateaux aux allures très variées entraînant une certaine diversité structurale;

- le **domaine atlasique** comprend le Moyen Atlas et le Haut Atlas qui forment la montagne par excellence du Maroc. Le **Moyen Atlas** comprend deux secteurs structurellement opposés.

- * A l'Ouest, le **pays des causses** calcaro-dolomitique, qui est **tabulaire**, recouvert de basaltes Quaternaires et présente un étagement de hauts plateaux qui se relèvent de 1100 m au Nord à 2100 m au Sud.

- * A l'Est, le **Moyen Atlas oriental** se distingue du précédent par de hautes crêtes à noyaux liasiques au-dessus de synclinaux marno-schisteux, et qui traduisent par conséquent le passage latéral à la chaîne **plissée**;

- les **pays anti-atlasique** et **saharien** englobent le domaine des Hamadas et plateaux désertiques à l'Est et à l'Ouest, au Nord la dépression du Souss.

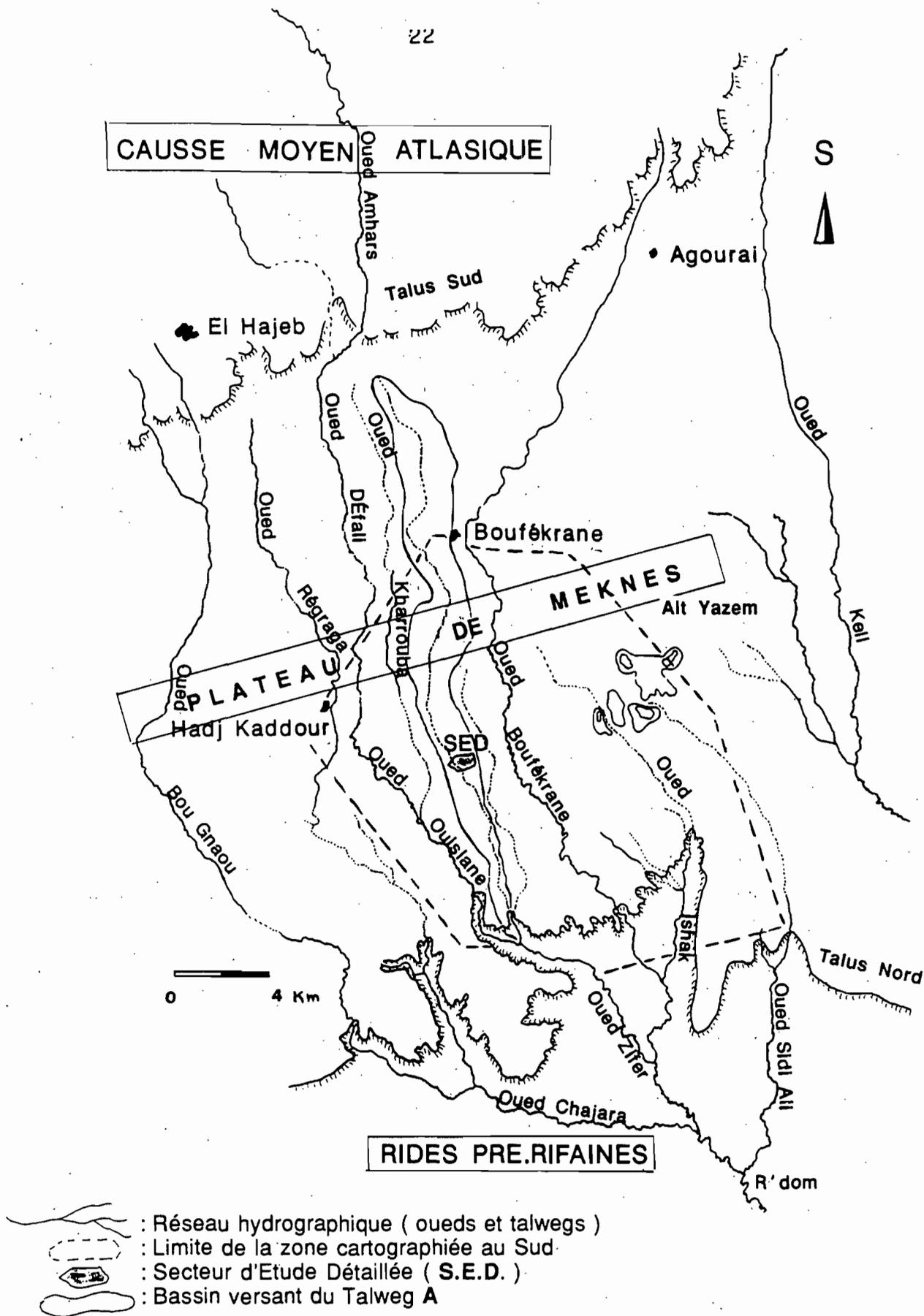


FIG. 2 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET TOPONYMIE

1.2 LE PLATEAU DE MEKNES (Fig.2, 3 et 4)

La figure 2, repère par rapport au réseau d'Oueds et talwegs les régions naturelles, la zone d'étude englobant la région cartographiée au Sud (EL IDRISSE, 1988) avec au centre le Sécateur d'Etude Détaillée (S.E.D.) et le bassin versant du talweg A auquel il appartient.

La fig. 3 située en coupe Nord-Sud le plateau de Meknès par rapport aux massifs bordiers : le Causse Moyen Atlasique au Sud et les Rides Pré-rifaines au Nord.

La figure 4 présente une vue agrandie de cette région montrant l'extension du plateau de Meknès et de son prolongement dans le Saïs de Fès qu'il domine de 100 m environ.

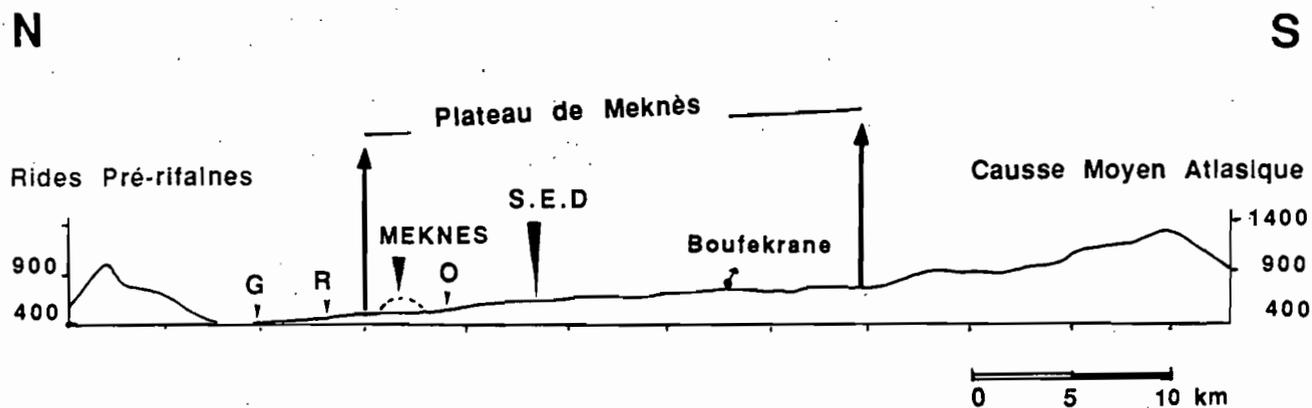


Fig. 3 : Coupe schématique Nord-Sud

Commentaire

Le plateau de Meknès, ou **Saïs*** occidental occupe une partie du karst perché appelé par les géographes " **le bassin lacustre de Meknès-Fès** qui forme la partie Nord du sillon Sud-Rifain. Il est donc situé entre le Plateau Central ou le Causse Moyen Atlasique au Sud, et le domaine Pré-Rifain au Nord.

Ses limites Sud et Sud-Est suivent au piedmont du Moyen Atlas les limites de l'ancien lac pliocène, tandis qu'à l'Ouest et au Nord, où une ligne de l'érosion a enlevé l'armature calcaire notamment au niveau du redan de Meknès.

Le plateau de Meknès représente les 2/3 environ du Saïs. Il s'étend sur 80 km d'Ouest en Est et sur 30 km du Nord au Sud, ses limites sont assez étroitement associées à l'extension des calcaires lacustres qui affleurent. Il est délimité :

- au Nord par les collines et rides Pré-rifaines argilo-marneuses;
- au Sud, par le Causse Moyen Atlasique calcaro-dolomitique ;
- à l'Est par la plaine calcaire de Fès, déprimée de 100 m environ ;
- à l'Ouest , par l'oued Kell et par la vallée de l'oued Beht qui se prolongent par le Plateau Central, essentiellement schisteux.

Conclusion

On peut retenir :

- *La faible largeur du plateau (40 km) par rapport à l'importance des reliefs avoisinants (1000 m) et à la proximité des massifs bordiers qui peuvent donner des épandages plus ou moins grossiers,*
- *l'influence de ces massifs sur le climat (gradient d'aridité Ouest-Est),*
- *les deux massifs ont provoqué des poussées Sud-Nord entraînant des cassures de l'entablement calcaire, des failles et consécutivement des reprises d'érosion.*

* Le **Saïs** est le terme arabe qui désigne l'ensemble morpho-structural formé par le plateau de Meknès et la plaine de Fès armés par les calcaires fluvio-lacustres.

CHAPITRE 2

GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE

2.1 Lithologie (Fig.5 et 6)

Le contexte géologique dans lequel s'inscrit la région étudiée est composé par la série suivante numérotée de bas en haut :

- 6 - Les formations Quaternaires (colluvions, alluvions, Basaltes);
- 5 - les calcaires lacustres durs;!
- 4 - les sables fauves; ! **PLATEAU DE MEKNES**
- 3 - les marnes grises; !
- 2 - les calcaires du Jurassique;
- 1 - les schistes du Primaire.

Le plateau de Meknès proprement dit est constitué des niveaux 3, 4, et 5 auxquels on limitera les descriptions.

- Les marnes grises du Tortonien

Elles présentent à la base des faciès transgressifs, avec sables et galets. Elles ont une couleur grise et bleue, sont tendres et imperméables et toujours au dessous. Elles sont localement intercalées au sein des calcaires lacustres durs.

- Les sables fauves du Villafranchien (TALTASSE, 1953)

Il s'agit d'une formation continentale issue du plateau central et dont les éléments auraient été acheminés et répartis sur le plateau de Meknès, partie par transport fluviatile (présence constante de galets bien roulés) ou par apport éolien enregistré à des périodes d'émersion temporaire des dépôts fluviatiles. Dans la région d'Aït Yazem, la sur-imposition des oueds dans les calcaires lacustres et leur substratum de sables fauves, créent un relief dont l'entablement est constitué par les calcaires lacustres et leurs altérations, et les pentes par des sables fauves.

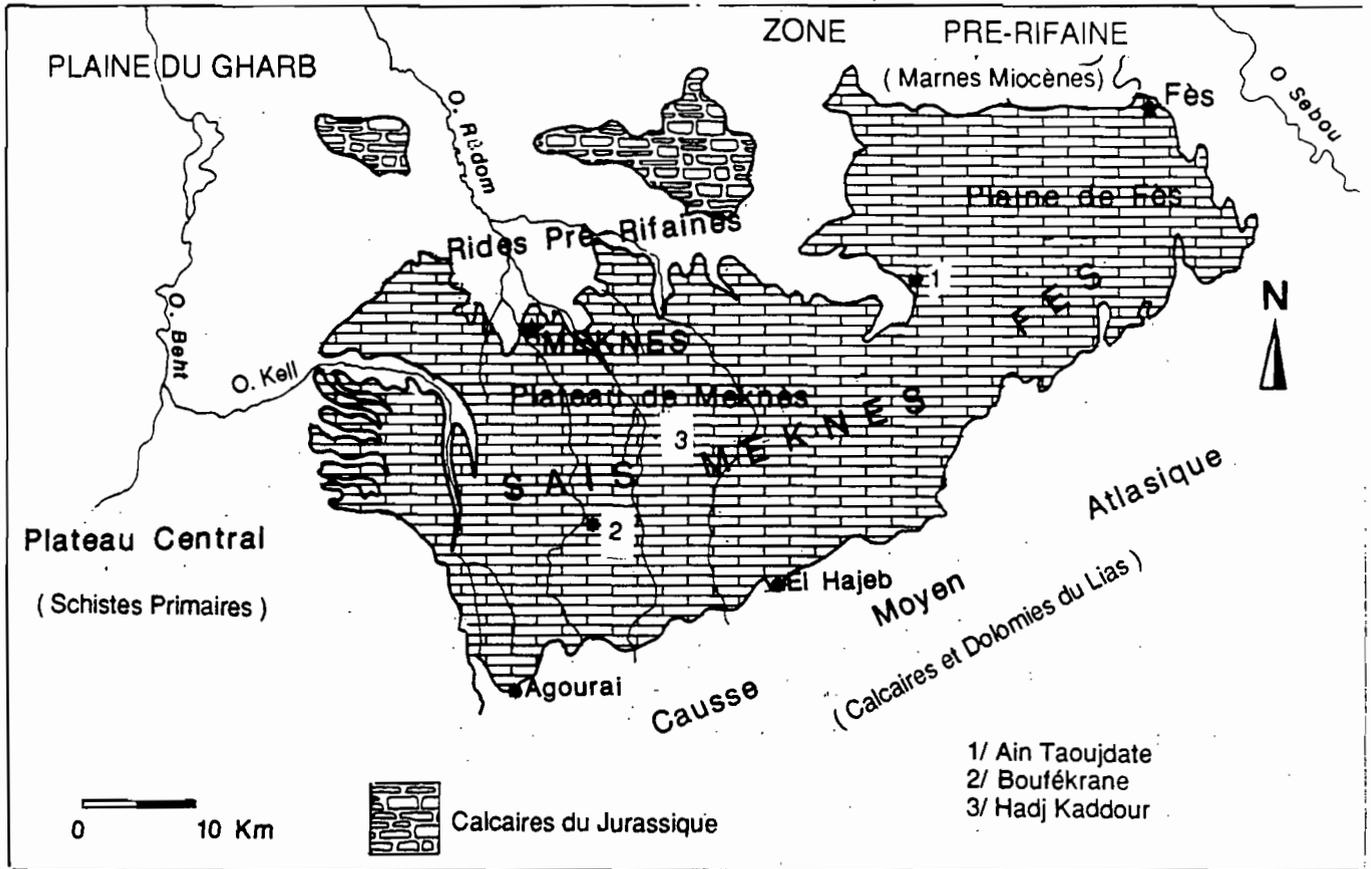


FIG. 4 : Situation du Plateau de Meknès dans le Saïs de Meknès-Fès et principales formations géologiques

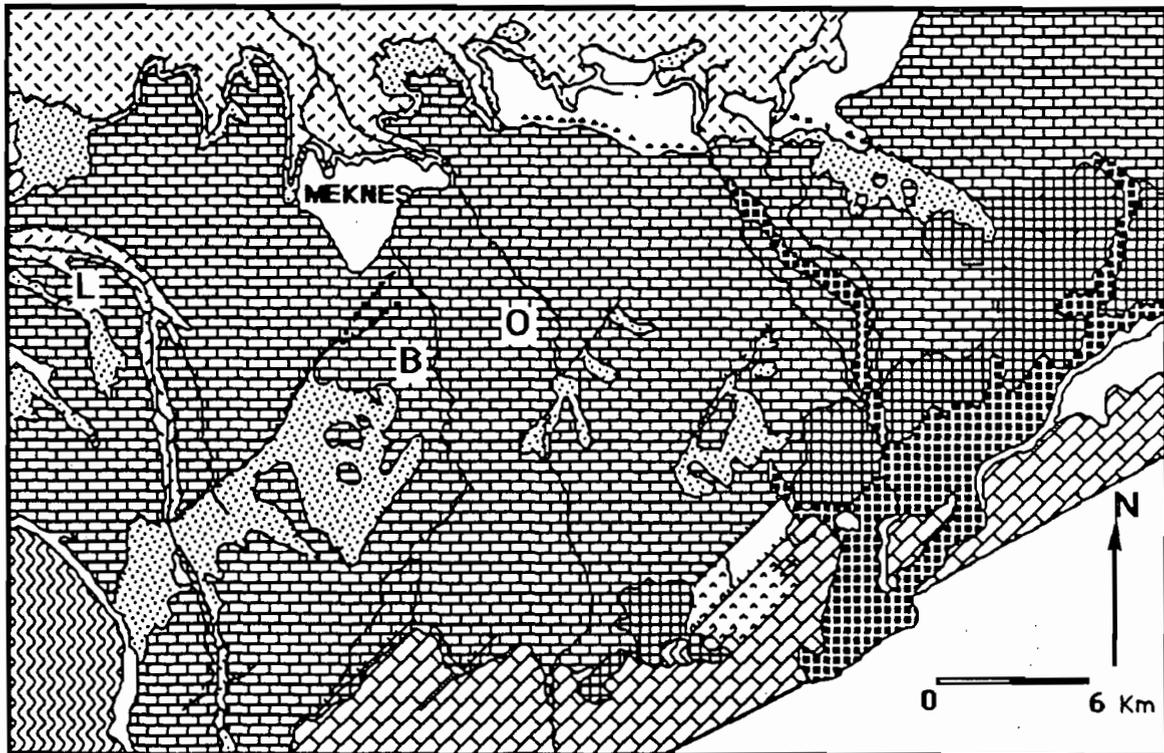


FIG.5 : Esquisse géologique du Plateau de Meknès (d'après FASSI. D., 1978)

LEGENDE (commune aux fig.4 et 5)

- | | |
|---|--|
| □ Formations Quaternaires | ▣ Calcaires et Dolomies du Jurassique |
| ▤ Formations travertineuses | ▥ Marnes du Miocène (tortonniennes) |
| ▦ Basaltes du Quaternaire moyen | ▧ Basaltes altérés et argiles du Trias |
| ▨ Calcaires lacustres de Meknès (plio-villafranchien) | ▩ Schistes du Primaire (Viséen) |
| ▪ Sables fauves et faciès associés du Pliocène | |

L'épaisseur de ces sables est variable. Elle est de l'ordre de **10 - 20 m** à l'Est de Meknès, au Sud elle dépasse **30 m** dans les régions d'Aït Yazem et Boufékrane. Les affleurements de sables fauves sur la partie amont du plateau nous ont paru par contre moins étendus que ne l'indique la carte schématique de la figure 7. Ils sont de couleur variable suivant les affleurements, jaune, ocre rouge. Cependant la couleur "fauve" est la plus étendue.

Les formations sableuses sont constituées de grains fins essentiellement **siliceux**, pour plus de **90%** du total. Elles contiennent en plus des lisérés de galets, à la base la masse sableuse, autant de chenaux fossiles, témoins d'écoulement fugaces qui ont dû se faire au hasard des crues. Enfin, ils sont généralement **non calcaires**, la calcimétrie est toujours de quelques unités pour cent seulement. Cependant, une contamination par les calcaires environnants peut augmenter leur teneur en calcaire et même faire apparaître localement un encroûtement (un encroûtement dans les sables fauves a d'ailleurs été observé par BENABDALLAH F.Z, 1988 dans la sablière d'Aït Yazem sur la route d'Agourai).

La partie supérieure de ces sables fauves présente une différenciation pédologique du type ferrugineux tropical. Cette dernière se manifeste par la présence, à faible profondeur sous des sables clairs, d'un horizon de couleur rouge à concrétions argilo-ferrugineuses (avec de la kaolinite en position de bon drainage, de la montmorillonite ailleurs, BEAUDET G. 1957)

- Les calcaires lacustres (TALTASSE, 1953)

Les calcaires lacustres, entrecoupés de quelques couches marneuses, (lentilles) reposent par l'intermédiaire d'une mince couche d'argile noire sur les sables fauves. Ils sont composés de deux formations superposées.

1) Au sommet, des calcaires **gris** du Pliocène supérieur enregistrant le dernier dépôt constituant l'armature du plateau de Meknès (MARTIN. J., 1981; FASSI D., 1978). Ils sont très étendus mais discontinus latéralement (dalles décamétriques) et d'épaisseur très variable.

2) A la base, des calcaires **belges**, dits calcaires lacustres inférieurs, qui sont beaucoup moins étendus sur le plateau de Meknès et ne figurent pas dans notre zone d'étude.

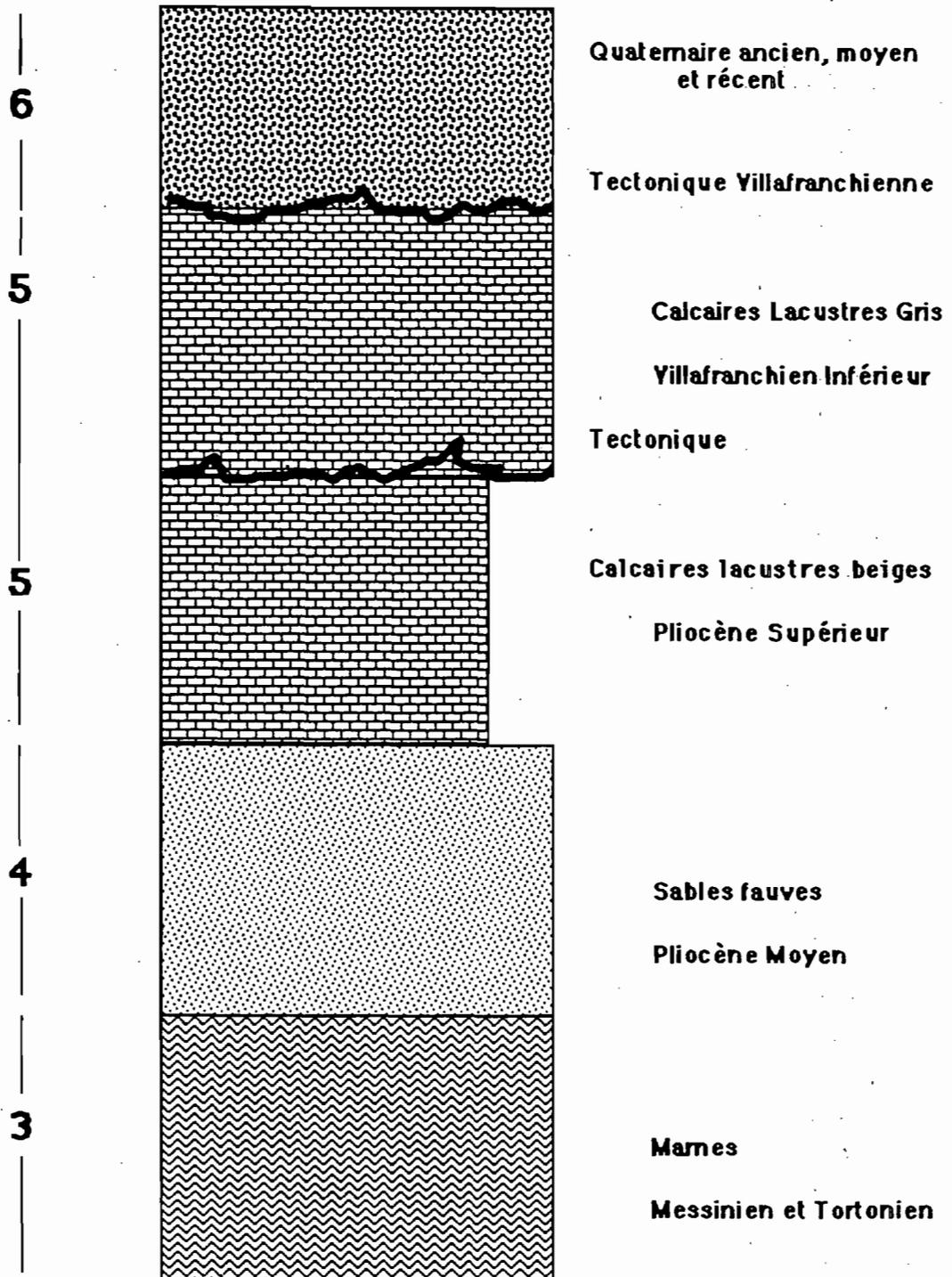


FIG.6 : LITHOLOGIE ET SUBSTRATS

2.2 Caractéristiques lithologiques des formations lacustres : Apports des différents auteurs

Les différents auteurs qui ont étudié ces formations lacustres apportent les précisions suivantes :

* La **CADEM** (cimenterie de Meknès) a réalisée des sondages montrant que la sédimentation lacustre admet des changements de faciès aussi bien verticalement que latéralement que l'on peut cependant regrouper en deux formations : les **calcaires durs** et les **calcaires tendres** plus ou moins pulvérulents groupés sous l'appellation "**tufs**".

* **TALTASSE**, 1953, dans son étude du bassin du Saïs, souligne la grande variabilité de ces sédiments calcaires. Il en décrit différents faciès :

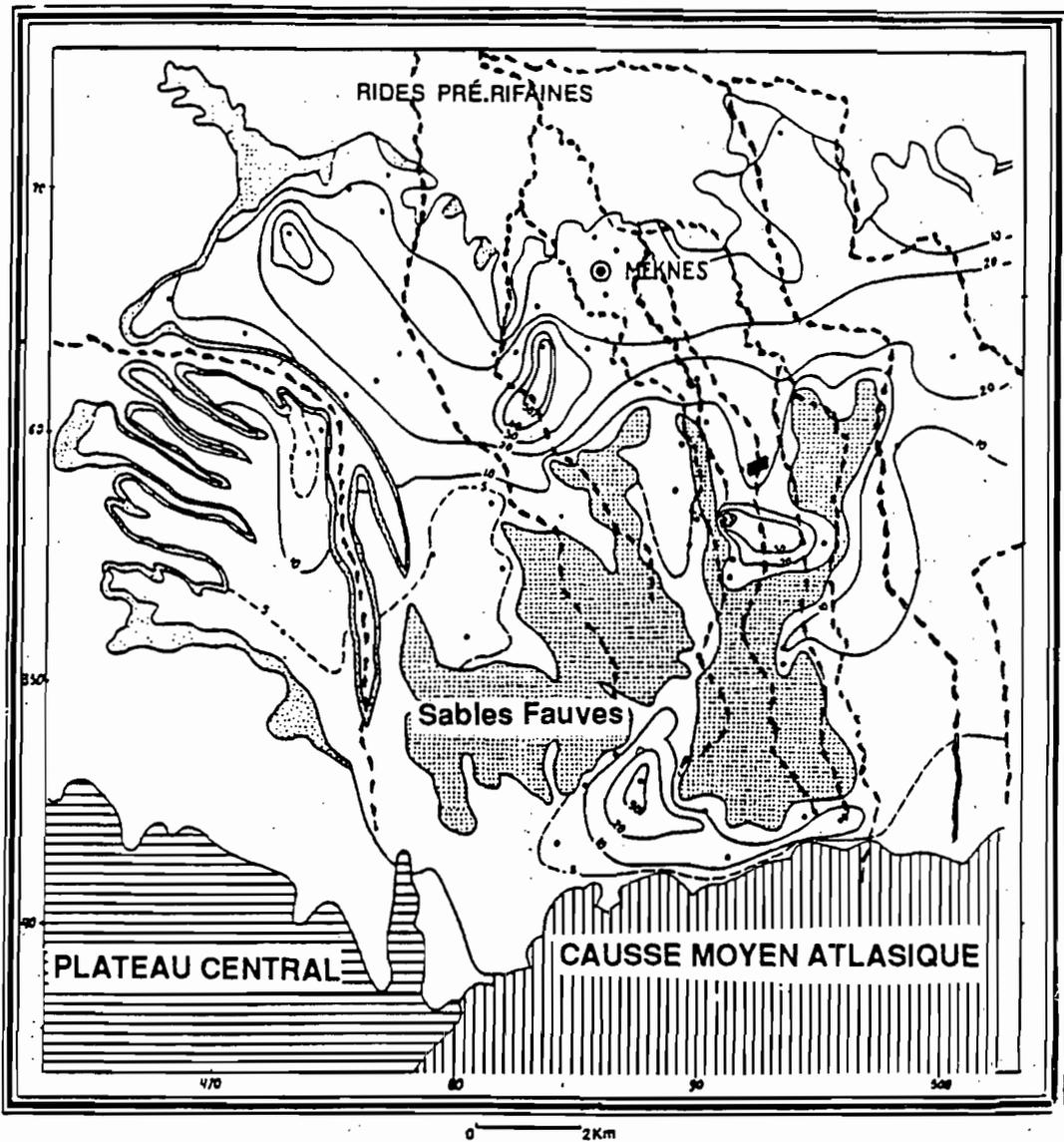
- des calcaires durs à grains fins et très compacts;
- des calcaires durs détritiques à algues;
- des calcaires durs à pseudo-oolithes;
- des calcaires tendres (peu consolidés ou pulvérulents) riches en minéraux argileux, groupés sous l'appellation de "**tufs calcaires**".

Il montre dans la figure 7 que les calcaires lacustres s'épaississent localement jusqu'à **50 m.** (pivôts) ce qui a conduit l'auteur à admettre une subsidence du lac, surtout active devant les rides Pré-Rifaines.

* **CIRAC** (1985), cité par **AHMAMOU** (1987), fait aussi intervenir le phénomène de *subsidence* pour expliquer la constance et l'homogénéité de la sédimentation au centre de ce bassin lacustre où les calcaires peuvent atteindre 100 m d'épaisseur

* **BACH et MEYER** (1986) distinguent dans le plateau de Meknès différents faciès :

- des calcaires *micritiques* passant à des **marnes** et des argilites;
- des calcaires construits, essentiellement des travertins;
- des brèches et des calcarénites.



S.E.D. (Secteur D'étude Détaillée)
Réseau hydrographique

**FIG. 7 : Isopaques des formations lacustres du plateau de Meknès
 (d'après TALTASSE, 1953)**

Commentaire

La carte de TALTASSE montre l'épaisseur variable des calcaires lacustres. Le maximum observé sur le plateau de Meknès est de 50 m, avec une puissance moyenne inférieure à 10 m.

Elle fait apparaître par ailleurs la forte entaille par érosion régressive à l'Ouest et au Nord du plateau et les trois pivots alignés de direction Nord-Ouest dont deux coïncident avec le replat aval du plateau.

* **FASSI (1978)**, souligne aussi la grande variabilité de faciès des calcaires lacustres, "il n'est pas rare de voir le calcaire lacustre changer de faciès au mètre près". Il distingue divers faciès basés sur des caractères morphologiques qui sont la *couleur* et la *résistance*.

- les calcaires **durs**, en **banc** unique et épais de moins de **10 m**, gris ou **beiges** débutant la stratification. Ils sont résistants et souvent lapiazés et leur teneur en carbonate de calcium varie de **80 à 90%**. Ces calcaires affleurent largement entre Boufékrane et Meknès.

- les calcaires **durs**, rarement en banc unique, épais de quelques mètres, **blancs** situés au dessus du faciès précédent. Ils sont souvent associés à des tufs. Ces calcaires sont moins étendus dans le paysage.

- les **tufs** calcaires, **blancs**, purs et **pulvérulents**, ou imprégnés d'argiles qui leur confèrent une certaine plasticité. L'auteur en distingue deux catégories selon la teneur en calcaire :

- * les tufs de *décomposition* des calcaires blancs par perte de cohésion de ces derniers. Ces calcaires enveloppent des blocs de calcaires blancs en forme de boules sans changement de teneur en calcaire. Leur teneur en carbonate est de l'ordre de **75 %**;

- * les tufs *sédimentaires* les plus pollués et les plus colorés contenant moins de **70 %** de carbonates. Ils sont très largement répandus et interstratifiés dans les dépôts lacustres à plusieurs niveaux sous forme de bancs métriques.

Conclusion

Sur la base de ces données, on doit s'attendre à avoir une grande variation du substrat et qui a affecté probablement les roches mères.

Nos propres observations, il est vrais ne sont pas nombreuses, ne confirment pas cette hétérogénéité lithologique qui sera mise en cause. Cette hypothèse de la variabilité du substrat sera discuté dans la quatrième partie de ce mémoire.

DISCUSSION ET CONCLUSION

On relève effectivement une grande diversité de couleurs et de résistance d'un point à l'autre d'un même bloc de calcaire dur. Ces variations s'observent même non seulement latéralement et verticalement mais de l'intérieur vers l'extérieur de chaque bloc. Il s'agit alors probablement de faciès d'altération croissante d'une même roche. Ces variations de faciès sur de courtes distances, verticales et latérales, ne surprennent pas dans le cas d'une sédimentation lacustre soumise aux fluctuations climatiques du pays environnant qui l'alimente en produits détritiques ou en calcaires..

Cette complexité de la stratigraphie lacustre, s'ajouta aux transformations post-lacustres, renda en général la détermination des roches-mères des sols très difficile.

On cherchera donc à dégager (Cf. chap.8) les filiations éventuelles entre ces différents faciès, en tenant compte de leur hétérogénéité.

2.3 Tectonique et histoire du paysage

La sédimentation des sables fauves enregistre la dernière transgression-régression marine. Celle des calcaires lacustres se produit dans une zone de subsidence devant les rides Pré-Rifaines.

Ce phénomène de subsidence est évoqué également par CIRAC (1986) pour expliquer l'homogénéité et la profondeur de 100 m atteinte par les calcaires lacustres au centre du bassin.

BEAUDET (1969) qui a étudié plus particulièrement le plateau central, situe au Villafranchien l'extension vers l'Ouest du lac du Saïs provoquant le dépôt de boues plus calcaires (venant du Moyen Atlas) dans une plaine marécageuse adjacente. Ce sont ces boues qui forment maintenant les calcaires lacustres épais de 10 à 20 m qui soustendent le plateau de Meknès.

Dans sa position entre domaines structuraux différents, le domaine rifain au Nord et le Causse Moyen Atlasique au Sud, le plateau de Meknès s'est comporté comme une zone de faiblesse ayant été soumise à des déformations régies par les différentes phases tectoniques affectant l'ensemble du sillon sud-rifain. Il a été soumis par la suite à des déformations distensives et compressives au Pliocène (HMAOU, 1987), qui l'on affecté plus au Nord. (nous avons par exemple, observé le redressement à la verticale

des calcaires lacustres au contact des marnes, près des rides, du Jebel Aïcha Mouguetaya dans la région de l'Oudaya).

FASSI (1978) dans sa carte repère au centre et à l'Est du plateau de Meknès des failles et des flexures d'orientation Sud-Ouest, Nord-Est qui font affleurer les sables fauves en fenêtres à l'Est des fractures.

Cette activité tectonique en compression plus ou moins continue fait intervenir un changement structuro-sédimentaire relativement important correspondant aux premières manifestations de la tectogenèse atlasique. Elle se manifeste par un serrage qui va affecter le bassin sédimentaire et serait responsable de l'installation d'un réseau de fractures et diaclases plus ou moins importantes et profondes. Il pourrait aussi être à l'origine d'une alimentation en alluvions et colluvions après la surrection progressive suivi d'une érosion du Moyen Atlas.

Le plateau de Meknès est soutenu par un entablement calcaire dont l'épaisseur atteint 100 m dans les zones les plus subsidentes du bassin, alors qu'elle peut se réduire à 10 m et moins en bordure avec des faciès littoraux marquant les limites originelles du bassin. Le remplissage (puissance) ainsi que le comblement (importance) sont probablement fonction de la topographie initiale accidentée offerte avant la sédimentation.

Commentaire

Ce plateau calcaire est entaillé et maintenant en pente notable (1 à 1,3 %) vers le Nord; puis vers le Nord-Ouest, ce qui indique des actions tectoniques postérieures au dépôt. Les flexures et les failles mises en évidence par la carte de FASSI, suggèrent d'autres déformations mineures.

Ces accidents à rejet contribuent au changement de pente vers le Nord-Ouest du plateau (devers) du plateau.

Il restera à montrer si ces zones marquées par la tectonique constituent des zones privilégiées pour la diversification des processus d'altération et où se localiseraient des différenciations pédologiques profondes.

Conclusion

Les contraintes tectoniques jointes à la décompression des calcaires lacustres durs (consolidés) ont provoquées d'importants réseaux de diaclases qui assurent la perméabilité en grand de ces formations. Par ailleurs, la présence de pertes et de résurgences dans le réseau d'oueds et talwegs, ainsi que les nombreuses sorties d'eau par les sources du talus Nord, sont la preuve d'écoulements souterrains de type karstique. On a d'ailleurs observé des calcaires lapiazés dans le bas de versant (bas-fond) du SED. La dissolution des faciès durs est pratiquement complète.

Les calcaires tendres correspondant à un faciès plus riche en produits détritiques (sables et argiles) peuvent donner par dissolution des sols argileux. Les zones de calcaires tendres, intercalées d'argilles, sont intéressantes à repérer en cartographie.

Le chapitre 8 précisera les filiations possibles éventuelles entre ces divers faciès. Car les différents faciès d'altération, observés, arrivent au contact des calcaires lacustres "sains" sans transition pouvant aussi évoquer un épisode détritique ou le dépôt de sédiments différents.

Le réseau de diaclases et de failles assure à la fois un stockage d'eau météorique et leur entraînement en profondeur (réseau karstique). Il importe donc d'étudier celui-ci pour utiliser au mieux les résurgences et ces réserves d'eau qui échappent par évaporation.

Les formations calcaires qui forment encore l'entablement du plateau de Meknès ont donc été d'abord une surface structurale. Cette surface a été ultérieurement déformée par basculement, flexures et fractures. Elle est attaquée par l'aval et l'Ouest par une érosion régressive encore active. L'armature calcaire est peu épaisse, diaclasée et karstifiée, elle a même disparu sur le bord soulevé des failles. Elle protège mal cette surface dans laquelle les sables fauves apparaissent en fenêtres, le soubassement marneux est à faible profondeur.

Le plateau calcaire de Meknès est donc une surface structurale de résistance très variable à l'érosion. Celle ci l'entaille sur son talus-Nord et Sud-Ouest dégagant les formations géologiques sous-jacentes aux calcaires de Meknès. La tectonique joue un rôle essentiel dans la morphologie de ce paysage et donc dans son évolution superficielle de type karstique. On tentera donc d'utiliser cette relation dans les deux sens, expression de la néotectonique dans l'évolution pédologique récente et inversement.

CHAPITRE 3

BIOCLIMAT ACTUEL

Le bio-climat du sol associe des paramètres du climat atmosphérique aux caractéristiques du milieu vivant, lui même modifié par les interventions humaines. On précisera d'abord les données climatiques actuelles : pluviosité, températures, évaporation, ainsi que leurs variations dans le temps et dans l'espace. Puis on décrira succinctement la végétation et la faune, qui sont profondément marquées par une longue histoire culturelle.

On évoquera ensuite les variations passées du bioclimat.

3-1 Type de climat actuel

Nous essayerons de préciser les caractères du climat actuel, à partir d'observations météorologiques disponibles à ce jour sur une période suffisante pour donner une vue générale du climat, puisque le total annuel des précipitations fluctue d'une année sur l'autre

*** Les stations météorologiques**

Les stations météorologiques dont les données sont utilisées ici sont au nombre de 3 :

- Meknès-Aviation (période 1951- 89)
- Meknès-ENA, située à 10 km plus au Sud (période 1951-1991)
- Ain Taoujdate, située à 40 km plus à l'Est, plus éloignée donc des influences maritimes (période 1960-84).

Le tableau 1 indique les coordonnées et les altitudes de ces trois stations.

*** Paramètres moyens pluvio-thermiques**

Le tableau 1 donne les moyennes mensuelles des paramètres climatiques utilisés, précipitations et températures (maxima, minima, moyennes).

La figure 8 présente pour les années de mesure les moyennes mensuelles des précipitations sous forme d'histogrammes, ainsi que les températures moyennes et extrêmes.

Tableau 1 : Données pluviométriques et thermiques des 3 stations, moyennes mensuelles et total annuel.

STATIONS	PERIODE	Pmm T°C	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Moy
MEKNES-AVIATION 5°33'W-33°54'N-550m	51-89	Pluv.	15	44	72	89	77	77	70	70	36	11	2	2	565
		Moy.	23	19	13	15	13	11	13	15	17	21	26	26	18
		Max	29	25	16	23	15	17	18	20	23	27	33	33	23
		MIn	16	13	9	6	11	5	7	9	11	15	18	18	12
E . N . A. 5°33'W-33°52'N-625m	51-91	Pluv.	12	40	66	82	77	77	72	61	36	13	1	2	534
		Moy	22	18	14	10	9	11	12	14	17	20	24	25	16
		Max	29	24	19	16	15	16	18	20	24	27	32	33	23
		MIn	15	11	9	5	5	6	6	8	11	13	16	17	10
AIN TAOUJDATE 5°13'W-33°56'N-465m	61-84	Pluv.	7	41	58	53	68	71	60	62	33	18	1	0	472
		Moy	22	18	14	10	10	12	13	14	17	22	26	26	17
		Max	30	24	20	16	16	18	19	20	24	29	35	35	24
		MIn	15	12	8	5	5	6	7	8	10	14	18	17	10

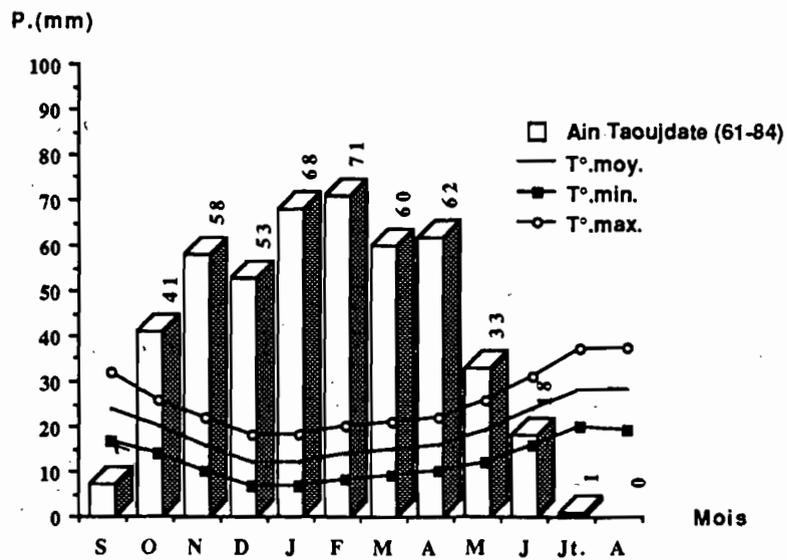
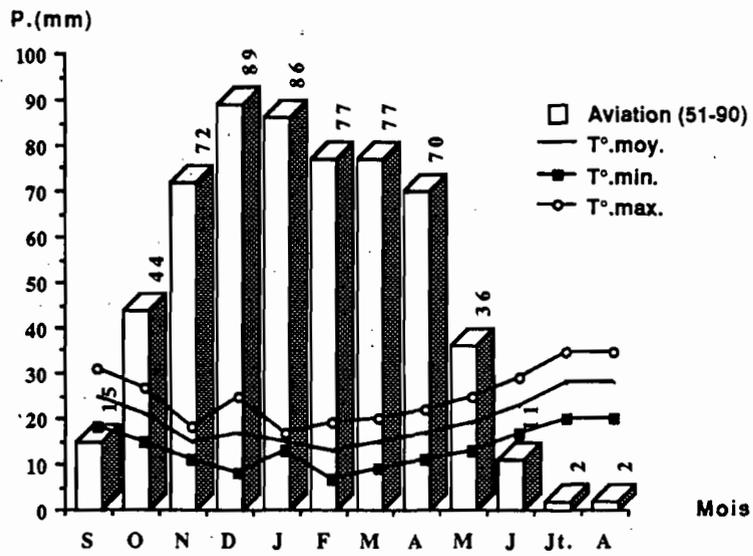
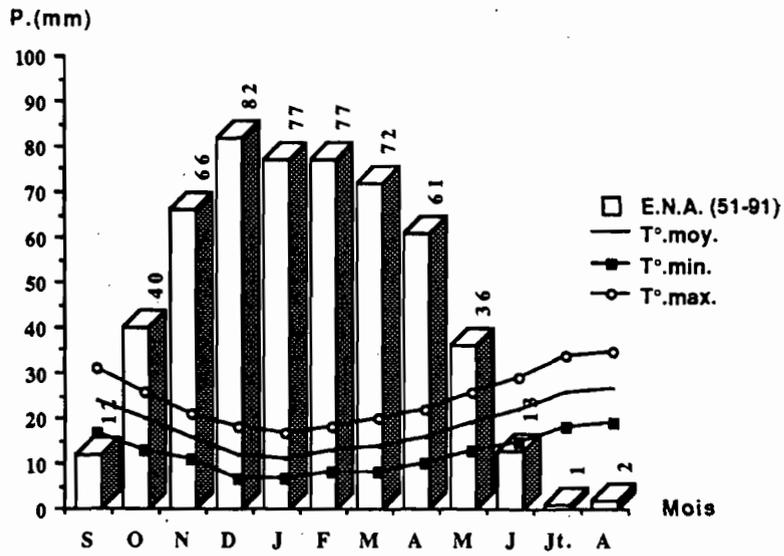


Fig. 8 : Moyennes mensuelles des précipitations, des températures moyennes et extrêmes

Commentaire du tableau 1 et de la fig. 8:

On constate que la région du plateau de Meknès est relativement bien arrosée puisque les hauteurs moyennes atteignent **565 mm** (Meknès-Aviation), **534 mm** (Meknès-ENA) et **470 mm** (Ain Taoujdate). Comparé aux autres régions agricoles du Maroc, elle se place à la troisième position concernant les précipitations annuelles derrière les régions du Rif, Pré-rif et du Rharb qu'elle jouxte au Nord et au Nord-Ouest (LOUDYI. B., 1989).

On constate, en outre, une double alternance annuelle, concernant l'une la pluviosité, l'autre la température : ces deux variations sont accordées, l'hiver coïncidant avec la période pluvieuse. C'est là la principale originalité des climats de type méditerranéen, à la différence des zones sahéliennes.

Conclusion : *Le climat actuel est caractérisé du point de vue pluvio-thermique par l'alternance annuelle d'une saison **chaude et sèche** et d'une saison **fraîche et humide** (pluies d'hiver).*

Cette répartition est favorable à une bonne économie de l'eau.

*** Données de la littérature**

La caractérisation précédente est en accord avec les nombreuses données de la littérature sur la climatologie de la région de Meknès :

- *Rapport général du Projet Sebou* (1968) indique que le rythme pluvio-thermique présente durant l'année climatologique une saison chaude et sèche d'été de Mai à Septembre et une saison humide d'hiver.

- *LOUDYI. B.*, (1989) définit le climat de la région de Meknès par deux périodes bien marquées par l'examen des données relatives aux précipitations et aux températures : une période humide et fraîche d'Octobre à Avril et où les mois de Décembre et Février s'avèrent en moyennes les plus pluvieux et Janvier le plus froid. Une période chaude et sèche étalée sur le reste de l'année où les mois de Juillet et Août enregistrent les températures moyennes maximales et des précipitations pratiquement nulles. Il indique en outre que cette période sèche est légèrement plus étalée pour Ain Taoujdate que pour Meknès-Aviation.

- *BENABDALLAH. F.Z.* (1986) note, pour la même région, que le régime des pluies s'articule sur deux grandes saisons: une saison humide à deux maxima, l'un en automne et l'autre au début du printemps. Une saison sèche intervient le reste de l'année, dès le mois de Mai, avec un creux prononcé en Juillet et Août pour lesquels les hauteurs de pluies restent inférieurs à 5 mm.

- *LAMOUREUX. M.* (1972) note que la répartition saisonnière des précipitation au Liban est une grande caractéristique du climat de la zone de plateau : la presque totalité des chutes de pluies et de neige se fait en hiver, entre Novembre et Mars, alors que la sécheresse apparaît dès le mois d'Avril jusqu'en Octobre.

* *Classification du climat du plateau de Mèknès*

La classification des climats fut abordé par plusieurs climatologues qui ont proposé divers systèmes basés sur la combinaison des paramètres et des indices climatiques.

Classification d'après EMBERGER L.(1952-55)

La fig.9 présente le climatogramme pluviométrique d'EMBERGER qui prend en compte les paramètres climatiques suivants :

(P) précipitations moyennes annuelles en mm ,

(M) la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud,

(m) la moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

Le coefficient **QE** d'EMBERGER est calculé d'après l'équation suivante :

$$QE = \frac{1000 P}{(M + m) (M - m)}$$

Commentaire

Ce diagramme climatique, qui situe les principaux étages et sous-étages climatiques, place la région de Mèknès sous climat méditerranéen, et plus précisément entre le type semi-aride et le type sub-humide et appartient au sous-étage à hiver tempéré.(QE varie de 65 pour Mèknès-Aviation à 61 pour Mèknès-ENA et 46 pour Ain Taoujdate).).

Cette position peut correspondre à une transition congruente entre ces deux types de climat. Elle peut aussi se traduire par un alternance d'années ou de période se rattachant plutôt à l'une ou l'autre type.

Pour ce faire, on analysera la distribution des **précipitations** d'abord à l'échelle **inter-annuelle**, puis à d'autres échelles de temps. On intégrera, chemin faisant, **les variations spatiales**.

La **régularité** du début des pluies est également importante, car elle détermine la germination, c'est à dire le démarrage des cultures à cycle annuel.

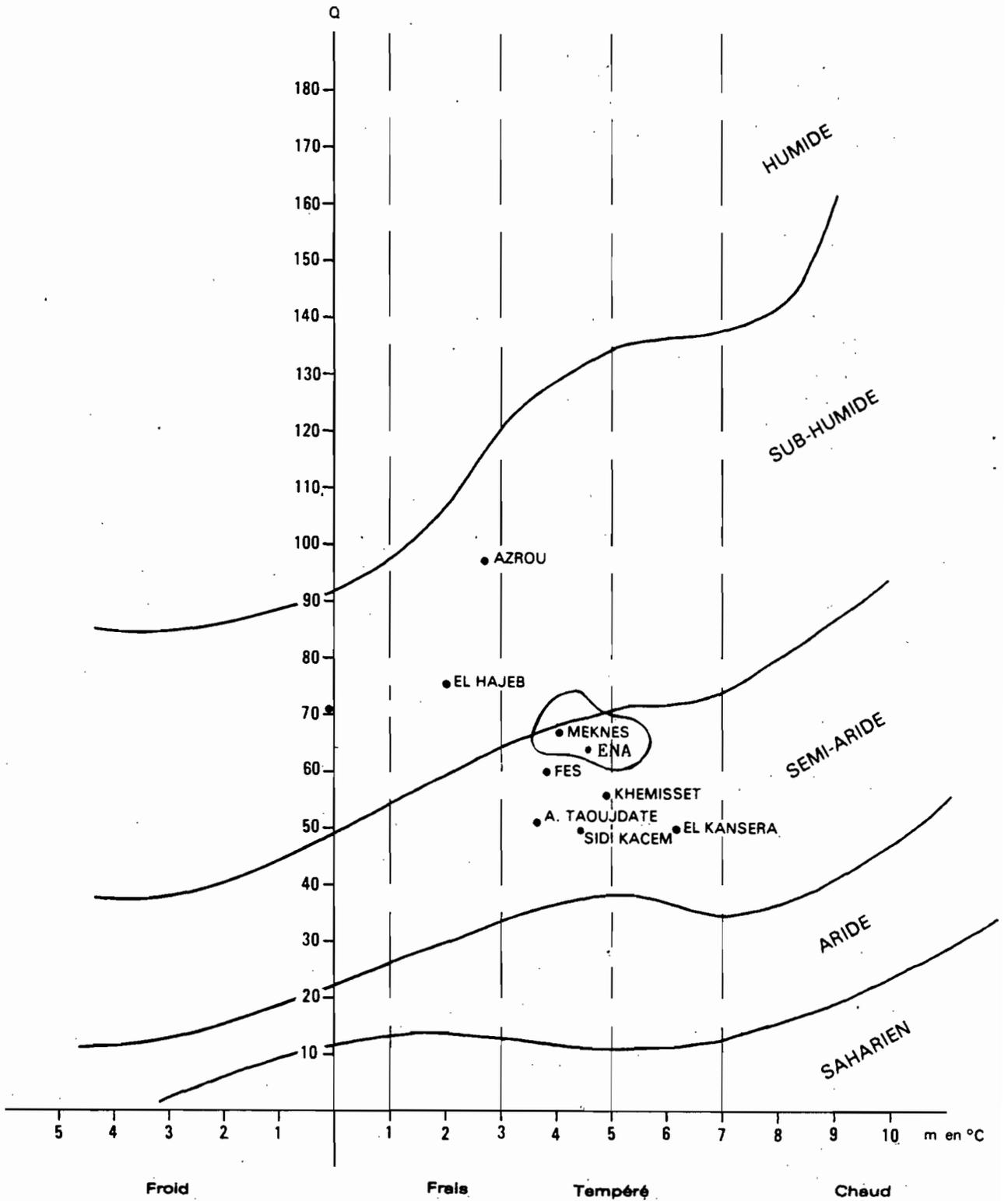


FIG. 9 : CLIMAGRAMME PLUVIOTHERMIQUE D'EMBERGER

3-2 Pluviosité

* Variations inter-annuelles

Le régime pluviométrique varie peu géographiquement, mais comme tout climat méditerranéen, on constate de fortes variations interannuelles et intrannuelles. Cette irrégularité des régimes des pluies est une contrainte considérable pour les cultures pratiquées, à dominante annuelle.

A l'image de la pluviosité annuelle, la variabilité mensuelle (irrégularité des débuts des pluies) n'est pas moins grande : les mois les plus secs, où la pluviométrie est parfois nulle, dépassent certaines années 13 mm pour une moyenne mensuelle de 2 mm.

Les moyennes mensuelles sont indiquées dans la figure 8. Les figures 10 & 11 présentent sous forme d'histogrammes les totaux annuels des précipitations au cours de la période de mesure et les écarts à la moyenne annuelle.

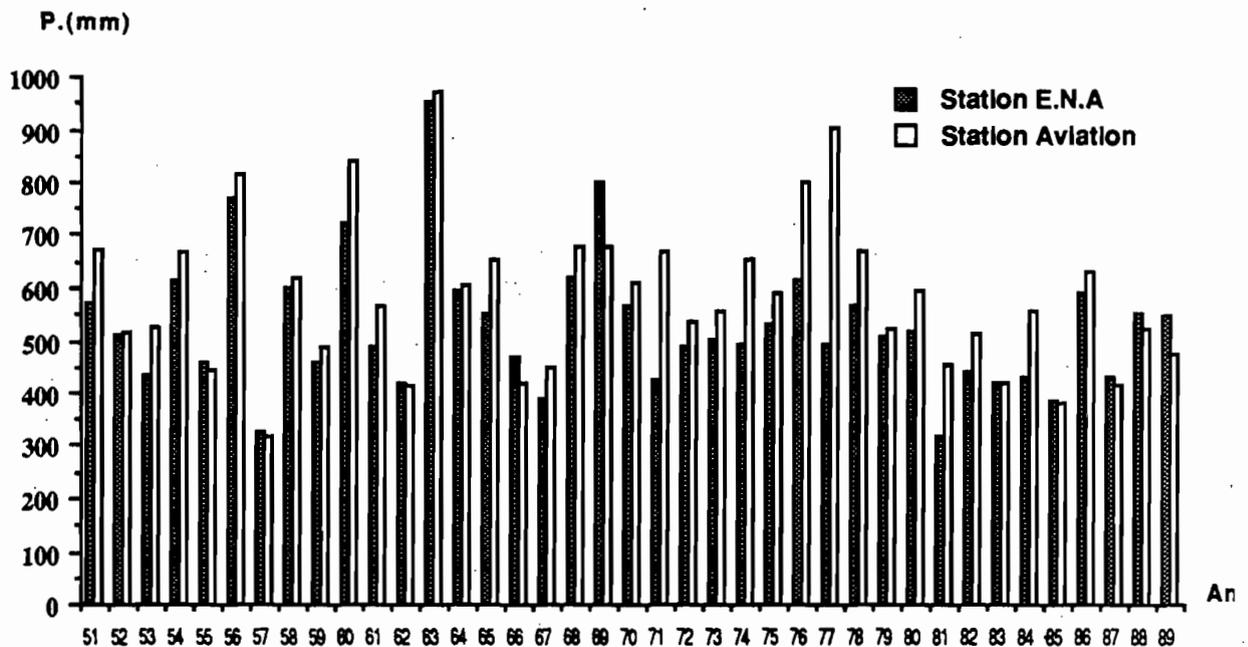


Fig. 10 : Moyennes annuelles des précipitations

Commentaire

L'examen des histogrammes des totaux annuels des précipitations des 3 stations montre des hauteurs moyennes annuelles de pluie comprises d'Ouest en Est entre 573 mm, 534 mm et 470 mm.

Le régime annuel des pluies est caractérisé par une concentration des précipitations d'Octobre à Avril avec un maximum bien marqué en Décembre (86 mm) et un autre en Février (85 mm). De Mai à Septembre s'instaure une période sèche avec de très faibles précipitations qui se présentent souvent sous forme d'averses orageuses qui entraînent des crues soudaines capables d'un transport d'éléments grossiers et fins localement importants.

On constate aussi une grande variabilité interannuelle qui fait succéder dans le temps des périodes plus arides et des périodes plus humides.

Il faut donc situer ces différences par rapport à la moyenne des années correspondantes. La fig.11 présente l'écart à la moyenne, calculé comme la moyenne arithmétique des écarts par rapport à l'indice pluviométrique annuel moyen et qui est de 550 mm, pendant les années de mesure.

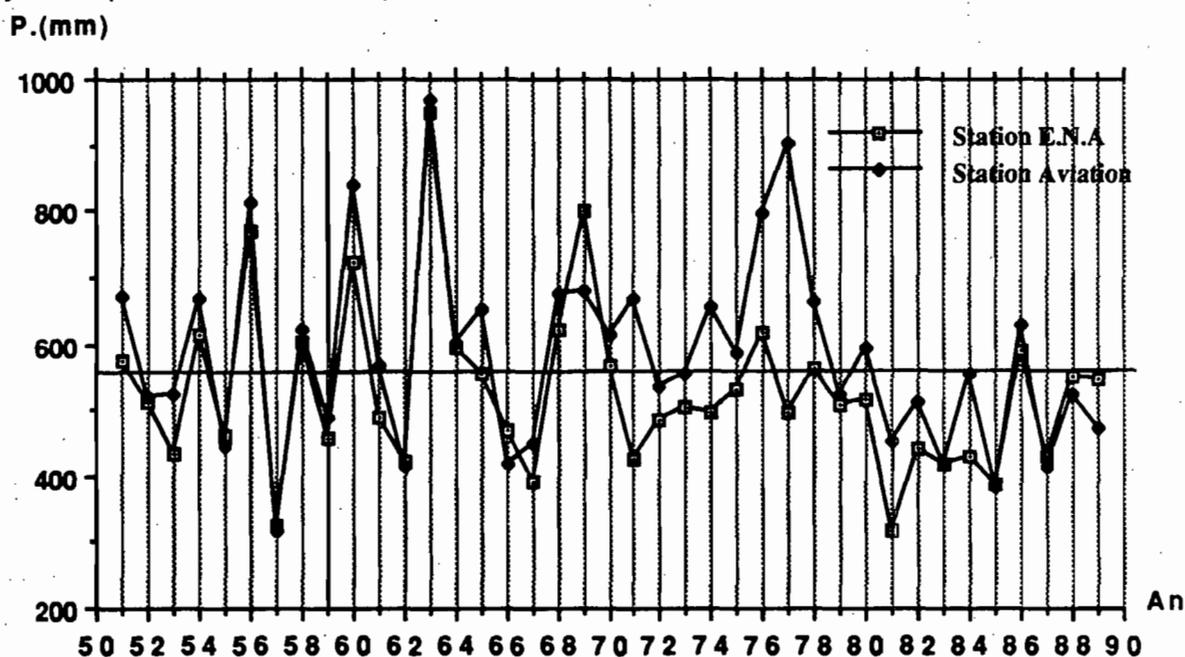


Fig. 11 : Les écarts à la moyenne annuelle des précipitations

Commentaire :

L'écart annuel moyen par rapport à l'année normale est de 108 mm soit 19 %. L'écart négatif annuel maximum a été observé en 1956-57 avec 248 mm soit 44 %. L'écart positif annuel maximum est de 404 mm soit 70%, il a été enregistré en 1962-63.

Une certaine périodicité semble exister dans la répartition annuelle des pluies. La variation par rapport à la moyenne suggère la succession de deux périodes pendant les 40 années de mesure :

- de 1950 à 1980, les totaux sont alternativement supérieurs et inférieurs à la moyenne, avec une **alternance le plus souvent biennale**,
- de 1980 à 1990, on constate un déficit continu de **100 mm** en moyenne.

Une variation **biennale**, souvent même annuelle, caractérise donc la période 1950-80.

La variation **décennale** oppose la période précédente et la période 1980-90.

Conclusion

On devra tenir compte de cette *triple périodicité climatique* dans l'essai de compréhension des mécanismes pédologiques qui régissent la formation des sols du plateau de Meknès.

Les alternances intra-annuelles par l'alternance de saison sèches (7 mois) et d'une saison relativement humide (5 mois).

Les alternances annuelles ou biennales (rythmées sur un à deux an), années sèches et années humides sont favorables à une pédogenèse relativement active.

La périodicité décennale d'années sèches qui ralentit ou bloque plus longtemps, les mécanismes pédogénétiques.

*Les variations pluviométriques interannuelles enregistrées jouent un rôle pédologique important dans l'évolution actuelle de la couverture pédologique : les **années sèches** favorisent des concentrations de solutions et l'induration des matériaux, les **années humides** provoquent une altération et un transport de matières qui peuvent être importants par voie superficielle ou souterraine. Mais ceci devrait être étayé par des mesures de paramètres du fonctionnement hydrique et du pédoclimat.*

*** Différence d'une station à l'autre**

On note aussi des différences d'une station à l'autre, par exemple entre les stations Meknès-Aviation et Meknès ENA.

La figure 12 présente année par année la différence positive ou négative entre les totaux annuels des précipitations des deux stations proches (10 km) : la station Meknès-Aviation et la station Meknès-ENA.

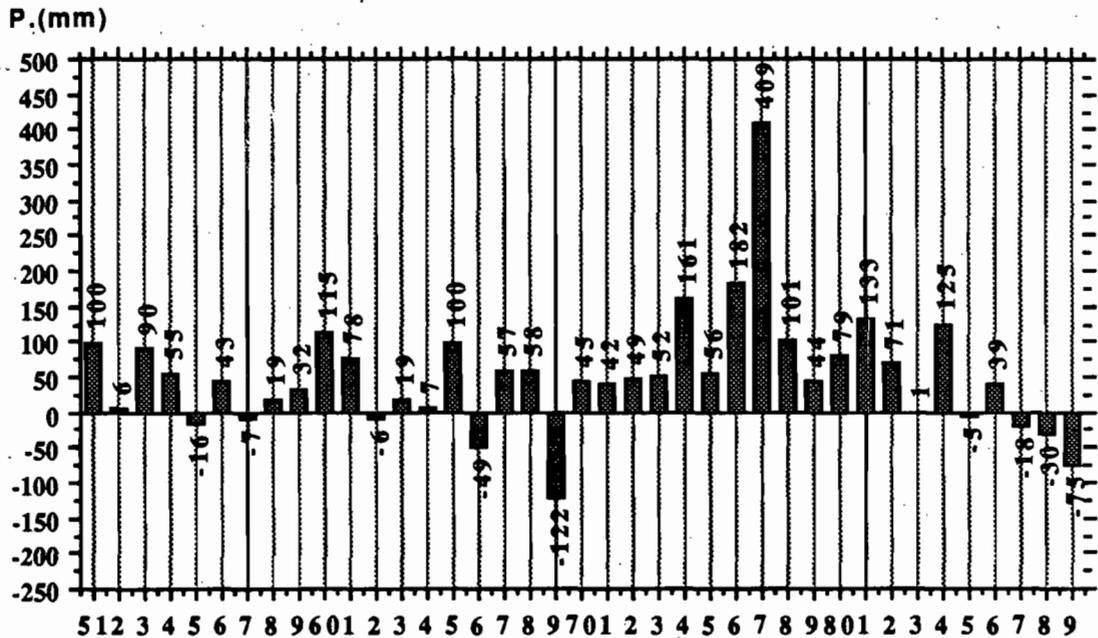


Fig. 12 : Différences des totaux annuelles des précipitations en mm entre stations voisines (période 51-89)

Commentaire

La figure 12 montre des différences entre la station Meknès Aviation et celle de l'ENA qui varient de 6 à plus de 400 mm. La période 1976-1984 enregistre les différences les plus grandes.

Conclusion

Si cette irrégularité n'est pas due à des orages locaux et qu'elle affecte aussi les régimes thermiques, elle se répercute sur le rythme végétatif, le régime hydrologique, etc...

Il faut faire la part des différences dues à des facteurs stationnels et ceux qui traduisent une dérive du climat.

3.3 Variations à d'autres échelles de temps : Approche des variations spatiales

Il faut donc passer à d'autres échelles de temps, notamment aux échelles journalières et décadaires pour faire la part des irrégularités stationnelles.

***Variations journalières**

On analysera en particulier la pluviosité journalière, à différentes période de l'année, et en comparant les stations Meknès-Aviations et Meknès-ENA qui sont rapprochées et qui se trouve sur le plateau , ne connaissant ni situation d'abri, ni surexposition et qui par conséquent traduisent bien les tendances moyennes du climat du plateau de Meknès.

Le tableau 2 permet de comparer la pluviosité journalière de ces deux stations.

Commentaire

On constate une irrégularité de la pluviosité entre les deux stations, mais aussi une variation synchrone.

***Variations décadaires**

Pour comprendre l'influence du climat sur la pédogenèse et la végétation, il faut aussi tenir compte de la durée et de l'intensité des épisodes secs en saison des pluies qui sont des périodes de ressuyage. Pour analyser les récurrences sèches en saison humide, et inversement les périodes humides en saison sèche, il est commode de s'appuyer sur les données à l'échelle décadaire.

La figure 13 présente les histogrammes les précipitations décadaires des stations de Meknès-ENA.et Meknès-Aviation.

Commentaire

Comme pour les variations journalières les deux stations présentent des variations irrégulières mais synchrones. Les décades 9, 10, 14, 18, correspondants aux mois de Novembre, Décembre, Janvier et Fevrier sont les plus pluvieuses.

Tableau : Précipitations journalières à Meknès-Aviation et Meknès-ENA en 1987-88

J	Sept.		Oct.		Nov.		Déc.		Janv.		Fevrier		Mars		Avril		Mai		Juin		Jt.		A out	
1	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	2	24	10	0	0	0	1	0	0	10	0	0	0	8	6	0	0	0	0
3	0	0	0	0	18	16	10	6	0	0	0	0	11	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	4	3	0	0	17	17	0	0	0	0	5	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	18	3	1	14	15	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	3	20	1	7	1	2	22	0	0	0	0	0	18	6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	7	1	1	0	1	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	12	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	9	8	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	2	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	7	8	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	12	10	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	8	9	26	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	4	0	0	3	8	11	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	23	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	1	0	0	0	0	23	16	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0	3	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	5	17	0	0	0	0	25	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	38	7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	0	4	35	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	6	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	11	11	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0	0			11	12	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

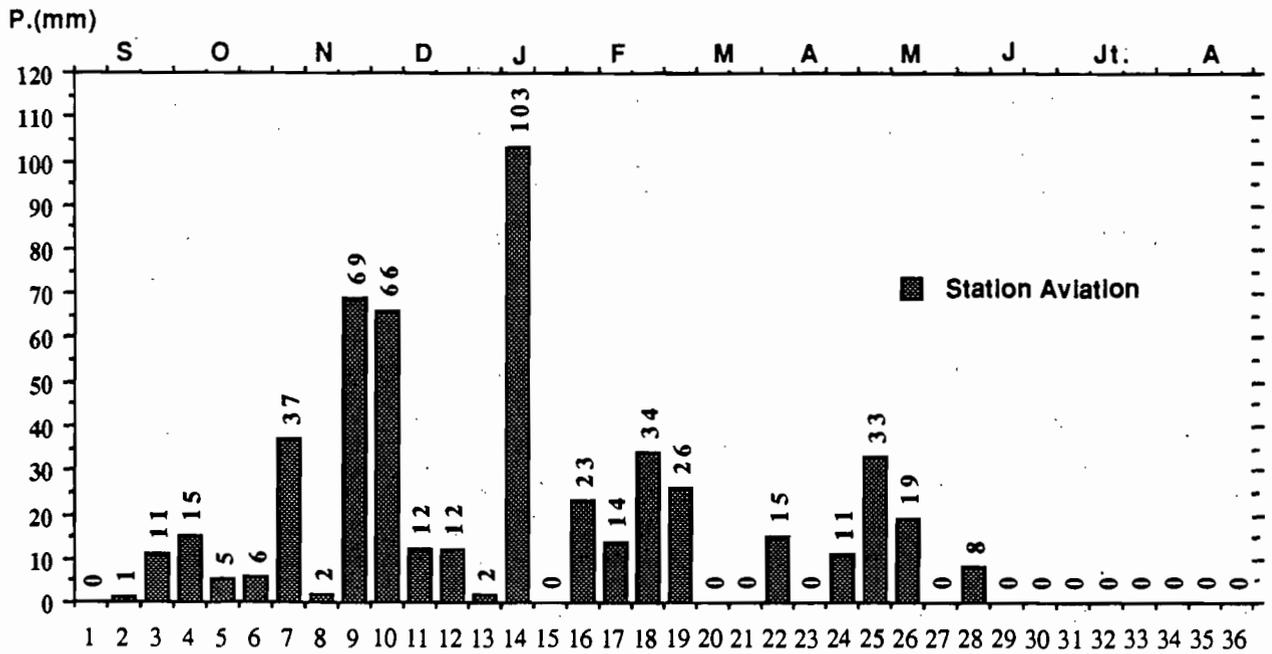
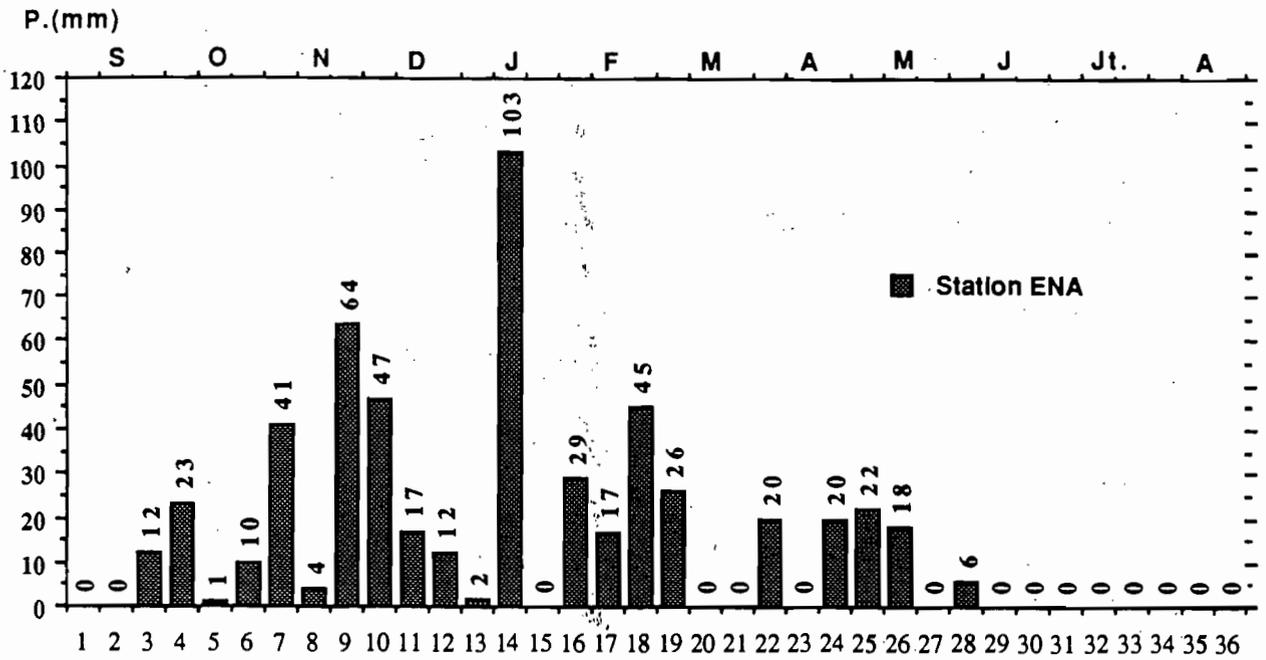


FIG. 13 : Histogrammes des précipitations décadaires
(année 1987 - 88)

3.4 Température

Les moyennes mensuelles des minima, maxima et des moyennes de température mensuelles ont été présentées sur la figure 8, il était en effet nécessaire de les combiner avec la répartition des pluies pour définir le climat méditerranéen du plateau de Meknès.

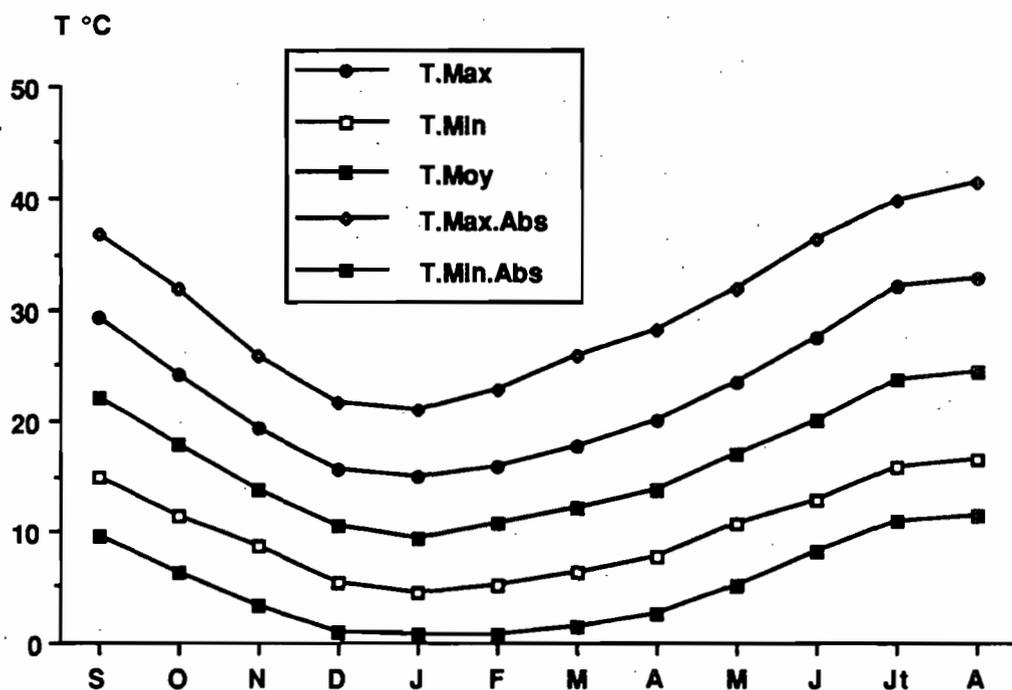


FIG. 14 : Diagramme thermique : variations mensuelles des températures moyennes, minimales, maximales, minimales absolues et maximales absolues (Station Meknès-aviation)

Commentaire :

Le régime thermique varie en sens inverse du régime des précipitations, mais de façon plus atténuée. Le mois le plus froid est le mois de Janvier (5°C), le mois le plus chaud est le mois d'Août (33°C).

Les température moyennes annuelles sont de l'ordre de 17°C . Les températures moyennes minimales sont de l'ordre de 10°C , les minimas extrêmes sont de 5°C ; Les températures moyennes maximales sont de l'ordre de 21°C avec des maximas extrêmes de 30°C . L'amplitude thermique moyenne reste supérieure à 10 et inférieure à 17.

Donc l'écart thermique est plus important pour les maximas absolus et moyens que pour les minimas absolus et les moyennes. La variation de la température moyenne est proche de 10°C . Les températures maximales de

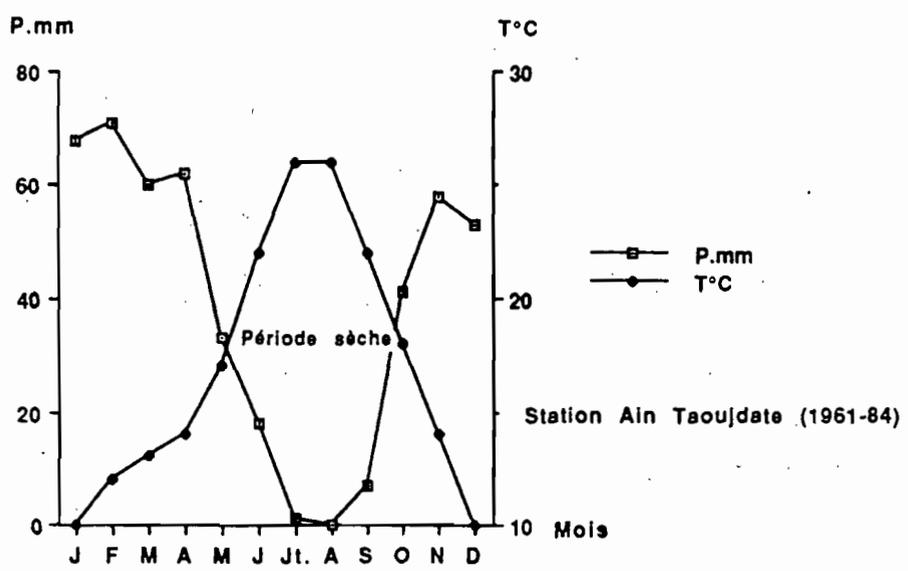
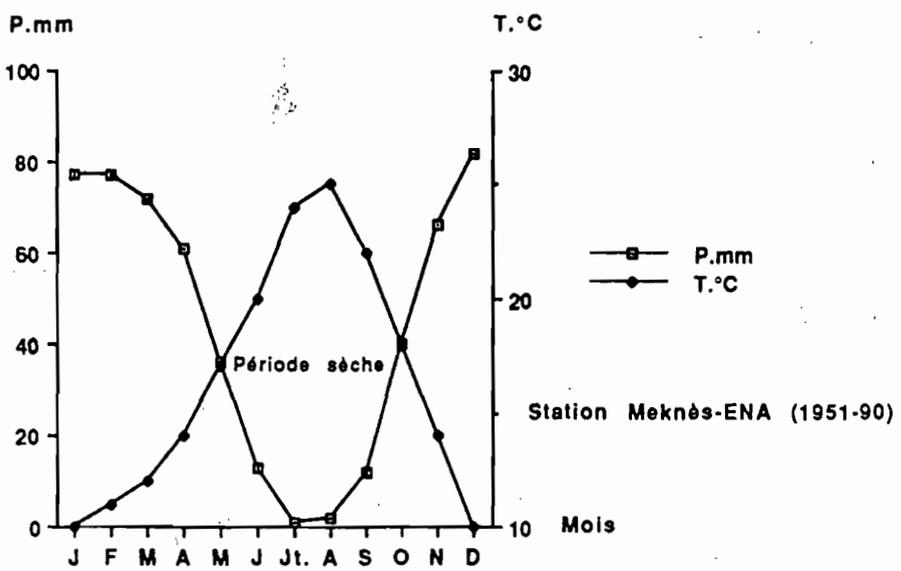
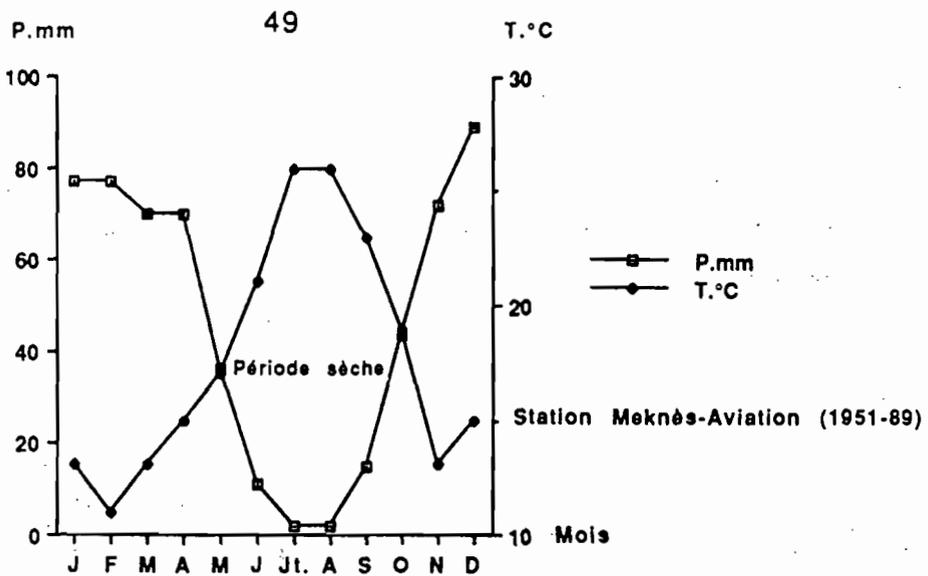


Fig. : Diagrammes ombrothermiques

40°C sont propices à la thermoclastie. La température de l'eau de pluie étant de l'ordre de 10 à 12°C.

La figure 16 présente des diagrammes ombrothermiques qui associent les données pluviométriques et thermiques, les hachures représentent les mois secs qui donnent la période biologiquement sèche par an.

3.5 - L'EVAPORATION

Les données sur l'évaporation sont irrégulières ou inexistantes. Néanmoins les quelques données obtenues sur la station de Meknès-aviation sont consignées dans le tableau 3 La figure 15 présente la différence en mm entre l'évaporation et la pluviométrie à la station Meknès-aviation pour la période 1958 - 78.

Tableau 3 : Evaporation (Piche) à la station Meknès-aviation sur 20 ans.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	an
Evaporation (mm)	178	132	80	59	57	65	84	95	143	163	234	230	1520

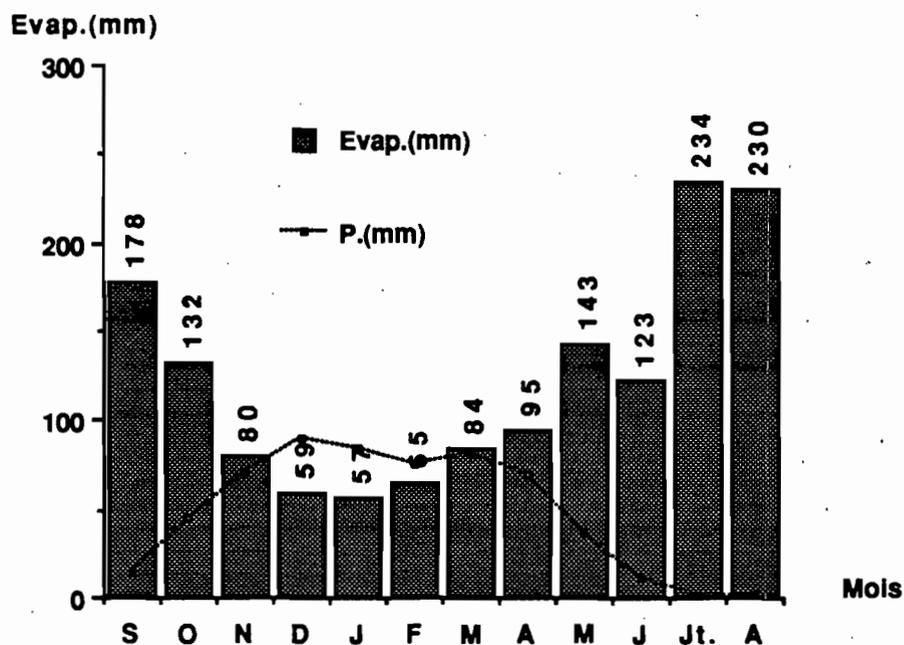


Fig. 16 : Pluviométrie et évaporation à la station Aviation (période 1958 - 78)

Commentaire

L'évaporation annuelle totalise **1520 mm (4 mm/jour)**. Cinq mois de l'année (Mai, Juin, Juillet, Aout et Septembre) représentent **60 %** de la somme annuelle de l'évaporation. Le maximum est en Juillet et le minimum en Janvier. Les mois de d'Avril, Mai et juin reste les mois les plus sensibles du point de vue du déficit hydrique pour les céréales.

BIOCLIMAT ACTUEL : synthèse

En hiver, le plateau de Meknès est ouvert aux influences atlantiques particulièrement aux régimes atlantiques des climats tempérés grâce aux vents pluvieux de secteur Ouest et Nord-Ouest.

En été il est sous l'influence des de flux des tropiques secs amenant quelques pluies orageuses et des vents chauds (chergui).

Le climat du plateau de Meknès est définie par l'augmentation de la pluviosité combinée avec des températures basses. Il apparaît aussi associé à deux saisons contrastées où la pluviosité est concentrée relativement sur la saison humide coïncidant avec les mois froids, l'autre saison étant chaude et sèche coïncidant avec la période des maxima thermiques. Ce climat connaît des variantes suivant que la répartition des pluies dans la saison humide et sa combinaison avec les températures. Le début de cette saison est en effet sujet à des variations.

Le climat du plateau de Meknès, est du type méditerranéen, à hiver tempéré, caractérisé par ses pluies d'hiver et ses deux saisons basées sur les températures et la pluviosité (répartition rythmée dans le temps).

Ce climat semi-aride à hiver tempéré est caractérisé par :

- un total annuel moyen des précipitations de **550 mm** mais avec une grande variabilité inter-annuelle (facteur de multiplication de 3),
- une répartition groupée au cours de l'année : saison des pluies hivernales, averses estivales,
- une irrégularité au cours d'une même saison des pluies,
- des régimes thermiques peu différents d'une région à une autre du plateau mais très contrastés dans le temps,
- deux saisons contrastées susceptibles de grande irrégularité d'une année à l'autre : une saison chaude et écologiquement sèche qui alterne avec une saison fraîche et humide.

* *Reconstitution des climats passés*

Les conditions climatiques ont dû changer au cours des ères géologiques et sûrement au cours du quaternaire. Les géographes, travaillant au Maroc, ont proposé des schémas et des classifications très diverses. Les incidences de ces paléoclimats sur la couverture de sol actuellement observée est sûrement d'importance, mais difficile à reconstituer. Dans cette étude, l'influence des cycles climatiques anciens, ne sera évoquée qu'à titre d'hypothèse.

Les études menées dans la région méditerranéenne estiment que les climats post-Villafranchien ont été relativement homogènes et proche du climat actuel, de type méditerranéen, caractérisé par des hivers frais et pluvieux et des étés chauds et secs.

D'une façon générale, l'intensité de la pédogenèse a diminuée avec le temps. Les pédogenèses concernées, ont été rubéifiantes sur les zones de basses altitudes bien drainées, au moins pour le deux pluviaux les plus anciens : Salétien et Amirien, puis il y a eu une pédogenèse brunifiante qui a pu se superposer dans certaines régions à la rubéfaction antérieure.

3.6 - VEGETATION

Le plateau de Meknès est l'une des régions agricoles du Maroc où l'influence de l'homme est prépondérante par l'ancienneté des pratiques culturales et plus récemment par l'intensification des rotations, la mécanisation et la fertilisation. La végétation naturelle, par suite de la dégradation due à la mise en culture, depuis des temps assez anciens, n'a été épargnée que dans de rares endroits peu cultivables du fait de la nature et de la faible épaisseur du sol.

Sur les formations calcaires le climax est composé d'associations végétales dont l'olivier sauvage (*Oléa européa*), le pistachier (*Pistacia lentiscus*) abritant le palmier nain ou doum (*Chamaerops humilis*), le jujubier (*Zizifus lotus*), l'asphodèle (*Asphodélus microcarpus*) et quelques arbustes fruitiers sauvages.

Les cultures annuelles et arbustives dominent en superficie le paysage du plateau de Meknès, développant une végétation spontanée d'adventices, de plus en plus importante, disparaissant dès le début de la saison sèche.

La relation identifiable sur le plan spatial entre les différents types de cultures ou spéculations agricoles et les types de sols est observée pour la vigne seulement.

3.7 Modifications dues à l'homme

Plusieurs modifications sont intervenues sur les sols et sur la végétation par les pratiques culturales et pastorales. Ce qui a pour conséquence la réduction du tapis végétal qui n'assure plus la restitution de débris organiques et les perturbations des horizons de culture qui sont fonction de la pression démographique et de l'efficacité des moyens utilisés pour les travaux du sol et les aménagements agricoles.

Les processus anthropiques les plus fréquemment observés sont les suivants :

- Le décroûtage (morcellement de la croûte avec remontée en surface des débris de croûte),
- la remontée en surface des éléments grossiers (cailloux et graviers),
- le brassage des horizons supérieurs (Cf. Planche)
- le tassement des horizons de culture (Cf. Planche),
- le déclenchement d'une érosion en rigoles sur pente forte.

Dans le chapitre nous allons revenir sur ces modifications anthropiques après l'étude de la toposéquence de référence **ME**.

Conclusion

Le paysage du plateau calcaire de Meknès est presque entièrement anthropisé.

CHAPITRE 4

LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

4.1 - SOLS ET UTILISATIONS ACTUELLES

4.11 LES SOLS

De nombreuses études et cartes ont été publiées sur les sols du Saïs occidental et en particulier ceux du plateau de Meknès. Elles ont permis de reconnaître et caractériser plusieurs types de sols et d'établir l'inventaire à l'échelle régionale (échelle de reconnaissance).

La couverture pédologique présente de nombreuses différenciations sur la base des grands ensembles lithologiques. Chaque unité de sol inventoriée est une portion du paysage caractérisée par un profil moyen, un type de matériau originel et un type de couverture pédologique associé. La structure interne de ces unités ou leurs fonctionnements ne sont pas abordés. Néanmoins différentes hypothèses basées sur des relations entre morphologie, matériaux originels et sols, ont été avancées. Dans chaque cas l'unité cartographique est référée à des profils de la classification morphogénétique française des sols utilisée au Maroc, suivant les travaux de AUBERT G. (1962-1965) et de la *C.P.C.S.* (1967).

Le plateau de Meknès, dont l'ossature est constituée par des calcaires lacustres durs et/ou tendres, est recouvert essentiellement par des sols dont le chimisme est dominé par la présence en plus ou moins grande quantité d'alcalino-terreux (calcium et magnésium).

Les sols *Calcimagnésiques* des groupes *rendzines* et sols *bruns calcaires* dont l'épaisseur varie en fonction de la profondeur du substrat et des manifestations anciennes et récentes de l'érosion anthropique et par ruissellement, représentent les principaux types de sols inventoriés.

Ils sont le plus souvent associés à des sols plus ou moins différenciés apparentés à la classe des sols "*Isohumiques*" des groupes *châtains* et *marrons* principalement et avec lesquels la distinction est souvent difficile ou leur place au niveau de la classification de références est difficile à trouver tant qu'ils englobent plusieurs processus pédogénétiques. En effet, ces sols, assez voisins morphologiquement des sols calcimagnésiques, s'en distinguent par la différenciation plus marquée de leur profil calcaire et par un

profil textural plus différencié et parfois par des élargissement de la structure des horizons médians. Les grands traits caractéristiques de ces sols sont la couleur, qui varie sensiblement des sols calcimagnésiques de couleur plus claire, de teinte assez faible 5 et 7,5 YR. L'ensemble ou une partie de leur horizon est marqué par la présence des carbonates. Les accumulations calcaires sont abondantes sous des formes variées : amas, nodules, concrétions, encroûtements, croûtes et dalles. Ces accumulations sont très étendues et sont particulièrement manifestes dans les horizons médians et profonds. Cependant croûtes et encroûtements sont souvent affleurants là où l'érosion les a mis à nu.

Des sols plus vivement colorés en brun et brun-rouge, tranchant nettement sur les autres sols apparaissent sur calcaires durs. Ces sols sont apparentés aux sols *Fersiallitiques* rouges trouvés en recouvrement sur des calcaires durs, soit piégés dans des fissures diaclasiques et poches karstiques de ces mêmes calcaires. On s'est longuement interrogé sur le mode de formation (allochtonie ou autochtonie) et sur l'âge de ces sols, autrement dit la question posée est : la rubéfaction est-elle encore compatible avec les conditions climatiques régionales ? Pour LAMOUROUX (1968 et 1972), la pédologie rubéfiante est souvent en équilibre avec les conditions du milieu dans les karsts méditerranéens. En effet, il n'est pas exclu que certains sites puissent réunir des conditions favorables pour prolonger et même entretenir une rubéfaction sur calcaires durs. Mais il faut intégrer le temps dans la formation de ces sols. Une très grande épaisseur de calcaire aurait été nécessaire ainsi qu'une stabilité des conditions du milieu pour assurer une dissolution des calcaires et une décarbonatation totale. Ce problème sera discuté en partie plus loin.

Les nombreux travaux cartographiques montrent aussi des sols dont l'extension est limitée aux positions basses dans le paysage : Il s'agit de sols argileux dense, à porosité fine, de couleur foncée, à structure large caractéristique des *Vertisols*. Ils sont également distingués par leur couleur plus foncée et leur état de surface aussi bien en saison humide qu'en saison sèche. Ces sols, profonds à moyennement profonds, malgré leur texture lourde et souvent un drainage insuffisant en saison humide et un état structural limitant en saison sèche, sont très fertiles et recherchés, et font l'objet d'une intense mise en valeur

4.12 - UTILISATION ACTUELLE DES SOLS

Les vastes champs de céréales, de légumineuses ou de plantes oléagineuses, associés à une arboriculture en pleine expansion, parsemés de maisons et où surgissent de loin en loin des villages compacts, tel est l'élément essentiel du paysage du plateau de Meknès actuellement.

Le type le plus classique de l'utilisation des sols dans les régions du plateau calcaire de Meknès répond traditionnellement à une complète autarcie fondée principalement sur les disponibilités en pain et en huile d'olive, à quoi se pouvait ajouter quelques laitages.

Actuellement on assiste à un certain renouveau dans l'utilisation des sols, dicté par la diversité des terres et à qui on doit aujourd'hui la variété relative des productions agricoles. La première brèche portée au système de production a été le recul de la vigne au profit de l'arboriculture, des légumineuses et des plantes oléagineuses.

L'option prise d'une agriculture tout entière tournée vers le marché ne pouvait se réaliser qu'avec l'abandon de la culture familiale et la rentabilisation maximale de la région et de son mode d'exploitation. D'où l'introduction de la mécanisation et de l'agriculture scientifiquement conduite (analyses, fertilisation des sols, traitement phytosanitaire, lutte contre les insectes, maladies cryptogamiques et les mauvaises herbes, etc.). Cela n'était possible que dans un tout autre cadre que celui des structures agraires liées à la polyculture céréalière traditionnelle. Il fallait des exploitations suffisamment vastes et d'un seul tenant, cette condition a pu être assurée de diverses manières : soit dans les grands domaines de l'état (terres récupérés de la colonisation), soit dans des domaines de la grande bourgeoisie, soit à la suite de remembrements, soit par unification en un même fermage de domaines de l'état attribués à différents propriétaires (coopératives de la réforme agraire).

Les cultures annuelles occupent l'essentiel des terrains cultivés. La céréaliculture représente environ 50 à 60% de la surface du plateau. Viennent ensuite les légumineuses, les fourrages et les cultures oléagineuses. Ces dernières prennent de plus en plus d'importance dans la région par la culture du tournesol. La viticulture, qui a fait du plateau de Meknès l'une des principales grandes régions viticoles du Pays, est actuellement en régression au profit de l'arboriculture fruitière. Les plantations

d'oliviers, sans doute les plus anciennes, continuent ces dernières années à prendre de plus en plus de l'extension.

L'occupation des sols est très ancienne sur le plateau de Meknès, mais elle s'est surtout développée depuis le début de ce siècle avec l'extension des cultures commerciales et mécanisées et l'augmentation de la population qui se traduit par le surpeuplement et l'accroissement du centre urbain de Meknès.

4.2 TRAVAUX PEDOLOGIQUES ANTERIEURS

4.21 - APPROCHES PAR PROFILS "REPRESENTATIFS"

De nombreux travaux cartographiques, à différentes échelles, ont été entrepris sur la couverture pédologique du **Plateau de Meknès** dans un but agronomique et d'aménagements agricoles. La connaissance approfondie de cette couverture pédologique est abordée dans quelques travaux à caractère plus fondamental (articles et thèses). Toutes ces études et travaux sont basés sur des observations qui portaient sur des profils, présentés en horizons, de sorte que la différenciation verticale est privilégiée dans l'établissement du document pédologique et/ou thématique dressé.

Les connaissances pédologiques sur le plateau calcaire de Meknès ont pu progresser grâce aux travaux cartographiques réalisés principalement par LAGARDE. R (1954), WILBERT. J (1962), MISSANTE. G, PAJOT. R, WATTEUW. R (1964), BILLAUX. P (1967), FARAJ. H (1967), PROJET SEBOU, M.A.R.A.-P.N.U.D.-F.A.O. (1968), SCHOEN. U (1969), EL IDRISSE. R.M (1973-1989), ROURHIA et BOUKSIRAT.H (1978), PROJET EL HAJEB, M.A.R.A.-S.C.E.T (1978), GUEYE. M (1979), BENABDALLAH F.Z.(1986) BRUAND. A (1984), FASSI.D (1986), LOUDYI. B (1990).

Ces études ont été réalisées selon la méthode fondée sur la délimitation d'unités de sols ou unités cartographiques correspondantes à un niveau de classification, fonction de l'échelle de prospection du terrain. Ces grandes unités cartographiques s'identifient par leurs caractères morphologiques diagnostiques. Ceux-ci ou leur association, sont révélateurs de l'intervention de processus d'évolution (approche morpho-génétique de l'école Française explicitée dans la classification C.P.C.S, 1967.).

Dans les travaux cartographiques l'expression morphologique est recherchée dans un profil type "représentatif" d'une différenciation dominante ou suffisamment étendue dans le paysage. Les variations des organisations qui conduisent d'une différenciation verticale à une autre ne sont pas étudiées en détail, mais représentées par une limite, déduite généralement de l'analyse des composantes du milieu.

Au total, les diverses études concernant le plateau de Meknès, ont permis de définir les caractères des grands groupes (C.P.C.S 1967) de sols et d'esquisser les grandes lois de répartition des sols, principalement en fonction du substrat géologique.

C'est la synthèse de ces études et travaux pédologiques que nous présentons maintenant. Nous y dégageons des problèmes de genèse, d'évolution et de répartition générale des sols sur le plateau calcaire de Meknès. Certains d'entre eux seront abordés dans ce travail.

4.22 - PRINCIPAUX TYPES DE SOLS (*Sur calcaires durs ou tendres*)

Les travaux consacrés à l'étude de ces sols , à partir de profils isolés dans le paysage, ont mis en évidence l'existence de quatre principales classes de sols de la C.P.C.S, 1967 :

- La classe III des sols **CALCIMAGNESIQUES** ;
- la classe IV des sols "**ISOHUMIQUES**" ;
- la classe V des **VERTISOLS** ;
- la classe VIII des sols à sesquioxides de fer et/ou de manganèse (sous- classe des sols **FERSIALLITIQUES**).

Tous les sols ne sont pas aussi nettement rattachables et il est alors fait recours le plus souvent à l'appréciation de l'intensité avec laquelle s'expriment certains processus à travers des caractéristiques morphologiques essentielles. Ces processus pédogénétiques sont essentiellement la **calcimorphie**, l'**isohumisme**, la **vertisolisation** et la **rubéfaction**.

Dans la majorité des couvertures pédologiques observées sur le plateau de Meknès, l'ensemble des ces processus peuvent être exprimés, avec une plus ou moins grande intensité.

Sans entrer dans les détails des descriptions de tous les sols inventoriés, nous présenterons dans ce qui suit les caractères de distinction des classes de sol par l'intermédiaire des profils **calcaires**, des profils

organiques, des profils **texturaux** à travers quelques résultats empruntés à différents auteurs et à nos propres observations et mesures tirées de la cartographie à 1/100 000.

4.221 - Profils calcaires : distribution, variété et diversité des accumulations

Les sols du plateau de Meknès, en particulier ceux observés sur les formations de calcaire dur ou tendre, présentent dans leur grande majorité, indépendamment de la situation topographique, un ou plusieurs horizons très riches en accumulations carbonatées. Toutefois, les formes d'individualisation et d'accumulation sont analogues à celles décrites dans d'autres régions du Maroc et d'Afrique du Nord (biblio)

La distribution des carbonates varie verticalement et latéralement dans les sols et dans le paysage.

Cette variation est le principal **critère de différenciation morphologique des sol** du plateau de Meknès. Cette variété traduit une dynamique et une redistribution complexe de ces carbonates dans le paysage.

Pour les sols observés, **deux tendances** principales sont soulignées:

- Celles où les teneurs en carbonates de calcium **augmentent** rapidement avec la profondeur (cas des sols calcimagnésiques, isohumiques et même de certains vertisols);

- l'autre où un niveau de **décarbonatation** plus ou moins poussée s'observe sur une **partie** (cas des sol isohumiques ou des vertisols) ou la **totalité de leur profil** (cas des sols fersiallitiques et de certains vertisols peu profonds).

De nombreux travaux et études ont mis en évidence la diversité des redistributions et accumulations des carbonates et leurs origines possibles.

La discussion s'est instaurée depuis longtemps sur les liens génétiques entre les accumulations carbonatées et leurs roches-mères ou leurs matériaux originels. L'origine par migration verticale (hypothèse *per descensum*) ou apports latéraux de carbonates secondaires (par le ruissellement), par genèse sédimentaire suivie ou non de diagénèse et ou de pédogénèse, par apports éoliens, enfin les remontées capillaires (hypothèse *per ascensum*) et biotiques, constituent autant de mécanismes possibles et même probables dont la morphologie exprime la résultante.

La diversité des types d'accumulation de carbonates et l'abondance des formes intermédiaires est fonction de la nature lithologique du matériau et de la situation topographiques.

RUELLAN (1970) a utilisé dans la vallée de la Moulouya une terminologie que nous utilisons ici. Ensuite, dans le chapitre seront précisées celles observées sur le S.E.D.

***Les redistributions diffuses de carbonates**

Elles englobent de très fines particules de la taille des limons et des sables faisant partie du plasma, sans aucune individualisation visible du calcaire. Leur présence est décelée par analyse des carbonates de la terre fine. Les sols Calcimagnésiques, Isohumiques et certains Vertisols présentent ces types d'individualisation dans leurs horizons supérieurs.

***Les concentrations discontinues**

Elles se présentent sous des aspects très variés par leurs dimensions, formes, indurations ou couleurs. Ces accumulations peuvent devenir coalescentes et on passe alors de manière progressive à des accumulations continues.

- Les ***pseudo-mycellum*** sont sous forme d'un réseau blanchâtre en fins filaments très contrastés de la masse terreuse et qui tapissent les canalicules entre les agrégats. Ce type d'individualisation est caractéristique des sols Calcimagnésiques et des sols Isohumiques.

- Les ***amas friables*** (nodules farineux de DURAND(1953,1959), taches calcaires de WILBERT(1962). Ce terme englobe toutes les formes d'individualisation plus ou moins sphériques, à contour irrégulier, ou en masse verticale ("chandelles, poupées"), non consolidées, à porosité forte et à surface poussiéreuse, dispersées dans la masse d'un horizon. Elles sont constituées de calcaire presque pur (94%), homogènes ou avec des impregnations leur conférant une couleur plus hétérogène (crème, saumon clair). BILLAUX(1967), a signalé des amas calcaires contenant des noyaux durs. Ceux-ci caractérisent principalement les horizons profonds et certains horizons médians des toposéquences étudiées.

- Les ***nodules*** (nodules concrétionnés de DURAND): ce terme indique des individualisations consolidées, d'aspect plus ou moins arrondi ou

ovoïde et peu poreux, présents sous forme d'inclusions dans la masse. Selon la terminologie de RUELLAN(1970), les nodules de diamètre < 1cm sont appelés granules.

- Les concentrations continues : Les encroûtements calcaires

Les concentrations continues indurées font l'objet d'une terminologie variée : croûte lamellaire (WILBERT, 1962), dalle (RUELLAN, 1967 et 1970), croûte en dalle (DURAND et al., 1979):

C'est le stade où l'expression morphologique est maximale. Elle est généralisée à tout un horizon et fait disparaître, en très grande partie ou en totalement, les structures des matériaux pédologiques ou lithologiques au sein desquels elle se développe. Les individualisations présente dans un encroûtement calcaire appellent par l'importance relative de leur distribution la distinction de différents type d'encroûtements calcaires,

- Les encroûtements non feuilletés

Ils sont caractérisés par une structure massive et un blanchiment quasi général de l'horizon concerné, mais sans induration notable. Ils sont en général pulvérulents à l'état sec, mais peuvent englober sous forme les amas friables, des granules et des nodules associés dans différentes proportions.

- Les encroûtements feuilletés

Deux faciès sont distingués :

- **Les croûtes calcaires** constituées par la superposition de "feuilletés" nettement individualisés (croûte feuilletée), d'encroûtement durci, mais non pétrifié.

Leur couleur varie de blanche crème à rose saumon et l'épaisseur des feuilletés varie de quelques centimètres à plus de 25 centimètres.

- **Les dalles calcaires** présentent un empilement de un ou plusieurs feuilletés calcaires. Elles sont le plus souvent épaisses, plus dures que les croûtes et continues.

Les encroûtement feuilletés (croûtes et dalles calcaires) peuvent être surmontés d'une **pellicule rubanée** blanche ou saumon, très dure et très calcaire, constituée d'une ou plusieurs séries de lamelles très fines.

Par ailleurs, il est fréquent qu'un profil de sol présente la superposition et/ou l'association de plusieurs formes d'accumulations, lui conférant un stade d'évolution et des caractéristiques spécifiques (sols à profil calcaire très différenciés de RUELLAN, 1970).

La teneur totale en carbonate dans un horizon est en général liée à la forme et à l'intensité de l'accumulation calcaire. Les teneurs les plus faibles sont observées pour les accumulations discontinues.

4.222 - LA REPARTITION VERTICALE DE LA MATIERE ORGANIQUE

La majorité des sols du plateau de Meknès se caractérise par une diminution de la matière suivant la profondeur. Cette diminution est progressive et régulière, sauf au niveau des encroûtements où elle varie brutalement. Tous les sols contiennent généralement entre 3,5 et 1,5 % de matière organique jusqu'à une profondeur de 20 à 60 cm, puis moins de 1 % en profondeur.

Le rapport C/N reste voisin de 10 en surface et diminue parfois fortement avec la profondeur pour atteindre des valeurs de l'ordre de 7 à 5. Ceci souligne la bonne décomposition de la matière organique de ces sols.

4.223 - LA REPARTITION VERTICALE DES TEXTURES

Tous les sols présentent un profil textural allant d'**argilo-limoneux à limoneux-argilleux** en surface sur 45 cm, puis argilleux à limoneux en profondeur, ceci en fonction de la nature lithologique (calcaire dur ou tendre) du substrat atteint. Ce profil textural semble être lié aussi à la teneur des profils en carbonates et à la distribution des accumulations calcaires. Le diagramme textural de la figure montre la répartition des fractions granulométriques des principaux sols du plateau.

Conclusion

les études antérieures des sols dérivés de roches carbonatées se sont heurtées à la difficulté de reconnaître la roche-mère, aux problèmes de classification liés à cette époque et à ceux de leur cartographie.

Les sols se différencient et se répartissent tout d'abord selon les types de substrats et en particulier de leur faciès (calcaires durs calcaires tendres,

sables, marnes etc.), puis en fonction de la topographie (modelé). Les rôles de la végétation et du climat étant par contre très difficiles à définir.

Le caractère qui semble avoir une répercussion sur la répartition des sols est la dureté des calcaires lacustres.

Sur calcaires lacustres durs se développent préférentiellement des sols fersiallitiques, des sols calciques et des sols bruns calcaires. Sur calcaires tendres (hétérogénéité de faciès regroupés sous l'appellation de tuf) se développent des sols bruns calcaires, des sols isohumiques et des vertisols.

4.3 ENSEIGNEMENTS DE LA CARTE PEDOLOGIQUE ET DE L'ETUDE PAR PROFILS : CARACTERES DES TYPES DE SOLS

4-31 Localisation, objectifs et méthodologie

Dans le cadre de l'installation du Projet Meknès II*, j'ai effectué une cartographie pédologique (étude par profils au 1/100 000, EL IDRISSE, 1989). L'objectif était la reconnaissance régionale des ressources en sols sur une superficie de 170 000 ha, englobant une partie du plateau de Meknès.

La figure situe ce périmètre

La cartographie réalisée, a porté sur l'observation de profils isolés, traduite ensuite en les rattachant à des sols concepts, référés à la classification Française des sols utilisée au Maroc, suivant les travaux de G. AUBERT (1962, 1967) et la C.P.C.S (1967).

Ce chapitre s'attache plus précisément à comprendre dans ses grandes lignes, la distribution spatiale des sols du plateau de Meknès, en particulier les relations entre la structure de la couverture pédologique du plateau et les unités de modelé ou variations lithologiques. Ces facteurs de pédogénèse sont en effet susceptibles d'induire des variations notables sur de courtes distances. L'action anthropique, prédominante localement et qui joue un rôle homogénéisant sur les horizons supérieurs des sols, sera également étudiée dans ce chapitre.

Sur le plan agronomique, les variations observées ou mesurées sont à prendre en considération pour l'utilisation des sols, du fait des différences importantes de propriétés et de comportement liées à des conditions locales. De légères variations dans la topographie ou des différences de la roche-

* Projet intégré de développement agricole de la Province de Meknès

mère, ou du substrat, peuvent orienter différemment la pédogénèse. Enfin, sous l'action de l'homme de nouveaux comportements et de nouvelles propriétés vis à vis des éléments nutritifs utilisables par les plantes, de la dynamique de l'eau (pédo-climat) du sol sont alors probables.

4-32 : Les facteurs de pédogénèse

La synthèse suivante peut être tirée de l'ensemble des données relatives à l'étude des facteurs du milieu (facteurs de différenciation des sols)

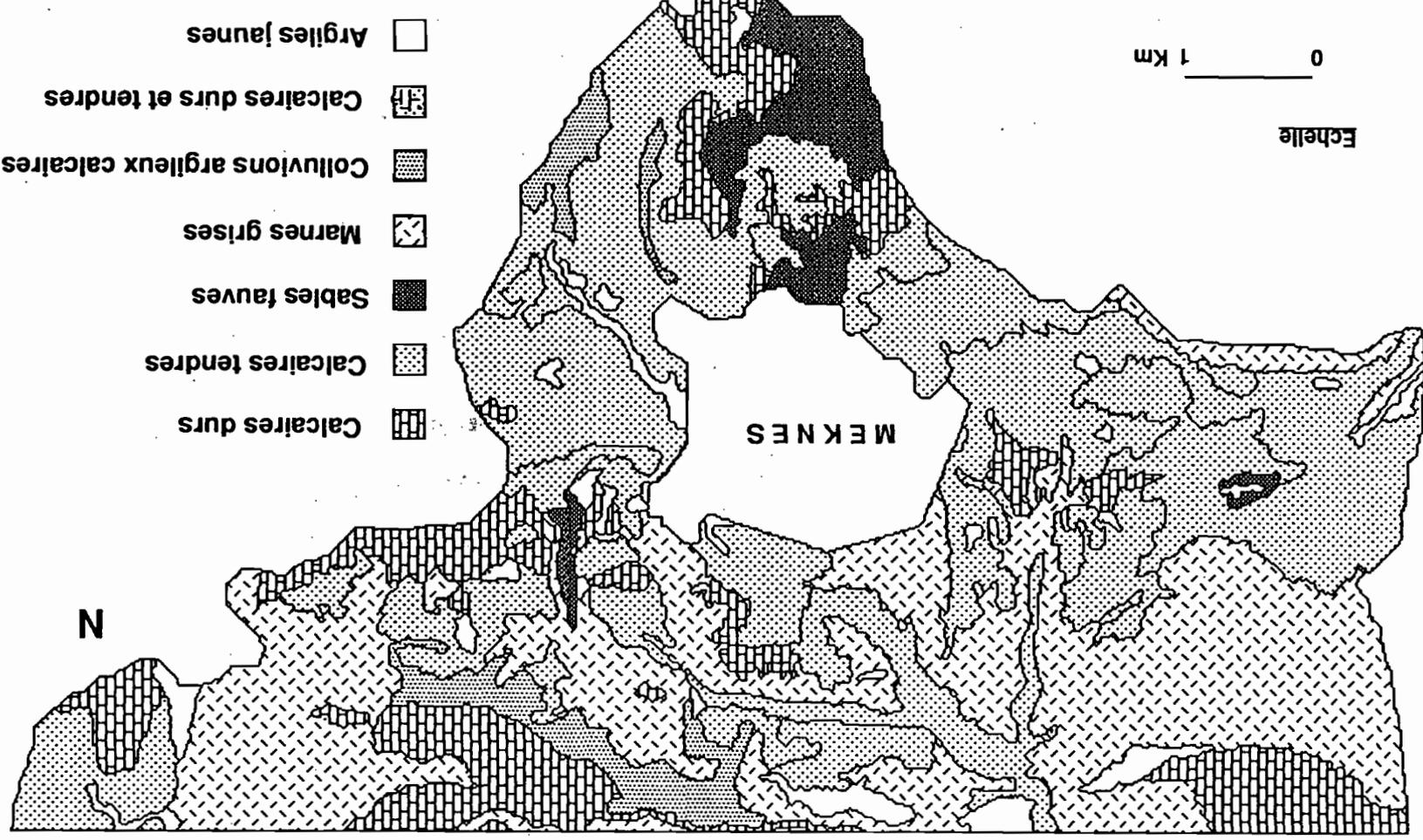
4.321 - Lithologie : matériaux originels et roches-mères : La proportion largement dominante, en position superficielle des matériaux calcaires (**calcaires lacustres**), constitue le caractère essentiel de la lithologie du paysage cartographié. Seules font exception les formations **sableuses** (sables fauves), parfois calcaires, et les **marnes** qui affleurent le long de la bordure sud-ouest et sur le talus nord du plateau .

La cartographie effectuée dans cette zone, a permis de distinguer quatre grandes familles de roches en fonction de leur nature pétrographique. L'extension latérale de ces différents faciès est d'amplitude décamétrique, notamment pour le relais entre calcaire dur et calcaire tendre.

Les quatre familles distinguées de haut en bas sont les suivantes :

- 1.- **calcaire lacustre compact et dur**, parfois lapiazé et souvent diaclasé ;
- 2.- **calcaire tendre** à pulvérulent ou peu consolidé, souvent encroûté contenant une proportion d'argiles plus importante.
- 3.- **sables fauves** (TALTASSE, 1967), épais et quartzeux
- 4 - **roche argillo-calcaire de couleur grise**, rappelant les **marnes tortoniennes** des rides Pré-ri-faines. Elle est observée localement à la faveur d'un dégagement par l'érosion de la roche calcaire. Par endroits, elle est observée en situation intercalaire dans les calcaires lacustres ou sous forme résiduelle au sein des calcaires tendres.

FIG.17- CARTE LITHOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE



Certains substratums, comme les formations quaternaires (alluvions et colluvions) et les argiles jaunâtres qui, du fait de leur composition, ne sont pas intégrés. Leur extension étant par ailleurs très limitée et le nombre d'échantillons de sols concernés dans le plateau de Meknès est minime.

4.322 - Bioclimat actuel (Cf. Chap.2) : La zone cartographiée est soumise à un **climat méditerranéen semi-aride à hiver tempéré**. Il se caractérise par un caractère **saisonnier** avec des pluies hivernales et une sécheresse estivale avec un bilan hydrique déficitaire.

Nous sommes donc sous un climat (actuel) où, théoriquement, seuls les mécanismes de désagrégation des roches devraient être réellement actifs, les mécanismes de dissolution , de lixiviation d'argilo-génèse et de lessivage étant réduits, par manque d'eau et de matière organique. Mais ce serait raisonner sans tenir compte de la distribution saisonnière des pluies et de l'organisation de la couverture pédologique qui permettent des concentrations locales d'eau verticalement et latéralement.

4.323 - Modelé (cf.chap.5): On a été amené à découper le paysage en secteurs délimités latéralement par des vallées allongées Sud-Nord, et longitudinalement par des variations de pentes du plateau. Le paysage est une succession d'unités de modelé dont l'assemblage aboutit à une diversité des formes. Il apparaît dans son ensemble comme une association de **portions de plateau en lanlères** plus ou moins larges disposées en facettes emboîtées presque à intervalles régulier et de **versants et vallées**, fréquemment **asymétriques**, dont la limite est, progressive, sinon nette par endroits. L'ensemble constitue autant d'unités de modelé donnant l'un des traits topographique le plus remarquable de cette zone cartographiée.

Cette zone est drainée vers le nord par un réseau hydrographique peu hiérarchisé constitué de 3 oueds d'ordre 1, 5 d'ordre 2, l'ensemble rejoint l'oued R'dom à la cote 225 m.

Des sources sourdent dans la partie aval au niveau du talus nord, sur les marnes, indiquant bien un écoulement souterrain et la proximité du niveau imperméable.

4.324- Action anthropique

La majorité des sols du plateau sont cultivés. Cette mise en culture intensive entraîne un brassage continu des horizons supérieurs. Cette action est particulièrement nette lorsque les sols sont peu profonds que ce soit sur plateau ou sur pente. Elle remonte en surface les niveaux calcaires, produisant ainsi une inversion du profil calcaire et/ou une dislocation des croûtes, avec remontée des débris. Ce phénomène, qui sera décrit plus loin, s'observe sur le versant Est du **SED** où un enrichissement en débris et terre fine calcaire entraîne des modifications dans la morphologie des horizons supérieurs.

De ce rappel on retiendra que le plateau de Meknès est caractérisé par un milieu xérique, calcimorphe drainant et peu agressif où la pédogénèse et la dynamique de l'évolution des sols seraient faibles. On serait alors en présence soit de sols jeunes subissant une évolution actuelle, soit de sols anciens en équilibre avec le milieu sous l'emprise de l'histoire culturelle qui influence les caractères morphologiques de leurs horizons de surface.

4-33.: Sols observés : héritage ou pédogénèse actuelle

Classification et répartition des sols

La pédogénèse en milieu xérique et calcimorphe observée sur le plateau de Meknès, a abouti à une grande diversité de sols, soulignant l'importance fondamentale de la structure lithologique et du modelé. L'ensemble est conditionné par l'histoire morphogénétique du paysage dans laquelle certaines ruptures d'équilibre (climatiques et tectoniques) ont joué aussi un rôle important.

Tous les sols développés sur calcaires lacustres constituent une vaste "région" ou "ensemble" pédologique au sein de laquelle il existe de très nombreuses analogies, liées aux processus même de l'altération du substratum calcaire sous-jacent.

La partie de plateau cartographiée présente de vastes unités cartographiques de sols calcaires, mais aussi de sols plus ou moins

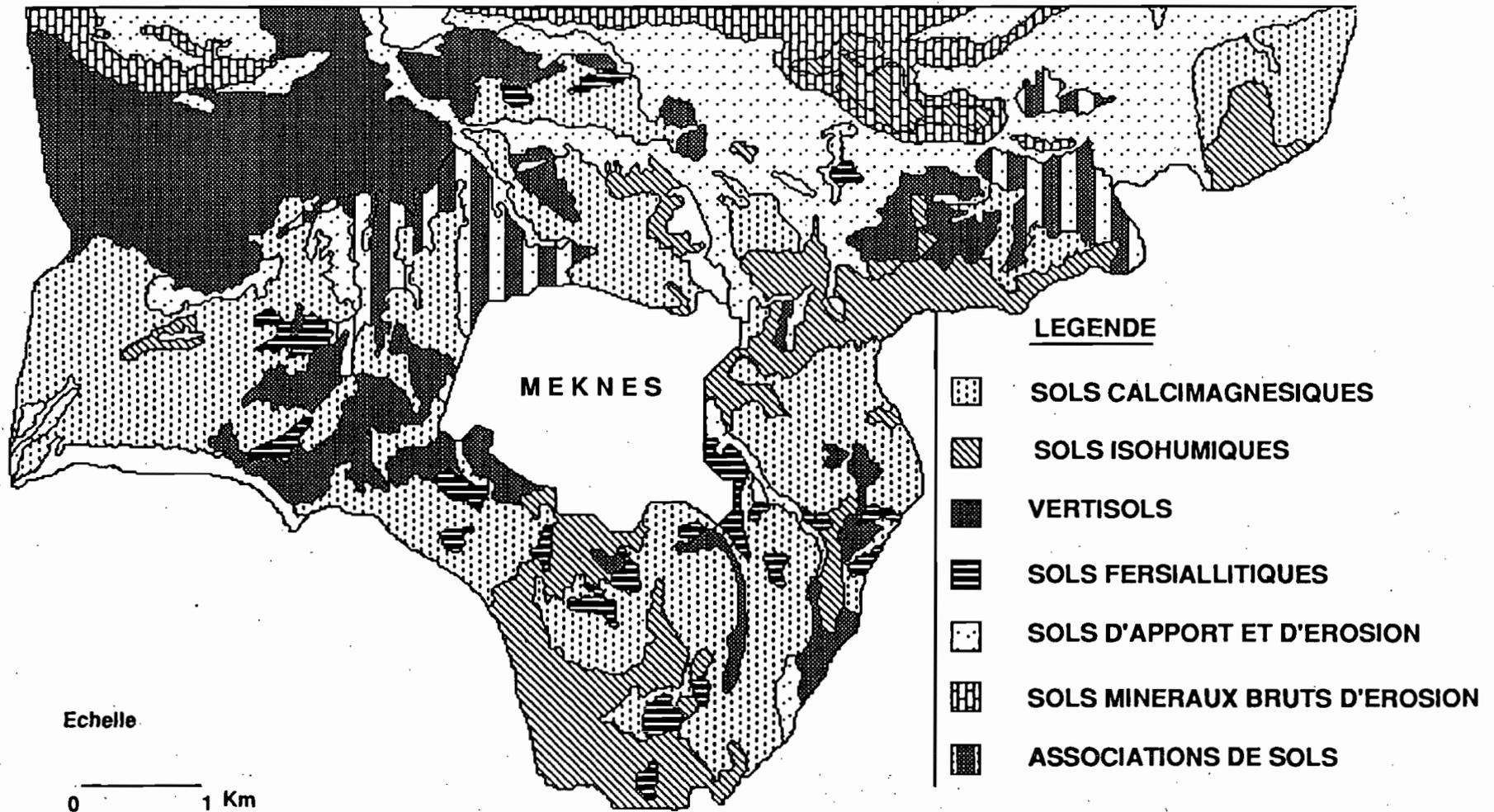


FIG.18- CARTE DES SOLS DE LA ZONE ETUDIEE

différenciés à horizons argileux ou argiliques diversement développés et décarbonatés. Les principaux types d'évolution pédogénétiques qui se dégagent dans cette région sont essentiellement : la **calcimorphie**, "**l'isohumisme**", la **vertisolisation** et la **rubéfaction** du matériaux silicaté. L'érosion et les remaniements anthropiques sont aussi actifs

La répartition des sols est en rapport avec ces processus et reflète les facteurs et les conditions (actuels et anciens) de la pédogénèse. Toutefois, l'individualisation et l'accumulation des carbonates de calcium , sous différentes expressions morphologiques (Amas carbonatés croûtes, encroûtements, dalles, etc.), donnent les caractéristiques spécifiques des sols et du paysage. C'est un fait connu que lorsque les carbonates alcalino-terreux et en particulier le carbonate de calcium sont présents dans le sol en quantité notable, ils prennent le pas sur les autres facteurs (climat compris) de l'évolution et confèrent à celle-ci une orientation spécifique.

Le tableau n° 4 montre la superficie relative occupée par cinq classes de sols sur une superficie de 13 000 ha :

Tableau n° 4 : Superficies et pourcentages des classes de sols sur la carte pédologique (13 000 ha)

Classes de sols	Superficie (ha)	%
Calcmagnésiques	8192	63
"Isohumiques"	928	7
Vertisols	1424	11
Fersiallitiques	1966	15
Minéraux bruts d'érosion	490	4

Commentaire

- La classe des sols **CALCIMAGNESIQUES**, représentée par la sous-classe des sols **carbonatés** qui donne une dominance du groupe des sols **bruns calcaires**. Le groupe des **rendzines**, qui est très localisé et ne couvre qu'une superficie limitée est inclus .

- La classe des sols "**ISOHUMIQUES**" est représentée par un seul groupe, celui des sols **marrons**, appartenant à la sous-classe des sols "isohumiques" à pédoclimat frais pendant la période pluvieuse.

- La classe des **VERTISOLS** est représentée par deux sous-classes en fonction du drainage externe et par deux groupes en fonction de la structure de l'horizon de surface.

- Les sols à sesquioxydes de fer et/ou de manganèse sont représentés par la sous-classe des sols **FERSIALLITIQUES**. Deux groupes sont rencontrés : le groupe des sols à réserves calciques, le plus souvent peu lessivés et le groupe des sols sans réserves calciques et lessivés ;

- Les sols **PEU EVOLUES** appartiennent à la sous-classe des sols non climatiques et sont essentiellement représentés par les groupes d'apport et d'érosion, localisés sur les fortes pentes et dans les bas-fonds.

Dans ce qui suit, *seules les classes des sols Calcimagnésiques, "Isohumiques", Vertisols et Fersiallitiques développées sur calcaires lacustres seront commentés*. Les caractéristiques observées ou mesurées pour les différents types de sols, définis par la C.P.C.S, qui seront relatées, sont des valeurs moyennes tirées de l'étude de reconnaissance au 1/100 000. Certaines de ces valeurs, en particulier celles intéressant la morphologie des principaux horizons, seront étudiées plus en détail sur le secteur d'étude détaillée (**SED**) au niveau de la toposéquence de référence **ME**.

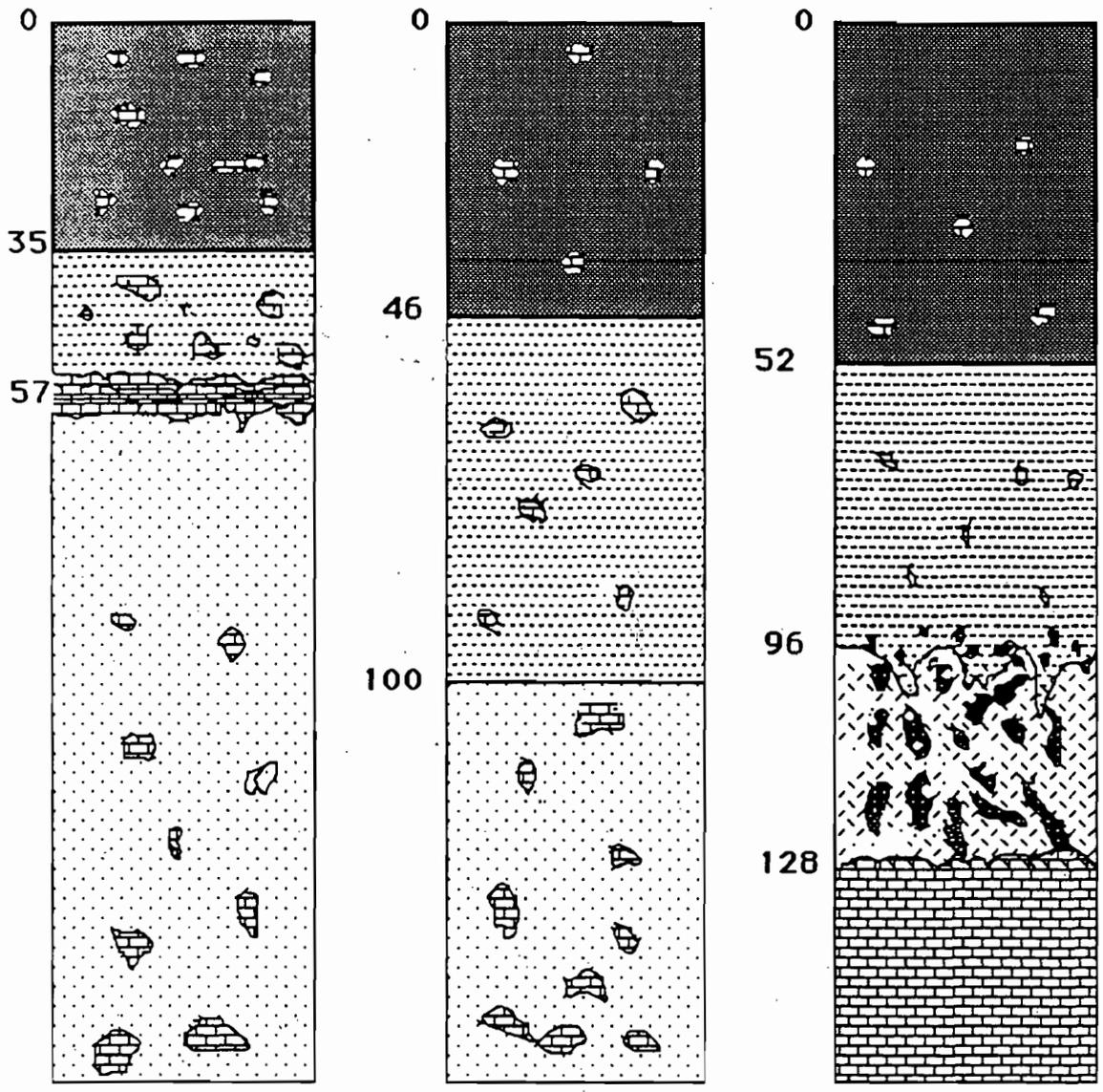
4.34 - LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

4.341 -Les sols CALCIMAGNESIQUES CARBONATES

La classification **C.P.C.S.** distingue trois sous-classes de sols, dont seule celle des sols **carbonatés** nous intéresse dans cette étude. Elle comprend deux groupes : les rendzines et les sols **bruns calcaires**.

Les sols calcimagnésiques se distinguent sur le terrain par un état de surface assez caractéristique résultat de la mise en culture avec une remontée des horizons carbonatés, médians et profonds aisément reconnaissable sur photographies aériennes. Cette état forme des plages blanches jonchées de débris de croûtes, de graviers calcaires et de terre fine blanche très carbonatée (Cf.fig. Chap.).

La reconnaissance des sols calcimagnésiques repose principalement sur le profil calcaire qui reste l'élément majeur distinctif de ces sols dont la



-  **Horizon supérieur de culture**
-  **Horizon médian brun rouge**
-  **Horizon profond pulvérulent blanc**
-  **Horizon profond à volumes d'argiles rouges**
-  **Calcaires lacustres durs**

FIG.19 : Profils de sols Calcimagnésiques bruns calcaires schématisés

genèse est dominée par la dynamique et la redistribution active des carbonates (alcalino-terreux.). Les sols calcimagnésiques présentent une grande variété de formes d'accumulations des carbonates qui affectent l'ensemble du profil pédologique.

Ces sols montrent une assez grande variabilité dans l'organisation morphologiques de leurs horizons. Néanmoins quelle que soit l'organisation considérée et en dépit de la diversité des cas recensés (Fig. 19), il apparait qu'une même succession d'horizons est gardée presque fidèlement :

L'organisation verticale des profils des sols bruns calcaires se compose toujours de trois horizons principaux présentant des transitions très nettes à distinctes :

- un **horizon supérieur**, de couleur brun-rouge (5YR 4/4). Sa teneur en carbonates de calcium varie de 20 % à plus de 35 %. Sa texture est généralement limono-argileuse, plus rarement argileuse. La structure est fragmentaire grumeleuse moyenne à polyédrique fine très bien développée.

- un **horizon médian**, caractéristique de ce type de sols. L'épaisseur de cet horizon présente une grande variabilité au sein de la couverture pédologique étudiée. Ceci en fonction généralement de la situation topographique (plateau ou versant). Elle peut varier entre quelques cm et près de 60 cm.

Sa couleur est aussi variable, de brun foncé (7,5 YR 5/6-5/8) à rouge-jaune (5 YR 5/6-5/8). Il est très carbonaté. Sa teneur en carbonates de calcium oscille entre 35 à 65 %. Sa texture est limono-argileuse à argilo-limoneuse, parfois franchement argileuse (sols à caractères vertiques). Il possède une structure polyédrique subangulaire très bien développée, une activité biologique très intense et une bonne porosité vacuolaire. Au sein de cet horizon, se développe souvent des accumulations de carbonates sous forme d'amas et nodules calcaires. A sa base, une croûte feuilletée parfois à pellicule rubanée peut se développer.

- un **horizon profond**, qui diffère selon les situation topographique entre un horizon très carbonaté limoneux et pulvérulent, souvent encroûté et un horizon associant des volumes argileux rouges non à peu carbonatés et des volumes blancs limoneux très carbonatés. L'ensemble reposant sur des calcaires lacustres francs.

Sur l'ensemble de la zone cartographiée, les sols calcimagnésiques se développent toujours sur des calcaires durs et/ou tendres.

La figure 19 illustre les différentes séquences verticales de sols calcacimagnésiques bruns calcaires inventoriés.

4.342 - Les sols "ISOHUMIQUES"

Les sols "isohumiques" traditionnellement reliés aux formations végétales steppiques (sols à caractères steppiques), présentent deux caractères distinctifs de base suivant la C.P.C.S.: de haut en bas un gradient décroissant et progressif d'un humus évolué fortement incorporé à la matière minérale et un gradient inverse croissant et progressif des carbonates qui forment à la base, dans la plupart des sols, des individualisations et accumulations soit progressives, soit brutales sous différentes expressions morphologiques (ce sont les sols à profils calcaires différenciés de RUELLAN, 1970). En outre leur complexe d'échange est saturé en calcium (plus de 40 meq/100 g de calcium échangeable).

La zone cartographiée se caractérise par la présence d'une sous-classe, la sous-classe des sols à complexe saturé en Ca⁺⁺, évoluant sous un pédoclimat frais pendant une partie de l'année dans laquelle deux groupes ont été distingués : les sols **bruns** et les sols **marrons**.

Les sols traduisant cette morphologie "isohumique" ont un développement du profil pédologique du type **A Bca Cca**, exprimant une décroissance régulière des teneurs en matière organique en fonction de la profondeur, un profil calcaire différencié et une texture argileuse décroissante, sans variation brutale du taux d'argiles en fonction de la profondeur. Ils se caractérisent, outre par leur gradient humique et calcaire, par leur profil ferrugineux très peu différencié. Ils ont tous été observés sur des calcaires tendres. Tous les sols observés sont profonds (jusqu'à 1,50 m).

Les sols les plus typiques des sols "isohumiques" (bruns et marrons) sont caractérisés par une coloration brun-rouge foncé (5YR3/4) à rouge en profondeur au niveau des horizons médians .

Ils sont totalement décarbonatés dans les horizons supérieurs avec cependant des teneurs très faibles induites par des pollutions et transports de carbonates dissous par les eaux de ruissellement.

Ils sont en général peu humifères. Leurs teneurs en matière organique n'excèdent pas 2,6 % en surface puis 0,8 % en profondeur au contact du matériau originel. Cette matière organique est bien décomposée et incorporée à la matière minérale (rapport C/N de 10 à 12, puis de 4 à 7 en profondeur).

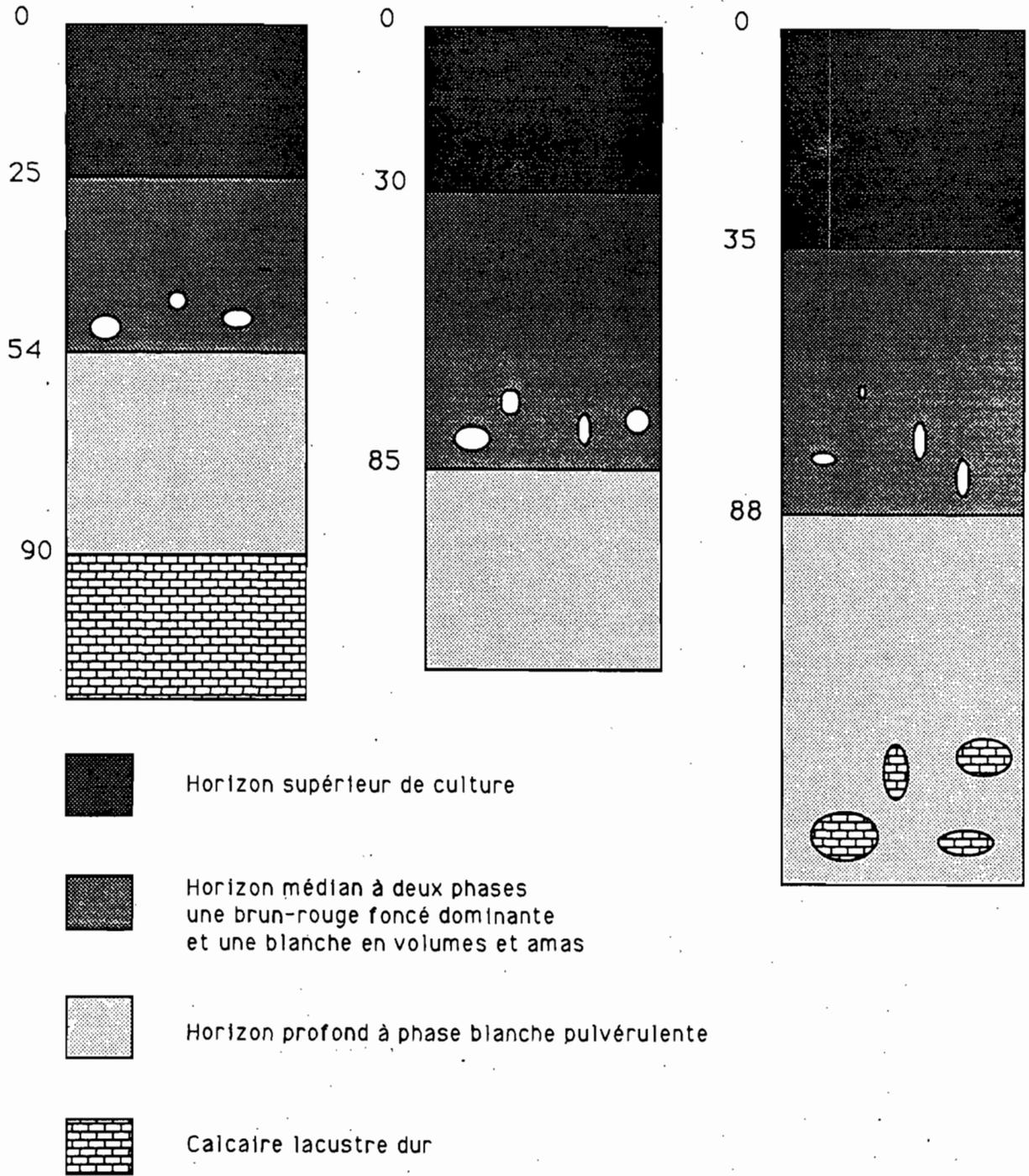


FIG. 20 : PROFILS DE SOLS ISOHUMIQUES SCHEMATISES

Leur texture est fréquemment argileuse (jusqu'à 56 %) plus sur calcaire dur et (40 à 46 %) que sur calcaire tendre. En profondeur les teneurs sont très variables et ce en fonction du matériau originel .

La structure est très nettement développée en éléments polyédriques grossiers puis en éléments prismatiques et compacts dans le cas des sols très profonds ou jouxtant les vertisols .L'horizon supérieur développe souvent une structure lamellaire discontinue de 3 à 5 cm d'épaisseur.

Le pH est assez constant autour de 7,5 à 8,5.

Le rapport fer libre sur fer total est voisin de 0,45 puis de 0,35 en profondeur.

La capacité d'échange, est de l'ordre de 30 à 40 meq/100 gr, toujours saturée par le calcium. Le taux de saturation s'établit le plus souvent autour de 90 à 95 %.

4.343 - LES VERTISOLS

Les vertisols sont définis par la classification C.P.C.S. comme des sols à profils argileux à dominance d'argiles gonflantes, plus ou moins homogénéisés ou irrégulièrement différencié par suite des mouvements internes, s'exprimant par la présence de larges agrégats gauchis et à faces striées, au moins à la base des profils, et souvent, par celle d'un micro-relief "gilqaï" et d'effondrement. Leurs horizons ne se différencient que par leur structure qui est prismatique sur la majorité du profil .Leur couleur est en général foncée

Ils sont localisés chaque fois que la roche a permis la formation de grandes quantités d'argiles gonflantes, qui appartiennent surtout au groupe des smectites, dans des conditions de drainage limitées.

Les vertisols décrits dans la région cartographiée appartiennent aux deux sous-classes des vertisols définis en fonction du drainage externe. Les groupes décrits sont à structure arrondie en surface.

Dans la région du plateau de Meknès, les vertisols, malgré leur extension réduite sur calcaire, se distinguent des autres groupes de sols et sont connus comme des sol "noirs" (Tirs) en raison de leur horizons supérieur de couleur foncée, foisonnant et crevés d'effondrements, assurant en année normale de pluviométrie de bons rendement en céréales.

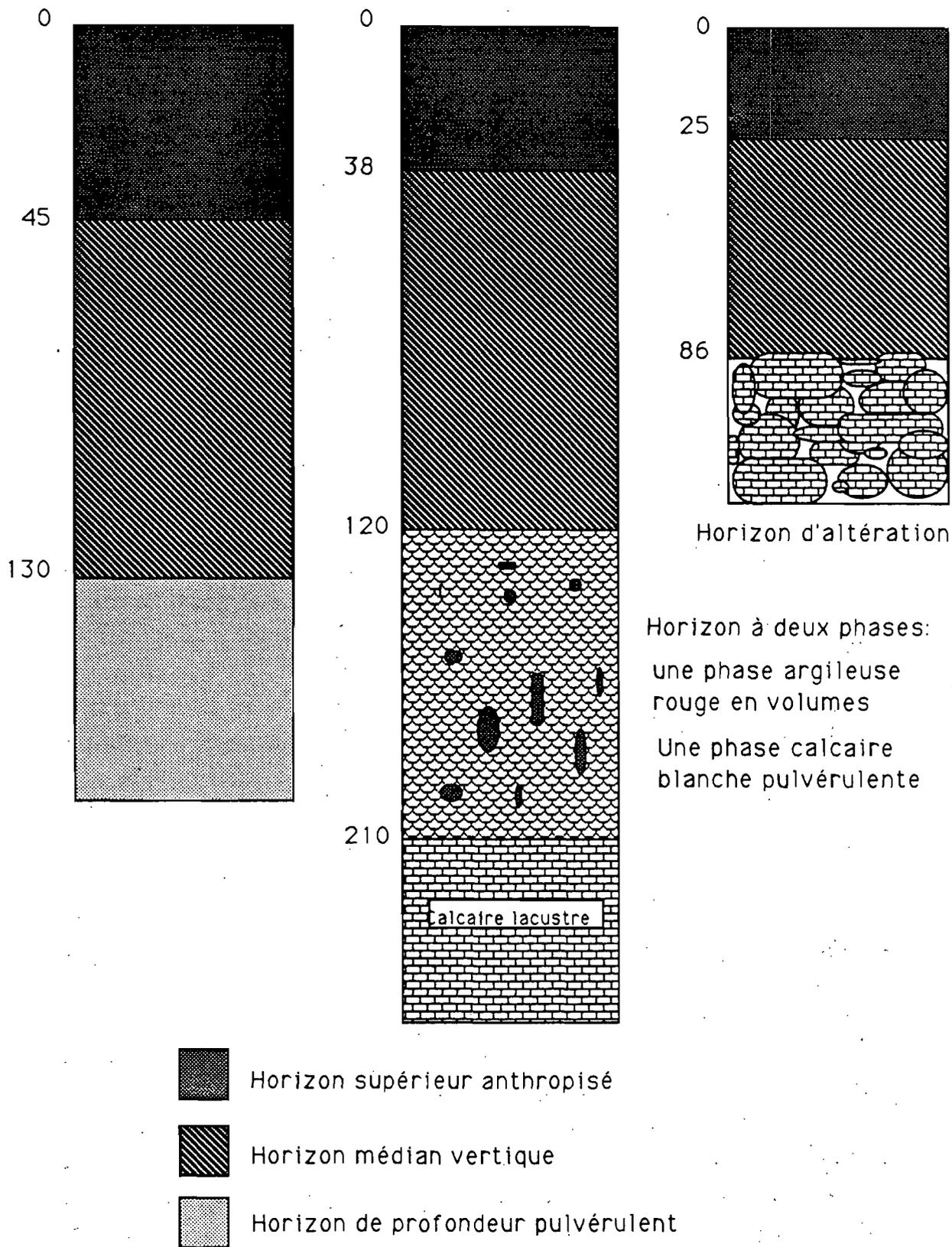


FIG.21 : Schémas de profils des vertisols

Les sols observés sont dans leur majorité des sols peu différenciés, profonds à très profonds (1,20 à plus de 3 m de profondeur sur certaines situations topographiques).

Leur coloration varie peu sur l'ensemble du profil, de sorte que les horizons ne sont pas très différenciés Elle est brun-rouge foncé (5YR3/4) en surface puis brun-rouge à brun-jaune en profondeur.

Ils sont tous de texture argileuse avec des teneurs qui varient entre 40 et 60% d'argiles granulométriques.

Leur structure est polyédrique grossière dans les horizons supérieurs puis typiquement prismatique délimitant des prismes volumineux gauchis, se décomposant en plaquette obliques, à faces luisantes ou striées, séparés par de larges fentes (3 à 6 cm) dans lesquelles s'introduits des éléments issus des horizons supérieurs Ces prismes sont très fermes et durs à l'état sec, adhérents et plastiques en humide. A cette structure correspond un aspect de surface (mais ce n'est pas général à tous les sols observés) bosselé. En humide leur structure est massive. Une structure lamellaire très fine et discontinue est observée dans les horizons de surface.

Leur macroposité est très faible et la cohésion ainsi que la consistance très dures dès que le sol est sec. Une humidité appréciable est observée dans les horizons profonds en saison sèche, suggérant que ces sols continuent vraisemblablement à subir des pédogénèses verticales, la pluviosité et les apports latéraux d'eau en provenance des sommets de pentes, suffisent à les maintenir humidifiés et à entretenir un état confiné indispensable à leur formation.

La présence de graviers et /ou de petits galets siliceux et quartzitiques est fréquente dans les horizons supérieurs et médians, mais celle-ci est limitée à des sols en situations topographiques particulières, permettant la possibilité d'apports.

Ils sont totalement décarbonatés dans les horizons supérieurs et médians , puis légèrement carbonatés dans la masse au niveau des horizons profonds. La présence d'une individualisation et accumulations des carbonates de calcium (larges amas et nodules calcaires de formes et de dimensions variables) est fréquente dans ces sols en profondeur. Ces carbonates, distribués au hasard, sont toujours juxtaposés à la matrice verticale , ils sont donc probablement postérieurs à cette matrice. Elle débute en général à la base des horizons verticales.(médians) L'origine des

carbonates est difficile à préciser, nous pensons qu'elle est locale; mais des apports latéraux sont évidents aussi.

Leur teneur en matière organique est relativement faible, elle ne dépasse pas 2,5 %.

Leur complexe d'échange est saturé à plus de 90 %, principalement par du calcium. Leur capacité d'échange est de l'ordre de 35 à 38 meq/100 gr

Le pH-eau est toujours supérieur à 7, peut atteindre 8 dans les horizons profonds encroûtés.

4.344 - LES SOLS FERSIALLITIQUES *Les sols rouges méditerranéens*

Les sols fersiallitiques constituent dans la classification C.P.C.S., une sous-classe des sols à sesquioxydes de fer et/ou de manganèse. pour désigner des sols anciennement appelés "terra Rossa", terres rouges, puis sols rouges ou bruns méditerranéens (LAMOUREUX, 1983). Ce même auteur, ayant beaucoup travaillé sur ces sols , en donne la définition suivante: "sols contenant une forte proportion de minéraux argileux 2:1 ou 2:1:1 et des teneurs en fer libre élevées (> 3% et $Fe_2O_3 / Fe_2O_3t > 0,5$). Ils s'agit de sols rouges fersiallitiques (appelés anciennement "terra Rossa", "sols rouges méditerranéens, etc ...) riches en hématites , bien drainés, bien structurés et au complexe d'échange pouvant atteindre une forte désaturation ($V = 20$ à 25%) dans certains sols rouges sur schistes du Portugal. En milieu à drainage ralenti, l'hématite se transforme en goethite et les sols ont alors une couleur brun-jaune à jaune et leur structure devient plus compacte à l'état sec".

Dans cette sous-classe on distingue trois groupes dont la différence est liée à l'intensité de la rubéfaction, au caractère de leur complexe d'échange et au degré du lessivage des bases. Selon les principes généraux de la typologie adoptée, deux grands groupes de sols fersiallitiques ont été inventoriés dans la région cartographiée : les sols saturés à réserves calcaïques et peu lessivés et les sols partiellement désaturés sans réserves calcaïques et lessivés. Seuls le premier groupe , observé sur les calcaires lacustres durs, nous intéresse dans cette étude. Les sous groupes sont définis en fonction de leurs profils texturaux (vertiques ou tirsifiés) ou de l'apparition de caractères morphologiques traduisant l'un des processus fondamentaux de formation des autres sols , mais faiblement exprimés, ne modifiant pas la tendance évolutive actuelles des sols (recarbonatation, érosion et remaniement anthropiques, ensablement de surface...)

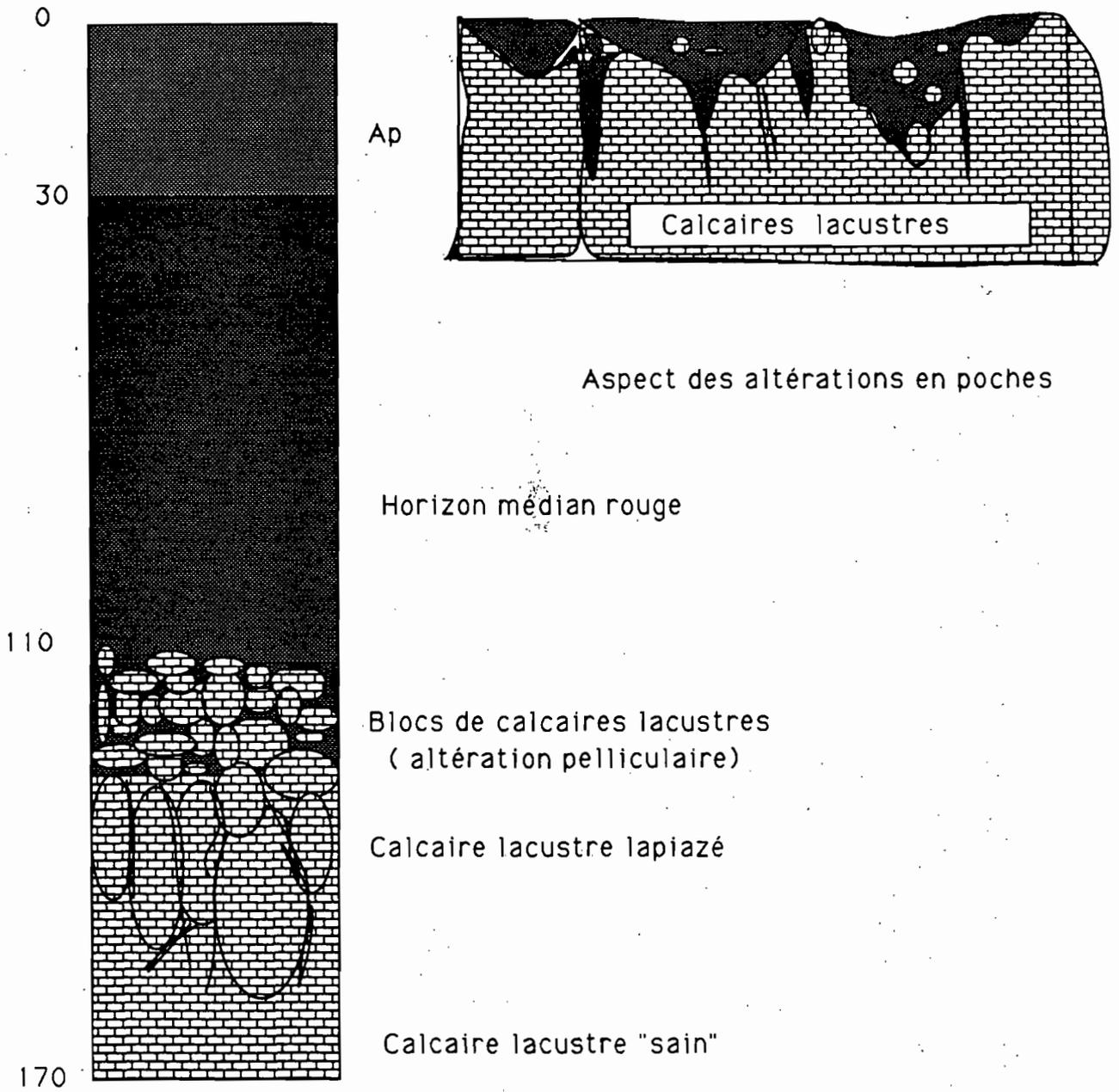


FIG.22 : Profils de sols Ferrallitiques schématisés

Les sols fersiallitiques observés se caractérisent par une organisation verticale d'horizons évolués de type **A.B.R** avec des transitions diffuses à graduelles traduisant une certaine homogénéité de profil pédologique et un indice d'une pédogénèse poussée.

Tous les sols observés présentent une profondeur qui varie de quelques cm (limitée par le fond des lapiezés en poches étroites, modelé dans les calcaires lacustres) à plusieurs décimètres d'épaisseur. La profondeur optimale des sols sur calcaires lacustres durs est de l'ordre de 40 à 100 cm.

Le profil chromatique se caractérise par une coloration brun-rouge foncé (5 YR 3/4) dans l'horizon supérieur, puis rouge (2,5 YR 3/4) en profondeur au contact des calcaires lacustres, traduisant l'effet de la présence d'oxydes de fer en milieu bien drainé.

De part leur substrat commun (calcaires lacustres durs et/ou lapiazés), ils ont une texture argileuse en général homogène sur tout le profil, avec cependant pour certaines unités cartographiques , une faible variation du taux d'argile qui augmente au contact du front d'altération pelliculaire des calcaires lacustres. Leur taux d'argiles granulométriques atteint fréquemment plus de 50%.

Ils sont fortement décarbonatés sauf au contact des calcaires lacustres où quelques pourcents de carbonates sont décelés (1 à 3 %).

Leur structure est polyédrique subangulaire à arêtes vives bien marquées, puis prismatique à sous structure polyédrique anguleuse en profondeur avec apparition de faces brillantes et lisses peu développées. Une structure finement lamellaire de 2 à 4 cm d'épaisseur dans les horizons supérieurs est souvent observée en zone de culture intensive.

Leur profil organique est souvent du type "isohumique" avec des teneur en matière organique de l'ordre de 2 à 3 %.avec un rapport C/N compris entre 10 et 12 indiquant une minéralisation poussée et la formation d'un mull calcique Leur complexe d'échange est saturé à plus de 80 % avec une dominance du cation Ca^{++} . Le ph (pH-eau) est neutre à légèrement basique en profondeur, toujours supérieur à 7.

Dans le chapitre suivant nous allons voir comment s'associent ces sols en fonction des facteurs du milieu : le modelé et le substrat basal. Ces deux facteurs paraissent déterminants puisque le climat ne diffère pas sensiblement sur le plateau et que l'influence de la végétation n'est pas appréciable car, depuis longtemps interviennent les dégradations anthropiques.

DEUXIEME PARTIE

**LES SOLS DU PLATEAU DE MEKNES:
ORO-HYDROGRAPHIE ET CHOIX D'UN SECTEUR
D'ETUDE**

CHAPITRE 5

MODELÉ ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

5.1 - OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

Cette analyse du modelé a pour objet de décrire la **structure du paysage**, en la calant sur le **réseau de talwegs**. Le but est de découper le paysage en **unités de modelé** qui facilitent la recherche des structures répétitives dans la couverture de sol. Sont privilégiés dans cette perspective les caractères morphologiques dont on sait déjà qu'ils sont pertinents, ou qui sont susceptibles de l'être, selon l'expérience personnelle ou régionale mise au service d'un projet de cartographie.

On s'appuiera donc sur les travaux des géologues, hydrologues, géomorphologues et géographes, complétés au fûr et à mesure par nos propres observations de terrain concernant les substrats et matériaux parentaux des sols, les structures et les formations géologiques, les marques d'interventions humaines etc.

Dans ce paysage calcaire et sous ce climat presque semi-aride du plateau de Meknès, l'hydrologie est complexe du fait des écoulements temporaires (oueds), des pertes naturelles (karst) et des dérivations (séguias). On interrogera donc plutôt l'**hydrographie**, qui fournit en outre une trame précieuse pour le calage des données pédologiques. Les cartes topographiques à 1/50 000 utilisées sont celles de Meknès, Seba'youn et El Hajeb éditées par la Division de la carte (D.C.F.T.T.-M.A.R.A.). Ces cartes indiquent aussi la position des sources, dont on tirera des informations utiles.

Les correspondances entre **modelé** et **différenciation du sol** peuvent être recherchées et utilisées à plusieurs niveaux d'avancement d'un lever cartographique et être abordées par différentes approches. Cette recherche est une part importante de cette étape de la cartographie de **reconnaissance**, et dont le déroulement est rarement explicité tant il est dépendant de l'expérience des opérateurs et des connaissances régionales.

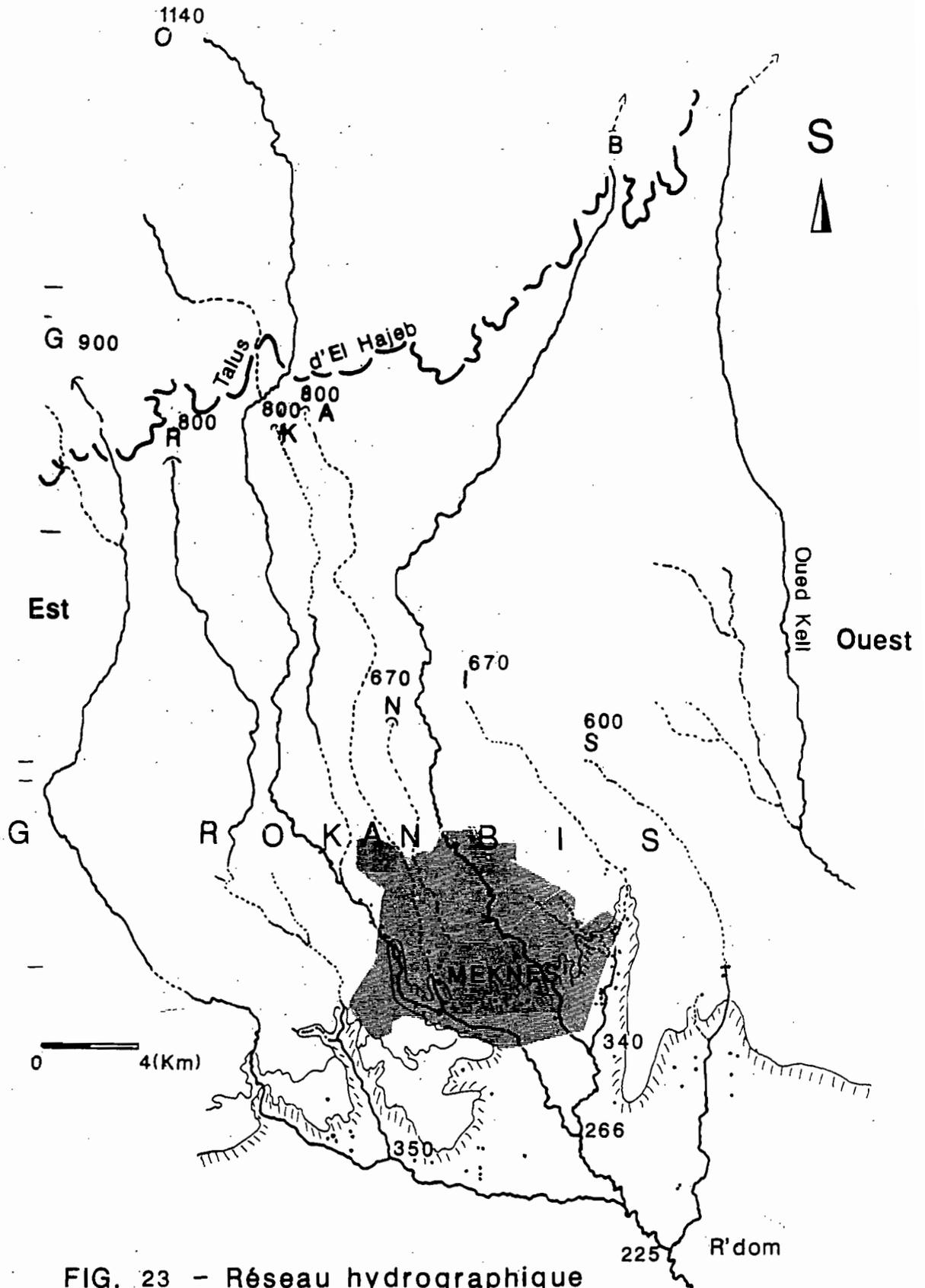


FIG. 23 - Réseau hydrographique

G,R,O,K,A,N,B,I,S: Initiales des noms des oueds (ou talwegs)

670: Tête de talweg et son altitude en mètres

N

• Sources

On s'est appuyé, en ce qui concerne le plateau de Meknès, sur les paramètres suivants :

- le tracé du **réseau hydrographique**, en distinguant différents niveaux d'ordres des talwegs (hiérarchie) et en portant une attention particulière aux "**talwegs de versant**". En fait on raisonnera plus sur le réseau de talwegs que sur les oueds qui les empruntent et façonnent.

- le **profil longitudinal** (ou profils en long) des talwegs principaux qui témoigne de la résistance des couches rencontrées et de l'histoire du paysage à travers le développement du réseau hydrographique. On a porté en abscisse les distances mesurées en suivant le talweg et non pas les "méandres" du cours d'eau (lit mineur).

- la **morphologie des versants des talwegs** (vallées) en divers points du profil en long (repérés par leur altitude). Elle est caractérisée ici en associant deux figures : le **profil transversal et le réseau de "talwegs de versant"**.

Le premier est établi suivant la plus grande pente en un point où on ne traverse pas les seconds. Ces derniers sont caractérisés principalement par leur fréquence, leur orientation et leur disposition. Dans les vallées, le tracé du lit mineur est également considéré. Si le profil transversal ne varie pas et que les talwegs de versant forment un motif répétitif, celui-ci permet de délimiter des unités de modelé correspondant à des segments de vallée. Le secteur d'étude détaillée (**SED**) en est une.

- le **tracé des lignes de crête** pour apprécier la forme de la ligne de partage des eaux (ondulations verticales). On projette aussi ces lignes de crête sur un plan horizontal pour délimiter des **bassins-versants**. Ceux-ci définissent des unités de modelé à différents niveaux (contours emboîtées).

D'autres données d'observation ou paramétriques sont utilisées pour caractériser ou délimiter des unités de paysage. Ce sont, entre autres, la **tortuosité** de la "ligne" de talweg, ou du lit mineur qui "méandre" dans une vallée, la **densité de drainage** dans une surface significative (bassin versant, type de roche).

On distingue in fine différents types **d'unités de modelé**, ou **portions d'unités de modelé**, susceptibles de porter des couvertures pédologiques différentes.

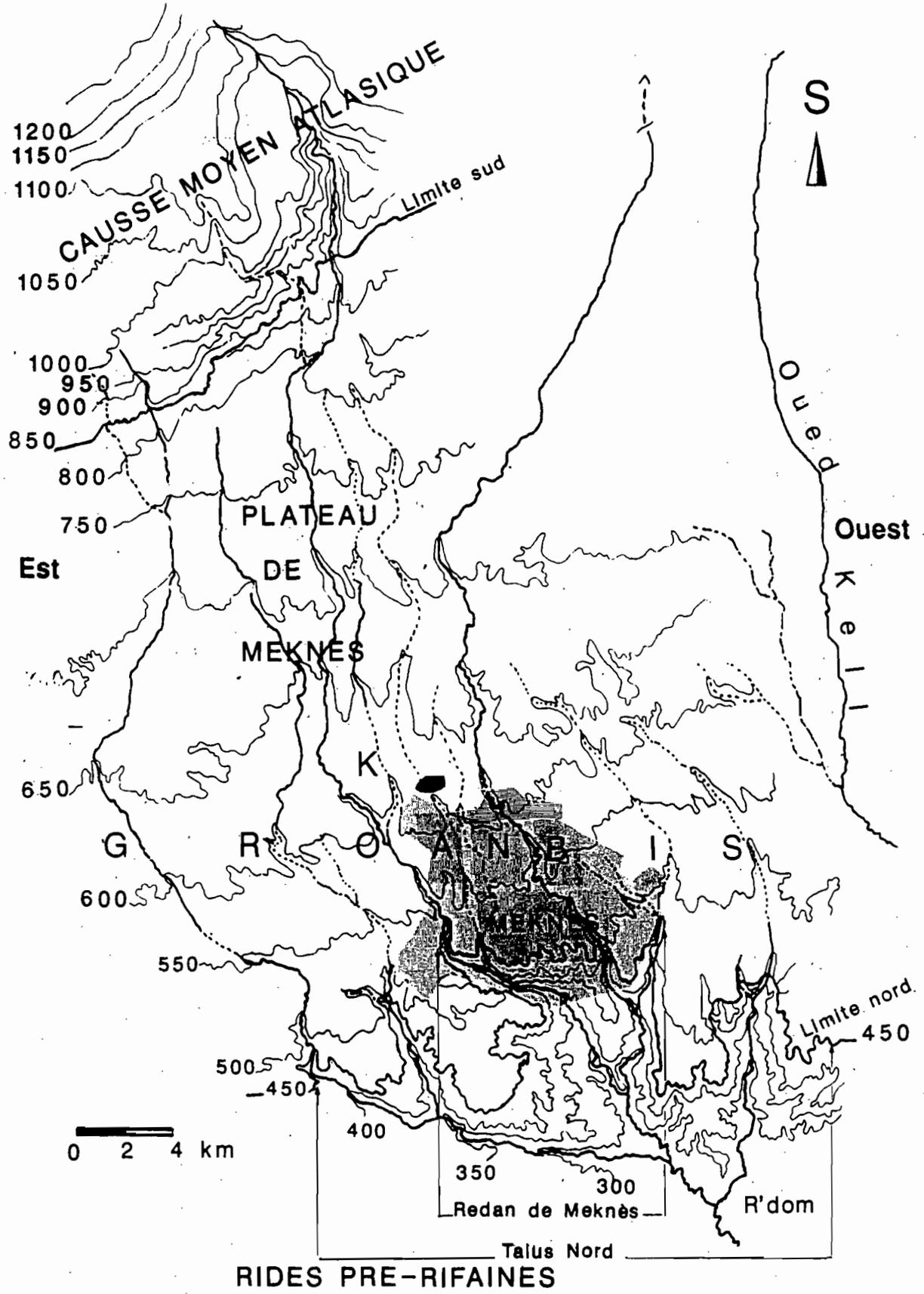


FIG. 24 - Réseau hydrographique et courbes de niveau

5.2 - RESEAU HYDROGRPHIQUE ET RELIEF

La figure 23 présente le tracé du réseau des talwegs principaux du plateau de Meknès, désignés, d'Est en Ouest, par leurs initiales :

G, R, O, K, A, N, B, I, S.

On se reportera à la figure 2 pour connaître les noms des oueds* correspondants, figure qui localise par ailleurs les régions naturelles et les noms de lieux ainsi que les secteurs d'étude pédologiques.

La figure 24 repère le réseau par rapport aux courbes de niveau, espacées de 50 m, pour jalonner la pente Sud-Nord de ce plateau. Les tableaux 2 & 3 fournissent des données chiffrées sur le réseau. Trois limites du plateau sont indiquées :

- à l'**amont**, le **talus-Sud** qui monte vers le Causse Moyen Atlasique;
- à l'**aval**, le **talus-Nord** qui descend vers les rides Pré-Rifaines;
- à l'**Ouest**, l'Oued Kell, noté L, qui le sépare du Plateau Central et de la vallée de l'Oued Beht

Les limites amont et aval sont déduite du resserement des courbes de niveau, d'équidistance 10 m, données par la carte topographique à 1/50 000. Le plateau du Saïs de Fès (moins élevé) prolonge vers l'Est le plateau étudié, dont il est séparé par le talus d'Ain Taoujdate.

* *Relief général*

- Le **talus-Sud**, dénivelé de 200 m, est oblique par rapport aux courbes de niveau : sa base s'élève d'Est en Ouest de 850 à 900 m, soit avec un devers altitudinal de 50 m.

- Le **plateau de Meknès** long de 25 km, dénivelé de 400 m, a d'abord une pente Sud-Nord de 1,3 %, puis, à partir du parallèle 33°50', il s'infléchit vers l'Ouest (N 320°) avec 1,7 % de pente. Il se termine à l'aval par un replat de largeur variable.

- Le **talus-Nord**, dénivelé de 200 m, est très découpé : il présente notamment, à l'emplacement de Meknès, un redan enfoncé de 4 Km dans le plateau, sur un front de 8 km de large.

- Les **rides Pré-rifaines** contiennent des buttes-témoins du plateau calcaire ainsi que des affleurements des calcaires du Jurassiques.

* Cours d'eau ne coulant qu'exceptionnellement, sans périodicité définie, pendant de courtes périodes, caractérisé par un écoulement sporadique.

Tableau n° 5 : Mensurations des profils longitudinaux des talwegs
(G,R,O,K,A,N,B,I,S)

	E s t					O u e s t			
Talwegs	G	R	O	K	A	N	B	I	S
Affluent de	Rdom	G	G	O	O	A	O	B	Rdom
Altitude-source (m)	900	800	1140	800	800	670	1100	670	600
Altitude-confluent (m)	240	350	240	550	425	500	266	340	225
Dénivelée (m)	660	450	900	250	375	170	-	330	375
Distance Rdom-source (km)	50	50	61	42	40	30	-	28	32
Distance Rdom-confluent (km)	0	26	3	23	15	19	7	11	0
Longueur du talweg (km)	50	24	58	19	25	11	?	17	32
Pente moyenne (%)	1,3	1,4	1,5	1,3	1,5	1,6	-	1,9	1,5
Tortuosité	1,04	1,00	1,07	1,03	1,17	1,05	1,04	1,04	1,10

Commentaire

La tortuosité faible indique une jeunesse et absence de discontinuité majeures, pas de vrais méandres. Les pentes des profils en long sont fortes par rapport aux grands oueds comme le Sebou.

* **talwegs ou talwegs-oueds :**

- **G,O,B**, sont des talwegs-oueds venant du Causse Moyen Atlasique. Ils pénètrent sur le plateau par les passes d'Agouraï et d'El Hajeb.

- **R, K, A**, débutent sur le plateau en des points peu éloignés, d'altitude respectives 670, 670, et 600 m. Le talweg **N** est d'ordre inférieur : il a été tracé ici parce qu'il jouxte le **SED**.

* **tracé du réseau hydrographique**

Tableau n° 6 : Ecartement moyen, en Km, des talwegs adjacents

Direction	N o r d			Nord 320°			Nord-ouest		
	800	750	750	650	600	550	500	450	400
G-R	2	2	3				4	4	
R-O	5	4	3	1	3	3	3	4	
O-K	1	2	2	1,2	2,5	2 15 4 2			
K-A	1	2	2	2	1,5	c o n f l u e n c e			
A-B	8	5	2	2	2,5	3	4	4	
B-I	zone de raccord			2	4	5	4	3	4
I-S	nouveaux talwegs				2	3	3,5	5	
Moy.	3,4	3	2,4	3,1	2,9	3,5	3,3	4	4

Commentaire

- le réseau est peu hiérarchisé à l'exception du **faisceau central** que forment les talwegs **O, K, A, N, B, I**, convergeant dans le redan de Meknès au profit de **O & B**. Enfin, après un parcours plus ou moins long dans les premières rides Pré-Rifaines, tous les talwegs confluent et rejoignent le point **R'dom** à 225 m;

- à l'amont du plateau (altitude 900 à 700 m), les talwegs principaux ont un tracé **Sud-Nord**, conforme à la pente du plateau. ils sont à peu près parallèles mais inégalement espacés (3 km en moyenne);

- au centre du plateau, entre 700 et 600 m, les talwegs **G & R** divergent mais les talwegs centraux se rapprochent (écartement moyen passant de 2,4 à 1,6 km), tout en restant parallèles La densité de drainage est alors maximum;

- **plus en aval**, l'inclinaison du plateau vers le Nord-Ouest dévie aussi le tracé des talwegs **G, R, O, B**, mais le talweg **O** est plus dévié (faille ?) que les talwegs de l'Ouest **K, A, N, B, I**, qui ont été alors capturés les confluences augmentent l'écart moyen à 3 km;

- **peu après la zone d'infléchissement vers l'Ouest**, les talwegs du faisceau central **O, K, A, N, B, I**, convergent puis confluent dans le redan de Meknès;

- sur le **talus-Nord** et dans les **rides Pré-Rifaines** jusqu'à R'dom, d'autres confluences élèvent l'écartement à 3 km.

Discussion :

Le **talus-Sud** est attribué à des actions tectoniques qui ont présidé au façonnement du Causse Moyen Atlasique.

Le **talus-Nord** présente les marques d'une érosion régressive active qui, après avoir entaillé les Marnes tortoniennes meubles, entaille le talus - Nord du plateau.

La topographie du **plateau** lui-même se distingue par sa pente relativement **forte**, et qui change de direction, ainsi que par son réseau hydrographique serré et **peu hiérarchisé**. C'est aussi un argument en faveur d'une faille. Le seul faisceau de talwegs est celui de **O**, dévié par une faille de ce plateau structural. Cette concentration des eaux peut expliquer le creusement du **redan**.

*Ces caractères sont ceux d'une structure résultant de **déformations tectoniques récentes** affectant un **entablement calcaire peu épais** et **apparemment encore peu karstifié** ne permettant pas l'individualisation des **dollines**.*

5.3 - DÉVERS EST-OUEST

La figure 25 présente des coupes Est-Ouest décalées en latitude de 10 km approximativement et sur lesquelles la zone de plateau est délimitée.

L'altitude du plateau décroît de la coupe 1 à la coupe 3 de 200 m environ, soit sur 20 km de distance Sud-Nord, une pente de l'ordre de 1% (moyenne). Pour l'ensemble du plateau, la perte d'altitude est de 870-350 = 420 m ce qui donne, rapportée à la longueur de 33 km, une pente en % de 1,3.

Les coupes Est-Ouest montrent aussi une inclinaison vers l'Ouest à la latitude 33°50' (coupe 2); la composante Ouest est alors en % de :

- 0,15 sur la coupe 1 (dénivelé de 30 m sur 20 km)
- 0,50 sur la coupe 2 (" " 170 m sur 35 km)
- 0,60 sur la coupe 3 (" " 60 m sur 10 km)

Mais pour avoir la pente réelle et sa direction, il faut combiner les composantes Sud-Nord et Est-Ouest.

A noter que le **SED** est proche de la coupe 2, sur un replat du profil Est-Ouest.

5.4 - HYDROLOGIE ET SOURCES

*** alimentation, écoulement, confluence :**

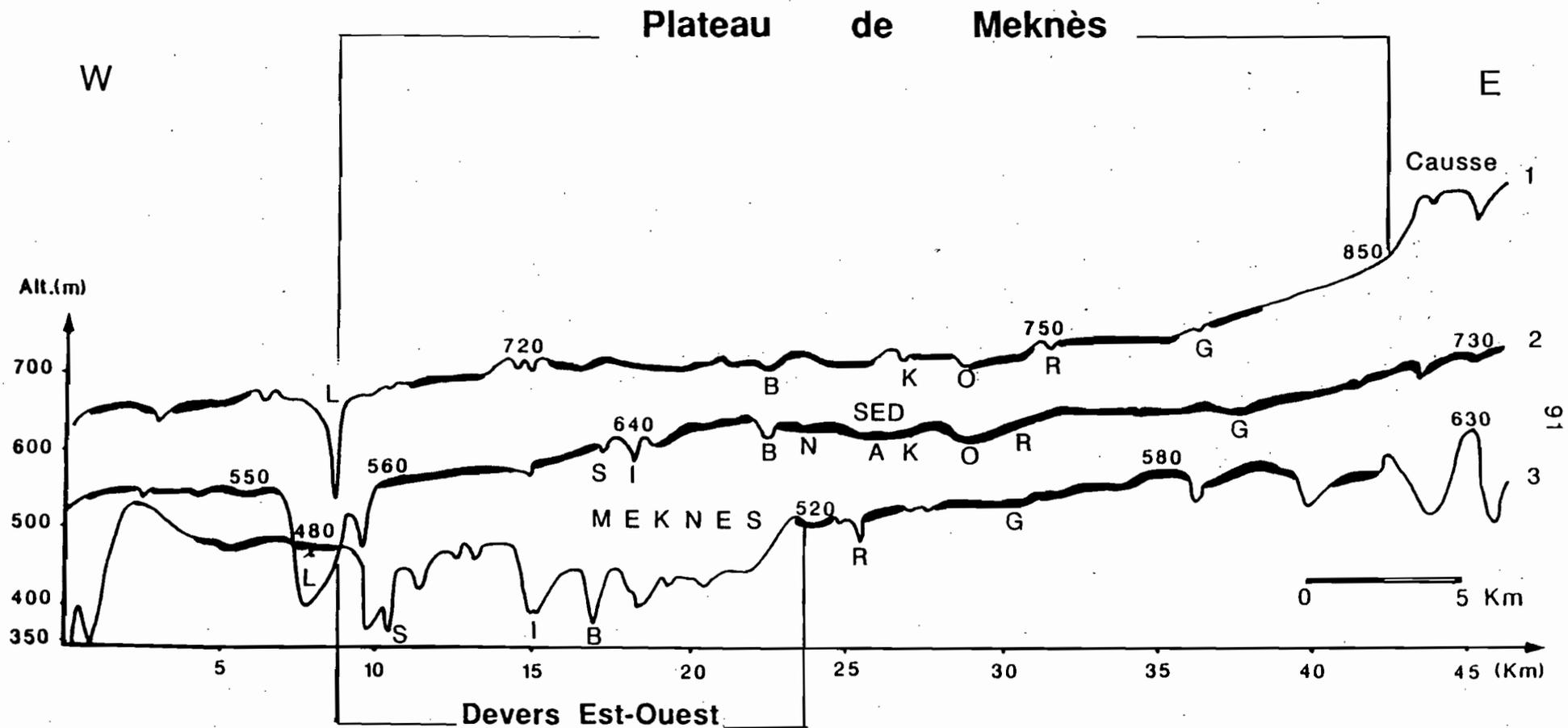
Les talwegs principaux fonctionnent, au moins lors des fortes averses (Oueds), et reçoivent à ces occasions des *produits fins colorés* : les dépôts observés dans les bas-fonds, proviennent toutefois aussi d'apports latéraux par érosion des versants, dans ce paysage à longue histoire culturelle.

La fourniture latérale d'eau par le Causse Moyen Atlasique, **directe** (oueds **G, O, B, L**), ou par d'éventuelle résurgences (talwegs **R,K,A**), ne permet pas d'esquisser un bilan hydrologique du paysage étudié. L'abondance des sources atteste cependant de l'importance des **circulations souterraines**.

L'**amont du plateau (800-600 m)** est une zone d'alimentation en eau par les talwegs-oueds venant du Causse et par les sources ou résurgences du piedmont du talus. La forte pente longitudinale, le faible écartement des oueds et leur parallélisme ainsi que la faible dénivelé des interfluves permettent une irrigation gravitaire : de nombreux réseau de "séguia" reçoivent ainsi l'eau de l'oued voisin, prélevée en amont.

L'**aval du plateau (600 à 225 m)** est une zone de confluence successives jusqu'à R'dom, affluent de l'oued Sebou. Le réseau hydrographique s'y enfonce sous les calcaires durs, dans le soubassement marneux (localement sableux et plus perméable).

Ces deux zones se relaient, sans toutefois se chevaucher.



— zone de plateau délimitée par sa topographie plane

L : oued Kell

550 altitude en m

G.R.O.K.A.N.B.I.S : Initiales des talwegs ou Oueds

1 : 40 km nord de R'dom (33° 45')

2 : 30 km nord de R'dom (33° 50')

3 : 20 km nord de R'dom (33° 55')

FIG. 25 - Coupes transversales ouest-est du plateau et délimitation latérale

* **sources :**

Le repérage des sources, nombreuses en certains endroits, suscite des hypothèses utiles pour apprécier la direction et la perméabilité des couches du substrat.

La figure 26 localise différentes zones de sources, signalées sur la carte à 1/50 000. En incluant les têtes d'oueds, ce sont, d'amont en aval :

- à 800 m, au piedmont du Causse, les têtes des oueds **R, K, A**;
- à 670 & 600, dans la zone de resserrement puis d'incurvation du réseau, les têtes des talwegs **N, I, S**;
- entre 700 & 600 m, quelques sources sur versants des talwegs;
- de part et d'autre du rebord du plateau et dans les vallées, des sources différant par leur nombre, altitudes et positions par exemple :
 - . entre 560 & 520 m en rive gauche du talweg **O**;
 - . vers 480 m en rive droite du talweg **I**;
 - . entre 480 & 440 m dans le talus du **redan**.

Commentaire

*L'eau des sources-têtes de talwegs **R, K, A**, peut provenir du Causse, en résurgence de **G, B, O** : voir par exemple le tracé de **B**, sur le Causse, dans le prolongement de **A** (piedmont) ;*

les quelques sorties d'eau de la zone de resserrement du réseau indiquent une concentration des écoulements internes facilitées peut être par des flexure et des failles ;

les sources du bord du plateau signalent des bancs plus argileux (impermeables) dans l'entablement des calcaires lacustres (perméable en grand).

* **Le redan de Meknès** : cause du creusement plus avancé.

Des structures géologiques locales peuvent être mises en évidence en considérant la position et l'altitude des sources. La figure 26 montre de nombreuses sources dans le talus-Nord au niveau du redan et dans certaines vallées du faisceau **O, A, B, I**, qui le traversent et le bordent.

Les sources du talus-Nord repèrent le sommet des marnes néogènes, d'altitude voisine à cet endroit de 460 m. En remontant les vallées de O & I, des sources soulignent qu'elles suivent cette discontinuité parallèlement à des altitudes croissant vers le Nord, puis d'autres signalent des niveaux imperméables dans la base des calcaires lacustres.

Très peu de sources émergent du talweg B, malgré son importance. Il en est de même de A, peu creusé il est vrai. Par contre, elles abondent sur les versants en regard des talwegs O & I, à des altitudes quelques peu différentes de chaque côté.

*Cette disposition ne peut résulter seulement du basculement du plateau vers le Nord-Ouest. Un **bombement d'axe B**, faisant diverger les eaux souterraines vers les côtés et vers l'aval est donc à envisager. Ce bombement favoriserait l'avancée du talus Nord:*

- *en fragilisant la zone anticlinale d'axe B ;*
- *en augmentant l'agressivité des talwegs latéraux O et I.*

Pour expliquer la différence d'altitude des sources entre les talwegs O & I, distants de 20 km au niveau du redan, il suffit d'une pente Est-Ouest du plateau de 3 pour mille, mais les tracés de A & B suggèrent aussi une **dissymétrie du bombement**. Cependant, ce bombement entre O et I est à peine marqué sur la coupe 2 de la figure 12 et n'apparaît pas sur la coupe 3 qui passe un peu au Nord de Meknès.

Commentaire

Cet exemple montre à la fois la complexité des effets de la tectonique sur le modelé et consécutivement sur les circulations souterraines et superficielles. L'intérêt de connaître ces effets pour une utilisation optimale de l'eau disponible dans cette région semi-aride est évident.

Mais on doit s'attendre à ce qu'elle *influe aussi sur la différenciation de la couverture de sol et son fonctionnement hydrique*. Des mensurations précises des structures du substrat régional sont souhaitables pour comprendre ces effets : on utilisera pour ce faire les différents paramètres évoqués en introduction.

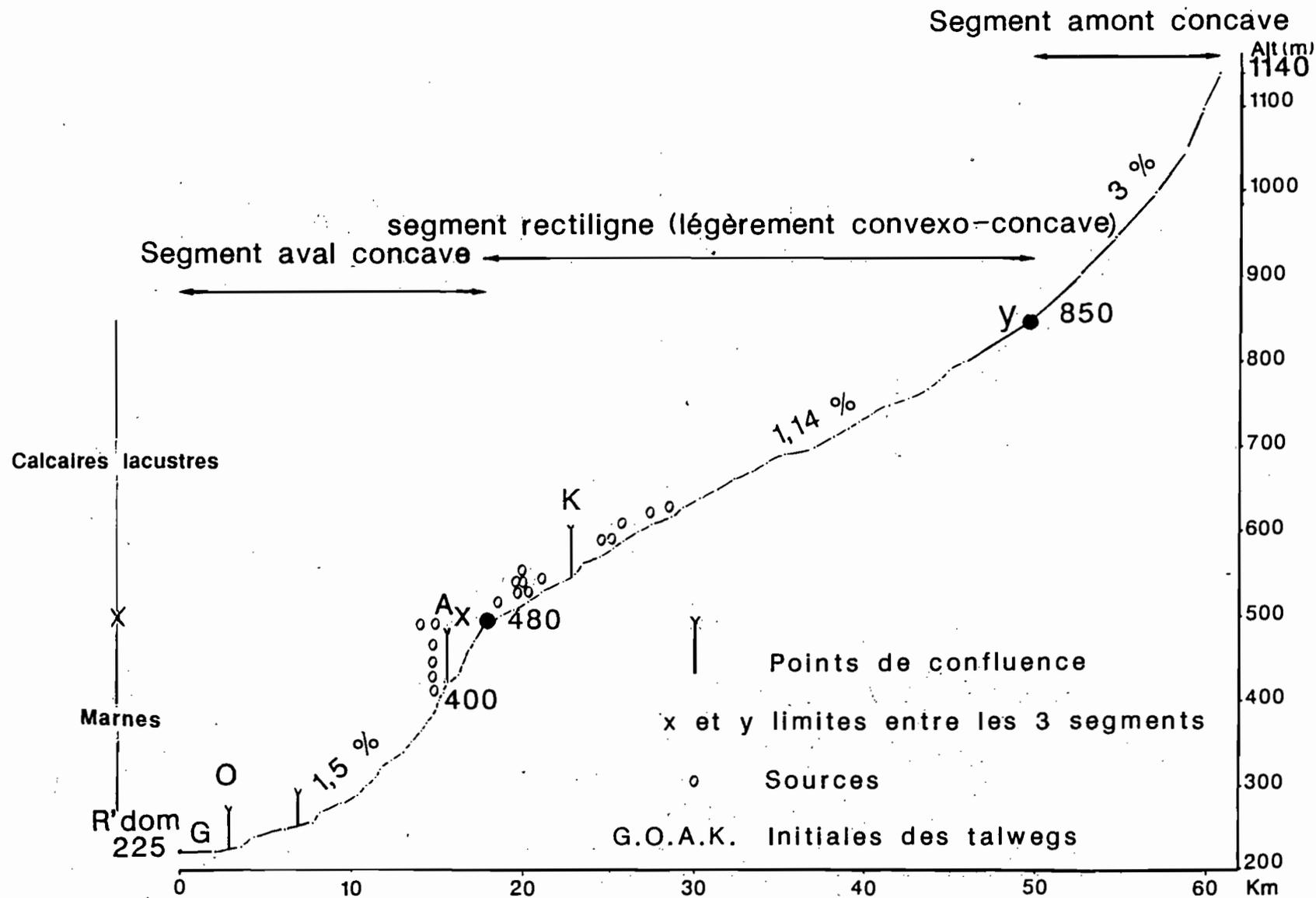


FIG. 27 : Profil en long de l'oued Ouislane (talweg O) prolongé jusqu'à R'dom

5.5 - PROFILS EN LONG DES TALWEGS

* *Tracé des profils et caractéristiques générales*

La figure 27 présente le profil en long du talweg O prolongé vers l'aval jusqu'au point R'dom, d'altitude 225 m. Ce profil est construit avec en abscisse la distance en km à R'dom mesurée au curvimètre en suivant la ligne de talweg (et non la tortuosité du lit mineur). En ordonnée figure l'altitude donnée par les courbes de niveau d'équidistance 10 m. Chaque point de confluence est indiqué par l'initiale désignant l'affluent : c'est le seul endroit où les deux cours d'eau ont même abscisse et même ordonnée dans le plan horizontal.

Le tableau 6 montre que la pente moyenne des profils en long augmente normalement vers l'amont avec la dénivelée, elle même liée vers l'amont à la longueur des talwegs. Ces pentes moyennes sont élevées, 1,3 à 1,9 pour cent si on les compare à celle de grands cours d'eau comme le Sebou (4,4 pour mille) : cela vient de ce que pour ces vallées plus courtes la partie amont, plus pentue, intervient plus fortement sur la moyenne.

La pente relativement forte du plateau est aussi à considérer : le tracé du profil en long et des lignes de partage des eaux principales permet de **comparer pente du plateau et pente de la ligne de talweg.**

* *Les différents segments du profil en long du talweg O*

On distingue, **d'aval en amont, trois segments** séparés par deux **inflexions de pente** notées x et y :

- de 225 à 480 m d'altitude, un segment **concave**, long de 18 km, de pente moyenne 1,5 % avec un maximum de 3,5 % au dessus de 350 m d'altitude

- de 480 à 870 m un segment **rectiligne**, légèrement convexo-concave (flèche inférieure à 10 m), long de 33 km, de pente moyenne 1,14%;

- de 870 à 1140 m, à nouveau un segment **concave**, long de 10 km, de pente croissant jusqu'à 5 % à l'approche de la source.

Il apparaît par ailleurs qu'il existe des ressauts de moindre amplitude pouvant correspondre au franchissement de couches plus résistantes du substrat.

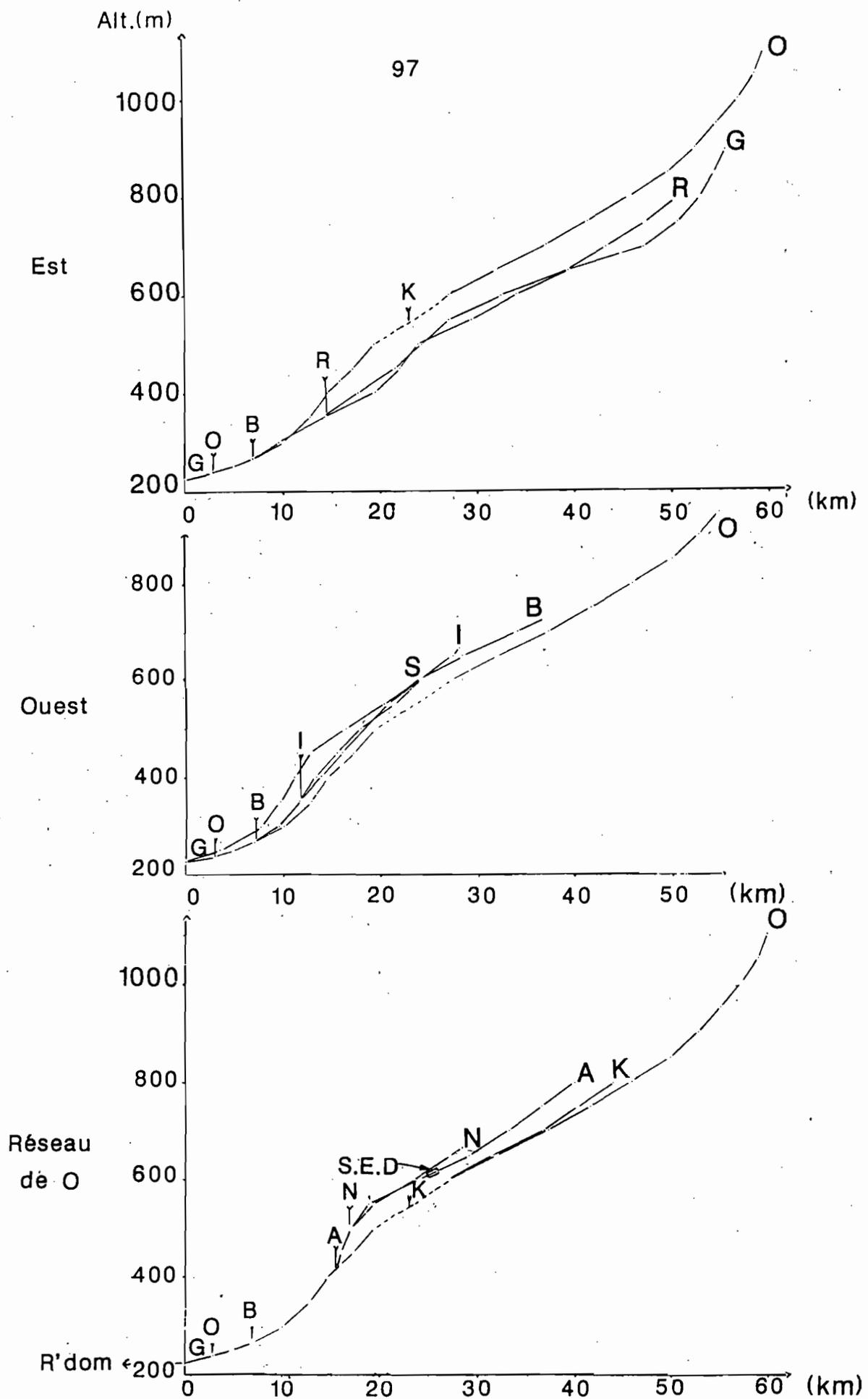


FIG. 28 - Profils en long des talwegs G,R,O,K,A,N,B,I,S.

Ces données posent les questions suivantes :

- quelle est la relation entre ces trois segments et les composantes du paysage : talus-aval, plateau, talus-amont ?

- par exemple, la pente du segment rectiligne est-elle déterminée par celle de l'entablement de calcaire lacustre ou par un profil d'équilibre antérieur ?

- Peut-on s'appuyer sur de telles relations pour mieux définir l'unité morphologique d'ordre plus élevé (*plateau de Meknès*) ?

*** comparaison de plusieurs profils en long.**

La figure 28 présente l'ensemble des profils en long des talwegs principaux, **G,R,O,K,A,N,B,I,S** rapportés au profil du talweg **O**. Il faut tenir compte de ce que le profil de chaque affluent est tracé en pointillé (en amont du confluent) avec sa propre abscisse curviligne portée dans un plan vertical. Ainsi, la tortuosité généralement différente des deux talwegs entraîne dans ce plan un double décalage, en abscisse et en ordonnée, de l'affluent par rapport à **O**. Dans ces conditions la position relative de deux profils dépend à la fois de la pente et de la longueur de chaque segment. La figure V.5 visualise alors trois paramètres : le point de confluence avec **O**, la pente et la longueur des segments. **Elle ne peut par contre informer sur l'altitude relative des différents talwegs.**

Le tableau 6 donne les valeurs chiffrées concernant le point **x** et le segment rectiligne des talwegs principaux; la figure 27 explicite les paramètres désignés par écart et dénivelé par rapport à **x (O)**.

Tableau n°7 : Profils en long : point d'inflexion **x** et **y** et segment rectiligne (comparaison avec la pente du plateau)

Talwegs d'Est en Ouest	G	R	O	B	I	S
POINT X :						
Distance à R'dom, en km	24	27	18	20	13	12
Ecart/talweg O, en km	06	09	00	03	-04	-05
Dénivelée/O en mètres	10	56	00	-6	-90	-40
SEGMENT RECTILIGNE:						
Pente en‰	9	8	11	11	18	13
Longueur	23	26	35	12	12	13
Dénivelée en mètres	200	100	370	160	260	140
Pente de surface	9	4	11	13	22	11

Les abscisses du point **x** décroissent en gros dans l'ordre **G, O, B, I, S**, c'est à dire d'Est en Ouest. Le point R'dom étant à l'Ouest, le trajet des talwegs de l'Ouest, **I**, et **S**, est plus court (et plus direct) que celui de **G** et **R** qui suivent les rides Pré-Rifaines sur 15 km avant de gravir le talus Nord, d'où la décroissance de l'abscisse du point **x**. La dénivelé est maximale entre **R** et **I** (150 m), minimale entre **G** et **S** (50 m).

Commentaire

L'inclinaison du plateau vers le Nord-Ouest explique les différences d'altitude des points **x** par rapport à celui de **O** ($x=500$ m), **G** & **R** placé plus à l'Est, sont plus haut et les talwegs de l'Ouest, **B, I** & **S**, sont plus bas.

La pente Sud-Nord du plateau combinée avec la distance de pénétration du talweg dans le plateau interviennent aussi, par exemple **R** pénétrant plus que **G** vers le Nord, son raccord au plateau se fait plus haut.

Enfin, le redan de Meknès, qui fait pénétrer plus en amont les talwegs **O** & **B** modifie peu l'altitude de leur point **x** car le plateau présente là un replat.

5.6 - INTERFLUVES ALLONGES:LES DIFFERENTES "LANIERES"

* *des interfluves allongés en lanières*

Les "trois grands" talwegs-oueds d'ordre I **G, O, B**, complétés par l'oued de bordure **Kell**, délimitent dans le paysage trois grandes "*lanières*" allongées Sud-Nord, longues de 20 km, larges respectivement de 8, 5, et 13 km.

Les autres talwegs principaux d'ordre II, **R, K, A, I, S**, les découpent en lanières plus étroites (1 à 5 km). ces lanières sont également moins longues (12 à 15 km) car interrompues vers l'amont par la source du talweg d'ordre inférieur, ou par la confluence à l'aval. Caractérisées et dénommées par les deux talwegs qui la bordent, elles sont d'ordre (I-II) par ex (**G-R**), ou II-II (**A-N**).

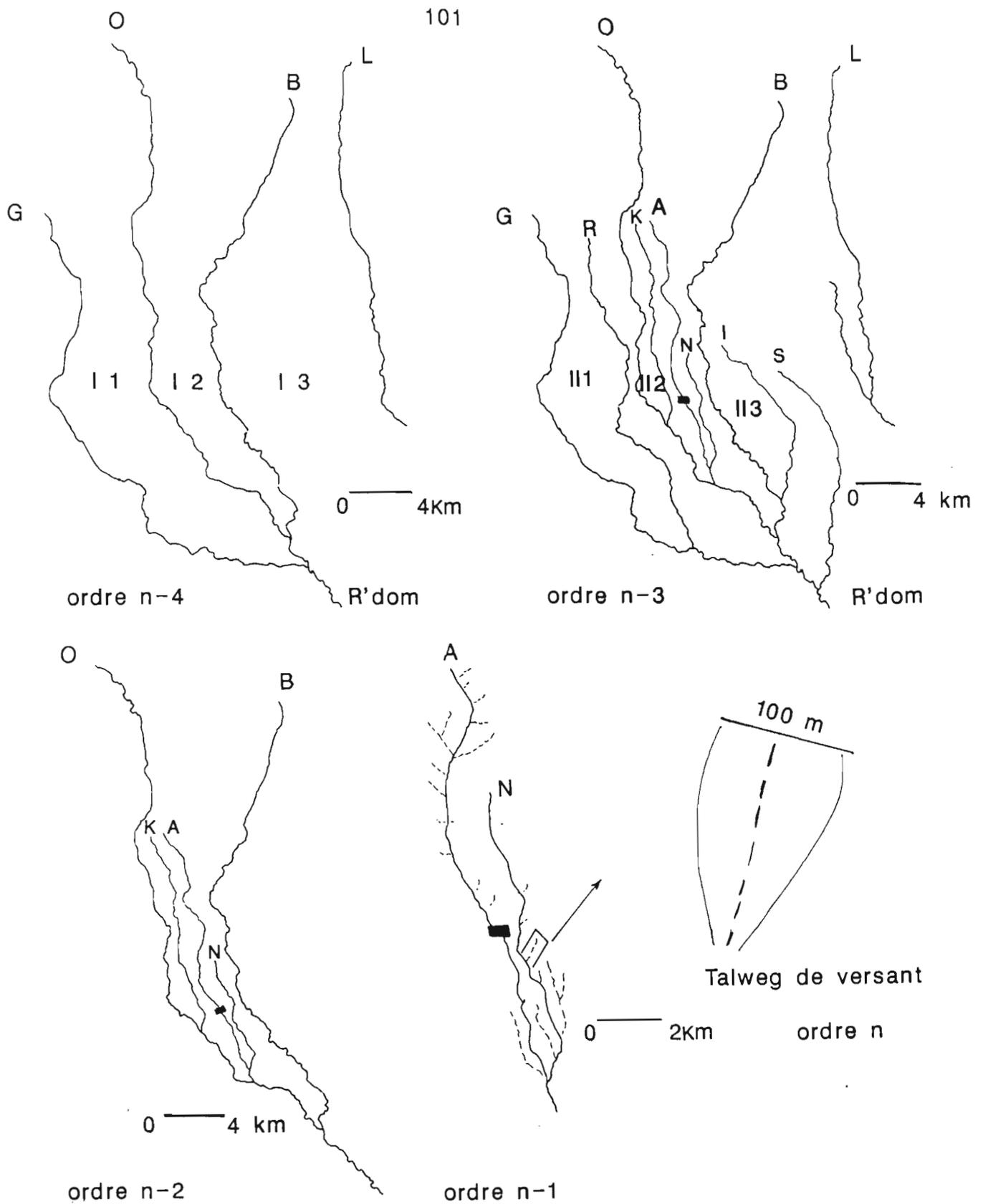
Et ainsi, de proche en proche, le paysage peut être découpé par des talwegs de moins en moins longs et larges, de moins en moins creusés, de plus en plus souvent obliques par rapport à la direction générale de la pente suivie par le réseau principal.

Ces lanières sont ainsi des *unités de modelé* de formes et dimensions variables, **emboîtées**, d'ordre croissant. Ce découpage va jusqu'aux unités délimitées par des "talwegs de versant". Ceux-ci ont quelques hectomètres de long seulement, et ne sont pas toujours ouverts en bas de versant.

Ces interfluves en lanières peuvent aussi être caractérisés par leur profil longitudinal et, comme les talwegs, par des profils transversaux.

* *Profils longitudinaux d'interfluves : problèmes de calage*

Les **profils longitudinaux** suivent les **lignes de partage des "eaux"**, et peuvent donc présenter localement des **contre-pentes** là où la crête est faite de bosses séparées par des cols. Ils rendent compte des variations d'altitude de l'interfluve. La figure 30 compare ainsi le profil en long de l'oued **O** et les profils longitudinaux des crêtes qui le jouxtent. Mais pour calculer les dénivelées transversales de l'interfluve, il faut pouvoir relier point de crête et point de vallée situés aux deux extrémités de la même ligne de plus grande pente.



■ S.E.D Secteur D'etude Détaillée

Fig. 29 - Découpage en lanières de différents ordre par le réseau hydrographique

Mais les lignes de crête présentent, comme leurs talwegs, des variations latérales de tracé, qui allongent le trajet et diminuent donc la pente longitudinale des interfluves.

*** *tracé de bassin-versant***

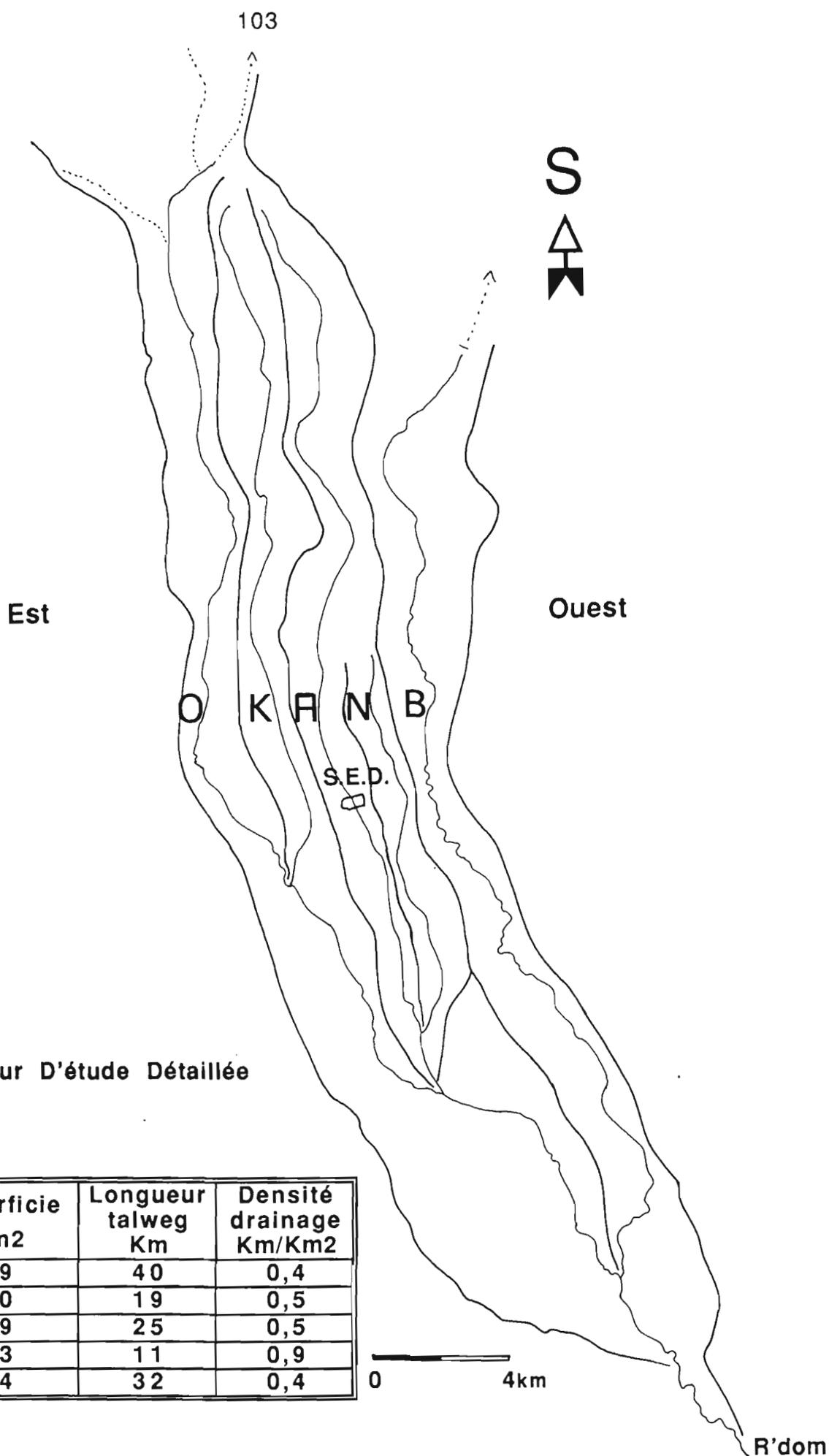
On trace alors ainsi la projection sur un plan horizontal les lignes de crête, qui délimitent des **bassins-versant** et d'étudier la forme de ceux-ci sur la carte. cette information est complétée par des profils transversaux qui précisent la forme des versants (courbure etc...). La figure 29 présente les bassins-versants emboîtés englobant le **SED**.

Les profils des deux crêtes voisines diffèrent souvent, l'interfluve qu'ils délimitent étant **dissymétrique**, comme le sont souvent aussi les profils transversaux des vallées. En effet, les talwegs adjacents étant rarement de "même ordre", l'interfluve qu'ils encadrent présente des profils transversaux généralement dissymétriques.

*** *paramètres morphologiques importants pour la pédogenèse***

La largeur différente des interfluves, combinée avec la forme de la courbure de leur surface, est souvent à l'origine de différences de drainage du sol, du régime hydrique et donc de développement de l'hydromorphie. On tiendra donc compte de ces paramètres pour définir des unités de modelé, que celles-ci soient des interfluves (**lanières**) comme ici, ou des **bassins-versants**.

En cartographie les anomalies (par rapport à la généralité de la zone étudiée, exemple : largeur, relief, roche-mère) sont incluent dans l'étude, sans toutefois les privilégier, ou au contraire à les éviter; on peut aussi les rechercher pour un motif quelconque. Dans les trois cas il faut les repérer et l'on peut s'appuyer pour ce faire sur les variations de la lithologie, l'hydrographie, l'hydrologie, l'orographie mises en évidence dans la phase de reconnaissance préalable.



S.E.D.: Sécteur D'étude Détaillée

Bassins versants	Superficie Km ²	Longueur talweg Km	Densité drainage Km/Km ²
B.V.O	99	40	0,4
B.V.K	40	19	0,5
B.V.A	49	25	0,5
B.V.N	13	11	0,9
B.V.B	74	32	0,4

Fig.30: Bassins versants du faisceau O, K, A, N, B.

5.7 - PROFILS TRANSVERSAUX DES TALWEGS: DISTINCTION DES DIFFERENTES "BANDES"

* *Mode d'obtention*

Chaque profil transversal caractérise un point du profil longitudinal, mais le but étant de chercher les relations entre profils transversaux et profil en long, on multiplie le nombre des premiers placés selon l'objectif recherché.

Chaque côté de la coupe caractérise la plus grande pente d'un versant. Par convention l'écoulement se fait vers le lecteur (la rive gauche est donc à droite). l'équidistance des courbes de niveau commande la précision du tracé, l'appréciation du sens de courbure et de sa valeur. Si la coupe traverse obliquement un "talweg de versant", on décale un peu la coupe pour éviter celui-ci, mais on décrit par ailleurs la morphologie et la disposition de ces talwegs de versant.

* *différents types de profils, importance des talwegs de versant, d'ordre supérieur*

La figure 31 présente les profils transversaux des talwegs **O**, **K**, **A**, **N**, **B**, en des points du profil en long d'altitude échelonnée de 50 m (entre 800 m en piedmont du Causse jusqu'à 300 m dans le talus-Nord). On distingue en première analyse cinq types de profil transversal symétrique. On décrira d'abord ceux-ci avant de présenter des profils plus complexes.

- **Type 1** : les versants forment en coupe soit un **V** très évasé (angle obtu), soit un **V** net et aigu. Le premier s'observe sur roche dure et le raccord au plateau est progressif, le second s'observe sur roche tendre; dans les deux cas, la dénivelée est de quelques mètres seulement. Voir par exemple le talweg **K** à l'altitude 800 m, le talweg **N** à 650 m. on est là près des têtes de ces talwegs, sur un glacis en pente faible ().

- **Type 2** : les versants forment un **V** net, dénivelée de 10 à 20 m, sans bas-fond, sans talwegs de versant . Le raccord au plateau est légèrement convexe. Voir par exemple le talweg **A** dès sa source*, et **K** à 750m.

* Résurgence, point (d'eau)

- **Type 3** : l'un des deux versants est plus long (**versant long**) de forme **plan-concave** ou même **convexo-concave**. Cette dissymétrie, avec alternance de versant court et de versant long est très fréquente. Le bas-fond est évasé sans lit mineur visible. Il y a ruissellement sur ces pentes lors de fortes averses. Les versants longs présentent de proche en proche des talwegs de versant, généralement obliques mais rectilignes, qui n'atteignent pas le plateau. Certains n'atteignent pas non plus le bas-fond et se présentent alors comme des "niches" dont le plancher a une pente inférieure à celle du versant. Les versant courts sont plans et le raccord au plateau est net; les talwegs de versant y sont absents ou espacés et à peine marqué, orientés suivant la plus grande pente. Cependant on verra qu'ils ont une grande importance dans les différenciations des sols. Voir le talweg **O** à 800 m, le talweg **A** entre 700 et 600 m (**S.E.D.**) sur les versants.

- **Type 4** : la forme convexo-concave précédente est recoupée par une forme en **V** à raccord tranché. Le talweg est nettement plus profond, près de 30 m. Les talwegs de versant sont peu nombreux, obliques et espacés comme dans le type 3; le bas-fond est étroit mais possède un lit mineur tortueux. Voir par exemple le talwegs **B** de 650 à 500 m, le talweg **K** à 600 m.

- **Type 5** : Le talweg est en forme de ravin pentu et profond (40 à 70 m). Les talwegs de versant sont régulièrement rapprochés (< 500 m), rectilignes et suivent la plus grande pente. Le lit mineur sinue en se rapprochant de chaque confluent de talweg de versant. Cette tortuosité ne correspond pas à une méandration. Voir par exemple le talweg **B** à 400 m.

* **profils transversaux atypiques**

La dissymétrie des versants est tellement fréquente qu'elle caractérise le type 3, mais avec alternance des formes d'un versant à un autre. Il existe aussi une dissymétrie régulière là où le talweg suit une faille, contourne un relief ou se surimpose en bordure de celui-ci. C'est le cas du talweg **O** à 800 et à 680 m, de **I** à 600 m, de **S** à 650 m.

Le profil transversal peut aussi être intermédiaire entre deux types, par exemple le talweg **O** à 680 m qui participe des formes 2 et 3.

5.8 - RELATIONS PROFILS TRANSVERSAUX-PROFILS EN LONG

* *signification attribuée aux 5 types de profils*

D'amont en aval du plateau de Meknès, les types de profils transversaux se succèdent dans l'ordre **1/2-3-1-4-5/6**. Il faut rechercher leur correspondance avec le profil en long. On précisera dans un premier temps la signification donnée à ces formes transverses :

- **Le type 1** présente en amont les caractères juvéniles d'un talweg qui a fixé récemment son tracé. Sa présence également en rebord aval du plateau est à relier à un replat où affleurent des calcaires durs. On le retrouve à divers endroits où le substrat est plus résistant, par exemple à la traversé par le talweg I d'une butte de calcaire dur (surmonté de calcaire tuffeux).

- **Le type 2** paraît amorcer une évolution pédogénétique mais reste dominé par le processus d'incision linéaire et d'ajustement des versants, qui varient avec la résistance du substrat.

- **Le type 3** est la forme la plus évoluée qui évoque des processus associant remaniement de surface et évolution pédogénétique.

- **Le type 4** suggère l'intervention en cours d'un processus d'érosion remontante, qui creuse à la base dans le soubassement meuble et progresse en amont aux dépens du talweg du **type 3**.

- **le type 5** correspond aux talwegs profondément incisé dans les marnes du talus-Nord, quoique encore armés par l'entablement de calcaire dur.

Les talwegs inscrits dans les marnes tortoniennes sans armature de calcaire résistant, et plus proche du niveau de base, sont moins profonds et de pente presque nulle : ils caractérisent un **type 6**.

* *correspondance entre profils transversaux et profil en long*

Les données permettant d'établir les correspondances entre segments de pente en long et ces types de profils transversaux sont tirées des figures **15** et **18** et des tableaux **2** et **4**.

- **La concavité amont** du profil en long a des profils transversaux des types **1** et **2**;

- le **segment rectiligne** présente en majorité des profils du type 3, avec cependant :

- . des profils de type 1 ou 2 au franchissement des roches dures, ce qui est le cas sur le glacis de piedmont et près des têtes de talwegs A, N, I ;

- . des profils de type 4 à l'aval : le front d'érosion régressive qui surcreuse des profils de type 3, est actif, c'est à dire en limite amont et en limite aval du segment rectiligne.

- le **segment-concave-aval** a des profils transversaux de type 5, puis 6 dans les rides Pré-Rifaines lorsque l'entablement calcaire dur a disparu.

Ces correspondances entre profils transversaux et profils longitudinaux autorisent un découpage de plateau en **bandes latérales** successives. On tiendra compte aussi du resserrement des talwegs et de l'inclinaison du plateau.

Mais on sait par ailleurs que le réseau hydrographique réalise une différenciation longitudinale, dite en **lanières**, donc perpendiculaire à la précédente, et qui varie d'un bassin versant à l'autre. Ces différenciations oro-hydrographiques ne peuvent que multiplier les situations en croisant les caractéristiques des bandes et des lanières.

A ces variations "ordonnées" s'ajoutent des variations locales "inopinées" de relief ou de lithologie, qui font tout le charme de ces paysages de plateau calcaire.

5.9 - UNITES DE MODELE A DIFFERENCIATION CROISEE

***six bandes allongées Est-Ouest**

L'étude topographique du plateau et de ses bordures amène à distinguer différentes parties par leurs pentes ou directions de pente. Ces parties présentent des contours et formes qui ont été décrits et mesurés. Elles présentent un allongement à peu près Est-Ouest et se relaient donc du Sud au Nord : on les a appelées "**bandes**". Les variations au sein de chaque bande sont nettement moindres. La description de leur surface est associée à celle du réseau hydrographique inscrit dans celle-ci. Les caractères de cette différenciation en bandes sont :

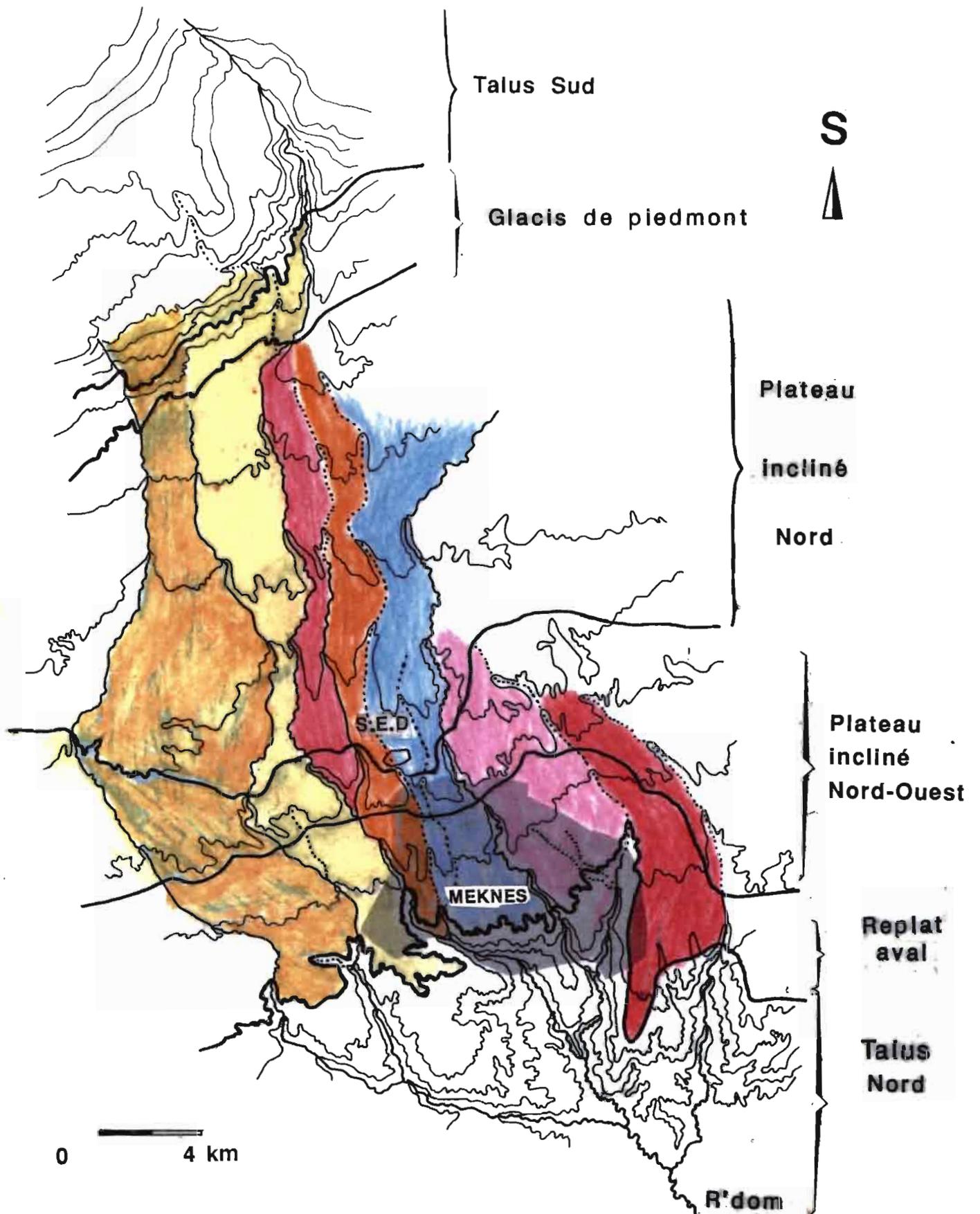


Fig.32: Unités du paysage
Réseau croisé de bandes et lanières

1 - Le talus-Sud, large de 12 km, dénivelée de 350 m, à pente moyenne de 4%. Sa surface est marquée de nombreux ravins dirigés suivant la plus forte pente. Les entailles (passes) par où pénètrent les oueds **G, O, B**, sont espacées de 4, 3 et 6 km.

Sa base est marquée par une inflexion de pente nette, oblique, qui définit le **raccord amont du plateau**.

2 - Le glacis de piedmont, large de 2 km, dénivelé de 100 m, à pente moyenne en % de 5, régulière et dirigée vers le Nord. Les talwegs principaux y sont peu encaissés (moins de 20 m) en V de type 2, y compris pour les oueds **G, O, B**, qui le traversent et pour les oueds **K, A, I**, (résurgences ?), qui y naissent. Le profil transversal des talwegs secondaires est de type 1, comme sur roche dure (talus d'érosion). Le raccord aval est progressif (faible concavité).

3 - Le plateau incliné Nord, large de 18 km, dénivelé de 150 m, à pente régulière, en % de 1 à réseau de talwegs parallèles, serrés, à profil transversal de type 3. L'articulation avec la bande située à l'aval inclinée vers l'Ouest est marquée par les sources des talwegs **N, I, S**.

4 - Le plateau s'inclinant vers le Nord-Ouest, large de 3 km, dénivelé de 50 à 100 m, à début des confluences (**K**) par déviation du talweg **O** (faille ?), profil transversaux de type 3 puis 4 avec sources de versants. La limite vers l'aval est contournée et précédée d'ilôts de replat aval.

5 - Le replat aval, de forme irrégulière avec digitation vers le Sud et localement interrompu. Sa largeur va de 2 (redan) à 8 km, l'altitude s'étage de 450 m à 550 m (redan), la pente en % est inférieure à 0,5 (localement 0,1). Les échancrures entre les digitations correspondent au passage des talwegs principaux. Ceux-ci ont des profils transversaux de type 4, puis 5, localement de type 1 (ou 2) en rebord de l'entablement de calcaire dur. **Le bord sud très découpé** avec des avancées de 3 à 6 km précédant la pente du plateau vers les rides Pré-Rifaines.

6 - Le talus-Nord : profil plan-concave, de largeur variable, 2 à 6 km, la dénivelée variant de 200 m (au niveau de redan de Meknès) à 100 m (au niveau des avancées du plateau), pente en % décroissant de haut en bas

de 3 à 5. Profils transversaux de type 5, très profonds (jusqu'à 70 m) avec des talwegs de versant très nombreux (espacement < 500 m).

Chapitre.6

RELATIONS SOLS FACTEURS DU MILIEU (lithologie - modelé - hydrographie)

L'examen des cartes pédologiques et lithologiques (Fig. &) à l'échelle du 1/100 000 et des profils caractéristiques des unités cartographiques situées à des niveaux d'appréhension élevés permet de situer les sols dans les différents domaines topographiques définis au Chap.5, par rapport au substrat géologique atteint et d'esquisser une première interprétation de la répartition spatiale des sols.

Avant de constater l'existence ou l'absence de relations entre les types de sols et le modelé ou le substrat, il faut d'abord indiquer comment est obtenue l'information et procéder à son analyse critique. En effet, certaines données sont tirées les unes des autres. Des coïncidences peuvent aussi être fortuites. Et puis on doit évoquer les facteurs non pris en compte comme les variations spatiales du bio-climat. Mais l'étude de la carte n'apporte aucune information directe et spatialisée et on ne tiendra pas compte, par conséquent, d'éventuelles variations spatiales des facteurs bio-climatiques sur le plateau. Quand au Bios, par manque d'information sur les biotopes et les comportements des organismes vivants, on ne traitera pas, non plus, dans la recherche de relations du sol avec les facteurs du milieu, de ce facteur important quoique subordonné. On ne prendra pas non plus en compte d'éventuelles variations de ce facteur sur l'étendue de la carte. Enfin, il faut d'abord préciser les relations entre **substrat, structure du paysage et modelé**, non discutées dans le chapitre II.

6.1 Matériau basale : matériau originel ou substrat ?

La carte pédologique a 1/100 000 indique, pour chaque type de sol, la nature du matériau atteint à la base des profils. Ce matériau dérive souvent (filiation) d'une roche observable plus en profondeur (ou qui a été entièrement transformée).

6.2 Matériau originel et filiation d'horizon

Chaque fois que la filiation avec les horizons sus-jacents est établie, on dispose d'une information sur le matériau originel du sol, et par là sur la roche-mère.

C'est l'étude de profils jusqu'au matériau basal et leur comparaison (composition et traits hérités) qui apporte confirmation ou infirmation de la filiation envisagée. Celle-ci est évidemment compliquée par les contaminations superficielles, mais localement anciennes propres à cette région et à son climat actuel.

6.3 Substrat et roche-mère

Quand la filiation entre horizons du sol et matériau de profondeur n'est pas envisageable, ce matériau représente le substrat, plus ou moins affecté par la pédogenèse.

C'est fréquemment le cas en milieu sédimentaire lacustre où les variations verticales (et latérales) de faciès sont fréquentes, et où certains niveaux lithologiques sont moins épais que la rizosphère. Si on a pu identifier le substrat, on est à même de compléter voire même d'affiner l'information géologique (souvent issue d'une carte à petite échelle).

On a pu aussi dériver de la lecture de la carte pédologique des informations spatialisées sur **les roches-mères ou les substrats**, et s'en servir pour la réflexion sur les relations "sols-lithologie".

6.4 Tectonique et structure géologique

Mais il est un facteur de pédogenèse que l'on ne peut élucider, c'est la structure du substrat rocheux (plis, faille, pendage, variation d'épaisseur des couches etc...), et à travers elle **la tectonique** qui l'a façonnée. On recherchera des informations dûment argumentées sur ce facteur incontournable de la genèse des sols et des **circulations internes d'eau**.

6.5 Informations apportées par la prospection pédologique

Les parcours de prospection pédologiques apportent des précisions supplémentaires sur les roches-mères et les substrats géologiques : c'est en

cela que la carte des matériaux de profondeur (figure 17) est un document certe dérivé de la carte pédologique (figure 18), mais qui introduit aussi des observations inédites sur le contexte géologique. On a pu ainsi dériver de la lecture de la carte pédologique des informations spatialisées sur les roches-mères ou les substrats nécessaires pour préciser les relation "sols-lithologie".

6.6 Modelés caractéristiques de certaines roches

Il s'agit de déterminer les éléments du modelé qui peuvent être influencés par la roche-mère ou le substrat. Ces relations apparaissent sur r un tableau 8 en croisant les 6 matériaux précédemment caractérisés et les 9 secteur topographiques successifs définis et délimités sur la figure . On ne dispose cependant pas d'indications sur la lithologie des deux premiers.

Tableau n° 8 : relations entre modelé et roches

<-t->	<-----Plateau de Meknès----->					<-t->	<Plaine...
<u>Tal S</u>	<u>Piedm</u>	<u>Plat-N</u>	<u>Plat-W</u>	<u>Buttes</u>	<u>Replat</u>	<u>Tal-N</u>	<u>Sillon</u>
i - v	i - v	i - v	i - v	i	i - v	i - v	i - v
-colluvions et argiles :							
? - ?	O - N	O - O	N - O	N	N - O	O - O	N - O
-calcaire dur :							
? - ?	O - O	O - O	O - O	O	O - O	O - O	O - O
-calcaire tendre :							
? - ?	O - O	O - O	O - O	O	O - O	N - O	O - N
-sables fauves :							
N - N	N - N	O - N	O - O	N	N - O	O - O	N - N
-marnes :							
N - N	N - N	N - N	N - N	N	N - O	O - O	N - O

<-----Plateau de Meknès----->

Légende:

tal S :Talus Sud, piedm : Piedmont, plat. N : Plateau incliné vers le Nord, plat.W : plateau incliné vers l'Ouest, replat : replat aval, tal;N : talus-Nord, sillon : sillon pré-rifain; buttes : buttes-témoins & collines.

i = interfluve ; v = talweg ; b = buttes; p = plaine; t = talus

O = oui, ce modelé s'observe sur cette roche

ou ce secteur contient cette roche

N = non, ce modelé ne s'observe pas sur cette roche

ou ce secteur ne contient pas cette roche.

Commentaire

- Colluvions-alluvions-argilles

Tous les fonds de vallées en contiennent localement, sauf ceux du talus d'érosion au Sud.

Cette formation est trop étroite pour avoir été représentée partout. Elle n'est d'ailleurs pas continue, les dépôts sont provisoires, l'érosion domine dans le paysage. La pente notable du plateau favorise celle-ci.

- calcaire dur

Ce faciès représente 12 % du périmètre de la figure 17. Les affleurements ont des formes contournées allongées avec de nombreux pseudopodes. Leur aire est de l'ordre du Km². Ils occupent souvent les sommets d'interfluves mais certains cours d'eau se sont imposés : les talwegs G et S au niveau du replat, le talweg G dans le rétrécissement central du plateau. Ils sont associés aux affleurements de calcaires tendres mais de niveau avec ceux qu'ils jouxtent.

On les trouve surtout en bordure aval de ceux-ci qu'ils semblent protéger de l'érosion. Il est en de même à l'extrémité des avancées Nord du plateau : les calcaires durs sont alors en contact direct avec les marnes.

Dans la zone rétrécie du plateau et sur le replat aval, ils entourent et protègent deux affleurements de sables fauves dégagés en fenêtres dans l'entablement calcaire.

Enfin, ils forment des affleurements plus conséquents à l'Est en direction du raccord avec la plaine du Saïs de Fès. Dans les rides Pré-Rifaines, les vastes affleurements de calcaire sont du Lias.

- Calcaires tendres

Les calcaires tendres représentent 39 % du périmètre de la figure 17 . C'est une formation qui affleurent localement par érosion. Ils sont plus ou moins épais sur plateau où ils sont atteints à moins de un mètre de la surface du sol.

Discussion

Les calcaires durs et les calcaires tendres correspondent soit à :

- 1 - deux niveaux sédimentaire successifs et donc superposés,
- 2 - deux faciès juxtaposés d'une même sédimentation,
- 3 - deux faciès d'altération d'une même roche calcaire,
- 4 - le calcaire dur gris blanc serait un faciès d'altération du calcaire lacustres gris, le calcaire tendre en serait sa transformation ultérieure.

Si le calcaire dur est un dépôt sédimentaire continu sous-jacent aux calcaires tendres, il doit apparaître dans les entailles traversant ces derniers et en liseré plus ou moins continu là où il n'est pas masqué par des colluvions: *les hypothèses 1 & 3 sont compatible avec l'analyses de la carte (fig. 17).*

Si deux sédiments carbonatés se sont déposés côtes à côte, leur composition ou leur agent de transport doivent différer, ce que l'analyse pourra préciser. La forme de leurs affleurements avant érosion peut aussi indiquer les processus qui les différencient : *l'hypothèse 2 est difficilement concevable.*

Le contact entre ces deux faciès est progressif, avec des volumes de calcaires dur entourés de calcaires tendres, suggérant une transformation pédologique, alors qu'un contact sédimentaire est souvent souligné par une différenciation : *l'hypothèse 3 est alors la plus probable.*

Le calcaire tendre se forme ultérieurement et au sommet du calcaire dur qui est un faciès d'altération des calcaires lacustres gris. Cette transformation peut ne pas se produire pas partout et uniformément. Là où le calcaire dur affleure, le calcaire tendre a par conséquent été enlevé par érosion. *Les fenêtres mettant en surface les surfaces les sables fauves et leur liseré discontinu de calcaire dur sont compatible avec l'hypothèse 4.*

Une étude approfondie de ces deux faciès calcaires et de leur contact est nécessaire pour argumenter et pour proposer l'hypothèse la plus probable.

6.7- Relations lithologie - modelé

Tableau 9 : Relations matériaux - modelé

	Plateau incliné Nord	Plateau incliné Nord-Ouest	Replat aval
Calcaires durs	++	++	++
Calcaires tendres	+++	+++	+++
Colluvions calcaires	+	+	+

Conclusion

On ne pourrait tirer de ce tableau aucune indication quand aux relations matériaux-topographie. Les différentes formations calcaires se retrouvent associées dans les mêmes positions topographiques. Ceci revient à l'échelle de prospection mal adaptée pour mieux cerner ces relations dans le paysage.

6.8 - Relations sols - matériaux originels

Le tableau n° 10 présente la répartition des classes de sols inventoriées par rapport aux substrats basales atteints.

Tableau n°10 : Relations sols-matériaux originels

	CALCIMAGNESIQUES	VERTISOLS	ISOHUMIQUES	FERSIALLITIQUES
Calcaires durs	++		++	+++++
Calcaires tendres	+++++	+++	+++++	+
Colluvions calcaires	+++	+++	++	+

Commentaire

Le tableau n° 10 résume et situe les principaux types génétiques des sols en fonction des matériaux originels. Ces relations s'appliquent aux grandes unités cartographiques des sols définies au niveau des classes et non à chaque unité cartographique simple ou complexe définie au niveau de la série ou du type génétique.

Tous les sols présentant un profil différencié se développent sur des matériaux calcaires tendres, à l'exception des sols rouges fersiallitiques. Ce qui confirme les hypothèses déjà avancées par plusieurs auteurs sur la formation et l'évolution des sols sur matériaux calcaires. Les processus d'altération étant plus poussés sur les calcaires tendres que sur les calcaires durs.

Cette répartition traduit l'influence directe des matériaux originels, calcaire dur, calcaire tendre et colluvions calcaires. La présence à une plus ou moins grande profondeur de ces formations se traduit par l'apparition ou la disparition de l'un des types génétiques des sols inventoriés, montrant l'étroitesse de la relation des types de sols avec ce facteur de pédogenèse qui a été soulignée par ailleurs par plusieurs auteurs. Néanmoins cette dépendance n'est pas générale ni une loi de répartition en soi. Plusieurs types génétiques de sols, ou régis par des processus voisins (calcimorphie et isohumisme), peuvent être associés sur un même substrat géologiques et évolués ainsi différemment. Et c'est là tout le problème de la genèse des sols de la région où sur un même substrat, on peut avoir aussi bien des sols calcimagnésiques, des sols isohumiques que des vertisols.

Les sols **calcimagnésiques** les plus fréquents sont associés et s'étendent sur toutes les positions topographiques sur crêtes, sur pentes et sur les fonds de vallées Leur extension nous paraît exagérée sur la carte pédologiques au profit ou au détriment des sols isohumiques, plus difficile à classer et que d'autres auteurs même en première place parmi les sols du plateau de Meknès.

Les **vertisols** sont rencontrés aussi bien sur plateau que sur replats pente faible suffisante pour assurer un drainage externe correcte mais à drainage interne relativement ralenti, et sur des position très indentées par les entailles des talwegs de versant. Ils présente des variations relatives à leur épaisseur et à leur richesse en argilles en fonction de leur situation sur le modelé. Toutes variation notoire du modelé (incision, replat-cuvette, talwegs de versant) entraîne une modification des types morphologiques. Leur étendue nous paraît sous-estimée à l'échelle du 1/100 000.

Dans les sols **fersiallitique**, cette dépendance vis à vis du substrat est très nette : Le matériau parental des sols fersiallitiques les plus "typiques", est toujours des calcaires lacustres durs et/ou ciselées superficiellement, affleurants ou peu profonds permettant une réserve calcique à moins de 1 m

de profondeur. Mais aussi sur des formations sableuses (sables fauves) et sur des limons calcaires plus ou moins encroûtés.

Ils forment des taches isolés, d'étendues variables, localisés entre les blocs et les diaclases des calcaires lacustres qui occupent aussi bien des positions hautes que des positions basses, si tant soit peu que les calcaires durs soient présents.

Ces sols sont donc essentiellement associés aux calcaires lacustres durs qu'ils recouvrent d'un manteau discontinu et d'épaisseur variable sans autres modifications essentielles du profil. Les variations observées sont en fonction du modelé induisant un régime hydrique particulier d'une part et, d'autre part, en fonction de l'intensité des processus d'érosion et de colluvionnement (présence de galets et graviers siliceux et quartzitiques).

Ils sont associés dans le paysage à des sols "**isohumiques** " avec laquelle ils forment la transition vers les sols calcimagnésique ou à des vertisols avec lesquels ils forment la transition vers les sols "isohumiques".

Les sols Fersiallitiques rouges sont localisés sur les lignes de crêtes et sur les portions de plateau bien drainés. Ils n'ont pas été rencontrés sur pente. Ils s'étendent sous forme de petites taches, aussi sur des fond de vallées (S.E.D), la nature lapiazé des calcaires lacustres sous-jacents , qui assurent un bon drainage, semble expliquer cette position.

Le talus-Nord du plateau hachuré par le réseau hydrographique qui a multiplié les variétés de substrat et a favorisé la présence de sources, est caractérisé par une diversité de sites entraînant une diversité de sols et des modifications dans leur morphologie.

Conclusion

On constate que la variabilité de la couverture pédologique est assez grande sur la région étudiée. A priori, la répartition des sols en fonction des repères topographiques et lithologiques ne peut pas être analysée de façon précise à petite échelle. Cela vient du fait que la répartition est déduite d'une extrapolation " d'observations ponctuelles" très espacées, dont on ne peut tirer qu'une vue très réductrice et vraisemblablement déformée de la réalité de la variabilité spatiale des sols et leur relation avec les facteurs de différenciation lithologiques et topographiques. En effet la densité d'observation à l'échelle du 1/100 000 (on a assimilé à une surface de 1ha un profil pédologique qui est en réalité peu ou très fréquent selon

l'hétérogénéité du milieu) est nettement insuffisant pour prétendre placer des limites d'où seront tirées avec exactitude ce genre de relations. Il faut dans ce cas s'imposer un minimum d'observation pour fournir une répartition et une distribution analytique des organisations et des différenciations pédologiques dans la couverture pédologique.

C'est l'étude de toposéquence (étude bidimensionnelle) qui sera tenté dans ce qui va suivre, pour s'affranchir des contraintes liées à l'échelle de représentation et à la complexité du milieu pour donner le maximum d'informations sur la nature des différents sols et des principales règles de l'organisation verticale et latérale de la couverture pédologique d'une unité de modelé.préalablement choisie.

CHAPITRE 7

ETUDE DETAILLEE D'UN SECTEUR APPROPRIE

7.1 - Interêt d'une analyse détaillée. Méthodologie

Les études antérieures et la cartographie de reconnaissance à 1/100 000 de la région de Meknès, nous ont amené d'une part à reconsidérer la méthode et l'échelle de travail, d'autre part à faire le choix d'un secteur d'étude répondant à certain nombre de critères pour rendre compte des caractères de différenciation et des règles d'organisation des sols dans l'espace, ainsi que pour la compréhension de leur fonctionnement et de leur comportement culturale.

La cartographie classique des sols telle qu'elle a été faite jusqu'à maintenant, consiste en un découpage du paysage en unités (cartographiques) définies par référence à une unité (ou plusieurs) de sols, puis en une caractérisation et une classification. Elles ne semblent pas apporter satisfaction aux utilisateurs. En plus la prévision des contraintes présentée par une couverture pédologique répond rarement aux objectifs vis à vis d'un aménagement, surtout que l'on doit prendre en compte des aspects dynamiques des phénomènes étudiés.

De plus, on savait, à la suite de nombreuses études détaillées (BOULET, 1974), LUCAS, 1983; CHAUVEL, 1976; FRITSH, 1984), que le sol est le plus souvent organisé en un **continuum*** à l'échelle de "composantes simples du paysage ... par exemple des unités de modelé définies de façon fonctionnelles (HUMBEL. F.X, 1982), bassin versant élémentaire ou interfluve élémentaire. On a constaté qu'il existe généralement des relations génétiques et dynamiques, verticales et horizontales, entre les différents horizons et des caractères propres à la zone de transitions entre ces horizons (c'est ce qui justifie l'approche systématique de l'étude de la couverture pédologique d'une unité de modelé).

Notre objectif, compte tenu de cette réalité, est d'analyser la couverture pédologiques d'une unité de modelé du plateau de Meknès afin de mieux comprendre l'organisation des sols et d'identifier l'expression et la combinaison des processus de différenciation pédologiques présentes.

* Objet ou phénomène dont on ne peut considérer une partie que par abstraction (Petit ROBERT 1, 1982).

En résumé, cette analyse vise en premier lieu une connaissance anatomique objective de la couverture pédologique à l'échelle de l'entité fonctionnelle que constitue l'unité de modelé élémentaire choisie. De même qu'elle fournit une étude de base aux études des relations entre la couverture végétale cultivée, et les variations latérales du sol. Elle constitue donc un point de départ essentiel aux études appliquées au développement agricole (essais de comportement couvrant les plus larges variations latérales, dynamique de l'eau et fertilisation).

Pour cette raison nous avons opté pour une analyse en toposéquences choisies pour mettre en évidence les relations entre les organisations des sol et le modelé rassemblant l'ensemble de la formation puis plus précisément pour l'étude détaillée d'une toposéquence (**toposéquence de référence ME**) et l'étude succinctes d'autres toposéquences choisies pour caractériser d'autres conditions topographiques.

L'étude de la toposéquence principale **ME** a consisté à étudier des profils et à tenter de relier leurs différents horizons. Les autres toposéquences secondaires ainsi que les nombreuses observations réalisées, alentour et par ailleurs, permettent de reconnaître de nouvelles organisations, de préciser les observations faites sur la toposéquence principale, d'aboutir par extension à une interprétation plus large des données pour une mise en évidence des variations spatiales. Cette analyse pluri-bidimensionnelle à l'échelle des unités de modelé s'apparente à ce que différents auteurs ont appelé "**analyse tridimensionnelle**" (LAMOUREUX. M, BOULET. R, LUCAS. Y, FRITSCH. E, ROBAIN.H, HUMBEL. F.X.).

7.2 - Morphologie du S.E.D. et des toposéquences

Le choix du secteur d'étude supposait que l'on se place à l'intérieur d'une unité de modelé bien représentée et sur un espace suffisamment vaste pour permettre de différencier des organisations pédologiques et des gradients de variations en fonction de la topographie.

Le secteur d'étude détaillée (cf.fig.) est allongé sur le domaine de l'ENA, dans la direction Est-Ouest de part et d'autre du talweg **A** (qui appartient au faisceau convergeant en **O**).Il est traversé par la route principale n°1 reliant Rabat à Fès et s'étend sur 41 ha.

Les critères de sélection ont porté sur la variété des différenciations pédologiques observée lors d'une reconnaissance préliminaire, le modelé étant composé de deux demi-interfluves. Mais par les facilités d'accès qu'il offre, puisque situé à proximité de notre base de travail .

La figure 33 localise le secteur d'étude détaillée (**S.E.D**) et la figure 35 précise sa morphologie.

7.21 - Morphologie et couverture pédologique du S.E.D.

*** Morphologie**

La figure 35 présente le relevé topographique détaillé du **S.E.D.** réalisé au théodolite avec une équidistance des courbes de 1m.

Ce modelé met en évidence deux **versants asymétriques** dits **versant long convexo-concave** et **versant court concave, plan-concave** correspondant à un profil transversal de type **3d**, (cf.Chap.6). Ils sont limités dans leur partie aval par le talweg **A** et se raccordent dans leur partie amont au plateau, par une zone convexe et de pente faible (1 %).

Le secteur présente deux **talwegs de versant** .Les têtes de ces talwegs de versant atteignent le plateau et apparaissent de ce fait comme des échancrures formant une structure sécante au bord du plateau.

Sur le versant long, le talweg de versant est largement ouvert sur l'axe de drainage principal (**Talweg A**) puis fait place à un large replat- cuvette.

Sur le versant court, le talweg de versant présente tracé rectiligne en amont et légèrement convexo-concave en bas de pente.

Ces deux talwegs de versant du talweg principal **A** montrent un ravinement encore discret, difficilement repérable sur photos aériennes, qui suggère une morphogénèse active accentuée par une mise en culture intensive.

*** Les grandes unités pédologiques du S.E.D : approche par profils**

La figure n° 34 montre les unités cartographiques distinguées, décrites chacune par un profil unique indiquant le type de sol dominant. Les éléments constitutifs de ces unités n'ont pu être séparés sur photographies aériennes comme le montre celle présentée par la fig. n°.

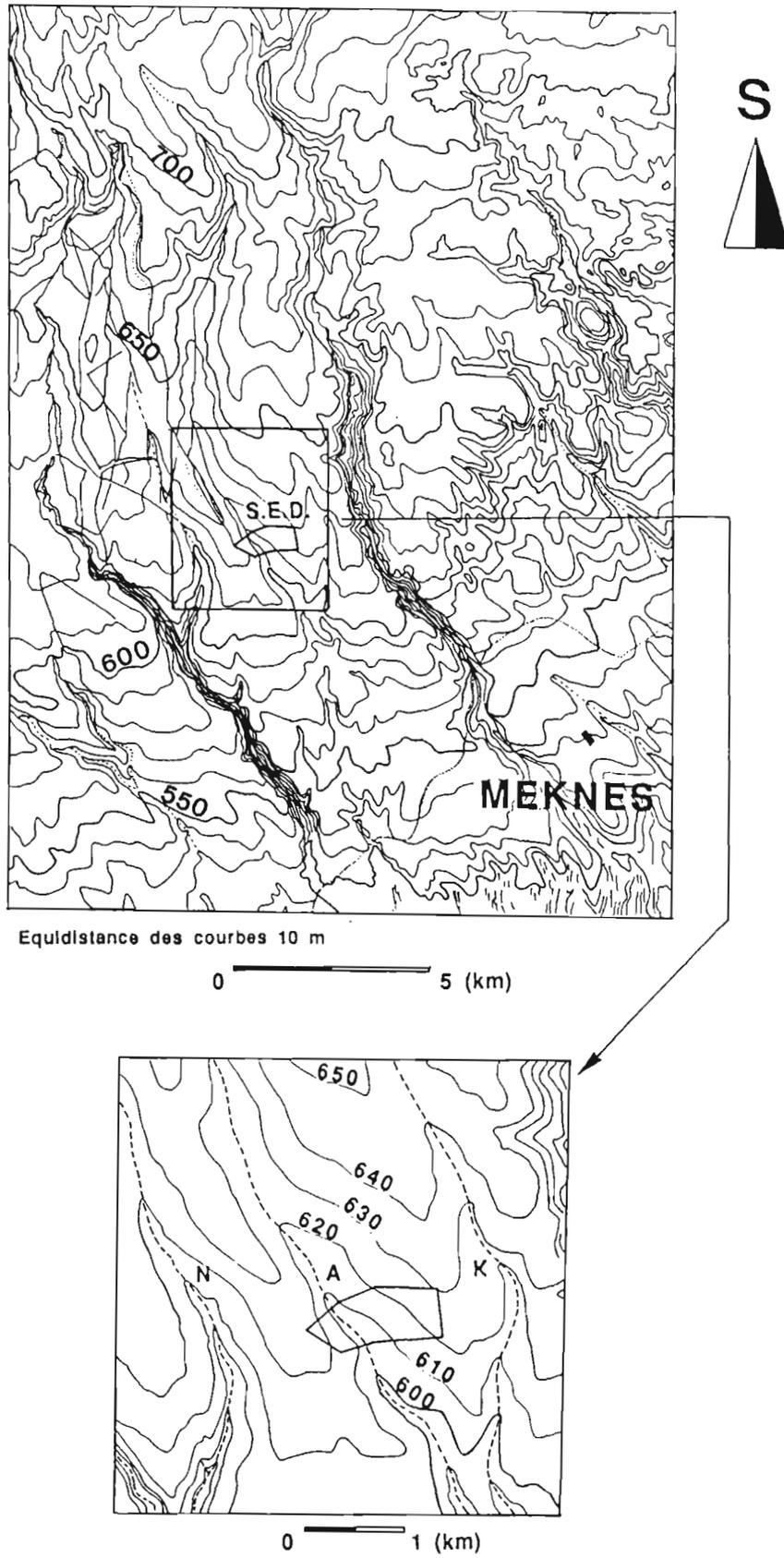
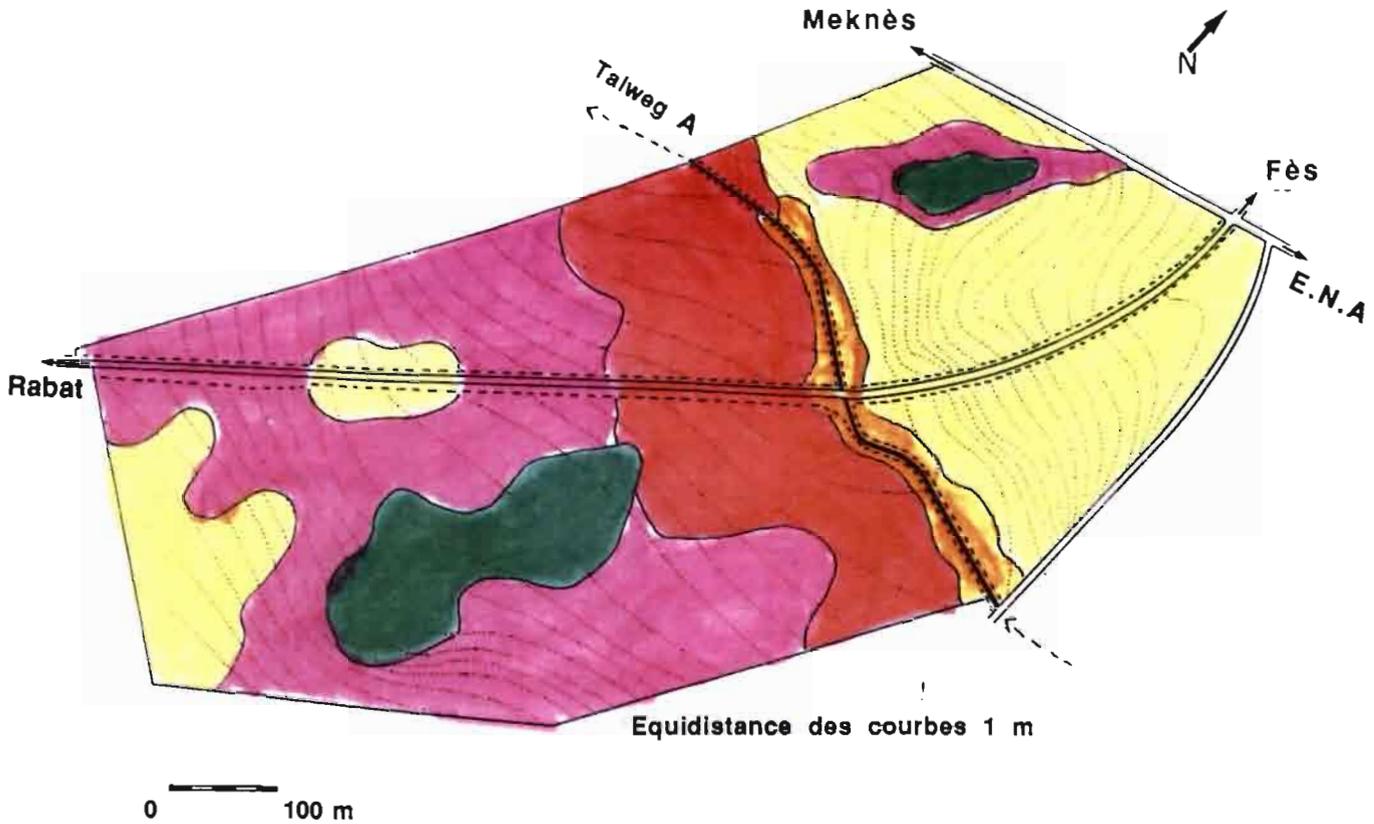


FIG.33: Localisation du SED repéré au réseau hydrographique et aux courbes de niveau

En première approche, une reconnaissance des sols a été utilisée par le tracé de quelques transects et l'ouverture de quelques fosses pédologiques afin de cerner différentes organisations verticales présentes et de bien retrouver les types de sols dominant sur le plateau.



	Calcimagnésiques (14 ha, 33 %)		Vertisols (3 ha, 7 %)		Apports argileux (2 ha, 5 %)
	Isohumiques (15 ha, 36 %)		Fersiallitiques (8 ha, 19 %)		

Fig35: Couverture pédologique du S.E.D.

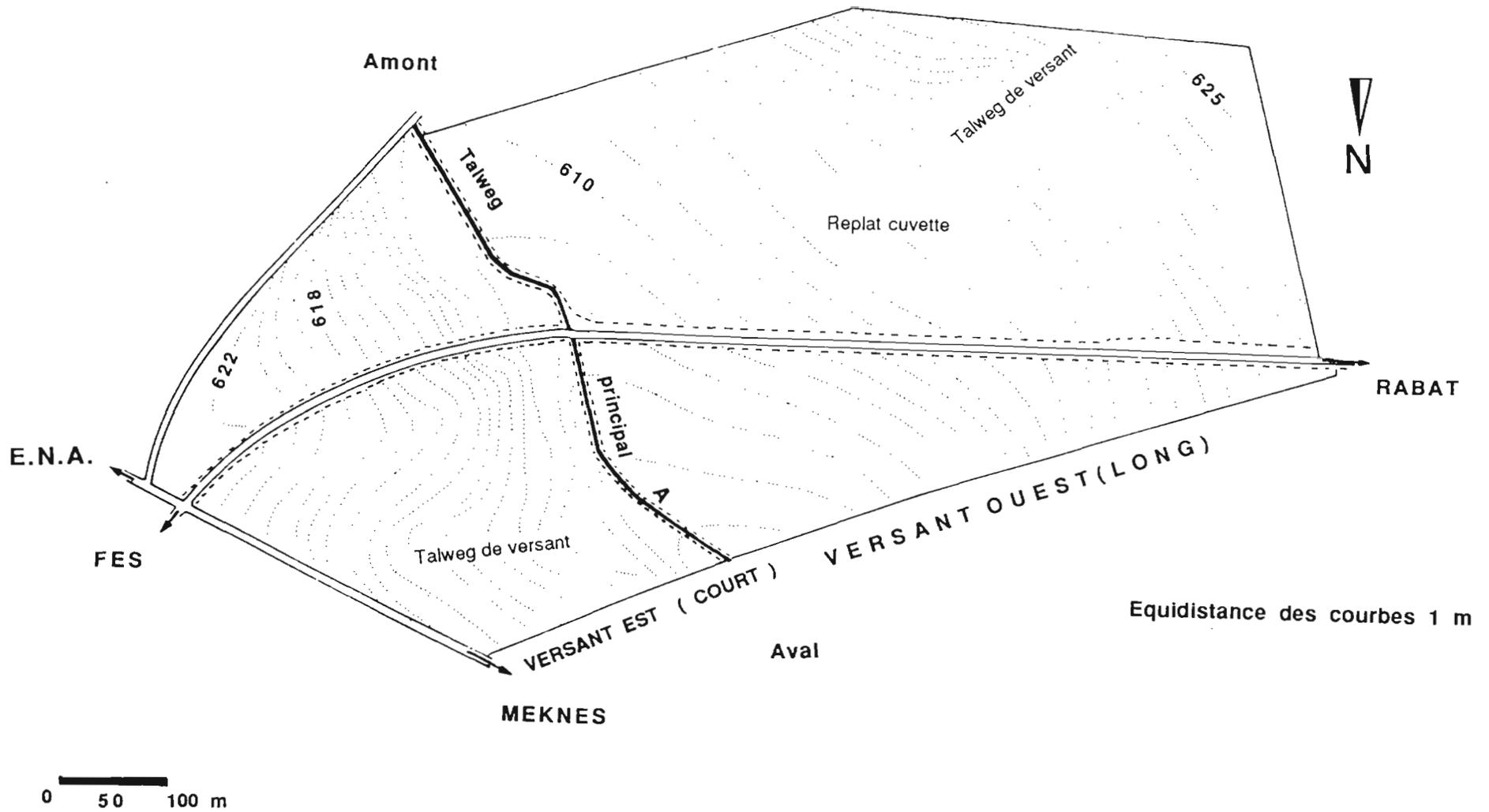


FIG.34: Modelé du Secteur d'Etude Détaillé (S.E.D.)

Au cours de la prospection, un certain nombre d'horizons pédologiques ont été reconnus et distingués. Cette opération aboutit à la reconnaissance de différents types de sols si on limite les moyens d'expression aux énoncés de la classification C.P.C.S (1967).

Quatre grandes unités cartographiques (niveau du sous-groupe) dominent la couverture pédologique du **S.E.D.**, leurs superficies sont données par la figure 34 :

1- une unité cartographique développée aux dépens d'altérations très profondes des calcaires lacustres et occupant les parties hautes du modelé, où dominent les sols **Calcimagnésiques** carbonatés rattachés au groupe des sols **bruns calcaires à croûte**;

2- une unité cartographique de sols à profils nettement plus différenciés les reliait vers l'aval aux sols calcimagnésiques. Ces sols se rattachent aux sols **isohumiques**, sol **marrons** principalement à profil calcaire différencié;

3- une unité cartographique localisée sur le replat-cuvette du versant long et sur le talweg de versant du versant court et qui se rattache par nombre de caractères aux **vertisols**;

4- en bas de versant, sur calcaires lacustres lapiazés, se développe une unité cartographique de sol **fersiallitiques** à réserve calcique

5- Dans le bas fond des sols argileux noirs à fente de retrait (alluvions peu évolués).

Conclusion

L'étude des sols réalisée sur ce secteur souligne la très grande représentativité des organisations pédologiques inventoriées sur le plateau de Meknès et également leur grande diversité de par le nombre élevé de ses organisations. Elle confirme aussi l'importance de la relation avec le modelé et montre enfin que des différenciations pédologiques correspondent à des morphologies de détail comme les replats-cuvettes et les formes concaves des talwegs de versant.

7-22 La toposéquence de référence ME et les toposéquences annexes MA et MX (Fig.)

Trois toposéquences ont été implantées sur ce secteur suivant la plus grande pente, prenant en compte les différents segments topographiques basés sur la pente et la forme convexe ou concave du segment afin de suivre latéralement les organisations pédologiques et le modelé. Le modelé ainsi que les différents segments topographiques propres à chacune de ces toposéquences sont présentés dans le détail par la figures 35.

Le transect **MA** a été tracée suivant la plus grande pente en parallèle à **ME** et le transect **MX** dans le talweg de versant du versant court. Leur analyse a permis de retrouver les principaux type d'organisations et de constater qu'elles se répètent sur la pente. On note cependant quelques variations ainsi que le stade d'évolution différent par rapport à la toposéquence de référence **ME**. La différenciation en vertisols est beaucoup plus importante sur **ME** que sur les deux autres toposéquences **MA** et **MX**.

Mais l'approche classique par profils n'explique pas la différenciation de la couverture pédologique et les organisations observées ne peuvent être extrapolées. Il faut donc analyser d'une manière détaillée l'évolution latérale des horizons entre les différents profils étagés le long des toposéquences.

Les sols et horizons principaux identifiés sur la carte pédologique à 1/100 000 sont présents sur l'unité de modelé choisie.

La toposéquence ME : organisation générale et couverture pédologique

La toposéquence de référence **ME** constitue un des éléments caractéristique du modelé du plateau (contraste topographique) et présente un caractère de généralité dans la différenciation des sols. De ce fait, elle a été étudiée plus en détail que les autres toposéquences de reconnaissance **MA** et **MX** qui sont prises à titre de comparaison pour mieux préciser le sens possible de l'évolution, car bien que présentant des sols comparables ou identiques, leur degré de différenciation et d'évolution n'est pas le même.

Cette Toposéquence s'étend sur 1500 m et recoupe les deux interfluves jusqu'aux plateaux encroûtés (alt.625 m). Son point bas (alt. 610m) est situé dans la séguia servant de lit mineur au talweg **A**. La dénivelée est alors de 6,5 m pour le versant court (Est) pour une longueur de 400.m et de 16 m pour le versant long (Ouest) pour une longueur de 750 m.

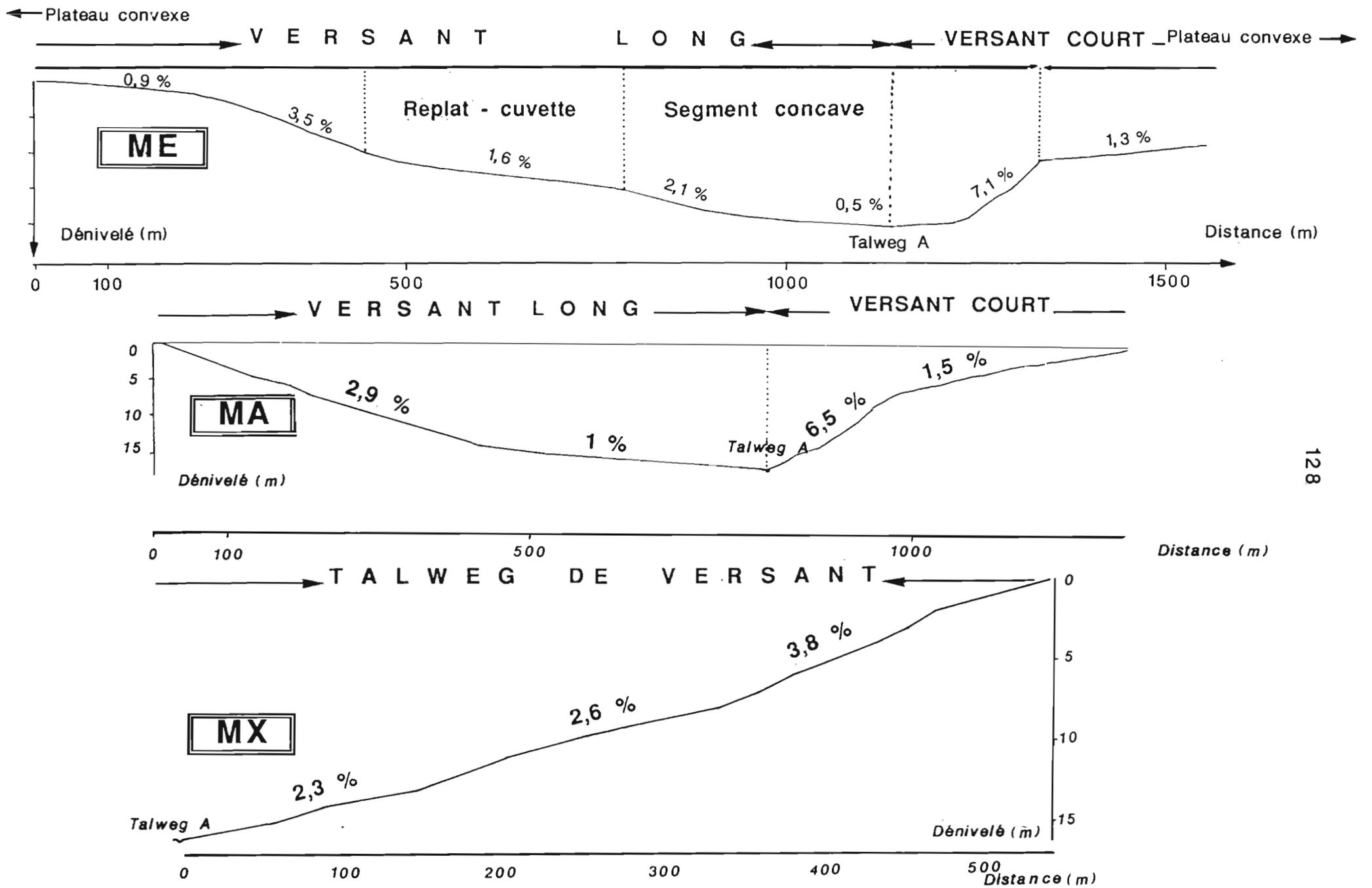


Fig. 36 : Modelé des toposéquences ME, MA, et MX

La toposéquence est constituée d'un versant Ouest long à pente relativement douce, d'environ 1200 m de long et d'un versant Est court de 400 m, nettement plus pentu.

***Versant long**

Dans le détail, le profil topographique peut être décomposé en quatre segments topographiques sur lesquelles se calquent les quatre différenciations pédologiques observées :

- un segment amont de plateau légèrement convexe de pente en % d'environ 0,9 représentatif des sols calcaires à croûte du plateau,
- un segment convexe, de longueur 227 m et de pente en % de 3,5 caractérisé par des sols de plus en plus décarbonatés dans leur partie supérieure,
- un replat- cuvette de 340 m de longueur et de pente de 2,1 %, dont la signification n'est pas toujours évidente, mais dont les sols sont parfaitement caractéristiques : Vertisols profonds et sols Isohumiques,
- un bas de versant concave de 170 m de longueur et de pente en % de 0,5 %, commun aux deux versants, où le calcaire lacustre est peu profond et qui supporte des sols Ferrialitiques.

*** Versant court**

Ce versant présente, sur plus de 100 m des transformations rapides qui doivent permettre d'éclairer la compréhension de l'autre versant beaucoup plus long et plus complexe.

Il est trois fois moins long et peut être décomposé en trois segments :

- une partie haute appartenant au plateau convexe de pente d'environ en % 1,3,
- un segment médian caractérisé par une pente forte en % de 7,1 % et une érosion non négligeable, visible après labour par l'apparition en surface du calcaire pulvérulent. Les sols ne sont plus encroûtés, mais restent fortement calcaires.
- un segment aval (bas-fond) de longueur 262 m et de pente douce en % de 0,5 commun aux deux versants de la toposéquence. Il est formé de sols peu carbonatés et noircis par la matière organique venues des pentes voisines. Les matériaux de ces sols semblent avoir une origine complexe alluvio-colluviale et partiellement liés à la décarbonatation des calcaires lacustres.

La couverture pédologique de la toposéquence **ME** a une épaisseur variable entre 0,60 et 5 m. Par l'observation des séquences verticales des sols, on constate une différenciation verticale et latérale progressives et apparemment compliquées. On peut sélectionner, pour les deux versants opposés et d'amont en aval, les différenciations pédologiques suivantes :

***Versant Est court**

Sur la partie sommitale, sur 500 m, se situent une unité de sols moyennement épaisse (0,50 à 1 m) fréquemment à croûte qui se développent au dépens d'une altérite calcaire blanche à structure dissoute de cohésion variable allant du friable et pulvérulent au cohérent de la roche de calcaire lacustre. Elle est caractérisée par la présence d'un horizon médian de 30 à 40 cm d'épaisseur, brun jaune, qui montre une variation progressive de couleur, de 5YR 5/6 à 6/8. Cet horizon s'enrichit progressivement en argile et en amas calcaires.

Sur pente, les sols présentent une évolution de l'horizon médian qui préfigure la différenciation d'horizons profonds argileux et décarbonatés. Il se différencie par l'apparition de volumes d'argile rouge englobée dans un réseau d'amas calcaires tendres. Les volumes d'argile envahissent ensuite l'ensemble de l'horizon, puis le réseau s'amaigrit en îlots dispersés qui persistent jusqu'en bas de pente. Les éléments grossiers relictuelles disparaissent et la structure devient plus large. Plus en descend en profondeur dans le profil (3 à 5 m), plus les volumes argileux deviennent importants, plus les couleurs deviennent jaunes, plus l'humidité de l'argile est ressentie au toucher, même en fin de saison sèche.

En position de replat-cuvette la couverture est très épaisse (5 m) recouvre une altérite riche en volumes argileux rouges et contient des reliques de calcaires lacustres. Dans ces horizons profonds, les argiles s'individualisent en utricules dans un réseau blanc de calcaire, en poches d'argile décimétriques puis en véritables horizons profonds argileux et peu calcaires.

De rares sondages profonds sur la toposéquence et des observations sur la toposéquence **AV** montrent qu'à ces horizons argileux profonds succèdent des horizons d'altération de calcaire lacustre.

Il est à remarquer que l'épaisseur des horizons reste à peu près constante sur une bonne partie de l'unité. Elle ne diminue et s'amenuise que juste avant le passage à l'unité suivante.

L'examen des profils et les observations intermédiaires réalisées sur cette toposéquence permet de différencier, *trois ensembles d'horizons* majeurs qui vont être présentés en détail dans la troisième partie.

LES PRINCIPAUX ENSEMBLES D'HORIZONS

INTRODUCTION

Les nombreuses fosses et séquences étudiées dans la région de Meknès et plus spécialement dans le secteur de référence amènent à distinguer un grand nombre d'horizons (20 à 30 selon les caractères pris en compte) Il est donc souhaitable de les regrouper pour en faciliter la mémorisation d'une part et la compréhension de leurs intérelations d'autre part. On peut ainsi définir :

- l'**ensemble (S)** des horizons superficiels humifères et/ou anthropisés,

- l'**ensemble (A)** des horizons d'altération où l'architecture de la roche est largement conservée, reconnaissable à toutes les échelles d'observation (isaltérite) ou seulement par des traits structuraux majeurs (allotérite) CHATELIN, 1974.

- l'**ensemble (M)** des horizons médians présentant les caractères diagnostiques des pédogénèses identifiées dans la région

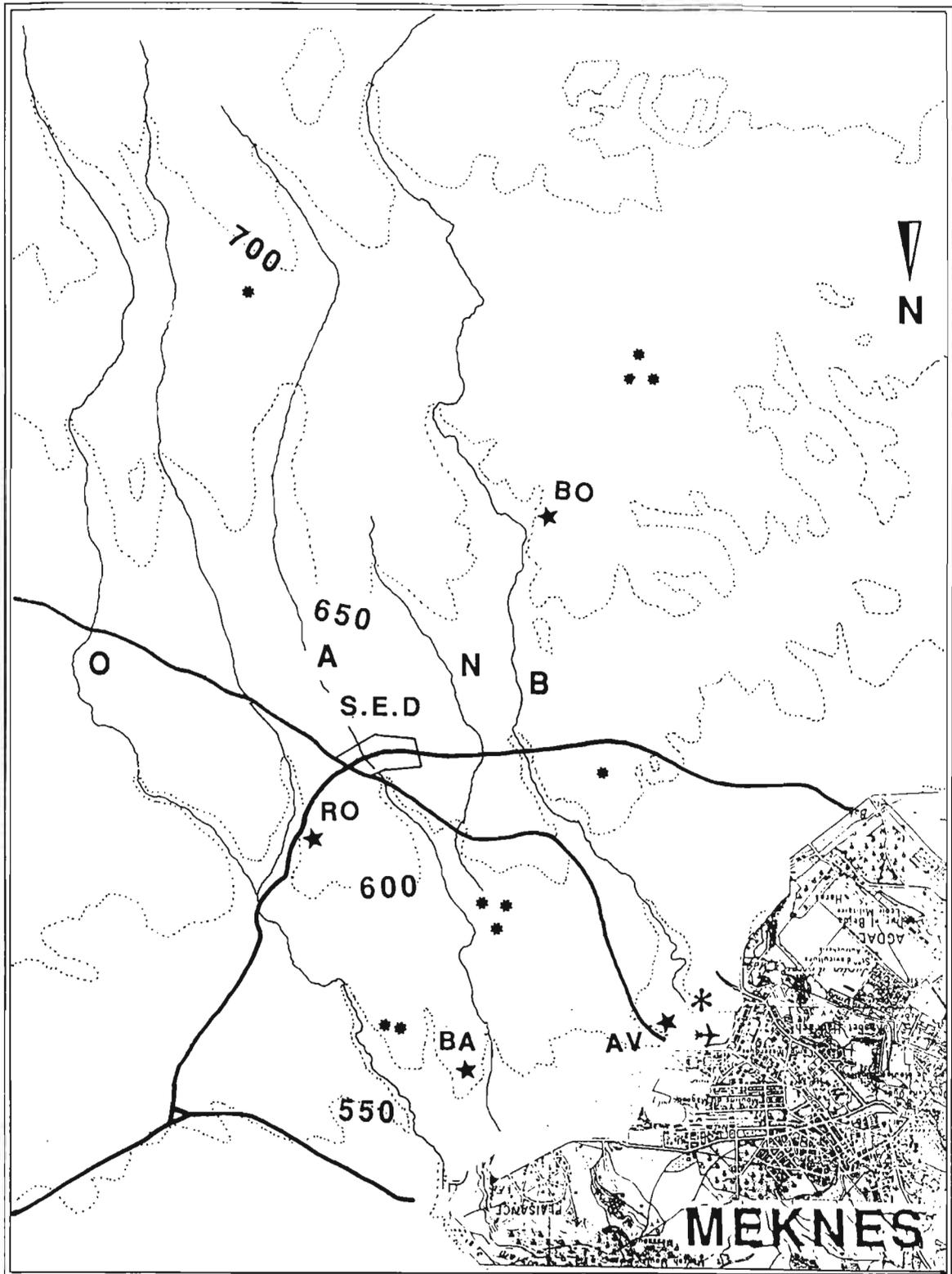
Mais la couverture pédologique du plateau de Meknès se distingue des autres couvertures différenciées sur calcaire et déjà décrites en région semi-arides (LAMOUREUX, 1972, RUELLAN, 1970) par l'existence en profondeur d'une phase argileuse non carbonatée de facture pédologique. Là où elle est importante cette phase définit des **horizons(P)** profonds, qui se situent entre les horizons d'altération **(A)** et les horizons médians**(M)**.

les horizons correspondant à ces quatre ensembles **S/M/P/A** et les substrats seront décrits successivement de bas en haut.

Chaque horizon est décrit en distinguant autant que possible les **phases** qui le composent. Ses transitions avec les horizons encaissants, ainsi que les **variations** (verticales ou latérales) qu'ils présentent sont précisées.

On fournit aussi les données analytiques disponibles, regroupées dans un tableau lorsque elles caractérisent l'horizon globalement. Le commentaire final fait apparaître les caractères distinctifs de l'horizon et ses critères de rattachement à l'un des groupes distingués.

* Collection d'éléments en nombre fini, susceptible de posséder certaines propriétés et d'avoir entre eux et avec d'autres ensembles certaines relations (cf. Petit ROBERT, 1982).



AV: coupe Aviation

BA: coupe Bougaraa

BO: coupe Boufékrane

RO: coupe Rougui

S.E.D.: Sécateur D'étude Détaillée * Affleurements de calcaires lacustres lapiazés

FIG.37 Les affleurements de roches et sites d'observation

Chapitre 8

LES SUBSTRATS ET ROCHES MERES LES CALCAIRES DURS ET LES CALCAIRES MARNEUX

8.1- LES AFFLEUREMENTS ET SITES D'OBSERVATION (Fig.38)

Les calcaires lacustres en place affleurent en différents points du plateau de Meknès à des altitudes variant de 720 m, dans la région de Boufékrane, et 550 m au niveau de la ville de Meknès. Leur profondeur d'apparition varie par suite du développement inégal des horizons sus-jacents et en fonction de l'intensité des processus d'altération favorisée par des facteurs structuraux, pétrographiques, sédimentologiques et pédologiques.

Il nous a été très difficile d'étudier et même d'atteindre les calcaires lacustres "sains" et les altérites dans les fosses ouvertes sur les toposéquences étudiées en raison de la grande épaisseur des matériaux pédologiques qui les recouvrent.

On a donc cherché à étudier les roches et altérites dans des coupes naturelles et artificielles de plus grand développement.

En règle générale, dans la partie haute du plateau, les calcaires lacustres "sains" apparaissent en position conforme à la stratification sous une couverture d'altération (altérites) plus ou moins épaisse, différenciée en faciès de transformation de la roche (isaltérites et allotérites). Localement, ils affleurent sous un horizon évolué rouge et argileux, souvent en poche, remplissant des diaclases plus ou moins larges (lapiès).

En bas des versants et dans les vallées, ils pointent en de nombreux endroits et plus particulièrement dans certaines vallées d'oueds ou de talwegs où ils sont à moins de 1 m de la surface du sol (talweg A et K).

Le tableau 9 indique les coordonnées géographiques, leur position, leur puissance d'après la carte de TALTASSE et les limites supérieures par rapport aux calcaires durs et aux altérites, des différentes coupes d'observation du substrat calcaire.

Tableau n° 11 : Coordonnées géographiques des sites d'observation du substrat calcaire (localisées sur la figure 37)

Sites	Coordonnées			Position	Puissance (TALTASSE) (m)	Limite Supér (m)	
	LAMBAIRE (m)	Altitude (m)				Durs	Altérites
AV	488	356	550	Plateau	10 - 20	4,5	0,3
BO	494	363	605	Plateau	10	1,5	0,8
BA	490	358	650	Plateau	10 - 20	0,4	-
RO	493	366	565	Plateau	20	0,3	-

Commentaire

Les calcaires lacustres sont atteints sous une couverture altéritique plus ou moins profonde (1m) entre 550 et 650 m d'altitude. Les coupes observées sont toutes en position de plateau ou en sommet d'interfluve. Elles ne concernent que la partie centrale du plateau.

Le calcaire dur lapiazé a été observé entre 700 et 550 m (Cf. Fig.36). Il est couvert d'une formation argileuse rouge décarbonatée. Ailleurs il est dégagé par érosion.

* *Coupes aviation (AV), Boufékrane (BO), Bougaraa (BA)*

C'est ainsi qu'on a pu observer et décrire les calcaires lacustres et leurs altérites sur une vaste tranchée ouverte pour les besoins d'une ligne de chemin de fer au sud-est de la ville de Meknès. La coupe de cette tranchée, que nous avons appelée **AV** (Fig.), permet d'observer et de décrire sur une épaisseur de plus de quatre mètres, et sur une largeur de plus de 150 m, les calcaires lacustres formant le substrat géologique ainsi que les variations qu'ils présentent verticalement et latéralement. Cette coupe, nous a permis de rechercher plus facilement, les filiations éventuelles entre ce substrat calcaire et les horizons pédologiques développés au dessus ainsi que la mise en évidence d'organisation en larges poches décamétriques de la couverture pédologique du plateau.

Cette séquence, étudiée en plusieurs points, permet d'étudier *différents faciès d'altération des calcaires lacustres* qui seront précisés plus loin.

Les calcaires lacustres ont été observés, aussi dans deux autres coupes notées **BO** et **BA**, où les altérites décrites sur la coupe **AV** sont absentes.

* *Coupes Rougui (RO)*

La coupe ROUGUI (**RO**) (Fig.) montre une variation lithologique avec l'apparition d'un faciès plus marneux, d'origine probablement sédimentaire, intercalé entre deux bancs de calcaires lacustres.

* *Le S.E.D.*

Dans le **S.E.D.**, les calcaires lacustres altérés mais conservant l'architecture de la roche, ont été atteints dans les fosses **15,3**, et **31** respectivement à des profondeurs de (Fig.). Les calcaires lacustres lapiazés rencontrés à 1,20 m en bas de la fosse **2** ont été dégagés et entaillés.

8-2 LES ROCHES DURES : LES CALCAIRES LACUSTRES

8.21- LES CALCAIRES LACUSTRES DE LA COUPE AV

La coupe **AV** (Fig.), présente les différents faciès d'altération des calcaires lacustres, illustrés par la figure ci-dessus, ainsi que des horizons pédologiques sus-jacents qui seront décrits plus loin. Elle présente un profil d'altération qui passe progressivement, de bas en haut, des blocs de calcaires durs aux plaquettes jusqu'à une phase blanche limoneuse et pulvérulente généralisée. Le passage d'un faciès à un autre sans discontinuité, suggère une filiation verticale entre eux.

On s'efforcera plus loin de confirmer cette hypothèse de filiation verticale anticipée.

* **DESCRIPTION MACROSCOPIQUE**

Les calcaires lacustres durs, observés entre 3 et 4 m de profondeur, se présentent sous la forme d'un **bancs horizontal dur**, d'épaisseur 1,5 à 2 m dont la teneur en carbonate varie entre **95 et 99 %**.

Ils présentent localement sur la coupe **AV** un pendage du banc calcaire de 3 % qui s'accompagne d'un épaissement des horizons sus-jacents.

Sa couleur dominante est **grise à gris-bleuté** (10 YR 5-6/1). Il est fréquent d'observer sur la cassure d'un échantillon, une teinte plus **claire** qui tranche vivement avec le gris de la masse par un passage net au **gris-clair** (10YR 7/1) puis au **blanc** (10 YR 8/1). Ces variations de couleurs sont fréquentes, particulièrement importante dans la partie sommitale des bancs et localisée sur leurs bordures (la figure 37 présente un exemple).

Ces calcaires durs, présentent des **diaclasses** profondes de 15 à plus de 80 cm, subhorizontales et/ou verticales, ouvertes ou fermées. HMAOU, 1987, a attribué ces fractures à une origine tectonique. Leurs ouvertures sont à angles vifs, tranchants et de largeur millimétrique. Leur maille, donnant des prismes et des cubes, est variable d'un endroit à un autre, mais plus serrée dans la partie sommitale du banc calcaire, ce qui suggère une rétraction au cours du quaternaire ancien.

Le calcaire est criblé de petites cavités tubulaires vides ou tapissées de calcite blanche, ainsi que de nombreux débris de coquilles de gastéropodes dont il ne reste plus que le moule. Il a donc subi des processus de dissolution et de recristallisation. Par endroits la roche est taraudée de traces de perforation, sa surface est par ailleurs constituée de la juxtaposition de marques de corrosion et de cupules centimétriques.



Fig. 37 : Cailloux de calcaire lacustre "sain": aspect extérieur après cassure

Commentaire

Ces cailloux ont une surface mince, rugueuse et grise. La cassure présente un large cortex blanc (10 YR 8/2) qui passe par l'intermédiaire d'un liseré gris-blanc à un noyau central gris.

Conclusion

* **La couleur** : distribution zonée de la couleur dans les blocs, le centre étant gris et l'extérieur gris foncé à gris-blanc. Il y a donc soit une altération blanche d'un calcaire gris, soit une différenciation qui blanchie à l'extérieur d'un calcaire gris.

On note aussi une différenciation de la couleur associée à la structure en prismes et cubes déterminée par les diaclases : le coeur du prisme est gris, le cortex est gris blanc, le passage entre les deux est progressif.

* **La porosité** : Les blocs de calcaire sont le siège de dissolution et de recristallisation en condition de diagénèse ou météorique. Deux systèmes poreux sont distingués : l'un fermé, l'autre planaire.

- le système planaire est constitué de fissures (diaclases) de plus en plus nombreuses et larges et interconnectées vers le haut. Ce qui permet une **perméabilité en grand** des calcaires lacustres durs. Le réseau planaire assure une pénétration profonde de l'eau et un stockage limité.

- L'autre porosité offre un faible espace pour des cristallisations éventuelles. Il intervient peu dans les processus primaires de pédogénèse.

* **Le squelette** : on remarque une faible contamination en sables quartzeux (rôle négligeable), ce qui peut expliquer l'aspect massif de ces calcaires durs et la facilité de leur fracturation.

* **DESCRIPTION MICROMORPHOLOGIE**

Un échantillon prélevé sur la coupe **AV**, à une profondeur de 4 m dans un banc de calcaire lacustre "sain", a été observé sur lame mince au microscope optique. La planche n° présente différentes vues

Le plasma se présente comme une masse micritique de couleur dominante gris-foncé et par de petites plages de teinte gris-clair (photo n°).l'ensemble montre un aspect de vase indurée où avec seulement des débris de coquilles en bâtonnets droits ou incurvés.

Des volumes noirs isotropes (oxydes de fer, de manganèse ou matière organique) sont observés. Ils ont une forme arrondie d'un diamètre moyen de 600 μ . Ils ne présentent aucune organisation particulière, ni squelette quartzeux. Leur porosité est nulle et leurs limites sont nettes.

Le squelette, peu abondant (2 %), est monominéral et composé de cristaux de quartz équirépartis dans la masse. Ceux-ci ont une forme subarrondie ou allongée à contours émoussés d'un diamètre de 25 à 120 μ .

L'espace poral, très réduit, est constitué de fissures fines incurvées et de vides subarrondis de 90 à 250 μ de diamètre. Les pores de diamètre important présentent sur leurs parois des cristaux blancs de microsparites et de sparites de quelques microns. Par endroits, les pores sont complètement obturés par des recristallisations de la calcite microsparitique et sparitique.

Un troisième catégorie de pores est mise en évidence, à bords non ajustés et qui sont sans relations évidentes avec la différenciation des couleurs.. On note aussi une absence d'activité biologique actuelle bien que de l'humidité a été observée sur le terrain à ce niveau?

Commentaire

On ne retrouve que les couleurs **gris** et **gris-clair** à l'exception de la phase blanche qui n'est donc pas traversée par la lame.

Le fond matriciel conserve l'organisation de la roche saine avec une différenciation qui correspond à un début d'altération avec recristallisation de la calcite en microsparites et sparites associée aux bords d'une porosité qui reste faible.

Minéralogie

Quatre échantillons de calcaires durs (phase grise) (AV à 4 m; BO à 7m; BO à 8 m et BA à 5 m) ont été soumis à l'analyse totale présentée dans le tableau n° . La composition minéralogique des résidus de l'échantillon AV 4m, a été déterminée par diffractométrie aux R.X.

A signaler que le calcaire dur de l'échantillon BA est surmonté d'un horizon rouge , tandis que les autres échantillons sont recouverts d'horizons d'altération.

Le diffractogramme obtenu aux R.X sur échantillon orienté (OR),glycérolé,(GL) et chauffé à 480°C,(CH) des résidus insolubles de décarbonatation, montre une nette dominance des argiles **smectitiques** (pic important à 15 Å qui se déplace vers 18 Å après gonflement). Le pic à 10Å

s'intensifie au chauffage avec une ouverture progressive confirmant la présence d'**illite** en faible quantité. La présence de traces de **kaolinite** est mise en évidence par le pic à 7,18 Å qui disparaît au chauffage.

8-22 COMPARAISON AVEC D'AUTRES COUPES BOUFEKRANE (BO) ET BOUGARAA (BA)

Les résultats présentés pour la coupe **AV** sont fragmentaires pour caractériser les calcaires lacustres de Meknès. Il faut les comparer à d'autres formations calcaires de même type.

LES CALCAIRES LACUSTRES DE LA COUPE BOUGARAA

La coupe Bougaraâ (**BA**)est située à 3 kms à l'est de la coupe **AV**. L'échantillon observé diffère de celui de la coupe **AV** par une importance accrue de la porosité et une recristallisation de la calcite en microsparites, associées aux vides. La constitution minéralogique, de ces deux calcaires lacustres "sains" est identique à celle des calcaires lacustres de la coupe **AV**.

LES CALCAIRES LACUSTRES DE LA COUPE BOUFEKRANE

La coupe Boufékrane (**BO**) est une large carrière située à 5 kms au sud de Meknès. Elle présente un banc de calcaire lacustre de 8 m d'épaisseur (Planche n° , photo n°).

Les deux échantillons analysés ont été prélevés à une profondeur de 7 et 8 mètres. Ils présentent la même morphologie, ainsi que le même aspect microscopique, avec toutefois une homogénéité plus nette dans leurs structures d'ensemble. La phase grise dominante est essentiellement micritique avec de très rares vides. Ils renferment peu de fossiles et presque pas de volumes noirs comme sur les calcaires de la coupe **AV**.

Commentaire

La comparaison entre les trois échantillons de calcaires lacustres décrits ne révèle aucune différence significative. On verra toute fois, que ces calcaires ne donnent pas les mêmes faciès d'altération que ceux de la coupe **AV** comme nous allons le voir dans le chapitre .

Le tableau 12 présente quelques données chimiques globales des résidus de décarbonatation en appuie aux observations macromorphologiques, micromorphologiques et minéralogiques.

*Composition chimique globale des résidus*Tableau 12. : Composition des résidus des échantillons **AV**, **BO** et **BA**

Ech.	Coul. résidus	Poid résidus	CaCo3 %	M.O %	Fer T %	Fer L %	Al2O %	MnO %	TiO2 %	Dr Po
AV	10YR 3/1	5,1	94,9	5,8	9,1	3,5		0,048	0,80	2,4 1,6
BO 1	10YR 4/2	3,8	96,2	4,2	7,0	1,6	16,4	0,032	0,80	2,3 2,2
BO 2	10YR 3/2	4,3	95,7	4,3	7,5	2,1	15,4	0,020	0,84	2,3 1,8
BA	5YR 3/2	1,2	98,8	8,9	7,9	4,4	13,3	0,086	0,88	2,4 1,9

AV: Coupe AV (plateau aviation) à 4 m

BO: Coupe Boufékrane (1 à 7 m, 2 à 8 m)

BA: Coupe Bougaraâ (plateau aviation) à 5 m

Commentaire

Le tableau 12 montre peu de différences significatives entre les trois échantillons étudiés

La couleur de ces échantillons varie de brun-jaune foncé à brun-rouge foncé. Elle est peu différente entre ces quatre échantillons. La quantité de résidu est faible (moins de 5 %) et on n'a pas de différence entre l'échantillon **BA**, directement sous-jacent à un sol rouge épais et les autres échantillons.

Ceci suggère dans un premier temps la relative homogénéité de ces calcaires sur le plateau. Mais les résultats sont fragmentaires pour pouvoir confirmer ceci. Un échantillonnage plus important ainsi que la comparaison avec d'autres calcaires seraient nécessaires pour confirmer ou infirmer la présence de plusieurs faciès au sein des calcaires lacustres.

8.3 - LES CALCAIRES LACUSTRES ET LES ARGILES CALCAIRES DE LA COUPE ROUGUI

Comme nous l'avons relaté (Cf. chap.2), les différents géologues qui ont travaillé sur les formations sédimentaires du Saïs, non seulement les calcaires lacustres présentent des faciès variés, mais des niveaux de **marnes grises** ont souvent été décrits dans différents sondages.

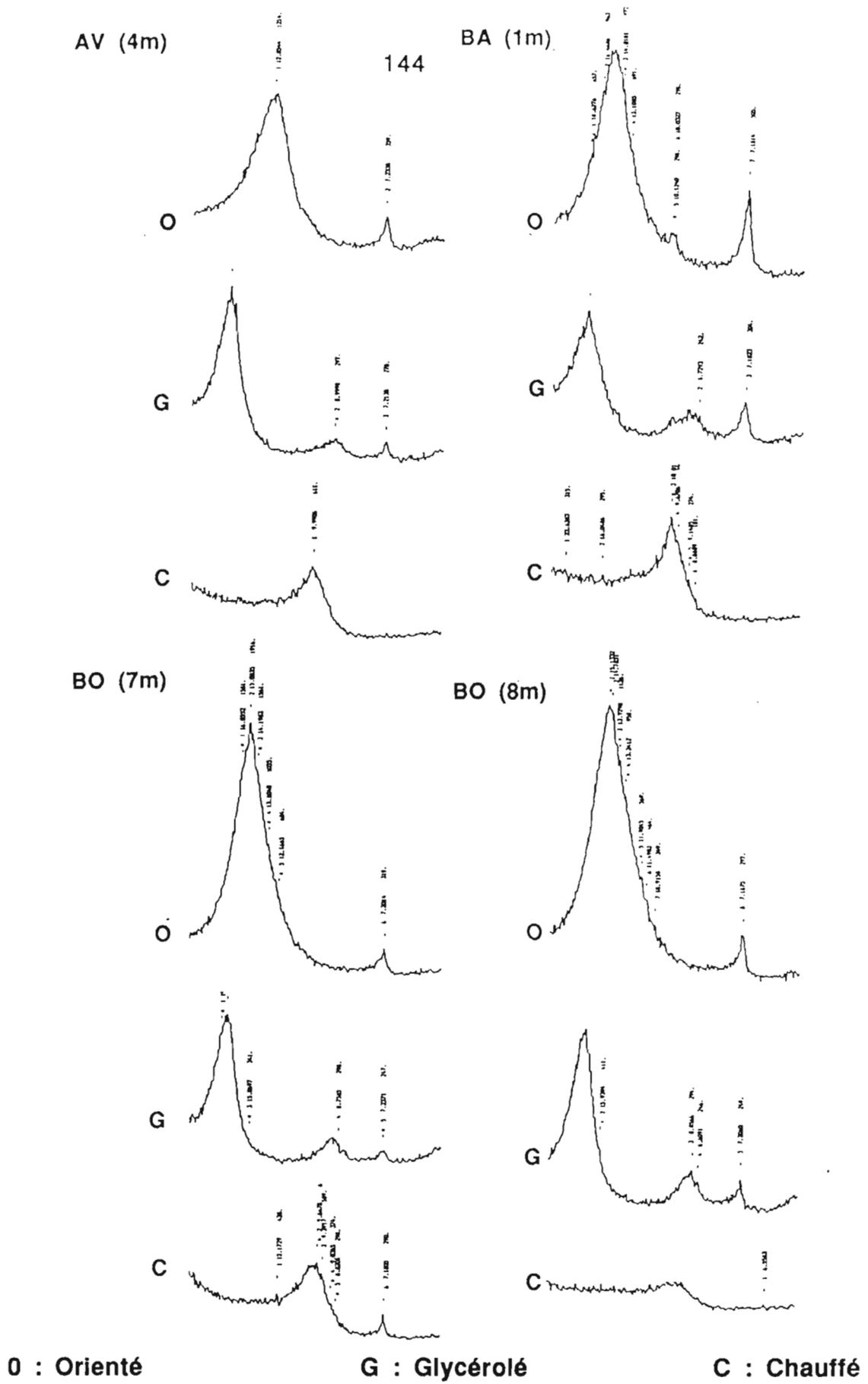
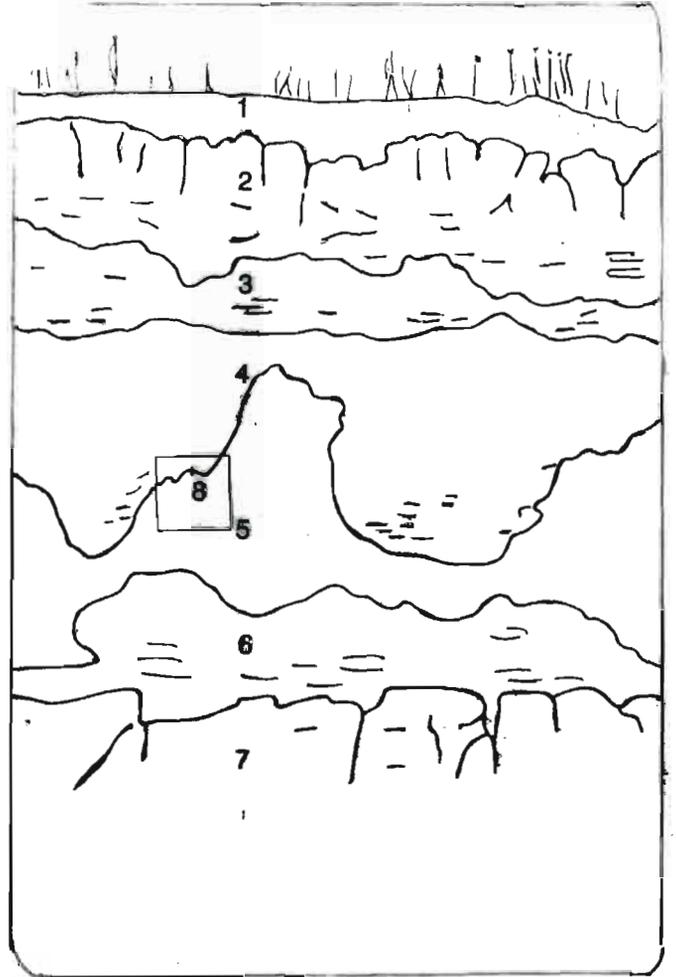
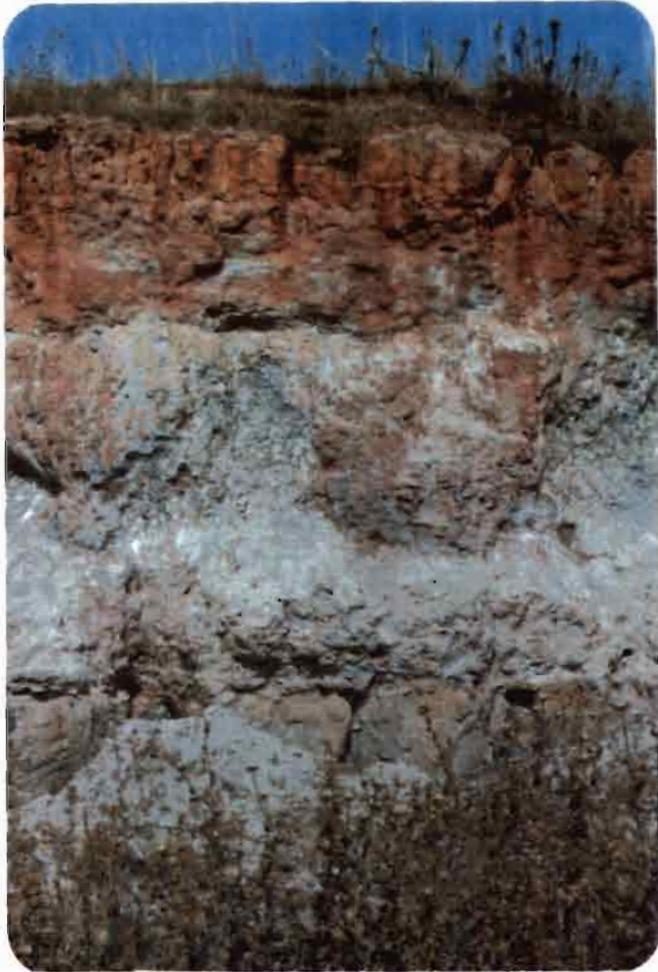


Fig. 39 : Diffractogrammes des R.X des calcaires lacustres durs des coupes AV, BO et BA

Planche n° 1



- 1 - Horizon supérieur peu carbonaté
- 2 - Banc lité de calcaire gris, dur et diaclasé
- 3 - Banc de calcaire gris à litage plus perturbé à la base qu'en 2
- 4 - **Banc dur de marnes grises à volumes friables**
- 5 - **Niveau associant trois phases : brun-rouge, grise et blanche**
- 6 - Faciès I d'altération du calcaire gris (blocs jointifs)
- 7 - Banc massif de calcaire gris, diaclasé
- 8 - Localisation de la figure 2

COUPE ROUGUI : lithologie et position du niveau intercalaire marneux (niveaux 4 et 5)

En effet, si sur les secteurs étudiés les calcaires lacustres dominent largement, il n'est pas rare d'observer des niveaux marneux, plus ou moins continu et peu épais, à **volumes gris** intercalés dans les séries sédimentaires en bancs de calcaires lacustres. En position de plateau dans une coupe à 3 km de l'ENA, dans la coupe **Rougui**, mais également sur la toposéquence **ME** (versant Est) dans les fosses **34** et **32**, les horizons profonds présentent de nombreux volumes **gris très argileux**.

La planche 1 présente la coupe **ROUGUI** observée en position de plateau. Elle est située en amont du **SED** à environ 1800 m du côté Est.

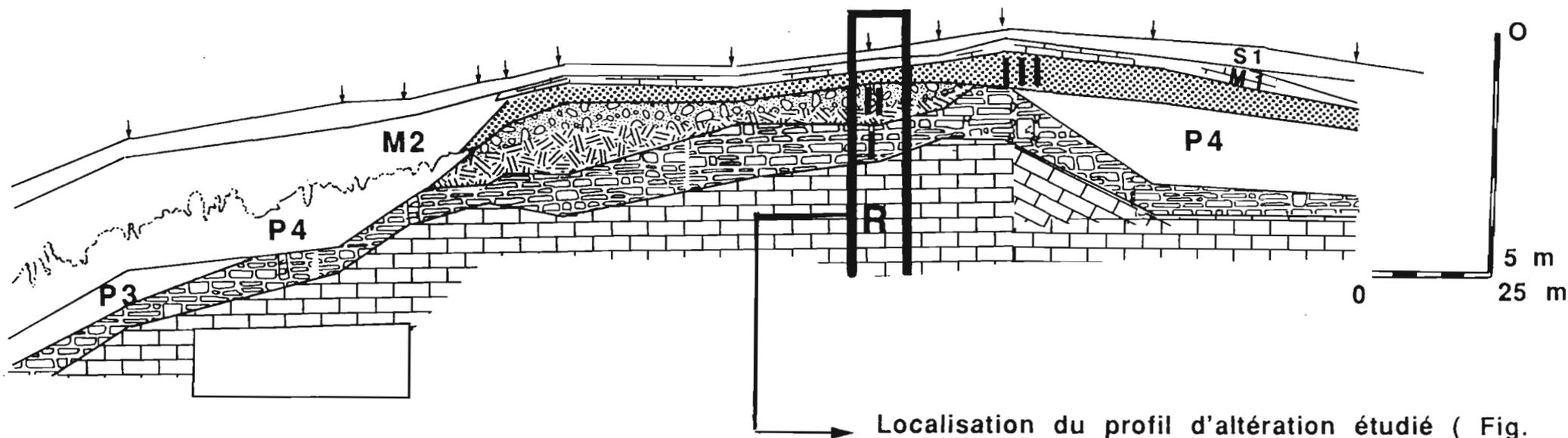
Dans la zone étudiée, un niveau d'**argiles calcaires** de couleur **grise**, rappelant un faciès de **marnes** est observé en position de banc intercalaire dans les calcaires lacustres avec une transition très nette. Il a été signalé dans de nombreux sondages. (P.TALTASSE, 1953).

Ce niveau a été interprété comme une formation sédimentaire intercalée dans les calcaires lacustres en bancs de marnes grises ou vertes d'épaisseur variable. En général il est peu épais et ne semble pas avoir une position stratigraphique bien précise, ni une extension généralisée à l'ensemble de la couverture géologique. Mais là où il est observé à l'affleurement, ce niveau peut être confondu avec une altération pédologique.

Ainsi, cette formation est rencontrée en îlots et en petits volumes résiduels à des profondeurs variables dans les horizons pédologiques profonds. Sur la coupe Rougui (**RO**), elle a été observée sous forme d'une lentille, se terminant en biseau à ses deux extrémités, d'une épaisseur de 2,4 m, intercalée entre deux bancs de calcaires lacustres gris.

N.O.

S.E.



Localisation du profil d'altération étudié (Fig. 40)

R Bancs de calcaires lacustres diaclasés

Localisation des observations

I, II, III Faciès d'altération

S : Horizons pédologiques supérieurs

M : Horizons pédologiques médians

P : Horizons pédologiques profonds

Fig. 40 : Coupe AV : Calcaires lacustres et faciès d'altération

Chapitre 9

LA COUVERTURE ALTERITIQUE DES CALCAIRES DURS

9.1 - LA COUPE AV : TROIS FACIES D'ALTERATION DES CALCAIRES DURS

La coupe **AV** permet de distinguer et de caractériser trois faciès d'altération, qui sont décrits ici de bas en haut par ordre de transformation croissante des calcaires durs.

La figure présente la succession des différentes phases composant ces différents faciès.

LE FACIES I

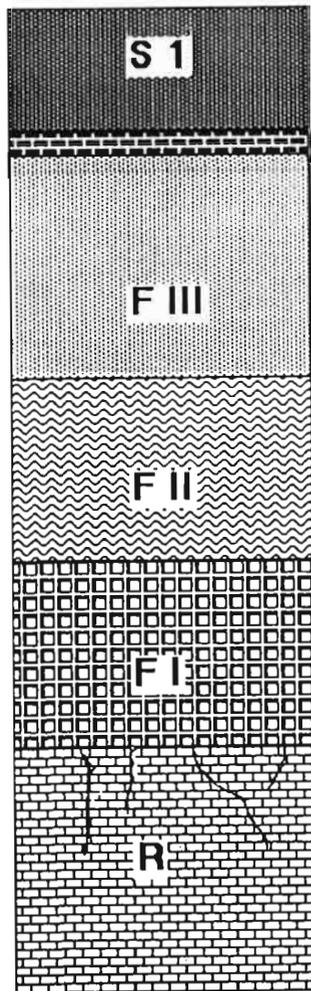
Le **faciès I** apparaît vers 1,5 à 2,5 m de profondeur avec une épaisseur de 80 à 145 cm. D'aspect massif, il est formé à la base de gros **blocs** accolés, conformes à la stratification des bancs du calcaire lacustre sous-jacent. Ces blocs ou dalles ont une épaisseur de 10 à 30 cm et des dimensions latérales de 20 à 90 cm. Plus haut, les dimensions de ces blocs se réduisent peu à peu, évoquant un phénomène de dissolution : en haut ils ne forment plus que des plaquettes d'épaisseur 2 à 4 cm mais toujours empilés en conformité avec la stratification. Quelques gros blocs subsistent cependant jusqu'en haut et semblent être épargnés par ce type d'altération en bancs et plaquettes horizontales.

Un cortex d'altération s'observe autour de certains blocs : il est mince (3 à 15 mm) et solidaire du bloc dont il prolonge la structure. Mais il est plus tendre et de teinte plus claire que le centre. On y observe aussi quelques volumes reliques de la phase gris foncé.

Plus précisément, la succession des teintes du centre du bloc vers le cortex est la suivante : **gris foncé-----> gris clair -----> gris blanc.à blanc**

Au microscope optique, le cortex présente 2 phases principales :

- une phase micritique **gris clair**, à pontuations **jaunes**,
- une phase **colorée** en brun foncé à brun **rouge**, localisée autour des vides.



Horizon supérieur anthropisé



Croûte calcaire à pellicule rubanée



**Phase blanche pulvérulente généralisée
cailloux et graviers relictuels**



**Plaquettes disjointes de calcaire lacustre
développement de la phase colorée et
apparition d'une phase blanche pulvérulente**



**Individualisation de blocs cortifiés de
calcaire lacustre, apparition d'une phase
colorée brun rouge**



Bancs diaclasés de calcaire lacustre

Fig.41: Coupe AV : les différents faciès d'altération

L'espace poral est plus important dans le cortex qu'au centre des blocs: les pores y sont des cavités à parois régulières, sphériques ou tubulaires. Ils se distinguent des pores du centre ou de la roche par la présence de calcite aciculaire (lublinite) sur les parois.

L'analyse chimique au M.E.B. précise que la phase grise est formée de cristaux de calcite et de traces d'alimino-silicates et de fer. La proportion de ces impuretés colorées augment jusqu'à occuper la presque totalité de la phase brun rouge.

Conclusion

Par rapport à la roche sous-jacente ce faciès se caractérise par des variations ordonnées, progressives ou non, orientées dans deux directions privilégiées :

- de bas en haut de la formation,
- du centre vers la périphérie de chaque bloc.

La première affecte surtout la taille, la dureté et l'arrondi des blocs,

la seconde affecte radialement presque tous les blocs. Elle concerne la couleur et la composition en relation avec l'abondance des impuretés, argile et fer. Elle conduit à une concentration relative de ces impuretés dans les phases colorées, au cours des dissolutions et recristallisations successives.

L'importance de la porosité et l'abondance de lublinite dans les tubes, à la différence de la roche saine, peuvent indiquer que les processus de dissolution l'emportent et donc que le bilan de matière est globalement soustractif à ce niveau.

Les cavités à bords lisses et à géométrie arrondie peuvent aussi provenir de l'activité biologique.

Ce faciès se définit aussi par ses variations de bas en haut :

- amenuisement de la phase dure résiduelle du calcaire,
- arrondissement des cailloux résiduels par dissolution,
- concentration d'impuretés dans les phases colorées,
- transformations minérales accompagnant l'apparition de nouvelles phases colorées dont il faut suivre le devenir vers le haut,
- développement de la porosité et de l'activité biologique.

Par contre, un caractère constant de ce faciès est le maintien des blocs dans une position conforme à la stratification.

LE FACIES II

Le **facies II** est formé de **plaquettes** calcaires (et même de graviers), d'épaisseur 2 à 5 cm, émoussés, ces constituants du "squelette" sont plus ou moins disjoints disposés horizontalement et encore souvent alignés conformément à la stratification de la roche.

Une phase limoneuse blanche (10 YR 8/1) à brun très pâle (10 YR 8/2 à 8/4), très calcaire, très friable et même pulvérulente, occupe l'espace entre ces plaquettes.

La distance entre les plaques calcaires augmente progressivement de bas en haut. Le faciès se réduit alors à des plaquettes à angles plus ou moins arrondis. Elles sont disjointes et laissent apparaître entre elles le développement d'une phase limoneuse blanche (10 YR 8/1) à brun très pâle (1 OYR 8/2-4), limoneuse, très calcaire et très friable à pulvérulente.

Conclusion

Le développement de la phase pulvérulente paraît correspondre à la réorganisation d'une partie des produits de dissolution périphérique des blocs. La porosité de fissures et cavités du faciès I fait place alors à une importante porosité fine d'assemblage de petits cristaux.

Les plaquettes calcaires apparaissent, elles, comme des reliques de blocs.

Mais l'ordonnement initial commence à être nettement perturbé par ces réorganisations.

Le rôle de l'activité biologique dans cette pédoturbation n'a pu être mis en évidence avec certitude

LE FACIES III

Le faciès III se caractérise par une dominance de la phase limoneuse et pulvérulente dans laquelle sont dispersés quelques cailloux et graviers, reliques des blocs précédents.

La couleur de la phase limoneuse passe de bas en haut, du blanc au blanc très pâle. Au microscope, elle montre un fond matriciel gris clair à gris blanc formé de microsparites et de sparites.

La structure de l'ensemble est massive en sec et en humide, vaguement litée. La porosité est fine, à dominante tubulaire et on y observe quelques racines décomposées.

A la partie supérieure, au contact de la croûte lamellaire, qui forme une dalle continue et ondulée, la structure devient plus nettement litée et la couleur est jaune pâle (2,5 YR 8/4) puis jaune très pâle avec localement un bariolage par de petits volumes brun jaune. Les contours entre ces deux phases colorées sont nets, irréguliers et digités.

Conclusion : faciès d'altération des calcaires lacustres

La phase pulvérulente néoformées, qui dans les faciès I et II augmente d'importance aux dépens de la phase lithorelictuelle de blocs ou plaquettes calcaires, va jusqu'à occuper presque tout l'espace dans le faciès III.

Les produits argileux et ferrugineux se maintiennent, ou se concentrent à nouveau, jusque dans la croûte superficielle.

Cette phase indurée est composée de carbonates secondaires et n'a donc pas été considérée comme une roche ni comme un faciès d'altération, mais comme une formation pédologique de faible profondeur.

La figure 41 résume les principales filiations que suggère les relations entre phases, de bas en haut et du centre vers le cortex des blocs calcaires.

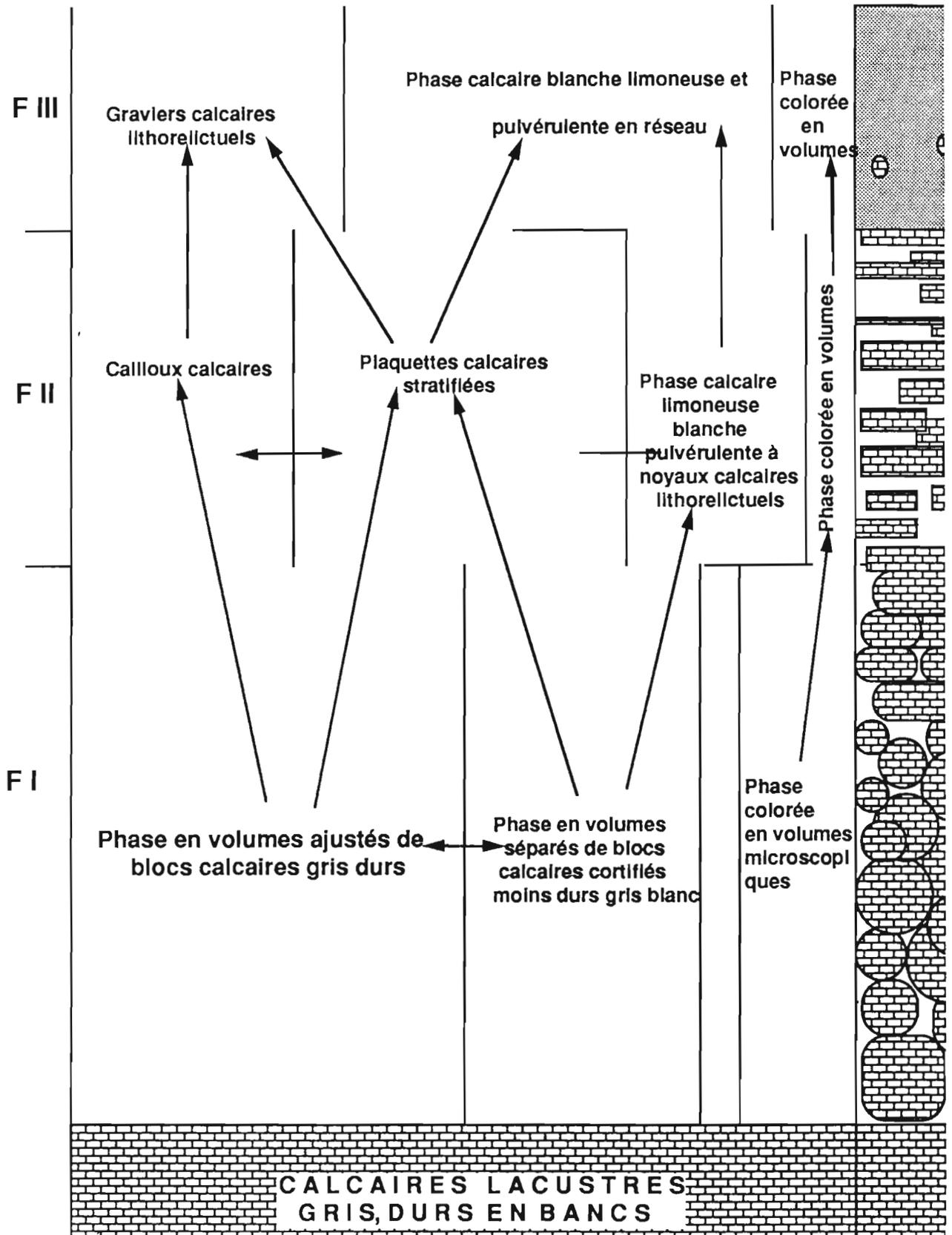


FIG. : Calcaires lacustres et faciès d'altération F I, F II, F III les possibilités de filiation

9.2 - DISTRIBUTION DES DIFFERENTS FACIES DANS LE PAYSAGE

*** Différenciations verticales au dessus des calcaires durs de la coupe AV : les trois faciès altéritiques et leurs filiations possibles**

Sur la coupe **AV**, la succession verticale et latérale des trois faciès décrits précédemment qui jalonnent l'altération des calcaires lacustres s'effectue sans interruption et récurrence de faciès, le changement s'opérant dans la continuité et procède par étapes.

Dans un premier temps, actuellement observable en profondeur, les bancs de calcaires se réduisent en gros blocs diaclasés qui se fragmentent de plus en plus, suivant les joints de stratification donnant de nombreuses plaques.

Celles-ci sont à leur tour atteints par la désagrégation mécanique qui libère des fragments et des débris graveleux plus petits et de la terre fine blanche, limoneuse, pulvérulente et calcaire.

Ainsi, au contact des calcaires lacustres "sains" de la coupe **AV**, trois faciès d'altération se différencient de haut en bas :

1/ Un faciès d'altération I, à structure et texture de la roche conservées, peu transformé mais affecté par des dégradations centripètes des bancs calcaires, donnant un cortex. A ce niveau la texture de la roche est partiellement conservée par une réorganisation (dissolution et recristallisation) de la masse micritique, cependant que sa couleur, sa dureté ainsi que sa porosité varient..C'est dans ce faciès que l'altéropiasation fait apparaître une phase colorée argileuse.Cet isaltérite est fréquemment rencontrée au dessus des calcaires lacustres du plateau de Meknès.

2/ Un faciès d'altération II plus transformé où la structure et la texture de la roche sont incomplètement détruites.Il présente une phase lithorelictuelle stratifiée localement avec des intercalations d'une phase blanche ,limoneuse et plus friable.Ce faciès se présente comme une isaltérite dominée par une dissolution importante des carbonates .

3/ Surmontant ces deux altérites, se développe une allotérite dans laquelle la structure de la roche est complètement détruite.Sa texture est plus grossière dominée par de la calcite microsparitique et sparitique.Ce faciès se réduit à une phase blanche, limoneuse et pulvérulente emballant quelques reliques de calcaires lacustres dispersés.Il présente localement des zones où

une phase colorée, plus argileuse, apparaît sous forme digitée, de couleur brun-jaune de plus en plus importantes vers le haut à l'approche des horizons médians (**M**).

Les différents faciès d'altération arrivent au contact des calcaires lacustres "sains" sans transition détritique ou dépôts d'autres sédiments.

Après la déformation tectonique des sédiments Pliocènes, visibles sur le piedmont Nord des rides Pré-Rifaines, une longue phase d'altération a profondément décomposé les formations de calcaires lacustres du plateau de Meknès. Elle est en particulier responsable de l'altération, de la fersiallisation et de l'encroûtement parfois épais et massifs des calcaires lacustres du plateau. La coupe **AV**, sur le plateau aviation au Sud de Meknès, est significative. Ces altérations sont disposées parallèlement à la topographie doucement ondulée à versants larges convexes. Cette topographie a dû connaître une longue altération en régime biostasique. Cette coupe ne se généralise pas partout.

*** Répartition des faciès d'altération**

Les trois types de faciès d'altération des calcaires lacustres observés dans l'ordre précédent sur la coupe **AV** se répartissent ailleurs sur le plateau de Meknès en obéissant sûrement à un nombre de critères dont les interférences rendent complexe le compte rendu de leur distribution dans le paysage. En fait, les altérations différentes survenues, à plusieurs époques, sur ces calcaires eux-mêmes peut être variables sont associés à l'évolution morphogénétique de la région. Elles ont interférées en particulier avec des époques d'intense altération et pédogenèse suivie ou non d'érosion locale ou de sédimentation.

D'après nos nombreuses observations à travers le plateau de Meknès, les trois faciès peuvent se rencontrer dans toutes les positions topographiques. La coupe **AV** existe par contre peu fréquemment dans sa totalité. En général, le faciès le plus fréquemment rencontré est le faciès **III**. Il est localisé sur plateau, sur des versants convexes à pentes faibles (< 1 %) qui semble être le milieu le plus favorable à sa formation. Sur les versants concaves à pentes plus fortes, il est le plus souvent associé à des phases argileuses plus ou moins importantes.

La figure 43 rend compte des différentes séquences verticales d'altération des calcaires lacustres rencontrées sur la plateau de Meknès.

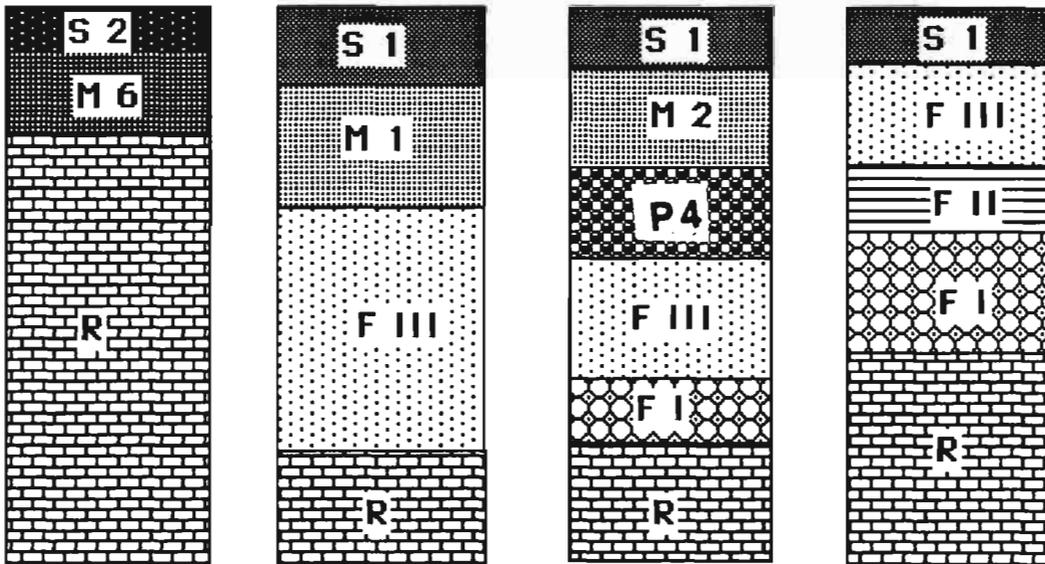


FIG.43 : Séquences verticales d'altération des calcaires lacustres

Cette figure montre que les phénomènes d'altération n'ont donc pas agité dans le même sens. L'altération des roches de calcaires lacustres obéit aux conditions de climat et de bilan d'eau (en période stable, hors érosion). Les zone hautes à pentes faibles (plateau) peuvent être considérées comme des milieux, quoique drainant, ne permettent pas une évacuation et une redistribution des carbonates. Ceux-ci sont détenus et fixés sur place sous la forme de calcaire altérée (altération isovolumique). Mais, néanmoins sur ces même plateau on rencontre un autre type d'altération fondamentalement différent , c'est celui de l'altération qui réduit et dégrade les calcaires durs progressivement par arrachement de pellicules fines (pellicule d'altération de LAMOUREUX).

Est-ce le résultat de variation locale dans de très faibles proportions de faciès lithologiques ou de condition pédo-hydrigue, ou est-ce le résultat d'une histoire géo-pédo-climatique complexe?

En tout cas, la présence de ces deux types d'altération posent le problème de leur mécanisme. Comment est-il possible, à partir d'une même formation calcaire, d'avoir sur une même unité de modelé (plateau), des séquences verticales d'altération différentes.

Nous proposons dans ce qui suit de décrire les différents autres faciès d'altération des roches de calcaires lacustres en les reliant au modelé afin d'avoir leur distribution sur le plateau de Meknès et d'esquisser les mécanismes responsables de ces distributions dans le paysage.

9.3 - AUTRES FACIES D'ALTERATION DANS LE MODELE

L'existence de formes de passage des calcaires lacustres aux phases blanches carbonatées et aux phases colorées argileuses des horizons pédologiques et de transformation de ces roches par dissolution recristallisation, me paraît confirmer la nécessité de mieux les définir et de dégager leur signification dans le modelé dans la zone étudiée.

Nous passerons en revue, les différents faciès d'altération des calcaires lacustres et les phases qui leurs sont associées sur deux situations topographiques admettant des possibilités différentes des mouvements de l'eau induisant une dynamique d'altération particulière d'une situation topographique à l'autre. Nous traiterons successivement les faciès d'altération en **zone de plateau** et en **zone de versant**. sur les toposéquences et coupes étudiées.

9 3.1 - EN ZONE DE PLATEAU

*** La toposéquence MV (Fig.)**

La toposéquence **MV** se situe sur le plateau de l'E.N.A à 300 m dans le prolongement Est de la toposéquence **ME**.

Le profil topographique transversal, orienté Ouest-Est, à une longueur de 780 m et une dénivelée moyenne de 26 m sans replat ni talweg en bas du versant où un seuil de roches de calcaires lacustres durs affleure.

Cette toposéquence présente deux grands segments topographiques distincts et de pente croissante de l'amont vers l'aval (de 1 à 10 m):

- un sommet plan convexe de 450 m de longueur et de pente moyenne de 1 % formant la terminaison du prolongement du plateau de l'E.N.A.;
- un versant convexe d'une longueur de 320 m et de pente relativement forte de 7,8 %.

Le faciès d'altération observés concrétise un état d'évolution poussé des calcaires lacustres, différent de celui décrit sur le plateau aviation dans la coupe **AV**.

Ce faciès présente, d'une manière assez nette, une altération plus poussée avec une forte expression de la phase colorée argileuse, probablement originaire directement de l'hydrolyse des calcaires lacustres sous-jacents, et par une dissolution-évacuation plus accusées des carbonates qui se maintiennent néanmoins en partie, sous forme de cailloux lithorelictuels en voie de dissolution (Cf. Planche).

Il s'exprime dans une phase carbonatée plus ou moins dure qui donne une cohésion à l'ensemble de l'horizon associée à une phase colorée argileuse rouge puis jaune-rouge en profondeur. La phase blanche indurée est d'abord un calcaire lacustre altéré et transformé, puis un calcaire plus altéré à structure effondrée, cohérent mais fragile (se casse facilement entre les doigts donnant un aspect "pourri") et poreux. L'ensemble se fondant dans un horizon bariolé où se condensent conjointement les produits d'altération, résultats des transformations, dissolutions et réorganisations, et les calcaires lacustres en fragments, cailloux et blocs à traits lithorelictuels.

****Description macroscopique***

Macroscopiquement, la structure d'ensemble se présente comme une masse micritique, plus homogène que dans les calcaires lacustres "sains", **gris-clair**, associée à une phase **microsparitique blanche** et à une phase colorée **brun-rouge**. L'ensemble présente un espace poral important, généralisé à toute la lame.

Au microscope optique, la matrice est constituée essentiellement de calcite micritique. Localement, une structure nodulaire est présente, formant des zones de couleur gri-foncé, très contrastées de forme circulaire, auréolées par une fissure courbe discontinue, dont les parois sont tapissées de cristaux de calcite microsparitique. Ces zones nodulaires ont un diamètre moyen de 2,3 mm.

La phase blanche, localisée principalement aux voisinage des fissures et sur leurs parois, matérialise l'apparition de la calcite sparitique, très bien distincte, de 14 μ de diamètre moyen. Cette sparite peut obturer complètement certains pores, conjointement à la microsparite. Elle occupe préférentiellement la partie centrale des pores comblés.

La phase colorée brun-rouge à brun-jaune est une concentration plasmique associée aux parois des vides. Elle est observée aussi en situation "flottante" ou isolée par une fissuration circulaire. Ces cutanes sont fortement orientées, avec des microcristaux de quartz disséminés dans la masse. Elles sont ferruginisées mais non litées (Fig.75).

Le squelette est très peu abondant (5 %) .Il est composé principalement de cristaux de quartz de la taille des limons grossiers et des sables, de diamètre compris entre 70 et 120 u.Ils sont de forme subarrondie à contour émoussé, équi-répartis dans la masse micritique.

Les vides sont importants et généralisés à presque toute la lame. C'est un ensemble de fissures associé à des micropores de 20 u de diamètre moyen.Elles sont de forme irrégulière, à angles rentrants, souvent interconnectées entre elles par de fines fissures. D'orientation quelconque, elle sont parfois élargies et présentent des enfléments souvent comblés de microsparites et de sparites (Fig.46).

On note la présence de nodules d'aspect complexe par leur composition et leur assemblage en volumes nodulaires agencés dans une matrice micritique polychrome. Plusieurs phases composent ces nodules: une phase brun-foncé à brun-rouge,une phase blanche microsparitique et une phase noire, opaque, dendritique ou isolée en microvolumes de quelques microns de diamètre.Ces nodules, circulaires ou elliptiques, ont leur contour souligné par une fissure courbe.

Minéralogie

La composition minéralogique du résidu de décarbonatation présente une dominance absolue de **smectites**, associées à l'illite et à la kaolinite qui restent accessoires.

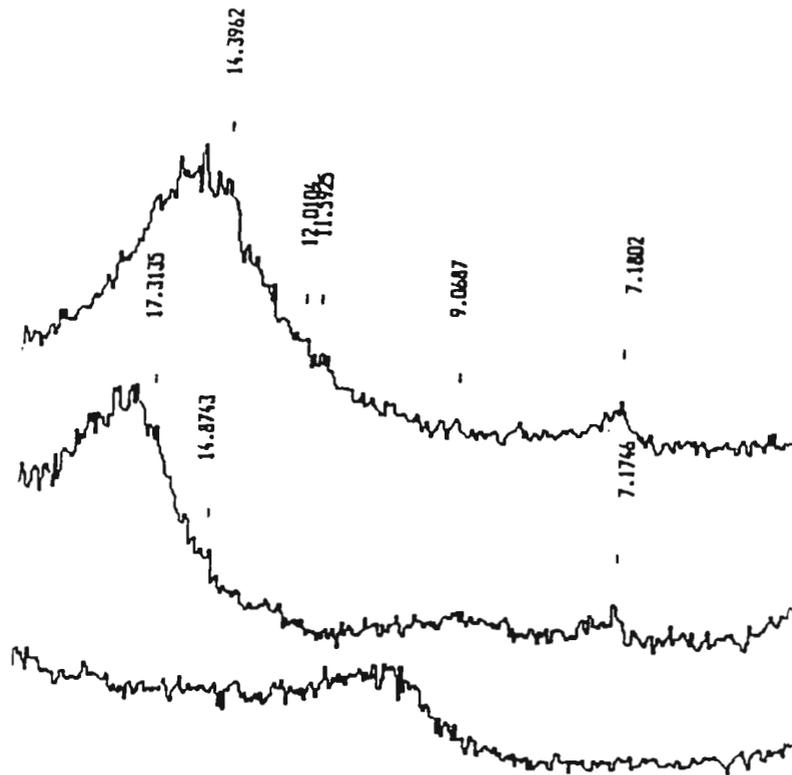


FIG. 44: Diffractogramme de R.X des calcaires lacustres altérés du plateau de l'E.N.A. (toposéquence MV).

9.3.2 - EN ZONE DE VERSANT ET TALWEGS

Deux modes d'altération en situation de versant et de bas de versant observés sur la toposéquence de référence **ME** seront décrits dans les fosses **2** et **3** (Cf Fig.46).

9.3.21 - MODE D'ALTERATION PELLICULAIRE

En bas du versant long de la toposéquence **ME**, en bordure ouest de la séguia (talweg A), les calcaires lacustres sont atteints à 120 cm en dessous de l'horizon pédologique médian **M5.11s** ont été décrits dans la fosse 2 à travers les calcaires entaillés sur 150 cm de profondeur.

Ces calcaires lacustres durs se présentent sous la forme d'un faciès lapiazé. Leur structure d'ensemble est massive (difficilement brisé au marteau) et leur texture microcristalline typique de celle reconnue dans les calcaires lacustres décrits dans la coupe **AV**

Ils sont de couleur grise à gris-bleuté avec des zones gri-clair à blanche, parfois teintées de brun-jaune proportionnellement à la présence de produits d'altération, argiles, oxydes et hydroxydes de fer. Des restes et traces de coquilles de gastéropodes sont présents.

Ils forment un assemblage compact de gros blocs plus allongés que larges (largeur 45 cm, longueur 80 à 120 cm) à surface irrégulière et rugueuse. Ces blocs sont séparés par des fissures et sculptés par des rainures creusées dans le plan vertical. Les faces sont taraudées de cavités de dissolution remplies par des argiles rouges (2,5YR4/8), très peu carbonatées(1,2 % de CaCO_3).

Vers la partie supérieure, les blocs semblent se déchausser peu à peu, et leurs diamètres diminuent progressivement pour donner finalement des cailloux de plus en plus petits et isolés. Il se forme finalement un lit de "galets" (20 cm d'épaisseur) dont la forme est régulière, à contour lisse et homogène, de couleur blanche. Ces "galets" sont totalement ennoyés dans le matériau argileux rouge auquel ils adhèrent fortement.

Ainsi, tous les "galets" prélevés à ce niveau font apparaître sur leur pourtour une gangue d'argiles rouges grises qui se détache avec une pellicule d'arrachement blanche de quelques dixièmes de millimètre.

Tableau n° 13 : Fosse 2: Données analytiques globales

Echant.	Couleur	Poid	Ca Co ₃ %	Fer T %	Fer L %	Densité	porosité
P.A.R	5 YR 3/4		1,2	6,5	1,5	2,6	3,1
G.C.L	10 YR 3/2	5,2	94,8			2,5	2,3
C.L.L	10 YR 3/2	2,1	97,9			2,6	1,5

P.A.R : Phase Argileuse Rouge (80 cm de profondeur)

G.C.L : Galets Calcaires Lapiazés (1,10 m de profondeur)

C.L.L : Calcaires Lacustres Lapiazés (1,50 m de profondeur)

Commentaire

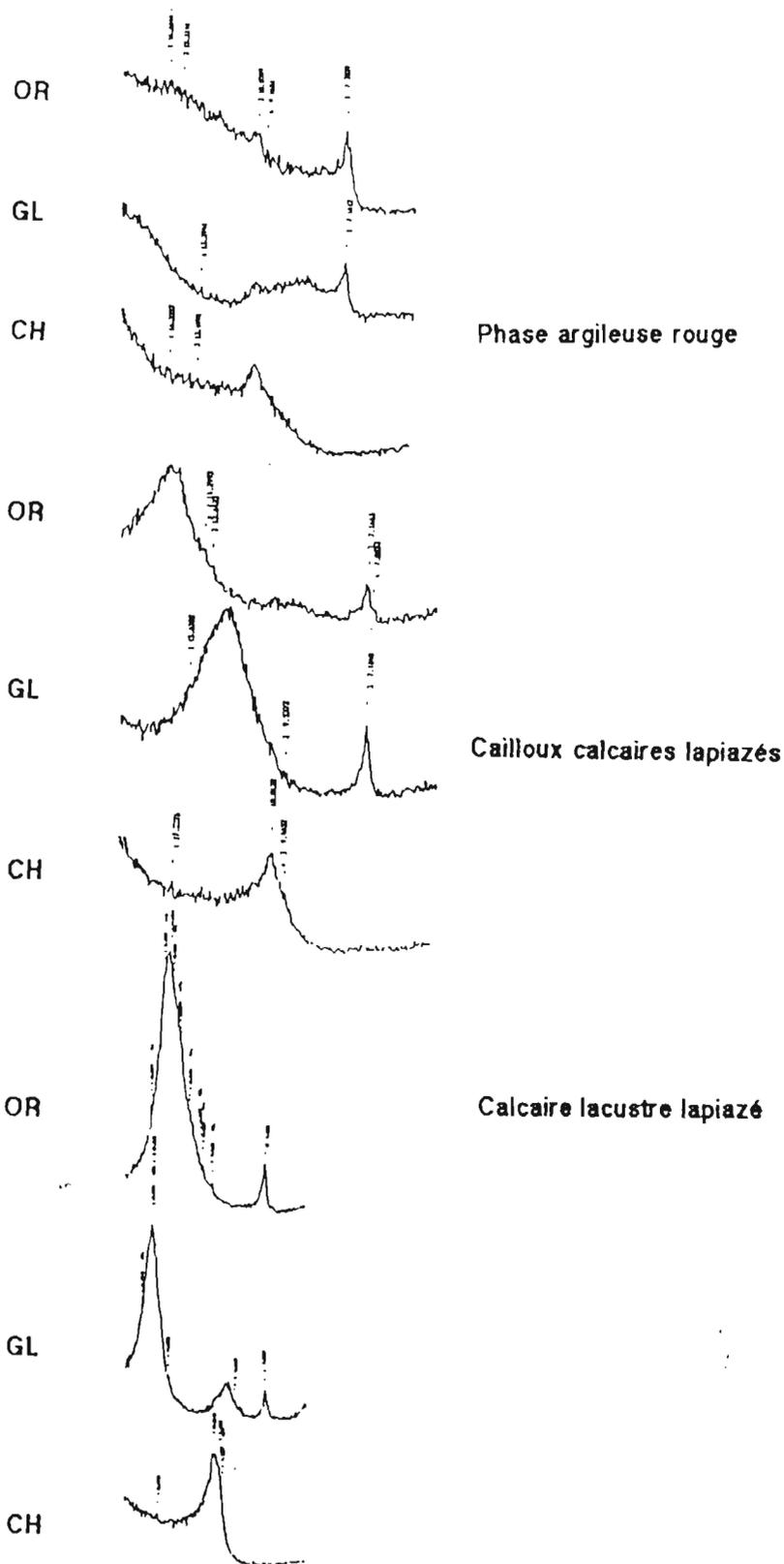
Le poid des résidus augmente de bas en haut, c'est à dire des calcaires lacustres aux formations rouges pédologiques, corrélativement à une diminution des carbonates. Ceci suggère une libération et accumulation des alumino-silicates avec une évacuation des carbonates dans les eaux de drainage favorisée par l'augmentation de la porosité globale.

Minéralogie

Les déterminations minéralogiques sur les résidus de décarbonatation ont portées sur les calcaires lacustres lapiazés, les "galets" calcaires et la phase argileuse rouge. Les diffractogrammes reportés sur la figure 45 montrent une composition minéralogique similaire, sinon la même, à quelques variations près de la cristallinité des argiles.

On a une dominance des **smectites**, très bien cristallisées et gonflent bien au glycérol. Elles sont associées à une très faible quantité d'**illite** dont le pic à 1 OA est plus accusé au chauffage dans les calcaires lapiazés. La **kaolinite**, mise en évidence par le pic à 7,18 A qui disparaît au chauffage, reste sensiblement inchangée c'est à dire en très faible quantité.

On remarque que la phase argileuse rouge présente des pics peu différenciés indice d'une cristallinité médiocre relativement aux calcaires lacustres (roche et galets).



Or: orienté - Gl: glycérolé Ch: - chauffé

FIG. 45: Fosse 2: diffractogrammes des R.X

9 3.22 - *MODE D'ALTERATION PROFONDE ET PROGRESSIVE*

Deux échantillons ont été prélevés pour l'étude microscopique dans les fosses **78** et **3** en bas du versant long de la toposéquence **ME**, respectivement à 100 et 130 cm de profondeur. Ces deux lames recoupent les deux phases constituant l'horizon **P3** qui sera décrit ultérieurement et dont nous allons présenter les caractères essentiels.

Cet horizon, marquant une transition progressive vers les calcaires lacustres "sains", se compose de deux phases principales: une phase **blanche très carbonatée** et une phase **colorée argileuse** très peu carbonatée dans la masse. Cet horizon est pénétré par des glosses qui facilitent la pénétration de l'eau météorique et l'infiltration en profondeur.

La phase **blanche** est constituée d'une forte proportion de cailloux et de blocs durs, dans lesquels la structure lithologique est reconnaissable. Ils sont de forme plus ou moins arrondis et sont de moins en moins volumineux de haut en bas de l'horizon. Cette phase se présente aussi en matériaux fins, limoneux, très carbonatés et friables formant un réseau poudreux sur les surfaces externes de décollement des cailloux.

La phase **colorée** est **argileuse**, brun-**rouge** à rouge en haut de l'horizon. sous forme de petits volumes isolés dans la masse. Elle s'insinue aussi entre les cailloux, là où l'altération est plus intense.

Micromorphologie

**Description microscopique dans la fosse 78 à 100 cm de profondeur*

Cette lame présente une altération progressive des calcaires lacustres aux phases blanches et colorées (argiles de décalcification).

- La base de la lame montre une structure d'ensemble massive formée essentiellement par de la micrite. Elle est de couleur grise à gris-foncé par endroits et perturbée par un réseau de vides fissuraux sans orientation préférentielle, parfois bordés d'un liseré brun-jaune biréfringent. Des plages de microsparites sont aussi présentes.

Cette masse grise, rappelant la constitution des calcaires lacustres "sains", présente une structure nodulaire ("en boules") composée de nodules micritiques sans structure interne et entourés de fentes courbes (Fig.45) identique à ceux observés dans les calcaires lacustres en voie d'altération.

Une phase brun-claire imprègne légèrement la masse micritique avec laquelle elle est associée sans distinction de limites nettes.

- Vers le milieu de la lame, la phase brune devient de plus en plus différenciée et plus foncée, avec de nombreux traits de biréfringence. Elle peut former aussi des revêtements en bordure des vides.

- A la partie supérieure de la lame, le plasma est plus abondant et forme des plages argileuses brun-rouges, peu carbonatées avec des éléments relictuels arrondis composés de micrites et à limites parfois dissuses se fondant progressivement dans la phase brun-jaune encore carbonatée.

**Description microscopique dans la fosse 3 à 130 cm*

Le site du prélèvement est plus en aval de celui qui a été décrit ci-dessus. Sur toute la lame, la phase grise à gris-foncé micritique est discontinuée par un espace fissural important délimitant des éléments relictuels de calcaires lacustres sous forme de sables grossiers et de granules (1 à 10 mm) éparses. Ils sont fortement altérés sur leurs bords.

Une phase colorée brun-rouge à jaune-rouge, encore carbonatée, constituée d'un mélange argilo-organique et ferrifère, tapisse les vides et entoure la phase grise. Elle est plus abondante à la partie supérieure de la lame.

Commentaire

Dans cet horizon nous avons distingué deux types d'arrangement de la phase grise micritique et de la phase colorée de bas en haut:

- Une zone d'altération nodulaire des calcaires lacustres où une présence infime de la phase colorée, brun-jaune, imprègne la masse par endroits;

- une zone de concentration de la phase colorée soit en revêtements discontinus plus ou moins importants, soit en îlots flottant dans les vides. Elle prend une couleur brun-foncé;

- une zone où la phase colorée est dominante par endroits, emballant des reliques sphériques avec lesquels les limites sont diffuses créant ainsi un fond matriciel discontinu par mélange de la phase colorée et de la phase grise micritique. Ici, la phase colorée est **brun-rouge**.

9.4 Autres faciès plus ou moins calcaires

On a pu observé que des apports alluvio-colluviaux provenant du Moyen Atlas semblent également avoir nourri la couverture pédologique. Le bassin de dépôt, largement ouvert et peu éloigné des terres limitrophes, reçoit des décharges allochtones qui se surimposent à la sédimentation locale. Noton aussi que la proximité des limites calcaires lacustres-sables fauves n'exclue pas d'éventuelles contaminations de matériaux sableux.

Nous savons par ailleurs qu'après de fortes pluies certains fonds de vallées sont inondés sur plusieurs dizaines de mètres de large, par des eaux boueuses, rougeâtres, venues des parties amonts du plateau de Meknès. On peut penser que ces pluies à " caractères catastrophiques" ont véhiculées d'importantes quantités de boues argileuses en peu de temps.

Ces matériaux d'apport apportent une certitude quand aux origines diverses des matériaux de la couverture pédologique et posent le problème de l'origine et de la mise en place de la partie supérieure de cette couverture pédologique.

*** Les matériaux alluvio-colluviaux**

Les observations des fosses réalisées sur la toposéquences **ME** mettent en évidence un colluvionnement très nette sur le versant Est à pente relativement forte (7 à 10 %)

Sur le versant Ouest (fosse **3** entre 100 et 120 cm), nous observons des cailloux et graviers roulés alignés sur deux niveaux. Leur nature est essentiellement siliceuse, mais certains sont de couleur noire et semble d'origine volcanique. Sur le même versant (fosse **7** de 190 à 210 cm) nous observons deux alignement de cailloux roulés quartzitiques. Au microscope

Il faut enfin signalé la présence en profondeur (fosse **5** entre 345 et 360 cm) de passées **sableuses jaunes** rappelant les sables fauves. Nous ne sommes en effet qu'à 3 ou 4 km de ces formations, il n'est donc pas étonnant pour que les zones de bordures des calcaires lacustres soient **contaminés** par ces sables.

En conclusion de cette étude sur les matériaux complexes d'altération nous retiendrons :

- l'importance des formations de calcaires lacustres de par leur extension sur les secteurs étudiés;
- leur mode d'altération le plus souvent de type progressif et dépendant du milieu pédohydrique local;
- la diversité des matériaux d'apport qu'ils soient de sédimentation lacustres, d'alluvionnement ou de colluvionnement.

Dans cet environnement, ces apports silico-clastiques se mêlent aux sédiments carbonatés, de nature détritique ou chimique. Les interférences sont complexes et se manifestent selon plusieurs agencements combinant des modèles variés, car ils résultent de la sommation de l'action de plusieurs facteurs : tectonique, variations climatiques, érosion, type de mécanisme en jeu et l'échelle de temps (périodicité, phénomènes rythmiques).

En résumé, les données et faits relatés suggèrent à penser que l'altération très inégale des calcaires lacustres dépend d'un mécanisme qui se développe différemment en tout lieu et dans la direction verticale. On peut envisager qu'une plus grande fragilité des minéraux de certains faciès ou une plus facile pénétration des eaux de drainage, grâce aux nombreuses **fissures** et **diaclasses**, ont entraîné cet approfondissement des altérations variables selon les unités du paysage qui se retrouvent souvent associées sur une même versant.

On peut penser aussi à une succession de bancs de calcaire plus ou moins épais et massif et des bancs diaclasés verticalement et horizontalement susceptibles d'une altération plus poussée. Ceci pourrait expliquer la présence ou l'absence d'un des trois faciès.

Nous allons aborder dans ce qui suit l'étude des formations pédologiques sus-jacentes et les possibilités de filiation aux calcaires lacustres et autres matériaux. Ceci sera exposé par la description des différentes organisations des profils se succédant le long de la toposéquence **ME** et de bas en haut.

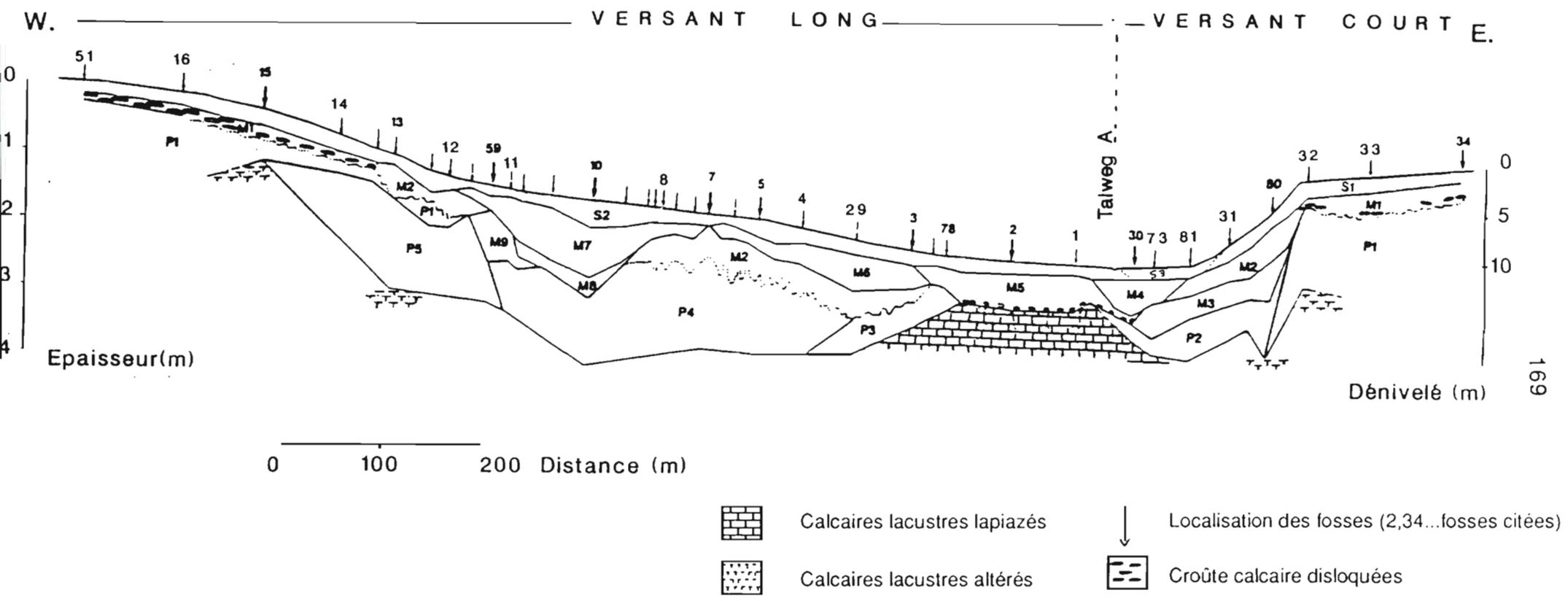


FIG58- TOPOSEQUENCE ME : localisation des horizons profonds P

L'ENSEMBLE D'HORIZONS PROFONDS

INTRODUCTION

Sur la plupart des toposéquences étudiées et en particulier sur la toposéquence de référence **ME**, les observations ont permis de reconnaître des horizons profonds, qui ont été notés (**P**), distincts, et très différents, des horizons médians (**M**) et supérieurs (**S**).

Ces horizons profonds sont regroupés en un ensemble qui apparaît à une profondeur variable entre **1** et **2** mètres et se développe sur une épaisseur relativement importante de plus de **1,5** mètres entre les horizons d'altération (**A**) et les horizons médians (**M**).

Selon les situations sur la toposéquence, cet ensemble est constitué par la juxtaposition en réseau plus ou moins continu de **deux phases principales**. L'une est colorée, de couleur **brun-rouge à brun-jaune**, très **argileuse** et fortement **décarbonatée**, l'autre phase est de couleur **blanche**, tendre et / ou dure et très **carbonatée**.

L'ensemble profond admet plusieurs variations selon que l'une des deux phases en présence est dominante ou non. La phase carbonatée peut être discrète ou formée d'amas calcaires, pulvérulent, parfois à noyau central et blancs à blanc-crème. Ces amas peuvent être plus ou moins gros, de forme arrondies, allongées, à limites diffuses et même envahir l'ensemble de l'horizon (sous forme d'un réseau), particulièrement dans sa partie supérieure et latéralement sur le haut des versants quand ce type d'horizons peut être observé.

Le passage des horizons sus-jacents (Médians) aux horizons profonds est toujours progressif. Leur limite avec l'ensemble d'altération est difficile à préciser et surtout à atteindre. Chaque fois que les sondages ont pu atteindre soit les calcaires lacustres, soit des altérations de ces calcaires, la limite a paru relativement nette.

Les horizons profonds observés sont fréquemment humides en saison sèche corrélativement à l'importance au sein de ces horizons de la phase argileuse colorée et à leur situation dans le modelé (cuvette de plateau ou replat-cuvette de versant).

Cinq horizons profonds (**P1**, **P2**, **P3**, **P4** et **P5**) sont distingués dans cet ensemble. La figure donne une représentation en coupe de ces horizons profonds sur la toposéquence **ME**.

H O R I Z O N P 1

Horizon de profondeur observé dans cinq fosses sur la toposéquence **ME** et à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur : 50 cm , épaisseur maximale : plus de 2 mètres ;
- non humifère ;
- très carbonaté dans l'ensemble ;
- humide en profondeur, même en saisons sèche, frais au dessus ;
- composé de **trois phases** et de graviers et cailloux calcaires lithorelictuels ;
- . **une phase dominante (80 %) , blanche (10 YR 8/1) , continue et très carbonatée ;**
- . **deux phases colorées**, l'une **jaune-rouge (5 YR 5/6)**, l'autre **grise (10 YR 6/2)** en petits volumes, de forme, dimensions et contraste variables. A la base de l'horizon, ces volumes deviennent plus volumineux, plus abondants et très contrastés ;
- texture **limoneuse** avec des graviers et des cailloux calcaires en proportion variée et de dimensions centimétriques (3 à 6) ;
- structure massive en humide à tendance polyédrique fine en sec ; un fin **litage** subhorizontal est fréquent dans les cinq décimètres supérieurs ;
- pores tubulaires nombreux fins et moyens diminuant en profondeur ;
- quelques racines fines et moyennes décomposées, rares en profondeur ;
- activité faunique (galeries et boulettes), absentes en profondeur ;
- à la base, transition **distinste** avec les calcaires lacustres .

Tableau n° 14: Données analytiques globales de l'horizon P1

		Argiles	Limons	CaCO₃	M.O	pH-Eau
		%	%	%	%	
Horizon	Haut	15,4	47,4	88,6	0,04	7,6
	Bas	17,3	52,6	76,7	0,02	7,5

C'est un horizon d'abord très carbonaté, puis une relative diminution de la teneur des carbonates en profondeur annonce la présence de la phase colorée argileuse peu carbonatée.

Variations latérales et transition

La couleur de l'horizon **P1** s'éclaircit vers l'aval et la cohésion d'ensemble est plus faible. La phase blanche devient plus pulvérulente et associée à une plus faible proportion de graviers et cailloux lithorelictuels.

La phase **jaune-rouge** devient plus **rouge**. Les volumes augmentent de taille et en nombre associés à la phase **grise** qui comporte des mouchetures **rouges**. En aval, la phase colorée se retrouve sous forme d'ilôts de couleur rouge, identique à la phase argileuse présente dans l'horizon **P2** adjacent.

L'huméctation (au toucher) faible en haut de l'horizon **P1**, augmente progressivement en profondeur où la porosité tubulaire devient plus faible.

Micromorphologie

La lame mince observée au microscope optique et qui caractérise l'horizon profond **P1** à été prélevée dans la fosse **34** à 150 cm de profondeur. Cette lame montre un **fond matriciel** composé de **trois phases**: une phase **blanche** à **gris-clair** dominante et deux phases **colorées** isolées en petits volumes ou en îlots épars.

La phase blanche se présente comme une **masse micritique** répartie en deux zones distinctes ou associées, de teinte différentes. Une zone dominante de teinte **gris-clair** à **blanche** mât constituée principalement de **microsparites** et de **sparites**.

Cette dernière est associée à des vides qu'elle comble. C'est une masse de structure continue distingué par un **assemblage lâche** des microsparites. L'autre zone de teinte grise à gris foncé est discontinue en plages à limites diffuses. C'est une masse continue et dense constituée principalement par de la micrite à structure **nodulaire**.

Les phases colorées, beaucoup moins nombreuses, comportent une phase **brun-rouge** fortement orientée, en îlots disloqués par un réseau de fissures de retrait et fortement ferritisée par un fin litage de stries noires anastomosées. Une phase **brun-jaune** à **gris-jaune** moyennement orientée, en amas désorganisés, englobant localement la phase brun-rouge avec laquelle elle a des limites distinctes (Fig.).

L'assemblage de ces deux phases colorées est **porphyroscellique**. Les grains de **quartz** sont cependant très peu nombreux et de très petites tailles.

Le **squelette** est monominéral constitué de fins cristaux de **quartz** de 14 à 78 μ , bien répartis. Ils sont de forme subarrondis en général à contour émoussé. Ils sont parfois flottant et auréolés par de la micrite blanche.

Les **vides** sont nombreux. Ils se composent de fissures et de galeries. Les fissures sont subhorizontales, mais aussi verticales ou incurvées délimitant localement des **formes nodulaires**. Leurs épaisseurs varient de 0,06 à 0,45 mm. Les galeries sont de section circulaires de 0,09 à 6 mm de diamètre. Les parois des fissures sont parfois tapissées de microsparites ou d'un fin feutrage de calcites aciculaires (lublinitite).

Des **revêtements** argileux brun-jaunes associés localement aux vides sont observés. Ils ont une épaisseur de 0,1 à 0,2 mm. Ils sont constitués par une alternance d'argile **rouge-jaune** fortement orientée et d'un liseré noir onduleux. Des fragments de ces revêtements (papules) de couleur **jaune à brun** sont parfois intégrés à la phase **blanche** microsparitique.

Des pédotubules sont observés, ils ont une section arrondie de 1,2 mm de diamètre et une couleur rouge-foncé à noirâtre.

Les trois phases et les revêtements décrits sur la lame ont été analysés à la microsonde. Le tableau n° ci-dessus résume les résultats obtenus.

Tableau n° 15 : Résultats en % d'oxydes des phases de l'horizon **P1**

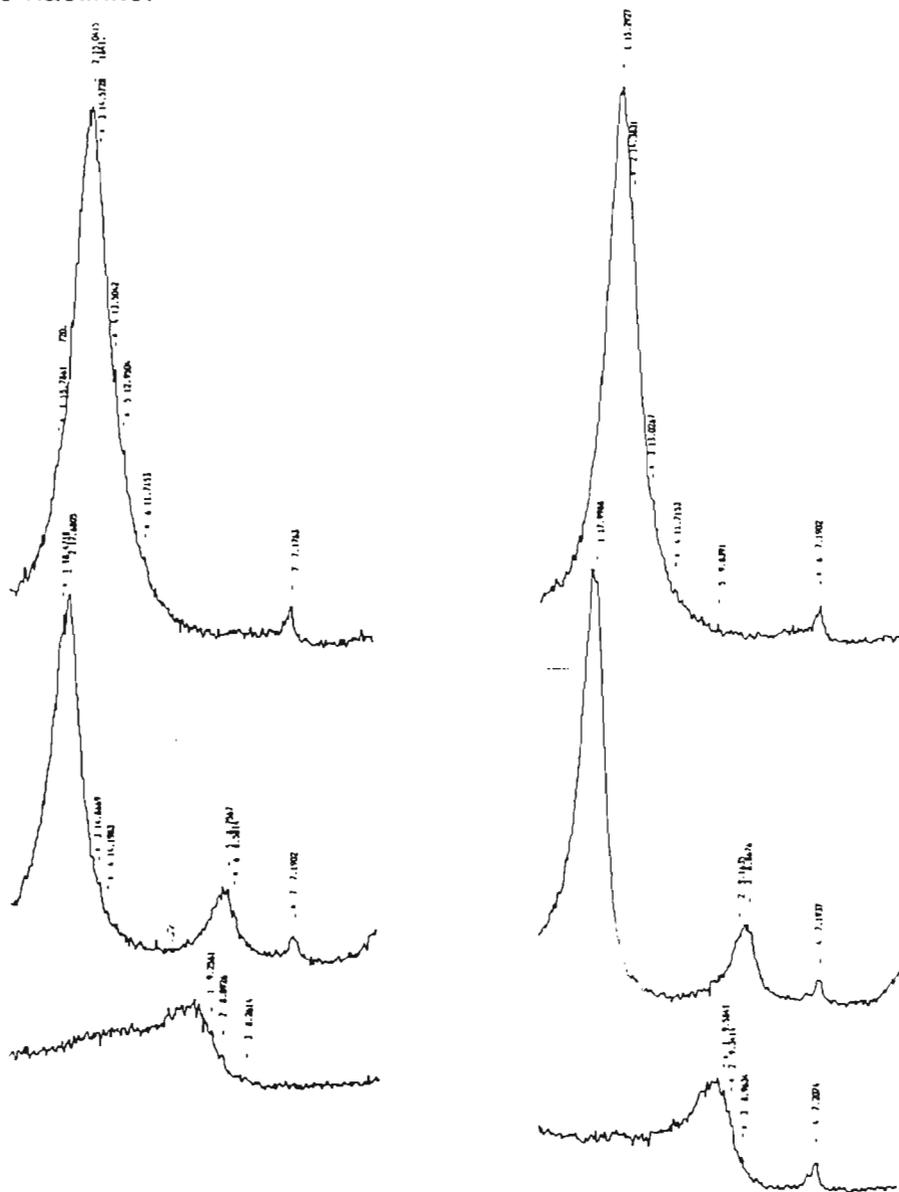
Phases	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	MgO
Grise	2,8	5,9	88,0	1,10		3,30	1,3
Brun-rouge	18,8	55,9	2,1	19,3	0,02	0,5	2,5
Gris jaune	22,1	61,9	2,8	8,0	0,20	0,8	3,5
Cutane	25,2	53,9	3,8	12,7	0,05	1,25	1,7

Ces résultats d'analyses nous montrent un rapport d'oxydes silice/alumine compris entre 2,1 pour la phase grise et 3 pour la phase brun-rouge indiquant la présence de smectites et une augmentation de la quantité d'oxydes de fer de la phase grise à la phase brun-rouge.

Minéralogie

Deux échantillons de l'horizon profond P1 ont été prélevés pour l'analyse minéralogique des résidus de décarbonatation. L'un en amont dans la fosse 34 et l'autre en aval dans la fosse 32 sur la plateau est de la toposéquence ME

Les deux diffractogrammes représentés sur la figure 14, montrent que les **smectites** très bien cristallisées dominent, accompagnées de traces d'illite et de kaolinite.



(a): fosse 34 (amont); (b): fosse 32 (aval)

Fig. 47 : Diffractogrammes des R.X de l'horizon P1

Commentaire

L'horizon **P1** est un horizon profond limoneux, très carbonaté et localement très pulvérulent, atteint par la dynamique saisonnière (eau, racines et faune).

Il est très développée sur la toposéquence de référence **ME**, mais se retrouve aussi en poche à l'amont du versant long. Il se rapproche d'avantage de la surface du plateau en raison de la faible épaisseur des horizons susjacent **M1** et **S1**. Aucune résistance à la pénétration n'a été notée, mais une cohésion d'ensemble est sensiblement plus élevée en profondeur.

Cet horizon contient des graviers et des cailloux calcaires à structure lithologique conservée, analogue à celle de la roche de calcaire lacustre altéré sous-jacente atteinte dans la fosse **31**. Il peut en dériver par pédoturbation (effacement des structures lithologiques, reliques désorientées) La libération d'argiles et l'individualisation du fer sont encore peu marquées. Sa base correspond à la limite de l'activité biologique visible et à l'individualisation des phases **brun-rouge** et **gris-jaune** qui témoignent de processus de redistribution du fer qui affectent aussi l'horizon profond adjacent **P2**.

La présence de la phase argileuse **gris-jaune** peut correspondre soit à un ralentissement local du drainage vertical (goétisation du fer), soit rattaché à des reliques d'argiles grises (calcaires marneux) provenant de la lentille d'argiles grises en amont dans la coupe Rougui (Cf. Fig.).

Ceci sera discuté un peu plus loin. Car il reflète une importance pour la compréhension de l'évolution de la phase argileuse de la couverture pédologique du plateau de Meknès.

H O R I Z O N P 2

Horizon de profondeur observé dans six fosses sur la toposéquence **ME** en aval de l'horizon **PI** et à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur 150 cm, épaisseur maximale 120 cm;
- non humifère;
- carbonaté (avec un gradient décroissant d'amont en aval);
- légèrement humide en saison sèche;
- composé de **trois phases**:
 - . une phase **limoneuse blanche** très calcaire et diminuant d'importance d'amont en aval. Elle est constituée d'amas et graviers calcaires;
 - . une phase **colorée argileuse** dominante en gros volumes **brun-rouge** (5 YR 4/4). Ces volumes sont **calcaires** dans la masse;
 - . une phase associant des petits volumes **jaune-rouge** (5 YR 6/6) et **gris-blanc** (10 YR 6/2), inclus dans la phase précédente;
- texture argileuse hors amas et graviers calcaires;
- structure massive à l'état humide, **polyédrique** anguleuse nette à l'état sec et structure **prismatique** peu nette en profondeur;
- pores tubulaires fins; en sec fissures d'épaisseur inférieure à 1 cm;
- cohérent et très dur à l'état sec, un peu plastique en humide;
- quelques racines fines, puis lacis racinaire sur les faces des prismes en profondeur;
- activité faunique faible;
- à la base, passage progressif aux calcaires lacustres

Variations latérales

- En amont, la phase blanche (10YR 9/1), très carbonatée, est dominante 80% et entoure les phases colorées (brun-rouge, jaune-rouge et gris-blanc). Elle est de contour régulier et équi-répartis dans la phase dominante argileuse brun rouge.

- Toujours en aval, la phase associant des volumes jaune-rouge et des volumes gris-blanc est relayée par une phase rouge(2,5YR 5/6) incluse dans la phase dominante brun-rouge.

On constate aussi un gradient décroissant des teneurs en carbonates de la phase argileuse dominante brun-rouge de haut vers la profondeur et sur la toposéquence de l'amont vers l'aval.

Des lentilles de sables isolées, ainsi que des alluvions et colluvions, ont été observées dans la fosse 73 à une grande profondeur en aval du versant court de la toposéquence **ME**.

Tableau n° 16 : Données analytiques globales de l'horizon **P2**

		Argiles %	Limons %	Ca Co3 %	M.O %	pH-Eau
Horizon	Haut	49	31	37	0,07	7,7
	Bas	51	37	20	0,01	7,6
Séquence	Amont	52	34	56	0,06	7,5
	Aval	56	32	21	0,01	7,6

Commentaire

Le tableau 16 montre une diminution des carbonates de calcium vers le bas de l'horizon avec des teneurs en argiles relativement constantes.

Cet horizon peut donc provenir des altérations des calcaires lacustres altérés sous-jacents, mais aussi d'apports argileux aujourd'hui pédogénéisés, ce qui suggère une allochtonie de cet horizon.

Cette discontinuité est observée dans d'autres sites sur le plateau de Meknès. Ce qui suppose une évolution différente après altération des calcaires lacustres et formation des faciès d'altération et des horizons médians.

Minéralogie

Le diffractogramme représenté dans la figure , obtenu à partir des résidus de décarbonatation d'un échantillon prélevé à 150 cm dans la fosse 31 de la toposéquence **ME**, montre une constitution minéralogique analogue à celle de l'horizon **P1**.

On trouve une dominance de **smectites** qui gonflent bien au chauffage, relativement bien cristallisées et une présence sous forme de traces d'illite et de kaolinite.

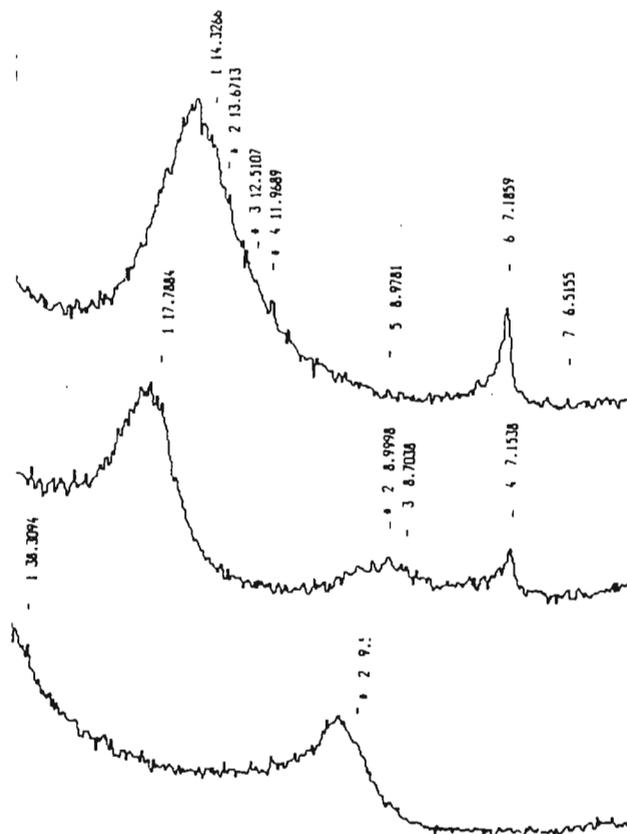


FIG. 48 : Fosse 31: diffractogramme des R.X de l'horizon P2

Commentaire

P2 est un horizon pédologique évolué profond, à réseau argileux **rouge** (phase colorée), emballant des volumes calcaires durs et/ou friables (phase blanche): l'argile est libérée par dissolution des carbonates et colorée par les oxydes de fer.

La phase **jaune** et **grise** incluses dans la phase dominante rouge indique que ce phénomène discret de redistribution de fer s'y produit, comme en **P1** (mais au sein d'une phase argileuse rouge).

Les variations latérales de la phase blanche montrent que l'évolution est moins avancée à l'amont (sous le versant court). L'éclaté de la figure 45 montre qu'à plus grande échelle, on a distingué un horizon défini par une dominance de la phase blanche pulvérulente en réseau dense entourant la phase rouge qui reste sous forme de gros volumes épars.

Les fortes variations saisonnières d'humidité

Cet horizon profond et épais est le siège de processus de décarbonatation, de réorganisation des argiles libérées, ainsi que d'une discrète hydromorphie temporaire induite par sa situation en bas du versant court, il est concerné jusqu'à sa base par la dynamique actuelle. Il est aussi le siège d'un colluvionnement sableux.

Latéralement, l'accentuation des processus d'altération et de pédogenèse coïncide avec le rebord du plateau. Elle résulte soit des différences induites par la topographie (forme de cuvette avec jaunissement des argiles en amont et rubéfaction en aval), soit d'une variation lithologique (bancs de calcaires plus marneux), soit d'un apport d'éléments fins actuellement pédogénésés.

H O R I Z O N P 3

Horizon profond atteint dans trois fosses en aval du versant long de la toposéquence **ME** et à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **1** mètre, épaisseur maximale **85** cm; - non humifère;
- inégalement carbonaté;
- sec, légèrement humide en profondeur;
- composé d'une phase dominante (90 %), très carbonatée et d'une phase argileuse rouge non carbonatée(ou peu) de moins en moins en profondeur;
- la phase carbonatée ($\text{CaCo}_3=92\%$) comprend des **cailloux** (7 à 22 cm de diamètre) et des **blocs** de calcaire lacustre,entourés d'une phase poudreuse limoneuse blanche à rose clair, formant un **réseau** plus développé en profondeur;
- la phase argileuse est **rouge-clair**(2,5YR6/2) à brun-rouge(2,5YR 5/4), en petits volumes intersticiels et en **pellicules** d'arrachement du cortex des calcaires durs, au profit de la phase blanche;
- la structure de l'horizon est **massive**, l'architecture de la roche est conservée à la base;
- porosité de **fissures** dans la phase limoneuse;
- forte cohésion entre les veines limoneuses qui sont friables;
- pas de racines, ni d'activité faunique;
- transition **nette** avec les calcaires lacustres sous-jacent

Variations latérales

L'horizon **P3** s'enfonce verticalement de la fosse **78** où il est relayé par l'horizon médian **M5** vers les calcaires lacustres sous-jacents où il relaye progressivement l'horizon **P4**. La phase argileuse, importante au contact de l'horizon **P4**, se raréfie dans sa partie supérieure où les cailloux calcaires plus disjoints et distincts sont nombreux.

Micromorphologie (cf. Chap. ,p.)

Commentaires

L'horizon profond **P3** est un horizon de transition moins marqué par la pédo-bioturbation que l'horizon **P2**. Cependant la phase argileuse encore peu individualisée est presque totalement décarbonatée. Ce qui indique un transit de solutions qui peuvent être drainées en profondeur par les interstices du calcaire en place. La position de mauvais drainage externe de cet horizon ainsi sa transition en dents de scie avec l'horizon médian **M2** suggère une circulation verticale d'eau facilitant les processus de dissolution et le transit de matière(néanmoins faible). Ce drainage interne aisé expliquerait alors la faible humidité constatée. Ce dernier est en effet facilité par la nature lapiasé des calcaires sous-jacents qui sont diaclasés comme sous l'horizon **M7**. Ainsi les carbonates circulent encore plus loin et ne se déposent pas à ce niveau.

La présence de cailloux calcaires montre qu'ils résultent d'une dissolution incomplète laissant des reliques. Leur aspect lapiasé et lisse est en faveur de cette hypothèse. Mais il peuvent aussi provenir de colluvionnement accompagnant les argiles rouges. La situation topographique (vallée du talweg **A**) suggère cette hypothèse.

H O R I Z O N P 4

Horizon profond observé dans cinq fosses sur la toposéquence **ME** et sur les autres toposéquences et coupes de reconnaissance et à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **1** mètre, épaisseur maximale **2,25** mètres;
- non humifère, inégalement carbonaté(40% de CaCO₃ en moyenne);
- frais, puis **humide** en profondeur en toutes saisons;
- composé de deux phases:
 - une phase dominante **argilleuse** (52%), non carbonatée(un peu en profondeur), **rouge** (2,5YR 4/6) à brun-rouge foncé(2,5YR 3/4), puis rouge clair(2,35YR 6/2) à brun-jaune(10YR 5/6) en profondeur;
 - une phase discontinue **limoneuse** très carbonatée (CaCO₃ =97 %), **blanche**(10YR 8/1) puis **brun** très pâle en profondeur, disposée en **amas** tendres pulvérulents à contours irréguliers et allongement **verticale** puis subhorizontale discontinus en profondeur. Ces amas ont parfois un **noyau** subarrondi ou tubulaire, à contours nets et lisses. Ce noyau est très calcaires (CaCO₃ = 90 %), très dur, brun-clair (7,5YR 5/4). Son diamètre varie de 0,5 à 3 cm;
- structure continue **massive** en humide, **prismatique** à cubique fine, puis nettement **cubique** et à faces de glissement en profondeur; ces dernières sont lisses et entrecroisées;
- porosité tubulaire très fine, peu développée;
- horizon cohérent et très dur en sec, adhérent et plastique en humide;
- lacis racinaire ramifié, aplati sur les faces des cubes;
- activité faunique faible (quelques petites galeries).

Variations latérales

Les passages latéraux de l'horizon **P4** s'observent de part et d'autre du replat central de la toposéquence **ME**. Ces passages se font progressivement (entre les fosses 11 et 59) sur une plus grande distance que dans le cas de l'horizon **P2** sur le versant court et son épaisseur varie d'amont en aval où elle atteint un maximum de 2 mètres, d'où des difficultés pour suivre leurs variations.

En amont (dans la fosse **59**), la phase argileuse rougeâtre apparaît en petit volumes dans la phase blanche en réseau. En profondeur ces volumes deviennent plus gros et plus jaunes et le réseau carbonaté est plus pulvérulent.

En aval (de la fosse **11** à la fosse **7**) et du haut vers la bas, les deux phases s'équilibrent, puis la phase argileuse devient plus dominante et plus développée où la phase carbonatée en amas à noyaux durs se répartie horizontalement (cf.Photo.).

En profondeur la phase argileuse est presque généralisée et ne contient plus que quelques amas et graviers calcaires réparti de façon diffuse.

La couleur de la phase argileuse devient plus **jaune** en profondeur. De même en profondeur, des passées peu épaisses et lenticulaires de **sables** grossiers ont été observées.

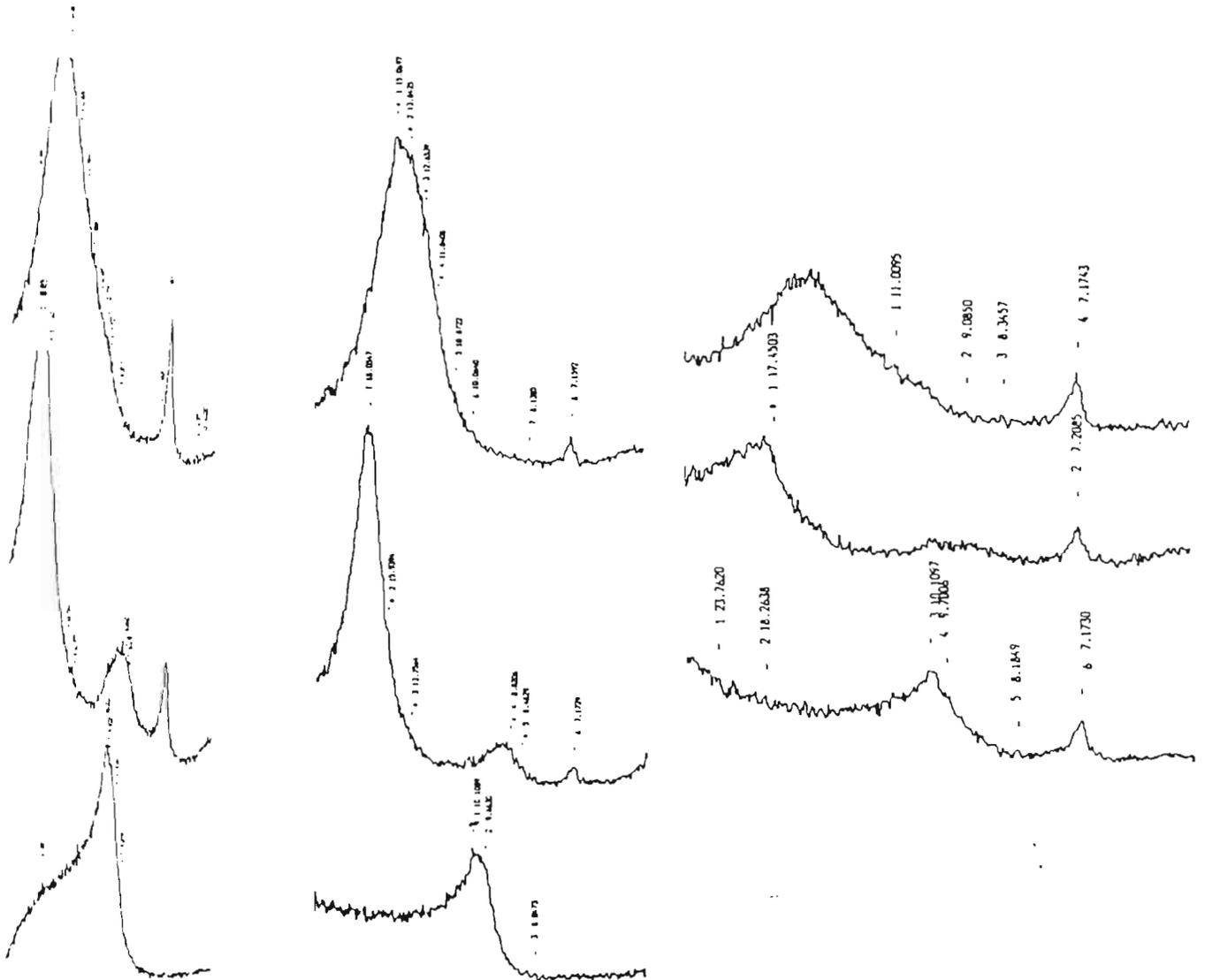
Tableau n° 17 : Données analytique globales de l'horizon **P4**

	Argiles %	Limon %	CaCo3 %	M.O %	Fer T %	Fer L %	pH-eau	
Horizon	Haut	53	28	38	0,6	5,9	2,6	8,2
	Bas	51	31	44	0,4	3,7	1,4	8,4
Phase colorée	59	34	0-1	0,07	6,2	2,8	7,8	
Phase blanche	13	51	97	0,04	-	-	8,5	
Noyau central	-	-	86	-	-	-	8,4	

Minéralogie

La même constitution minéralogique que les horizons profonds **P1** et **P2**, caractérise l'horizon **P4**.

Les diffractogrammes des R.X de la figure montrent que les deux phases en présence dans l'horizon **P4** présentent les mêmes minéraux argileux: des **smectites** dominantes très bien cristallisées dans la phase argileuse. De l'illite et de la kaolinite qui sont en proportion plus élevée dans la phase argileuse rouge que dans les autres phases.



a : Phase argileuse rouge b : Phase blanche pulvérulente c : Phase blanche dure (noyau central)

FIG. 49 : Diffractogrammes des R.X de l'horizon P4

Micromorphologie

Pour la caractérisation microscopique de l'horizon profond **P4**, trois échantillons ont été prélevés dans deux fosses de la toposéquence **ME** : dans la fosse 5 à 200 et 300 cm de profondeur et à 200 cm dans la fosse 7 en aval de la fosse 5.

La lame prélevée à 200 cm dans la fosse 5 présente un plasma brun rouge dominant, asépique, associé à des plages brun-jaune à gris jaune, nettement carcaires, localisées le long des fissures et sur les parois des vides. Il ne semble pas atteint par les réorganisations (revêtement ou cutanes de pression). Ce plasma présente de nombreux globules isotropes sans squelette et de couleur noir et quelques cristaux de calcite éparses.

A 300 cm, **le plasma** paraît différent : plus fortement décarbonaté dans son ensemble, plages brun rouges et brun jaune avec de nombreuses "stress cutanes" et un assemblage masépique. Des amas brun foncé semble attester d'une certaine individualisation du fer.

Le squelette dans les deux lames très varié est constitué de cristaux de quartz de plus en plus nombreux et plus gros de haut en bas. Ils sont irrégulièrement répartis et paraissent groupés localement. Ils sont de formes et taille variables, à contours émoussés. Ils sont associés, dans la lame à 200 cm, à quelques rares débris de quartzite qui disparaissent à 300 cm auxquels peuvent être associés certains glébules calcaires gris bruns, fortement altérés.

Les vides sont représentés par des fissures, probablement de retrait, d'orientation verticale et horizontale à parois lisses, puis de pores alvéolaires et vésicules de 0,6 mm de diamètre.

Les **amas calcaires pulvérulents**, en plages gris blanc, sont constitués, presque exclusivement de cristaux de calcite bien individualisés, de 10 à 50 μ , juxtaposés et poreux. Les limites avec le plasma environnant sont nettes, avec parfois interpénétration de plasma argileux entre les grans de calcite.

Commentaire

L'horizon **P4** est un horizon profond à structure verticale déterminée par la phase argileuse dominante. La phase altéritique, réduite à des amas tendres à noyaux durs présente une polarité verticale.

La décarbonatation de la phase argileuse suppose un drainage efficace. Seule la calcite semble être issue de recristallisation, alors qu'une partie autre partie serait dissoute (pellicule d'arrachement, concentrations de calcite autour des vides, faible taux de carbonate de calcium dans la phase plasmique). D'ailleurs l'activité biologique atteint actuellement cet horizon (eau et racines).

Sa coloration annonce une évolution de type fersiallitique associée en profondeur à une pédogénèse verticale.

La base de cet horizon se différencie par sa couleur plus jaune (ralentissement du drainage), la présence de carbonates dans la phase argileuse et une structure franchement verticale.

L'horizon profond **P4** se localise en situation de cuvette (Replat-cuvette de bordure de plateau, de versant ou de talweg). Il présente une variabilité dans sa morphologie qui se caractérise par la dominance de l'une des deux phases le constituant et par leur organisation (organisation de la phase argileuse en réseau, en utricules ou en chevrons et organisation de la phase blanche en réseau, en amas discontinus ou disposés horizontalement (Planche).

La phase carbonatée est formée d'amas pulvérulents calcaires très blancs (96 % de CaCO_3). Ces amas peuvent être plus ou moins gros, de formes arrondies, allongées, à limites diffuse, et mêmes envahir l'ensemble de l'horizon, particulièrement dans sa partie supérieure et latéralement sur le haut des versants, quand ce type d'horizons peut être observé. Ces passages seront examinés plus loin.

Ces accumulations calcaires en larges amas et matrice rouge ont été décrite en profondeur, sur la terrasse tensiftienne de l'Oues Tensift (région de Marrakech) par R. MOREAU (1981). La phase rouge jouxtant les amas avec une limite nette, n'était pratiquement pas calcaire et ce type "d'encroûtement" n'apparaissait que dans les alluvions fines.

En aval du replat de la toposéquence **ME**, dans les fosses 5 et 7, des îlots de **sables** grossiers rappelant les sables fauves sont observés, ainsi que des matériaux siliceux et quartzitiques de la taille des graviers et des sables fins.

Ceci peut suggérer que l'horizon **P4** serait en partie colluvionné, ce qui indique une allochtonie de cette horizon.

Photo. n°

- Fosse 5. Horizon Profond P4

Organisation horizontale des deux phases : colorée argileuse et décarbonatée et blanche très calcaire à noyau dur.

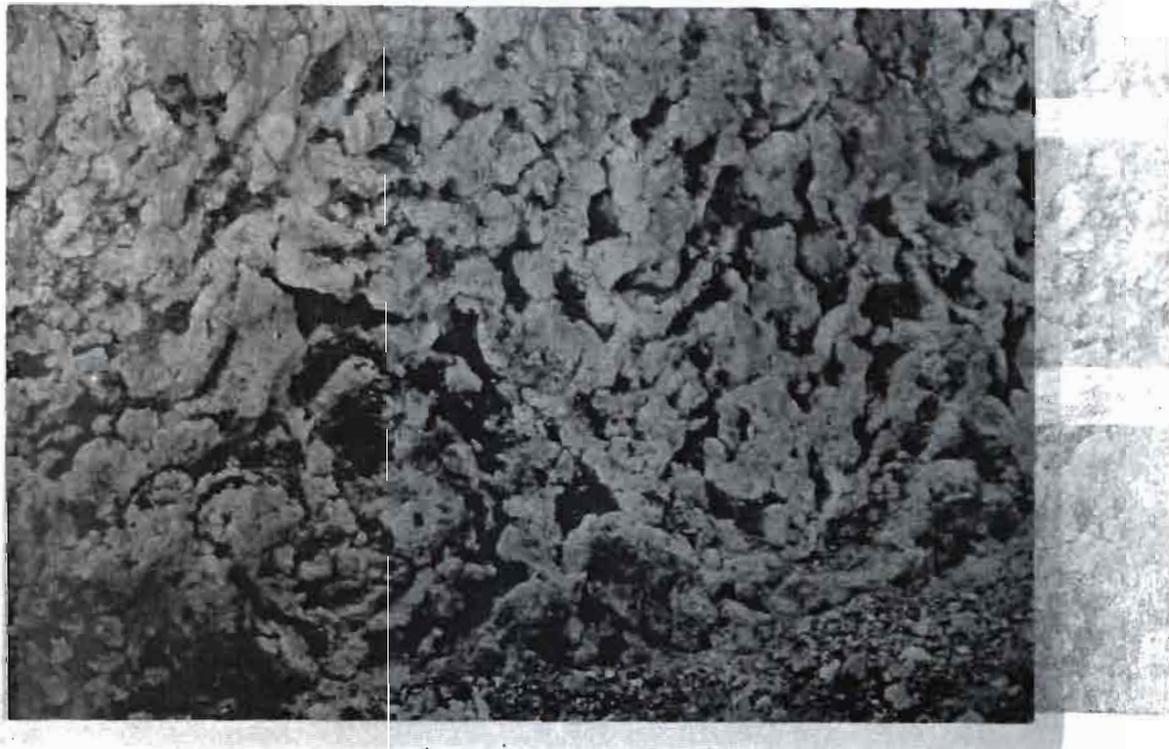


Photo. n°

Coupe AV.: Horizon profond P4
organisation en chevrons des deux phases colorée et blanche

Planche 4



Photo. - Horizon profond P4

Photo.. Aspect morphologique des deux phases: phase rouge à caractère verticale et phase blanche discontinue en amas à noyau induré (en haut à gauche)



Photo. - Horizon profond P4

Les phases rouge et blanche sont à peu près équilibrée en surface et présentent ici un allongement vertical .

Conclusion

Les sols décrits à ce jour sous-climat semi-aride méditerranéen, sont des sols à croûte calcaire, très calcaires ou châtains plus ou moins décarbonatés, mais généralement peu profonds.

L'horizon profond **P4**, très argileux et à amas calcaires pulvérulents et/ou durs, est mis en évidence aussi bien en situation de plateau (sommet d'interfluve), sur les versant et les talwegs qu'en situation basse (bas fond et replat-cuvette). Il est en relation avec des poches ou cuvettes déca à hectométriques et reste humides même en fin de saison sèche. D'où des problèmes de pédogenèse : origine des matériaux, mécanisme de formation, et des problèmes de fonctionnement pédo-hydrique et l'incidence de ce régime particulier sur l'utilisation des sols dont il constitue la partie basale.

Son origine peut être le résultat des *altération des calcaires en place*, comme le justifie les diffractogrammes des RX et les matériaux filtrants qui favorisent la décarbonatation. Mais peut aussi être *issue d'épisode pédogénétiques différentes et plus anciennes*. En effet, il n'est pas possible d'exclure des *apports* (remplissage) par des colluvions argileuses du Quaternaires. La présence d'éléments grossiers exogènes (quartzite et sables) est en faveur de cette hypothèse.

Allochtonie ou résultat d'une dissolution du substrat calcaire suivi d'une décarbonation, cet horizon, comme pour l'horizon **P2**, pose en effet le problème de son origine qui sera traité plus loin.

H O R I Z O N P 5

Horizon profond observé dans six fosses en amont du versant long de la toposéquence **ME** et à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur 85 cm, épaisseur maximale 2,5 mètres;
- non humifère; - très carbonaté (88 % de CaCO₃ en moyenne);
- d'abord sec, puis nettement plus frais en profondeur;
- composé de deux phases principales et de garriers et cailloux calcaires lithorelictuels;
 - . une phase dominante **blanche** (10YR 8/1), nuancée de rose (7,5YR 8/4), calcaire et limoneuse, emballant des graviers calcaires (25 à 40%) puis des cailloux (3 à 6 cm de diamètre) en profondeur;
 - . Une phase **argileuse** non ou peu carbonatée, en petits volumes **bruns** (7,5YR 5/4) au dessus, puis en gros volumes **jaune-rouge** (5YR 6ⁿ à 6/8) à contour net et allongement **vertical** (et de largeur décroissante) vers le bas;
- structure **massive** en humide, à tendance grumeleuse fine en sec peu développée;
- friable en sec, plus dur en profondeur;
- porosité tubulaire fine;
- quelques radicelles, rares en profondeur;
- activité faunique réduite à quelques galeries fines;
- transition progressive aux calcaires lacustres.

Varlations latérales

La phase argileuse se développe d'abord en petits volumes **bruns** puis en gros volumes **brun-rouges** allongés verticalement de plus en plus importants en profondeur.

La phase **blanche** massive et friable en haut, devient de plus en plus dure et hétérogène avec l'apparition de la phase argileuse brune à **jaune-rouge** en petites mouchetures et traînées verticales.

Les éléments carbonatés lithorelictuels diminuent d'amont en aval au profit de la phase blanche et de la phase colorée. Ils restent néanmoins présents sous forme de cailloux à **cortex tendre** pulvérulent.

Tableau n° 18 : Données analytiques globales de l'horizon **P5**

Echantillon global

	Argiles %	Limons %	CaCO 3 %	M.O %	pH-Eau	Fer T %	Fer L %
Amont	28	56	67	0,3	7,6	3,4	1,8
Aval	32	48	85	0,4	7,6	6,8	2,9

Phase argileuse

61	33	0,8	1	7,2	7,6	3,2
-----------	-----------	------------	----------	------------	------------	------------

Phase blanche

13	65	93	0,03	8,1	-	-
-----------	-----------	-----------	-------------	------------	----------	----------

Commentaire

Les résultats analytiques du tableau 18 montre que le taux de fer libre augmente dans la phase argileuse corrélativement aux argiles. Ce qui peut indiquer un degré d'évolution pédogénétique plus avancé et ponctuelle.

Minéralogie

Un échantillon de la phase argileuse colorée a été prélevé dans la fosse 13 de la toposéquence **ME** pour l'analyse minéralogique aux R.X.

La figure 50 montre une constitution des résidus de décarbonatation dominée principalement par des **smectites** très bien cristallisées et qui gonflent bien au glycérole. On note aussi, sous forme de traces, de l'illite et de la kaolinite.

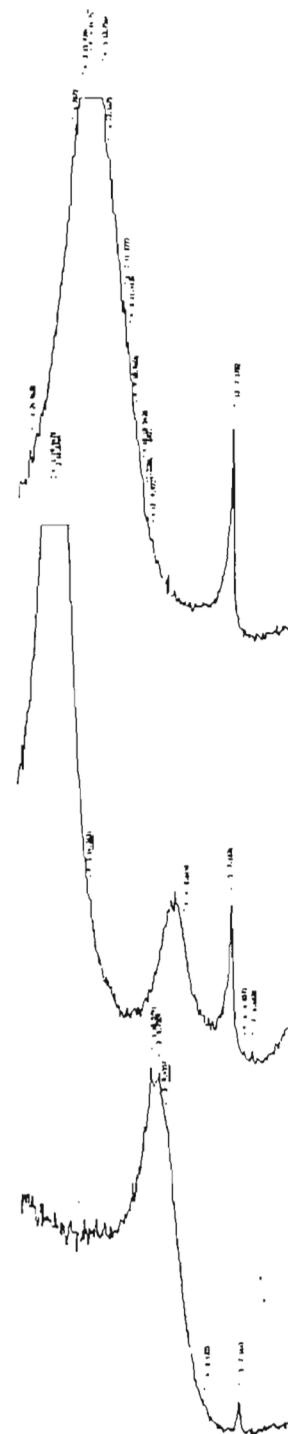


FIG. 50: Diffractogramme des RX de la phase argileuse de l'horizon P5

Micromorphologie

A l'échelle microscopique, l'horizon profond **P5**, décrit sur la lame de l'échantillon prélevé dans la fosse **13** à 200 cm, est marqué par la dominance d'un fond matriciel essentiellement constitué de **micrite** de couleur **grise** et une individualisation discrète de plages millimétriques plus colorées. Ces plages sont de couleur variant du **jaune-clair**, au contact de la masse micritique, au **brun-jaune**. Par endroits, elles se différencient véritablement, les contacts deviennent plus nets et sont plus contrastés. Le plasma les constituant apparaît hétérogène avec des zébrures noires, probablement ferrugineuses. Ces plages de formes irrégulières, aux contours souvent diffus au contact de la masse micritique, peuvent englober (quand leur volume est important) des reliques micritiques **gris-foncé** à limite distincte.

Le squelette très peu abondant est composé principalement de cristaux de **quartz**, de quelques microns de diamètre, qui apparaissent fortement altérés.

La masse micritique présente une porosité importante avec des fissures aux bords parfaitement ajustables (retrait) puis des galeries et des chenaux.

Commentaire

L'horizon **P5** associe des restes de la roche calcaire, qui se transforment en amas friables, formant un **réseau**, et des argiles résiduelles presque décarbonatées, colorées en **rouge** par les oxydes de fer libérés.

Cet horizon est discrètement affecté par la dynamique actuelle (eau et racines)

Sa partie inférieure se différencie par de nouveaux caractères de couleur, par des variations progressives des phases la composant, ainsi que par la taille et la netteté des volumes constituant la phase argileuse. Cet horizon présente ainsi une **polarité** verticale nette.

CONCLUSION SUR LE HORIZONS PROFONDS

Tableau n°19 : Récapitulation des principaux caractères des horizons P présentés séparément par phases et par des mesures globales

Horizon	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
Profondeur	50	100	85	150	100
Epaisseur	200	85	120	250	225

Phase colorée

Couleur	5 YR 5/6	2,5YR 6/2 2,5YR 5/4	7,5YR 5/4 5 YR 6/7	5 YR 4/4	2,5YR 4/4 10YR 5/6
CACO3 %	0	0	0	0	0
Argiles %				48	52
Limons %	65		50	35	30

Phase blanche

%dansHz	90	90	80	80 20	30
CACO3 %	10	90	80	90	100
Forme	Réseau	Réseau	Réseau	Rés Amas	Rés Amas
Consistanc	Pulvérulent	Pulvérulent	Pulvérulent	Pulvérulent	Pulvérulent
Cailloux %	30	60 puis 80	30	20 puis 10	10
Cortex	non	oui	non oui	non	non

Autres phases

Nombre	2	0	3	2	0
Ds phase colorée	10 YR 6/2		5 YR 5/6 2,5YR 6/2	5 YR 6/6 10YR 6/2	
Ds phase blanche	10YR 6/2 5 YR 5/6		7,5YR 8/4		

Horizon global

Structure	Massive	Massive	Massive	Massive Polyédrique	Massive Polyédrique
Humidité S	H	H	S	H	H
Humidité H	H	H-H	F	H-H	H-H
Bio-activité	++ 0	0	+	++ ++	++ ++
Polarité	V (bio-activité)	V (% argiles)	V (%cailloux)	v (Amas)	v (argiles)

Encaissant

Au dessus	M 1	M 2	P 1 - M 2	M 3	M 2-M 8-M 9
Audessous	F. I	F. I	Calc. Lacust	Calc. Lacust	F. I
Amont	M 1	P 4 - M 2	P 1	P 1	P 5 - M 9
Aval	P 2	Laplez	P 4	Laplez	P 3

Commentaire

Le tableau 19 résume les principales caractéristiques morphologiques et analyses des horizons profonds de **P1** à **P5**.

Tous ces horizons débutent vers **1** mètre de profondeur.

Leur épaisseur est variable de **1** à **2** mètres, le maximum est atteint en amont du versant long (**P5**) et au niveau du replat (**P4**) de la toposéquence **ME**.

Ils se composent de deux phases principales, l'une **blanche** et l'autre **colorée**, et de morceaux de roche dure à cortex plus ou moins tendre.

Les fragments de roche durs décroissent en taille et abondance au profit de leur cortex tendre dans l'ordre **P1, P5, P3, P2, P4**. Ce cortex provient de l'altération météorique des blocs de la formation de calcaires lacustres sous-jacents (altération centripète, Cf. Chap.78).

L'altération de la roche passe par la formation d'un cortex plus ou moins épais et relativement tendre autour des blocs. Une altération pelliculaire directe des cailloux est rarement observée (sauf en **P3** où elle est associée à une altération progressive). L'architecture de la roche-mère (structure en bancs) qui était conservée grosso-modo dans l'isaltérite¹ sous-jacente (**Facès I**) fait place à une polarité verticale de plus en plus accusée, résultant pro-parté de l'intervention, de processus de bio-pédo-turbation: le terme allotérite² rend imparfaitement compte de ces caractères mixtes, à la fois lithorelictuels et pédogénétiques. Par contre les horizons **P1, P3** et **P5** gardent des caractères isaltéritiques

¹ Variante d'une ALLOTÉRITE où la structure de la roche est conservée de façon permanente.

² Variante d'une ALLOTÉRITE où la structure de la roche est dentique et ne présente pas de phénomène de pédoturbation.

La phase blanche est limoneuse, tendre à pulvérulente. Elle dérive du cortex des morceaux de calcaire. Elle décroît en abondance dans l'ordre indiqué précédemment. Son taux de carbonate aussi.

Elle présente une polarité verticale croissant dans le même ordre. Son expression morphologique évolue d'amont en aval des nodules et amas friables aux gros amas pulvérulents à noyau central dur et aux chandelles. C'est le résultat d'une réorganisation croissante par la pédogénèse qui dissout les carbonates et redistribue le résidu.

La phase colorée est de plus en plus argileuse et de structure de plus en plus fragmentaire (de massive à prismatico-cubique, puis cubique), toujours dans l'ordre précédent. Elle croît également en abondance.

Elle est de plus en plus décarbonatée, dans cet ordre et de bas en haut des horizons. Elle présente également une polarité verticale croissante qui concerne d'abord la couleur puis la richesse en argile ainsi que la structure verticale qui lui est associée. La couleur rouge s'assombrit (de 5YR 5/6 à 2,5YR 3/4).

La dynamique actuelle de l'eau et l'activité biologique affectent tous ces horizons, mais avec une intensité très variable: l'horizon profond **P4** à caractères vertiques garde une humidité importante en saison sèche.

L'activité biologique (racines et faune) est relativement importante en **P2** et **P4**. En **P1**, **P3** et **P5** elle disparaît à la base de ces horizons. C'est encore grosso-modo l'ordre d'évolution croissant.

Les relations avec la topographie sont les suivantes: les horizons profonds les plus évolués, **P2** et **P4** sont en situation basse et encadrés par des horizons plus ou moins transformés. Cette position dans le modelé est favorable à une concentration des eaux infiltrées, facilitée par l'effet impluvium induit par l'horizon médian **M1** à croûte, et donc une évolution plus poussée, si tant est que les produits dissous peuvent être évacués en profondeur ou latéralement. Mais ces différents degrés d'évolution peuvent aussi être en rapport avec un changement de composition de la roche-mère (banc de calcaire plus argileux évoluant plus rapidement). Ils peuvent être aussi en rapport avec des apports alluvio-colluviaux aujourd'hui transformés en grande partie par la pédogénèse.

RELATIONS ET ARTICULATION DE L'ENSEMBLE PROFOND AVEC LES AUTRES ENSEMBLES D'HORIZONS

Etablir les relations aussi bien latérales que verticales (supérieures et inférieures) de ces horizons profonds paraît très important pour comprendre non seulement leur origine, mais aussi leur rôle dans le fonctionnement de la couverture pédologique formée sur calcaires lacustres.

1 Domaines du plateau

Les toposéquences **AV** (plateau-aviation) et **MV** (plateau de l'ENA), illustrées sur les figures, présentent également des horizons profonds bien marqués. Mais dans ce domaine les poches sont décamétriques à pluri-décamétriques et les horizons profonds (**P4**) à réseau fortement calcaires dominant largement (planche n°).

*** Relations latérales et verticales**

Les toposéquences **AV** et **MV** permettent de mettre en évidence des relations entre ces horizons profonds, le plus souvent à réseau très calcaires, avec les ensembles d'horizons voisins.

Les limites inférieures de cet ensemble avec les horizons d'altération sous-jacent paraissent brutales comme nous l'avons constaté à propos du domaine des versant et talwegs que nous verront plus loin.

Les limites supérieures sont ici progressives, en glosses brun-beige relayées par des fissures verticales remplies d'une argile rougeâtre.

Sur la toposéquence **AV**, en **AV8** ou sur **MV**, en **MV21** et **MV22**, l'ensemble profond, ici à réseau carbonaté et poches d'argile rouge décarbonatée, apparaît un horizon médian (**M2**) plus calcaire que ceux qui l'encadrent, avec des volumes brun-jaune à brun-rougeâtre encore très calcaires et à polarité verticale ou avec des glosses à leur partie supérieure.

L'examen microscopique de ce type de limite a été fait sur le profil **MV21** de la toposéquence **MV** du plateau de l'ENA

En **MV1** (150-160 cm), l'horizon de transition à glosses brun-beige présente en microscopie optique une phase brun-beige diffuse et quelques rares plages brun-foncé, à limites nettes qui semblent être décarbonatées.

Cette phase passe progressivement à une phase **grise** clair très calcaire, à limites difuses. Certains nodules calcaires de ces plages ont des limites nettes. Les vides abondants ne sont pas obstrués par des carbonates secondaires, sauf par la présence par points de cristaux aciculaires (probablement de la Lublinites).

En **MV22** (200-210 cm) dans la partie supérieure de l'ensemble profond, nous observons de grandes plages grises de cristaux de **calcite micritique** avec peu de vides. En bordures de ces plages apparaît un brunissement plus ou moins prononcé de zones sans limites nettes, pouvant passer à des plages brun-rouge foncé. La décarbonatation semble plus poussée dans ces dernières où les silicates ont subi des contraintes de pression (stress cutanés biréfringents). Dans les plages brun-rouge les grains de quartz semblent plus **abondants** que dans les plages grises.

Conclusion

En conclusion de cet examen rapide, il apparaît que les figures observées sur ces deux lames sont en parfaite **continuité** (filiation), mais le fait curieux c'est que nous constatons un gradient décroissant des carbonates du haut vers le bas, du moins dans les plages brunes. Ce qui peut suggérer une libération d'alumino-silicates et du fer aux approches des calcaires lacustres sous-jacent.

La remarque de grains de quartz plus important dans les plages brun-rouge que les plages grise peut signifier qu'il a accumulation de calcaire par épigénie se substituant au quartz (dans les phases grises) : donc préexistence d'un matériau rouge où se développe l'accumulation calcaire.

2 Domaine des versant et talwegs

Sur la toposéquence **ME**, les horizons profonds apparaissent en profondeur sur la pentes et se développent en larges cuvettes hectométriques en bas de pente (400 m sur le versant Ouest, 150 m sur le versant Est).

Les cinq types d'horizons profonds défini peuvent être observés dans ce domaine.

Relations latérales

*** Sur le versant Est (fig.)**

A l'amont, de la fosse 32 à la fosse 34, l'horizon P1 à petits volumes d'argile grise et jaune-rouge dans un réseau de calcaire pulvérulents, s'approfondie en aval (fosse 80). Le réseau reste encore calcaire, mais les volumes argileux gris diminuent au profit de volumes brun-jaune et brun-rouge (P2). Plus en profondeur et en aval (fosse 31), les volumes deviennent plus jaunes avec quelques débris de calcaires durs annonçant les calcaires lacustres. Plus en aval le réseau est brun-rouge calcaire avec des amas calcaires puis plus décarbonaté .

Enfin, en bas de pente (fosse 81 à 73), le réseau devient plus argileux, encore calcaire et brun-rouge avec des amas calcaires. Il apparaît de moins en moins profond et vient se confondre avec les horizons médians M4 et M5.

Conclusion

En amont l'ensemble profond à phase argileuse colorée s'approfondit et semble former une cuvette avec jaunissement de la phase colorée. En bas de pente le réseau devient plus argileux et brun-rouge de moins en moins calcaire, avec des amas pulvérulents.

Un passage progressif avec les horizons médians se fait parallèlement au passage des horizons de surface calcaires avec la mêmes horizons médians.

***Sur le versant Ouest**

Les passages latéraux de l'ensemble profond s'observent de part et d'autre du replat-cuvette de la toposéquence ME. Ces passages se font progressivement sur de plus grandes distances que sur le versant Est plus court et l'épaisseur de l'ensemble profond varie de 2 à plus de 4 m, d'où des difficultés pour les suivre précisément. Ils ont cependant pu être reconnus.

En amont, au-delà de 1,5 m l'apparition de poches d'argile brun rougeâtre, non calcaire à polarité verticale, puis de volumes d'argile brun-jaune décarbonatés jusqu'à 2,5 m. Plus en profondeur ces volumes

deviennent plus rares dans un réseau très calcaire et à débris de calcaires altérés.

Plus en aval, de petits volumes **rougeâtres** apparaissent à 2,5 m, sont relayés par des volumes **jaunes** à 3,5 m dans le même réseau de calcaires pulvérulent.

Sur le replat-cuvette, cet ensemble (**P5**) est relayé par un autre ensemble (**P4**). Ce dernier se développe au-delà de 2 m et sur plusieurs mètres d'épaisseur avec le développement de la phase argileuse colorée qui devient plus rouge et en réseau au profit du réseau calcaire de l'horizon **P4**.

Relations latérales

Les limites de l'ensemble profond avec l'ensemble d'altération sont souvent difficiles à préciser et surtout à atteindre. Chaque fois que les sondages ont pu atteindre soit les calcaires lacustres, soit les débris d'altération de ces calcaires, la transition a paru relativement nette et brutale.

Par contre les limites supérieures de cet ensemble avec l'ensemble médian très calcaire paraissent progressives, en glosses brun-beige relayées par des fissures verticales remplies d'une argile rougeâtre.

En **ME 3**, les glosses d'argile plus ou moins décarbonatées, communiquent vers 250 cm avec les poches d'argile brun rouge de l'ensemble profond. Notons l'existence d'un lit de cailloux et graviers roulés au dessus de 120 cm et de petites morceaux de altérés de roche calcaire.

Au niveau de la grande poche argileuse entre les fosse **ME 9** et **ME 11**, les horizons vertiques totalement décarbonatés, peuvent atteindre plus de 2 m. Au delà, comme en **ME 9**, c'est un horizons argileux brun rougeâtre, calcaire dans sa masse, qui fait transition avec l'ensemble profond.



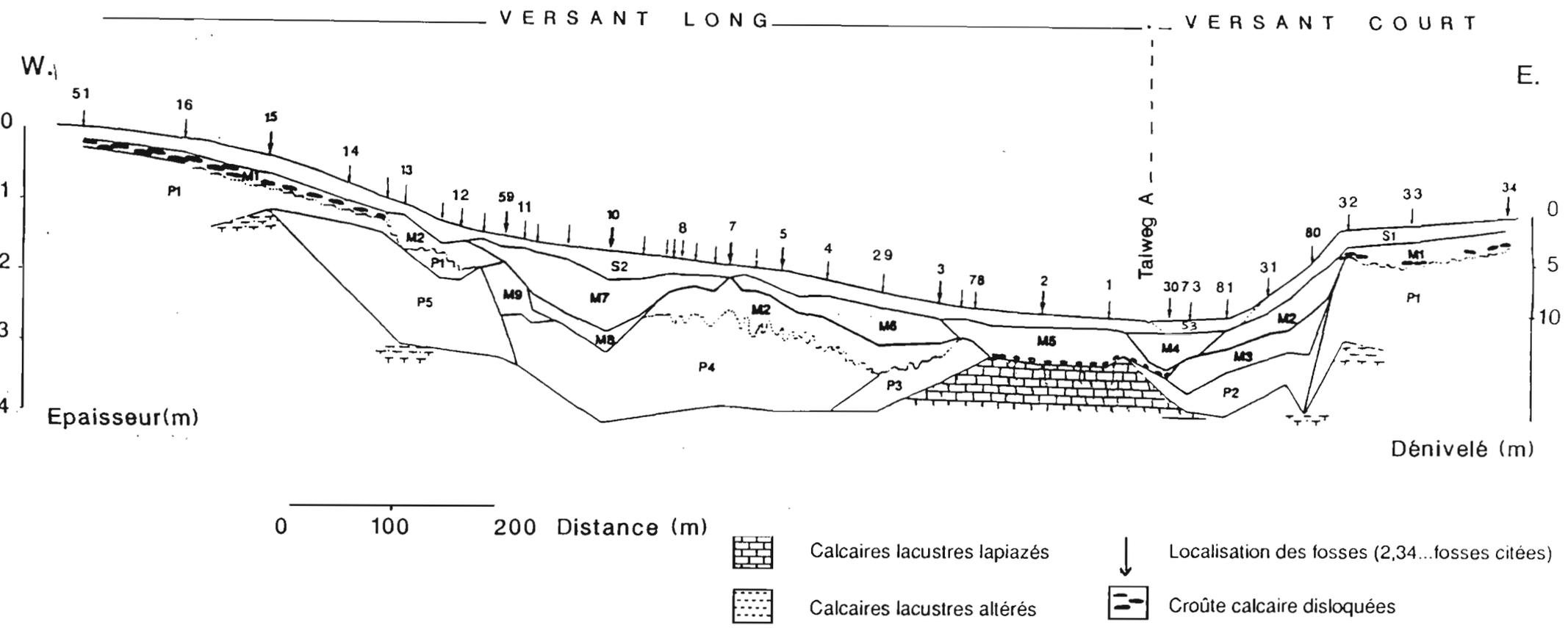


FIG.51- TOPOSEQUENCE ME : localisation des horizons médians M

L'ENSEMBLE D'HORIZONS MEDIANS

INTRODUCTION

Situé entre les horizons profonds **P** et les horizons supérieurs **S**, les horizons médians **M** ont à la fois des phases indurées ou des caractères lithorelictuels, hérités des matériaux originels, et des phases pédoplasquées résultant de la bio-pédo-turbation des constituants ou des organisations hérités. Mais c'est aussi le cas des horizons **P** et **S**.

Ce qui caractérise alors les horizons médians **M**, c'est la dominance des constituants et organisations de facture pédologique et permettant de rattacher les sols qui les contiennent à une pédogenèse connue, ou des processus identifiables: calcimorphie, fersiallisation, vertisolisation, etc. On prête alors une attention particulière aux critères morphologiques qui définissent ces processus ou ces pédogenèses.

On a distingué neuf horizons médians (de **M1** à **M9**) sur la toposéquence de référence **ME**. Ils présentent chacun les deux phases décrites dans les horizons profonds (**P**), à savoir la phase blanche carbonatée sous différentes expressions morphologiques (formes, volumes et consistance variées) et la phase argileuse colorée qui peut être exclusive ou dominante et plus ou moins décarbonatée (en fonction de la situation de l'horizon dans le profil et dans le paysage).

Cet ensemble d'horizons médians occupe une grande extension spatiale et donne la caractéristique spécifique des grands groupes de sols identifiés jusqu'alors dans la couverture pédologique du plateau de Meknès. (sols Calcimagnésiques, rendzines et bruns calcaires, sols fersiallitiques bruns et rouges, sols "isohumiques" bruns, châtaîns et marrons et les vertisols).

Ces horizons sont fréquemment le siège d'accumulations et d'individualisation de carbonates de calcium sous différentes formes.

La principale difficulté lors de la description de ces horizons est de distinguer, dans la phase blanche carbonatée, les noyaux lithorelictuels de roche calcaire et les nodules de carbonates secondaires.

Tous deux sont en effet étroitement associés aux amas carbonatés friables qui les emballent et leurs cristaux présentent à la loupe des formes, tailles et arrangement semblables : on verra dans l'étude micromorphologique des contacts que cette similitude existe aussi au niveau des cristallites.

Par contre d'autres volumes indurés sont attribués sans difficultés à des carbonatations secondaires du fait de leur forme en croûte, en tubules ou en concrétions. Les termes de cailloux, graviers, granules (calcaires) employés dans les descriptions font beaucoup plus allusion à la taille et à la forme de ces constituants qu'à leur origine.

H O R I Z O N M 1

Horizon observé dans trois fosses sur la toposéquence **M E**, à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **30** cm, épaisseur maximale **60** cm;
- **un peu humifère**;
- **très carbonatée** (80 % à la base, 60 à 50 % au dessus);
- ressuyage et séchage rapides;
- composé de **deux phases** pédologiques, dont l'une englobe une phase lithrelictuelles (graviers et cailloux calcaires); .
 une phase dominante, rouge-jaune (5 YR 5/6 en humide), argilo-limoneuse à limono-argileuse, de structure polyédrique subangulaire fine très nette en sec, massive à grumeleuse fine en humide;
- l'autre phase est **blanche, carbonatée** est assez régulièrement répartie en volumes de différentes formes: **graviers et granules calcaires** (1 à 1,5 cm de diamètre indurés, irréguliers et émoussés);
- porosité inter-agrégats importante en saison sèche, tubulaire fine et moyenne très bien développée en toutes saisons,
- **racines fines et moyennes abondantes** et bien réparties; -
- activité faunique abondante** (coprolithes et déjections);
- transition basale avec l'horizon sous-jacent (P1) distincte, irrégulière.

Varlation latérales et transitions

On observe à la base de l'horizon **M1** (transition avec l'horizon **P1**) une **croûte lamellaire** (3 à 6 cm d'épaisseur), **fragmentée et discontinue**, parfois **redressée**, à **pellicules rubanée fine**.

L'horizon **M1** pénètre dans l'horizon profond **P1** sous forme de **glosses** par les discontinuités de la croûte. Il s'amincit en rebord de versant où il se réduit et devient dominé par la croûte, avant d'être relayé par l'horizon **M2** .

Tableau n° 20: Données analytiques globales de l'horizon **M1**

	Argiles %	Limons %	CaCo3 %	M.O %	pH-Eau	C.E.C méq/100g
Haut	32,5	41,2	53	0,9	7,6	24
Bas	31,8	46,4	87	0,8	7,6	26

Commentaire

Le tableau 20 amène le commentaire suivant : l'horizon **M1** paraît homogène sauf pour les carbonates de calcium où on remarque une teneur plus importante (presque le double) aux approches de l'horizon **P1**

Micromorphologie

L'horizon **M1** est décrit sur la lame mince prélevée dans la fosse **34** à 50 cm de profondeur.

La **matrice** fine, d'assemblage argilasépique, est de couleur brun-rouge-foncé à brun-rouge imprégnée de calcites rubéfiées en petits cristaux jaunes intimement liée et irrégulièrement répartis, contenant de très fins cristaux de quartz et de minces veines de calcites. Par endroits elle est de couleur plus claire, brun-jaune, contenant de petits volumes sombres à noirs, nodulaires. Des plages de microsparites et de macrocristaux de sparites isolés ou remplissant les vides sont visibles. La masse micritique montre par endroits un début de nodulation de forme sphérique se détachant de la masse par des fissures courbes. Elle montre aussi des reliques de croûtes altérées (4x1,2mm) dispersés. Ce sont probablement des restes de l'altération par dissolution de la croûte.

Le **squelette** est monominérale constitué par des cristaux de quartz de 0,3 à 1,2 mm de diamètre. Ils sont irrégulièrement répartis dans la masse.

Les **vides** sont formés de fines fissures verticales d'un dixième de mm vides ou à remplissage de microsparites et/ou de sparites à développement centripète.

L'organisation est **porphyrosquellique**.

Minéralogie

Pour l'analyse minéralogique de l'horizon **M1**, deux échantillons ont été prélevés dans la fosse **15** de la toposéquence **ME** respectivement à 30 et 50 cm de profondeur.

La figure 52 présente les diffractogrammes obtenus aux RX qui montrent des pics de **smectites**, d'**illite** et de **kaolinite** très peu différenciés, surtout pour l'échantillon proche de la surface.

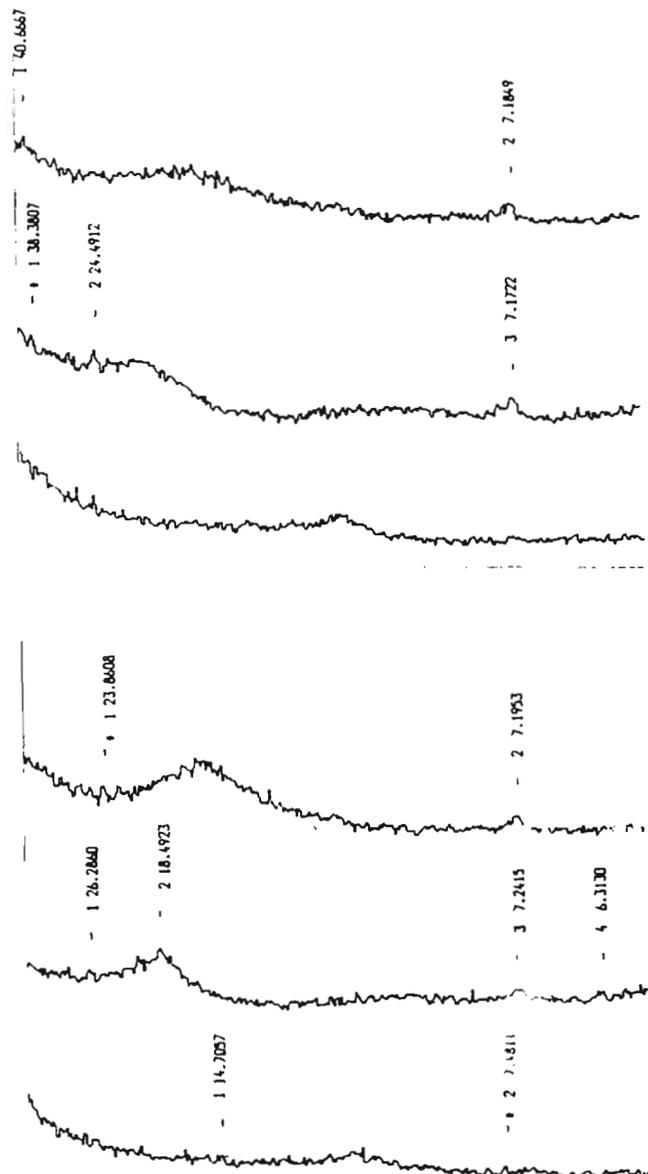


Fig. 52 : Diffractogrammes des RX de l'horizon médian M1

Commentaire

L'Horizon **M1** a une texture limono-argileux , il est très calcaire et peu humifère.

Ce mince horizon **M1** apparait sur le plateau, au dessus de l'horizon **P1** dont il se distingue par un moindre développement de la phase blanche carbonatée à graviers calcaires au profit de la phase argileuse colorée et par une activité biologique nettement plus forte.

C'est un horizon à structure pédologique affirmée, comportant toutefois une phase lithorelictuelle (graviers et granules calcaires). La décarbonatation y est plus marquée qu'en **P1**. Cependant il comporte à sa base une croûte calcaire qui pourrait résulter d'une reprecipitation des carbonbates dissous.

Plus superficiel que **P1**, il se dessèche plus vite. La pénétration en glosses de l'horizon **M1** dans l'horizon **P1** sous-jacent, par des discontinuité de cette croûte, évoque un phénomène de digitation de l'écoulement dans lequel la croûte joue le rôle de couche de porosité plus fine: *une alimentation en eau directe des horizons profonds du plateau est possible.*

La minéralogie de cet horizon médian est mal caractérisée.

H O R I Z O N M 2

Horizon observé dans douze fosses, sur la toposéquence **ME**, à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **35** cm, épaisseur maximale **125** cm;
- Peu humifère: 0,6 à 0,3 %, 1,3 % localement;
- notablement carbonaté (45 à 65 %);
- séchage et ressuyage rapide après une pluie;
- composé de **deux phases** pédologiques, l'une **argileuse et colorée**, l'autre blanche et carbonatée, en proportion très inégale: La phase dominante est de couleur variable **rouge-jaune** (5 YR 5/6 à 6/8), **argileuse** à argilo-limoneuse, de structure et surstructure bien affirmée en sec: **polyédrique** plus ou moins fines et subangulaires, massive à grumeleuse à l'état humide.
- La phase **blanche carbonatée** est organisée autour des garviers et granules calcaires en prondeur (phase lithorelictuelle des calcai res lacustres);
- porosité intra-agrégats **tubulaire** fine et moyenne très nette,
- porosité planaire inter-agrégats;
- nombreuses radicelles fines et moyenne bien réparties; diminuant en profondeur;
- activité faunique importante (galeries, déjections et coprolithes);
- transition basale distincte et irrégulière en **glosses** plus ou moins profondes.

Variations latérales et transitions

Cet horizon apparait en trois endroits: en haut et au centre du versant long et sur tout le versant court de la toposéquence **ME** (Fig.):

- de haut en bas du versant court, la teinte d'ensemble est d'abord plus **brune** (10 YR 5/4), puis plus **jaune** (10 YR 5/6), puis **rouge** (5 YR 5/4) en aval (où la phase **blanche** à graviers et granules augmente jusqu'à 40%),
- au centre du versant long, en profondeur, la teinte de cet horizon s'éclaircit d'amont en aval jusqu'à brun vif (7,5 YR 5/8).

La phase blanche carbonatée est plus développée: elle est formée d'amas friables à contour régulier voisinant avec de gros amas à noyaux central porcelané, à limite diffuse et à contour régulier, l'ensemble de ces volumes présentant *un allongement vertical*. Les graviers et nodules calcaires y sont plus gros (2 à 3 cm de diamètre), mais moins nombreux.

Sa transition basale avec les horizons sous-jacents pénètre en *glosses* parfois profondes formant une digitation prononcée caractéristique et générale surtout au contact de l'horizons profond **P4**. Là aussi, comme en **M1**, une alimentation en eau des horizons profonds est possible.

Tableau n° 21 : Données analytiques globales de l'horizon **M2**

		A	L	CaCO	M.O	pH	FeT	FeL	L/T	T	S
		%	%	3%	%	Eau	%	%	%	még	még
Horz	Haut	34	50	57	0,6	7,6	6,4	2,8	0,4	36	35
	Bas	32	36	53	0,4	7,6	2,0	0,5	0,3	32	31
Seq.	Amt.	56	28	65	1,3	7,4	5,3	2,4	0,4	34	35
	Aval	43	26	45	0,7	7,7	3,1	0,8	0,3	37	37

Micromorphologie

L'analyse microscopique à été réalisée sur deux lames minces préparées à partir de deux échantillons prélevés dans la fosse 7 à 40 et 80 cm de profondeur sur la toposéquence **ME**.

- **Le plasma** dominant est **rouge-jaune à brun-rouge** avec localement des séparations plasmiques à limites diffuses brun-rouge foncé. Son organisation est **argilasépique** à localement silasépique.

- **Le squelette** est monominérale, constitué principalement de cristaux de **quartz** équirépartis dans la plasma. Leurs tailles est comprise entre 60 μ et 1,2 mm. Les plus répandus ont un diamètre de 0,1 à 0,3 mm. En profondeur (80 cm) la taille des quartz diminuent (25 μ à 0,5 mm). Leur forme est irrégulière, anguleuse à contour émoussée. Les cristaux les plus gros sont plus arrondis.

- L'assemblage est **porphyrosquellique** avec une proportion importante de **vide** de forme et dimensions variables. Principalement des vides d'entassement polyconcaves et des cavités et galeries de forme irrégulière de quelques microns de diamètre, associées à un réseau de **fissures** sinueuses horizontales puis verticales à 80 cm de profondeur, interconnectées et prolongées parfois par des enflements de 0,3 mm de diamètre. Certains pores peuvent avoir leurs parois tapissées par de la calcite microsparitique, blanche à gris-blanc avec quelques cristaux de calcite aciculaire flottante. La calcite microsparitique peut obturer toute une microfissure .

- Les traits pédologiques:

Des séparations plasmiques brun-jaune à jaune-rouge, en cutanes minces sont observées sur les parois d'une fissure verticale.

Les nodules observés sont constitués de **calcite** blanche à ponctuations jaunes et grises. Ils sont de deux types:

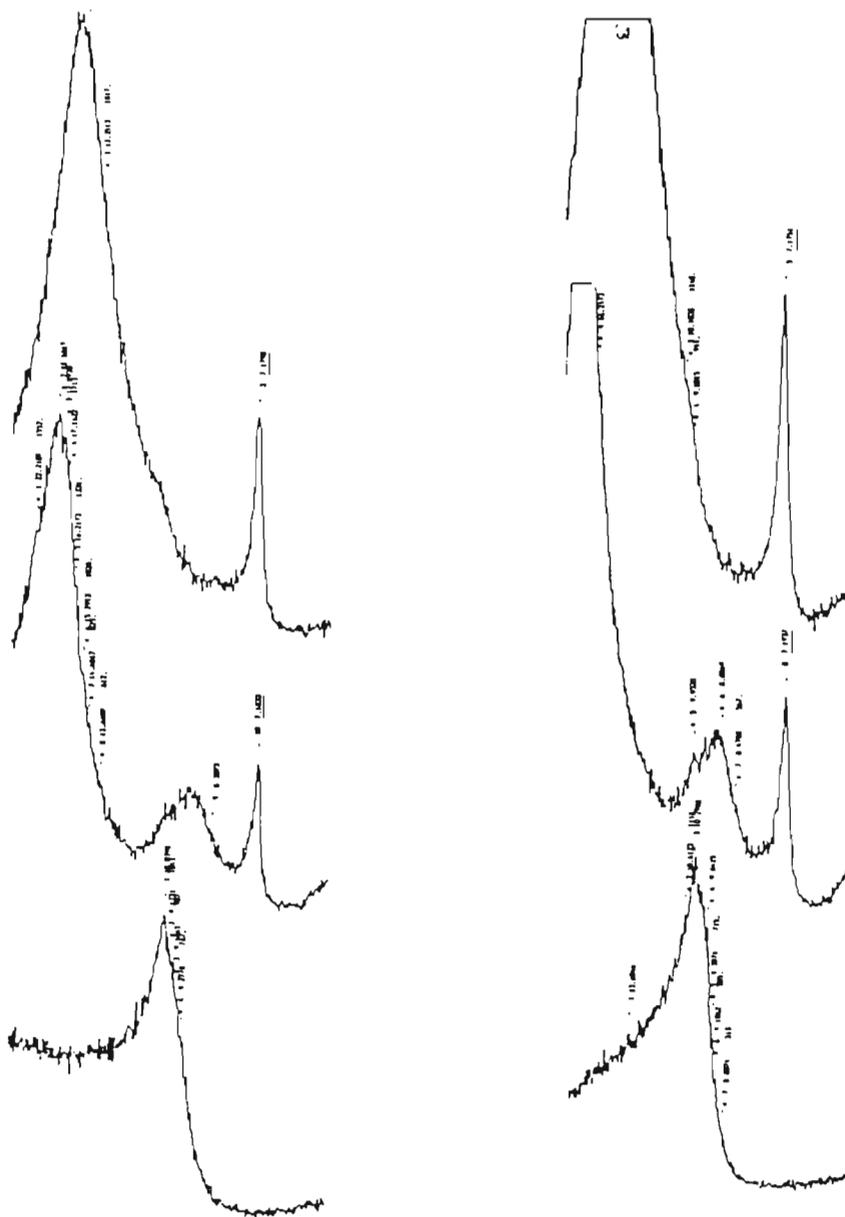
* des nodules de forme subarrondie (75x105u) ou légèrement *allongés* (0,7x1u) verticalement, de couleur grise à gris-clair, constitués par de la calcite micritique montrant un assemblage rappelant celui des calcaires lacustres. Ce sont des nodules lithorelictuels. Ils ont une limite nette avec le plasma dont ils se séparent par une fissure courbe discontinue.

Plus ces nodules sont petits, plus leurs limites sont diffuse et sont envahies par le plasma. Ils se présentent parfois en géode avec une ou deux cavités (6 à 101 u de diamètre) remplies de **microsparites**.

* des nodules constitués par un assemblage de **micrites grises**, de **microsparites** et de **sparites blanches** à ponctuations jaunes. A partir du centre du nodule on observe un développement de la cristallinité de la calcite qui passe de la micrite grise, à la microsparite et à la sparite (Fig.56). Ces nodules sont bien individualisés dans le plasma, de forme arrondie à légèrement *allongée* et de taille comprise entre 0,1 et 0,8 mm.

MINERALOGIE

Les diffractogrammes de la figure 53 présentent les pics des R.X obtenus sur deux échantillons de la fosse **M8** sur la toposéquence **ME** à 70/80 cm et 80/150 cm. Les pics de **smectites** bien cristallisées sont dominants par rapport à ceux de l'illite et de la kaolinite, qui cependant montre un développement plus important par rapport aux autres échantillons observés sur les horizons profonds et altérites.



a) 70/80 cm

b) 80/150 cm

**FIG. 53 : Diffractogrammes des R.X de l'horizon M2
(fosse 8 de la toposéquence ME)**

Commentaire

Cet horizon présente les mêmes phases (**blanche** carbonatée et **rouge** argileuse) que les horizons **P**, mais avec **une dominance nette de la phase colorée**.

Il se distingue de l'horizon **M1** par une épaisseur plus grande et une couleur moins homogène. La croûte lamellaire de la base de l'horizon **M1** (interprétée comme une zone de précipitation) est également absente, mais on y observe des nodules calcaires et une pénétration en *glosses* dans l'horizon **P4** sous-jacent.

Il se distingue aussi par sa structure plus large et à polarité verticale (phase blanche carbonatée en position de mi-versant long). Cette polarité est sus-jacente à la structure prismatique fine de l'horizon **P4**.

Les bariolages décrits dans les horizons profonds (**P**) se réduisent à quelques plages plus jaunes (6/8) et à des gradients latéraux, témoignant d'une répartition du fer plus homogène.

H O R I Z O N M 3

Horizon observé dans trois fosses en bas du versant court de la toposéquence **ME** et à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **150** cm, épaisseur maximale **120** cm;
- non humifère; - carbonaté (55 à 70 % de CaCO₃);
- légèrement humide en saison sèche;
- composé de **trois phases colorées interpénétrées et une phase blanche carbonatée**:
 - . une phase **brun-jaune** (10 YR 5/6), peu carbonatée, argileuse;
 - . une phase **rougejaune** (5 YR 4/6), carbonatée, argileuse;
 - . une phase **jaune-rouge** (5 YR 7/6), carbonatée, argileuse;
 - . une phase **blanche**, très carbonatée, en petits amas friables inclus dans des prismes argileux associant les autres phases, ou située dans les fissures inter-prismes.
- structure **polyédrique** subangulaire à la partie supérieure puis **prismatique** fine, massive en humide;
- porosité **tubulaire** fine et de fissures inter-agrégats;
- racines fines, parfois en lacis, sur les faces des prismes;
- quelques galeries de la faune.

Variations latérales et transitions

De l'amont vers l'aval (du versant court), la taille et le nombre des amas de la phase blanche carbonatée *diminuent* au profit de la phase argileuse (d'abord en **réseau** puis en **amas** friables), tandis que la structure devient plus *large*. Des graviers calcaires lithorelictuels apparaissent (3 à 7%)
Le passage de l'horizon M3 à M2 se fait par différenciation de la phase colorée brun-rouge et la diminution des accumulations carbonatés. La transition avec l'horizon **P2** est graduelle et régulière.

Tableau n°22 : Données analytiques globales de l'horizon **M3**

		Argile	Limon	CaCo	pH-Eau	M.O	Fer T	Fer L	C.E.C
		%	%	%		%	%	%	még
Horiz.	Amont	23	45	63	7,8	1,3	5,2	2,6	30
	Aval	43	38	35	8,2	1,5	5,2	2,9	33

Commentaire

Cet horizon renferme autant de fer libre que l'horizon sus-jacent **M2**, cela suggère *un évolution pédogénétique plus avancée* qu'à la base de **M2**. Ce qui souligne la plus grande différenciation de la phase colorée brun rouge et la diminution des accumulations carbonatées. Cet horizon représente donc un stade d'évolution plus avancée que l'horizon **M2**.

MINÉRALOGIE

La même composition minéralogique, que l'horizon précédent, caractérise les deux échantillons prélevés, à 100 et 130 cm., dans la fosse 31, sur la toposéquence **ME**. Cependant une diminution relative de la cristallinité des **smectites** est observée de bas en haut de l'horizon **M3**.

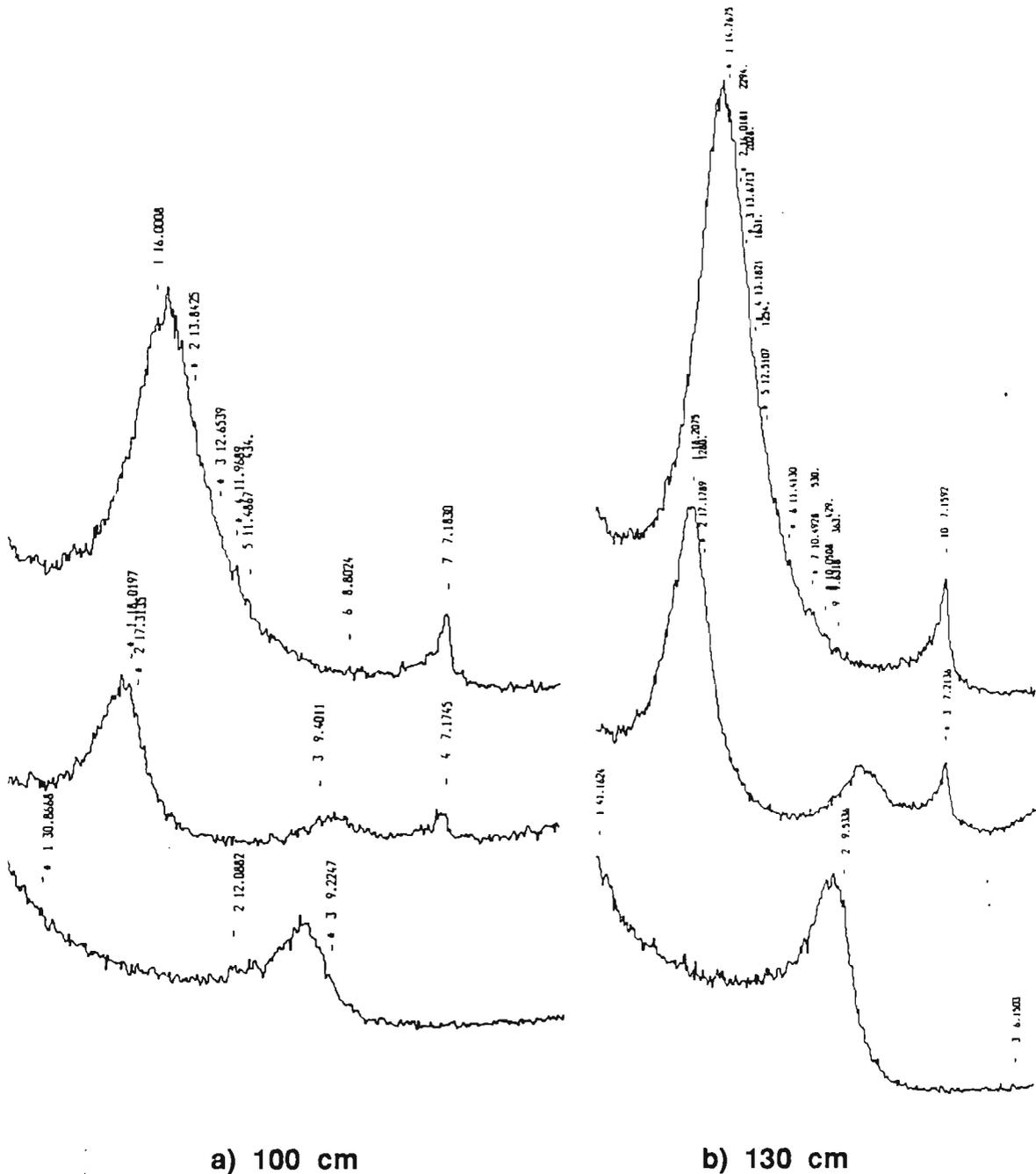


FIG. 54 : Diffractogrammes des R.X de l'horizon **M3**
(fosse 31 de la toposéquence **ME**)

H O R I Z O N M 4

Horizon décrit sur la toposéquence **ME** sous le versant court entre **P2** et **M3** dans deux fosses à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **30** cm, épaisseur maximale **80** cm ;
- assez humifère ;
- relativement carbonaté et **sec** ;
- composé d'une phase de couleur brun-rouge foncé (5YR 3/2), **carbonatée** dans la masse englobant des graviers **siliceux**. La phase blanche se réduit aux cailloux calcaires (60 % en bas, 5 % en haut) ;
- texture **argileuse**, notamment en profondeur , 2 % de graviers de **quartz** ou **quartzite** émoussés et patinés ;
- en sec, structure **prismatique** moyenne nette, à sous-structure **polyédrique** grossière, en humide **massive** à tendance grumeleuse ;
- larges **fissures** (2cm) entre les prismes, **tubes** fins au dedans ;
- lacis racinaire sur des faces et entre les prismes ;
- quelques galeries fauniques et coprolithes.

Variations latérales et transitions

Cet horizon relie latéralement **M2** à **M5**, qu'il pénètre en biseau par le haut. Sa transition à l'horizon sous-jacent **M3** est graduelle.

H O R I Z O N M 5

Horizon observé dans trois fosses en bas du versant long de la toposéquence **ME** à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **25** cm, épaisseur maximale **90** cm ;
- peu humifère ;
- non carbonaté et **sec** ;
- composé d'une phase de couleur **rouge** foncé (2,5 YR 3/6), plus vive en profondeur (2,5 YR 4/8) au contact du calcaire lapiasés ;
- texture **argileuse** avec 5% de graviers ou cailloux de quartzite ;
- structure **cubique** nette en profondeur, **prismatique** peu nette au dessus ;
- porosité **tubulaire** peu marquée, larges fissures (2cm) en sec

Variations latérales et transitions

Cet horizon s'amincit à l'amont, où il pénètre **M6** en biseau supérieur, ainsi qu'à l'aval où il jouxte **M3** et **M4**.

Le contact avec le calcaire lapiazé sous-jacent est marqué par une concentration de cailloux et blocs calcaires plus ou moins arrondis, entourés de la phase argileuse rouge à laquelle ils adhèrent fortement ou laissent des pellicules blanches d'arrachement. Cette altération pelliculaire, épaisse de quelques mm, est trop mince pour figurer sur les coupes. elle est l'équivalent des horizons **P**, qu'elle relie latéralement.

Tableau n° 23 : Données analytiques globales de l'horizon **M5**

	A %	L %	CaCO ₃ %	M.O %	pH Eau	Fer T %	Fer L %	L/T %	B.E még	C.E.C még
Haut	55	23	0	1,1	7,1	7,1	4,4	63	34	35
Bas	52	27	0	0,6	7,3	7,5	4,5	60	36	37

Commentaire

Le rapport fer libre/fer total est supérieur à 50 %, c'est donc le résultat d'une décarbonatation (et rubéfaction). Cet horizon peut donc provenir de l'altération pelliculaire des calcaires lacustres diaclasés. Les galets calcaires lisses observés au contact des lapièz présentent une pellicule d'arrachement. Néanmoins, la présence de graviers et cailloux quartzitiques et siliceux témoignent d'une origine différente qui peut être d'anciens apports argileux venus recouvrir les calcaires lacustres et permettre ainsi leur altération. Ce qui rejoint ce qui a été dit sur les horizons **P2** et **P4**.

MINÉRALOGIE

Deux échantillons ont été prélevés à 20/40 et 40/80 cm de profondeur dans la fosse 2 sur la toposéquence **ME** pour l'analyse minéralogique. Les diffractogrammes ci-dessus montrent une composition minéralogique constituée de **smectites** mal cristallisées, de la kaolinite en proportion plus importante que les échantillons des horizons médians précédents accompagnée de traces d'illite.

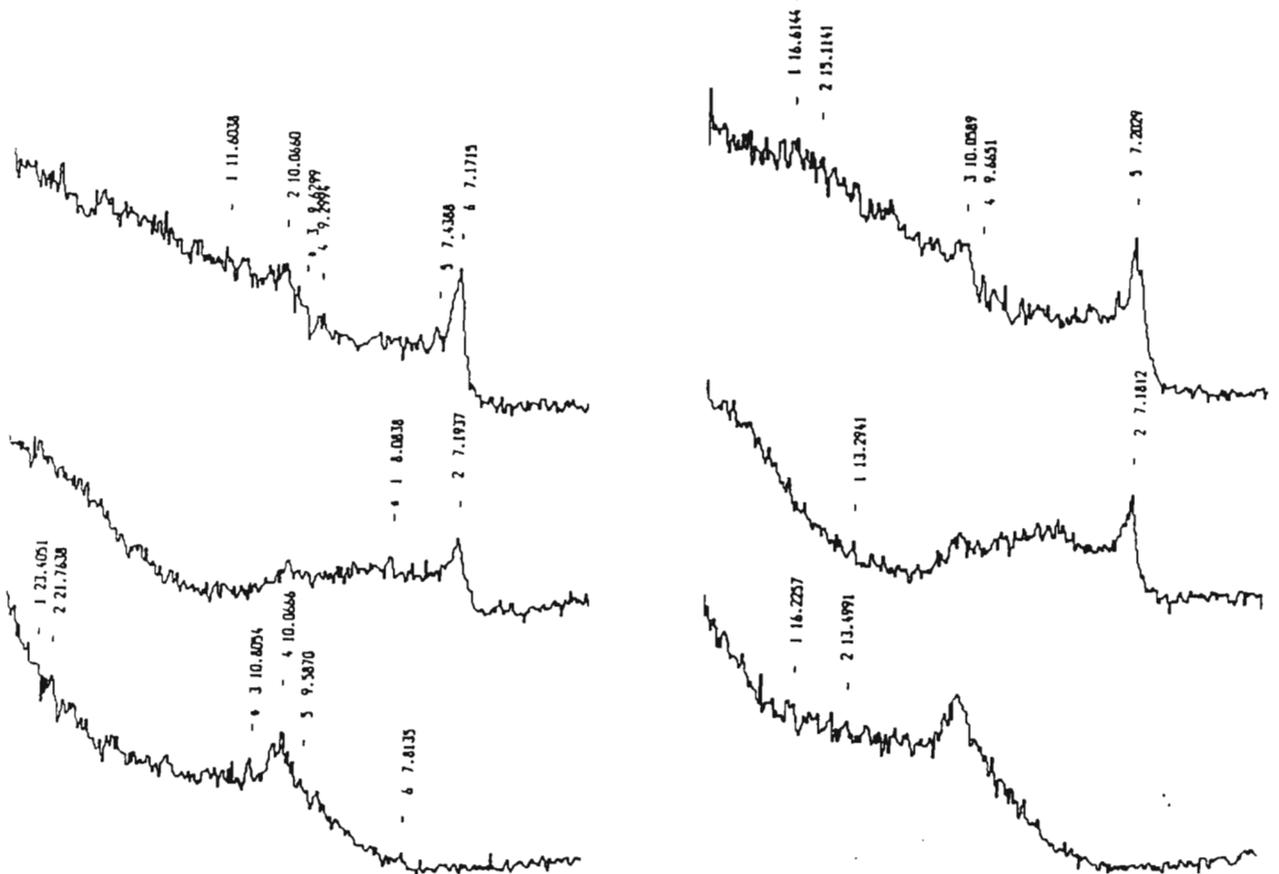


FIG. 55: Diffractogrammes de l'horizon M5
(fosse 2 de la toposéquence ME)

Commentaire

L'horizon médian **M5** est rouge, décarbonaté et à forte proportion en kaolinite que les horizons adjacents. La phase argileuse rouge renferme quelques graviers siliceux et quartzitiques. Il se trouve au fond du talweg A.

Ces considérations incitent à penser que les calcaires lacustres constitue un promontoir sur lequel des dépôts rubéfiés, plus ou moins mélangés à des fragments de calcaires lacustres arrachés sur les flancs des versants, se sont déposés. Cette hypothèse peut être retenue si l'on ne retrouve pas ce type d'horizon sur des calcaires lacustres lapiazé en situation de plateau en dehors de toute situation topographique pouvant recevoir des alluvions et colluvions.

On pourrait avancer le fait qu'en situation basse, comme celle de la fosse 2, une altération des calcaires lacustres est intervenue suivie d'une phase d'érosion et d'apport argileux rouges.

H O R I Z O N M 6

Horizon observé dans cinq fosses sur la toposéquence **ME** à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **30** cm, épaisseur maximale **85** cm ;
- peu humifère ;
- non carbonaté (localement 6 %) ;
- légèrement **humide** ;
- composé d'une phase colorée, **brun-rouge foncé** (2,5 YR 3/4) et d'un peu de cailloux calcaires ;
- texture **argileuse** avec 5% de graviers de quartz et quartzite et 3% de granules calcaires (O = 0,5cm) ; équirépartis dans la masse ;
- structure **polyédrique** subanguleuse passant en profondeur à **prismatique à faces lisses et brillantes** ;
- porosité **tubulaire** (tubes fins) et **fissures** larges de 2cm pénétrant en **glosses** sur 30cm l'horizon sous-jacent M 2;
- lacs de racines ramifiées et aplaties sur les faces d'agrégats;
- quelques galeries et tubules .

Variations latérales et transitions

Cet horizon non carbonaté surmonte l'horizon carbonaté **M2** au centre du versant long de la toposéquence **ME**. Il se termine en biseau au contact des horizons **M5** (aval) et **M7** (amont).

Tableau n° 24 : Données analytiques globales de l'horizon M6

	A %	L %	CaCO ₃ %	M.O %	pH Eau	Fer T %	Fer L %	L/T %	B.E mégq	C.E.C mégq
Haut	60	18	0	1,3	7,5	7,5	4,4	59	33	11
Bas	58	20	0	1	7,2	7,7	4,4	57	31	28
Amont	56	27	8	1,4	7,3	7,1	4,3	61	32	29
Aval	58	20	0	1	7,2	7,2	4,1	57	32	30

Commentaire

L'horizon **M6** est un horizon argileux, décarbonaté et rubéfié. Il est homogène sur toute son épaisseur.

MICROMORPHOLOGIE

L'horizon **M6** est décrit sur la lame mince prélevée dans la fosse 4 à 70 cm.

La matrice de couleur brun-rouge à brun-rouge-foncé constituée de ponctuation jaune carbonatée probablement et de petits volumes (0,04 à 0,1 mm) sombres ou noirs dispersés dans la masse ou en amas.

L'assemblage est **squel-vo-masépique à latisépique** peu nette.

Le squelette est monominérale constitué de cristaux de quartz cariés et striés. Ils occupent environ 5 à 10 % du volume total. Ils sont subarrondis, à contour régulier et émoussé. Ils sont plus ou moins altérés et occupent par endroits les vides (quartz flottant).

Les vides sont de formes et dimensions variées. Les vides planaires sont sans orientation dominante présentant des vésicules par endroits. Les vides sont aussi sous forme de galerie, de micropores sphériques de 0,1 à 0,2 mm de diamètre et cavités mamelonnées.

L'organisation porphyrosquelique.

Les traits pédologiques sont des péotubules qui sont des assemblages sphériques d'un plasma brun-rouge-jaune et de microcristaux de quartz auréolés d'un liseré jaune orienté.

Minéralogie

Le diffractogramme réalisé sur l'échantillon prélevé dans la fosse 8 de la toposéquence ME à 50 cm, montre une composition minéralogique composée de **smectite**, d'un peu d'**illite** et de **kaolinite** en proportion relativement plus importante.

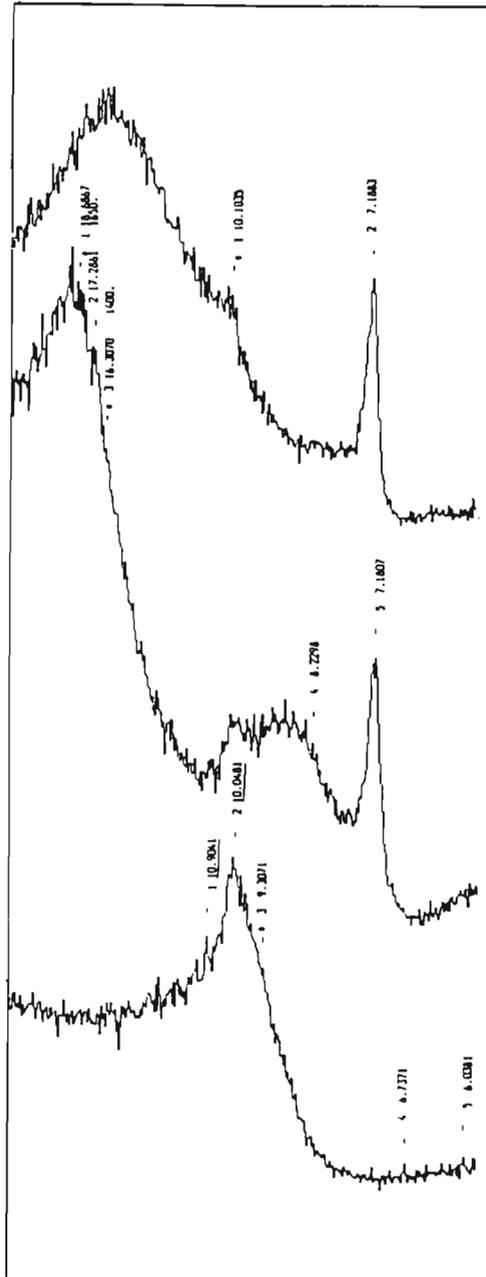


Fig. 56 : Diffractogramme des R.X de l'horizon M6
(fosse 8 de la toposéquence ME.)

H O R I Z O N M 7

Horizon observé dans cinq fosses sur le versant long de la toposéquence ME à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **35** cm, épaisseur maximale **125** cm ;
- peu humifère ;
- pas ou peu carbonaté ;
- sec, nettement **humide** en profondeur ;
- composé d'une seule phase colorée (et quelques cailloux et graviers siliceux) **brun-rouge** foncé en humide (5 Yr 3/2 à 3/3)
- texture **argileuse** avec 5 % de graviers et cailloux de quartz et quartzite, quelques graviers calcaires ;
- structure **prismatico-cubique** nette à **faces obliques lisses** et brillantes, **massive** en humide ;
- pores **tubulaires** très fins internes aux prismes, fissures larges (3cm) et profondes (50cm) ;
- lacis racinaire ramifié, aplati sur les faces des prismes .

Variations latérales et transitions

Cet horizon relie latéralement **M2** du rebord de plateau à **M5** sus-jacent au calcaire lapiazé. Il s'amincit en biseau à l'approche des ces horizons. De même , sa structure prismatique est moins exprimée.

Sa limite avec l'horizon **M8**, qu'il surmonte, est nette et ondulée.

Tableau n° 25 : Données analytiques globales de l'horizon **M7**

	A %	L %	CaCO ₃ %	M.O %	pH- Eau	Fer T %	Fer L %	L/T %	B.E még	C.E.C még
Haut	63	21	0	1,6	8	7	2,5	36	34	35
Bas	57	26	3	0,7	8	7	2,4	34	33	34
Amont	59		14	1,4	8					
Aval	46	40	2	1,2	8					

Commentaire

Le tableau 25 indique une diminution du rapport fer libre/fer total dans cet horizon par rapport aux horizons **M5** et **M6**. Elle marquerait une fersiallisation moins avancée. Ce qui irait dans le sens d'une transformation pédogénétique plus forte vers le bas de la pente au niveau des horizons **M6** et **M5**.

Micromorphologie

La lame mince (fosse 10) recoupe la phase colorée identifiée macroscopiquement. La distribution relative squelette-plasma est **porphyrosquellique**.

Le squelette est monominérale (cristaux de **quartz** de formes et tailles variées), de répartition homogène et sans orientation, quelques gros cristaux (O = 0,5 à 0,8 mm) de forme allongée. Dominance de petits cristaux (O = 0,2 mm) émoussés, subarrondis.

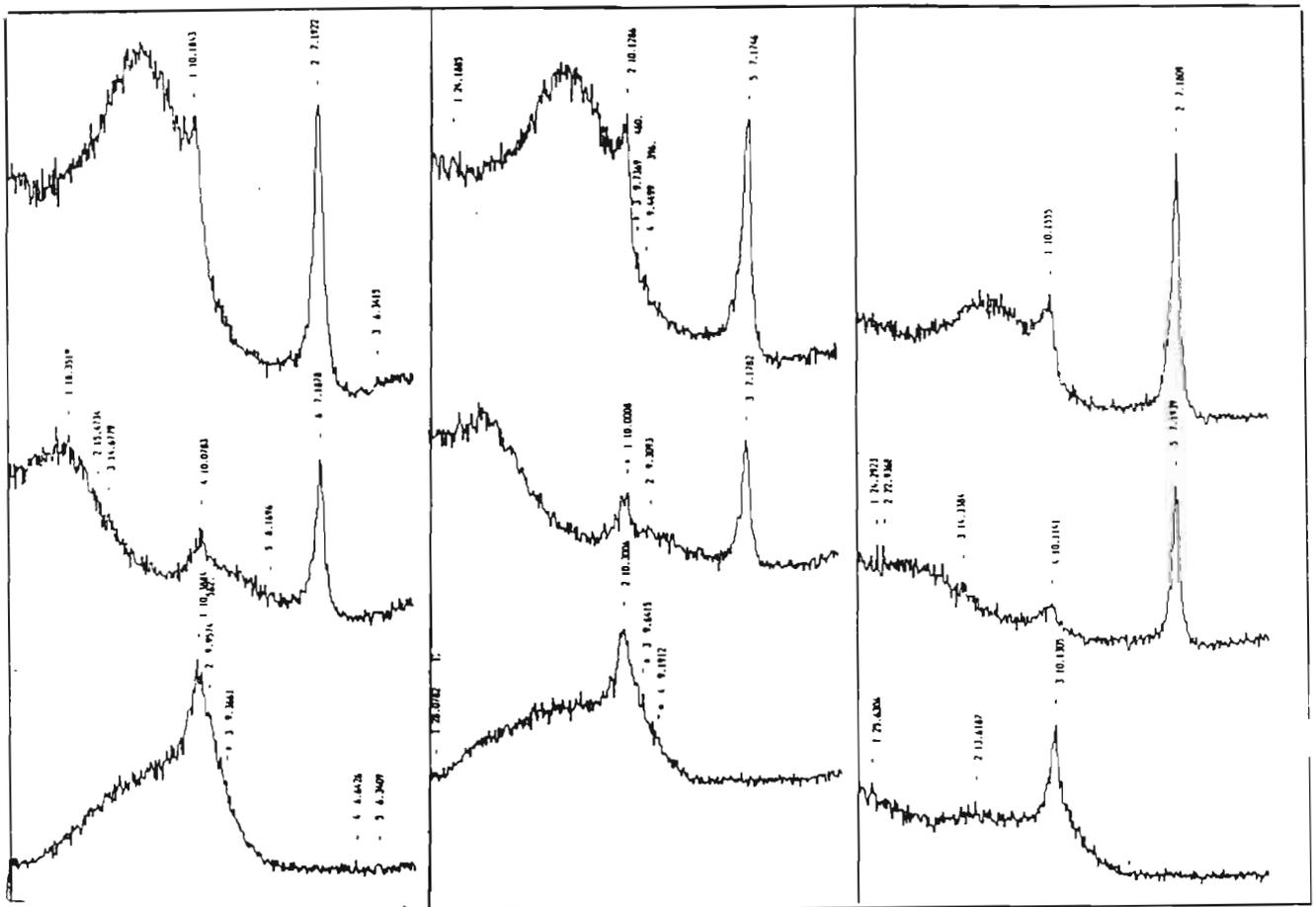
le plasma est **brun-rouge** foncé, ponctué de brun-jaune en LPA, brun-rouge-jaune en LPNA. Il présente une orientation allant de **masépique** à **bimasépique**, localement **lattisépique**. Il est **squel-vomasépique** autour des grains du squelette et des vides.

On ne distingue pas de micro-agrégats dans le fond matriciel.

MINÉRALOGIE

Pour la caractérisation minéralogique de l'horizon **M7**, trois échantillons ont été prélevés à 65/70, 105/110 et 150/160 cm dans la fosse 10 de la toposéquence **ME**.

Les diffractogrammes ci-dessus correspondants aux trois échantillons montrent une composition minéralogique avec des **smectites** relativement **mal cristallisée** de haut en bas, de la **kaolinite** en proportion plus **importante** et de l'**illite**.



a) 65/70

b) 105/110

c) 150/160

FIG. 57 : Diffractogrammes des R.X de l'horizon **M7**
(fosse 10 de la toposéquence **ME**)

H O R I Z O N M 8

Horizon observé dans trois fosses sur la toposéquence **ME** à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **120** cm, épaisseur maximale **65** cm ;
- peu humifère
- peu carbonaté ;
- légèrement **humide** en saison sèche ;
- composé d'une phase colorée, d'amas, cailloux et graviers carbonatés :
 - * la phase colorée est de teinte non homogène, brun-rouge (5YR 4/4) à brun foncé (7,5 YR 4/4 à 4/3), de texture **argileuse** ;
 - * la phase formée des graviers calcaires (durs), et d'amas (peu friables) représente 5 à 10 % de l'horizon ;
- structure **cubique** à **prismatique** en sec, avec des faces obliques lisses et brillantes (**slickensides**) ;
- porosité **tubulaire** fine ;
- lacis racinaire sur les faces des prismes.
- activité faunique très faible, quelques petites galeries.

Variations latérales et transitions

L'horizon **M8**, sous-jacent à **M7**, présente les caractéristiques morphologiques d'un horizon argileux, très bien structuré et à forte rétention en eau. Il diffère de l'horizon **M7** par la couleur brune et une teneur en carbonate plus importante en bas de l'horizon, ainsi qu'une présence de phase blanche carbonatée admettant plusieurs aspects : amas tendres et pulvérulents, amas tendre et à noyau interne dur et fragmenté, assemblage de graviers durs de différentes formes et de calcaires tendres

Sa transition avec l'horizon sus-jacent **M7** est distincte et ondulée. Cet horizon peut en effet remonté très haut dans l'horizon **M7**.

Il se termine en biseau au contact des horizons **M2** (aval) et **M9** (amont)

Tableau n° 26 : Données analytiques globales de l'horizon **M8**

	A %	L %	CaCO ₃ %	pH Eau	M.O %	Fer T %	Fer L %	L/T %	B.E még	C.E.C még
Haut	52	28	3	7,3	0,6	6,4	2,1	33	29	31
Bas	53	26	16	7,4	0,5	6,1	2,4	39	32	33

Commentaire

Les résultats d'analyses du tableau montrent que cet horizon présente une évolution pédologique moins avancée par rapport aux horizons **M6** et **M7**. Il est très argileux et relativement peu carbonaté.

H O R I Z O N M 9

Horizon observé dans trois fosses sur la toposéquence **ME** à différentes saisons.

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

- Profondeur **75** cm, épaisseur maximum **60** cm ;
- peu humifère ;
- moyennement carbonaté (35%) ;
- légèrement humide en saison sèche ;
- composé de **deux phases** associées :
 - * une phase **argileuse** peu carbonatée, de couleur non homogène, dominance de **rouge-jaune** (5 YR 5/6) avec des points jaune-rouge (5 YR 7/6) en association complexe ;
 - * une phase **blanc-gris** en profondeur, très carbonatée (80%) sous forme d'**amas** peu friables ;
- texture **argileuse** avec 5 à 8 % de graviers et granules calcaires équirépartis dans la masse ;
- structure en sec **polyédrique** moyenne subanguleuse peut nette, **massive** en humide ;
- pores **tubulaires** fins et moyens dans les agrégats ;
- fines racines irrégulièrement réparties dans la masse et autour des agrégats ;
- quelques galeries et tubules d'origine faunique.

Variations latérales et transitions

D'amont en aval sur 60 m, la phase colorée argileuse *augmenté* en volumes pour atteindre au niveau de la fosse **57** des volumes très importants.

A la base, transition distincte avec l'horizon **P5**, graduelle avec l'horizon **P4**

Tableau n° 27 : Données analytiques globales de l'horizons **M9**

	A %	L %	CaCO 3 %	pH Eau	M.O %	Fer t %	Fer.l %	L/T %
Haut	34	42	38	7,4	0,5	5,6	2,3	41
Bas	37	39	35	7,6	0,2	5,8	2,6	45

Commentaire

L'horizon **M9** est un horizon calcaire en situation de bon drainage qui lui permet d'être relativement plus rubéfié par rapport à l'horizon **M8**

Cet horizon calcaire est en contradiction par rapport à la rubéfaction (FerL/Fer T 0,40 à 0,50). Il peut s'agir d'un horizon rubéfié qui est le siège de ce phénomène d'accumulation calcaire.

**CONCLUSION SUR LES HORIZONS MEDIANS ET LES
POSSIBILITES DE FILIATION ENTRE PHASES ET HORIZONS**

le tableau n° 28 résume l'information qui précède concernant les 9 horizons **M** distingués sur la toposéquence de référence **ME**.

Tableau n° 28 : Récapitulatif des principaux caractères des horizons médians
de **M1** à **M9**

Horizons	M1	M2	M3	M9	M5	M6	M7	M8	M4
Nomb.Profils	3	12	3	2	3	5	5	3	3
Profondeur	30	35	150	25	30	30	35	120	75
Epaisseur	60	125	120	80	90	85	120	65	60
Nb.Ph.Coloré	1	1+	3	1	1	1	1	1	1+

Phases colorées

Couleur	5YR5/6	5YR5/6		5YR3/2	25YR36	25YR3/4	5YR3/2	5YR4/4	5YR32
% argiles	33	35-55	25-43	50	55	60	60	50	
% Limons	40	25-50	45-38	35	25	20	30	25	
% Ca Co3	50-80	50-60	55-65	20-40	0	0	0-15	0-15	80
% M.O	1	0,6		1,5	1	1	1,2	0,5	
% et forme	80	85	10	95	90	90	95	80	80

Phase blanche

Forme	Grav.	Amas							
% cailloux	15	10	8	6	4	5	5	8	5
% Amas	5	25	10	4	3	-	-	14	6

Analyse globale

Texture	ALA	ALA	SAS	A	A+L	A+L	A+L	A+L	L
Structure									
Humectation	+	+	+	+	+	+	+++	++	++
Drainage	++	++	+	++	++	++	++	++	+++
Act.biolog.	+++	++	++	+++	+	++	+++	+++	++
cailloux %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transition	Croûte	Amas	cal.lac						
Substrat	P1	P1-M3	P2	M3		M2	M8	P4M9	P5-P4

Commentaire

Les horizons **M1,M2,M3,M4** présentent en commun :

- une phase de couleur hétérogène entre le **jaune** et le **rouge**.
- une autre phase , non dominante, **blanche** et carbonatée (50-60%)
- une texture d'ensemble moyenne argileuse (25-55%) avec une teneur importante en limons calcaires (25-50% aussi)
- une structure polyédrique moyenne, nette, non orientée (les polyédres sont durs en sec, friables en humide)
- la phase blanche carbonatée est complexe : amas friables avec ou sans noyaux durs, nodules, cailloux, graviers, granules calcaires; elle forme des îlots dans le réseau de la phase dominante.

Ces caractères sont ceux des profils classés *calcimagnésiques* dans la carte de reconnaissance.

On constate les autres relations qui suivent :

- les horizons les plus épais (jusqu'à **1,2 m** en **M2** et **M3**) présentent les couleurs les plus variées entre le rouge et le jaune : le développement des profils va de pair avec une différenciation des processus impliquant les oxyhydroxydes.
- l'humidité de ces horizons est faible, en période de pluie : leur ressuyage est donc rapide, un *drainage profond* des eaux de pluie ou de ruissellement est donc possible.
- l'activité biologique est *notable* sur toute l'épaisseur de ces horizons : l'eau nécessaire est apportée par ce drainage.

On constate par contre les particularité suivantes :

- en **M2**, la phase blanche présente une *organisation verticale des amas carbonatés* qui la composent.
- en **M1**, la croûte calcaire basale témoigne de redistribution de carbonates : ses interruptions par des glosses indiquent que sa *formation n'est pas actuelle*.

L'horizon **M5** présente une couleur rouge plus vive (2,5YR3/6 à 34/8), une décarbonation plus complète et une teneur en fines plus élevée que le groupe d'horizons **M1** à **M4**.

Par ailleurs, il passe rapidement aux calcaire lapiazé sous-jacent, de sorte qu'on a pu délimiter à cet endroit un horizon altéritique de transition épais de 20 cm seulement, cette transition est formée de blocs à altération pelliculaire.

Ces caractères morphologiques évoquent une *pédogénèse fersiallitique* et sous cette appellation que les sols correspondants figurent dans la carte de reconnaissance.

Les horizons **M6**, **M7**, **M8** présentent en commun :

- une phase dominante (90%) sombre (5YR3/2 à 4/4), presque décarbonatée (moins de 15 %).
- une phase blanche à faible teneur en cailloux calcaires.
- une texture très argileuse (50-60%) et limoneuse (25%).
- une structure de type vertique, donc à composante verticale.
- de nettes variations saisonnières d'humectation.
- une forte activité biologique; lacs de radicelles, déjections.
- une forte dureté à l'état sec, une plasticité nette en humide.

On constate que l'horizon le plus sombre (5YR3/2), **M7** est le plus épais.

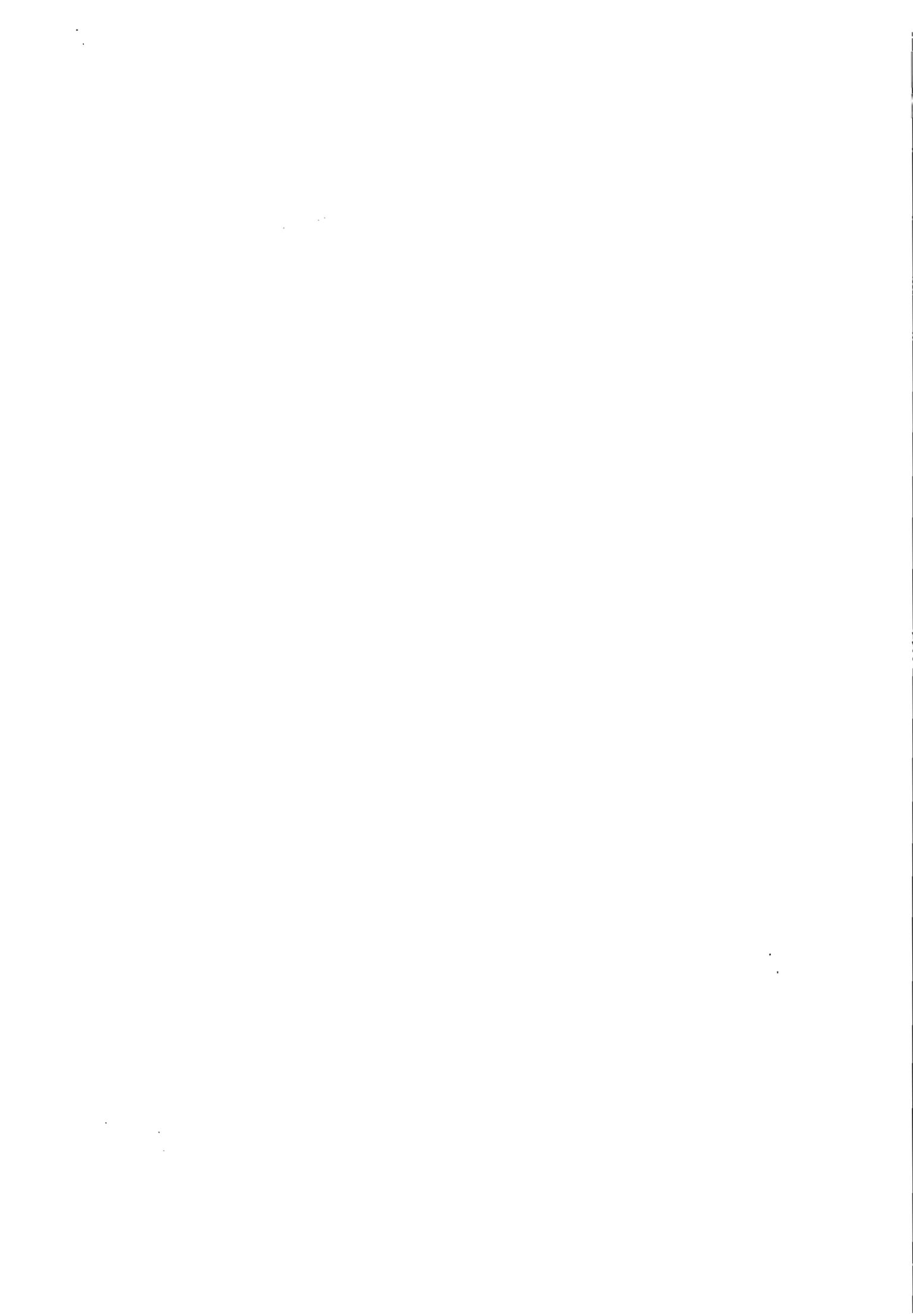
On constate par contre les particularités suivantes :

- **M8**, qui présente une phase rose, contient plus de cailloux et d'amas carbonatés : il correspond aux sols *isohumiques marrons* sur la carte de reconnaissance.
- **M4**, dépourvu d'amas carbonatés, contient par contre plus de carbonates dans sa phase sombre (et une teneur en garviers calcaires décroissante de bas en haut) : cet horizon de fond de vallée hérite des produits colluviaux (matières organiques) et alluviaux (galets) qui l'assombrissent et le rajeunissent, sa structure n'est pas d'ailleurs vertique (prismatique et polyédrique) ; c'est un sol argileux jeune d'apport.

On constate que les horizons médians rouges sont observés d'une part sur le plateau et ses rebords (et tout le versant court), d'autre part à la base des horizons sombres du versant long. Ils sont donc au contact direct des horizons **P** dont ils peuvent dériver. Ceci conduit à étudier leur zone de contact pour mettre en évidence une éventuelle filiation.

Les horizons sombres quand à eux forment des poches d'épaisseur variables, sur les pentes faibles : leur position au dessus des horizons rouges suggère qu'ils se *forment aux dépens et au dessus* de ceux-ci.

Cette disposition des deux types d'horizons médians amène à rechercher, à d'autres échelles et par d'autres méthodes, une éventuelle filiation entre horizons rouges et horizons sombres.



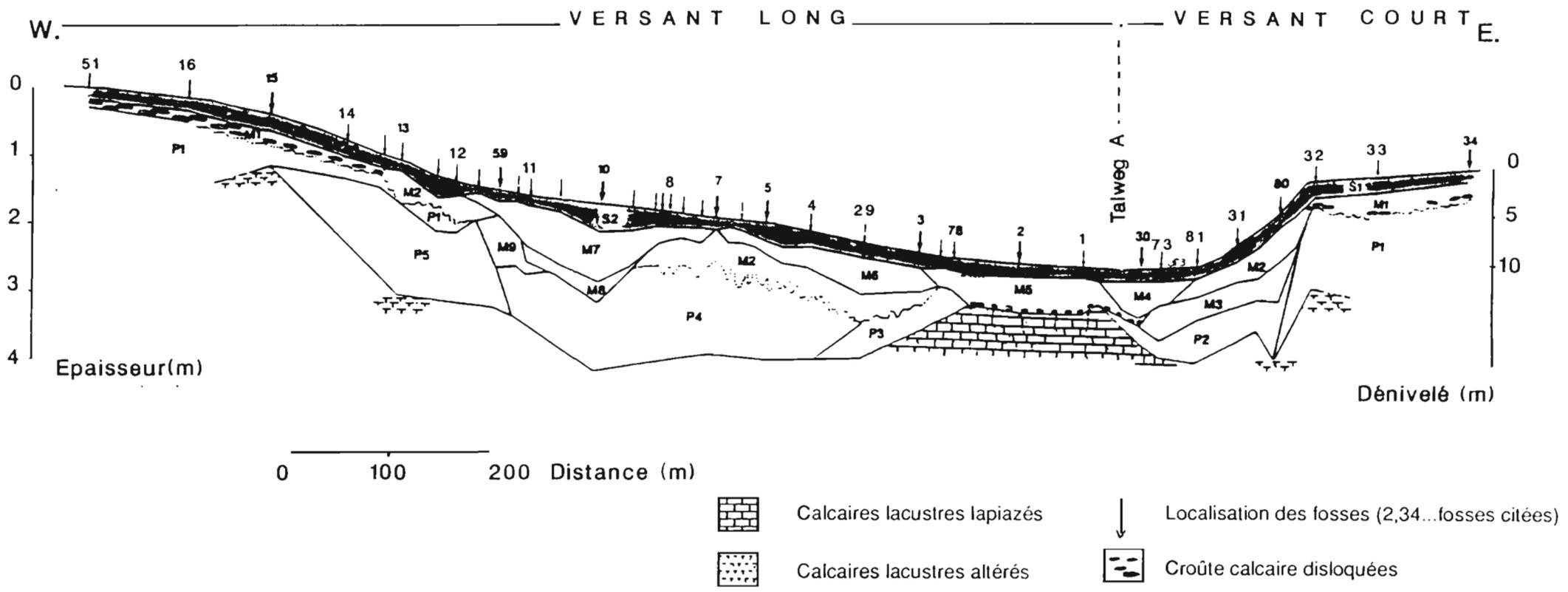


FIG.46- TOPOSEQUENCE ME : localisation des horizons supérieur S

L'ENSEMBLE D'HORIZONS SUPERIEURS

INTRODUCTION

Trois horizons de surface , **S1,S2 et S3**, ont été distingués sur la toposéquence **ME** au-dessus des horizons médians.Plus ou moins humifères, ces horizons sont soumis à des **actions anthropiques** parfois sévères et aux **fluctuations climatiques**, qui se repercutent sur le pédoclimat par un **ressuyage** et une **évaporation** relativement rapides.

C'est l'ensemble à travers lequel se développent des colonies racinaires et fauniques et que se font les échanges entre ces dernières et le sol.

Les caractères essentiels et les plus constants qui différencient ces trois horizons entre eux, et également des autres horizons de la toposéquence, se retrouvent dans les différentes toposéquences de reconnaissance. Ils portent sur les teneurs en **carbonates** qui se traduisent par des différences de **couleur** et de **texture**.

Les deux horizons, **S1 et S2** , sont souvent associés sur le plateau sans répartition ordonnée à priori, mais présentent peu de différences en relation avec la nature de l'horizon médian sous-jacent.

L'horizon **S1** caractérise généralement les sols de plateau et l'amont des versants. Les horizons **S2** qui leurs sont parfois associés sont en relation avec l'existence de poches que nous décrivons ultérieurement.

L'horizon **S3**, d'extention limitée, se localise en situation basse dans le paysage et fait transition entre les horizons **S1** et les horizons **S2**. Cet horizon n'a pas d'ailleurs fait l'objet d'une étude détaillée.

L'HORIZON S1

Horizon de surface concerné par les pratiques culturales et observé dans six fosses à différentes saisons,

DESCRIPTION

- épaisseur maximale **40** cm;
- un peu humifère(M.O : 0,9 à 2,3%);
- très carbonaté dans l'ensemble (CaCO₃ : 45 % à sa base,38 à 40% au dessus);
- ressuyage et séchage rapides;
- couleur hétérogène due à l'association de deux phases:
 - * une phase dominante **brun-rouge**(5 YR 4/4) en humide calcaire, argilo-limoneuse à limono-argileuse, de structure polyédrique fine à sous-structure grumeleuse bien développée à l'état sec, peu développée à l'état humide,plus affirmée en profondeur;
 - * l'autre phase ne représente que 10 à 15% du volume de l'horizon, elle est **blanche à blanc-pâle**, très calcaire. Elle se répartie dans la phase brun-rouge en différents volumes tendres sous forme de pseudomyceliums et d'amas friables(0,5 à 1 cm de diamètre).
- porosité d'ensemble importante, tubulaire fine et moyenne très développée en toutes saisons,tubulaire fine intra-agrégats et inter-agrégats en saison sèche;
- colonie de racines fines et moyennes, bien répartie et importante en profondeur;
- activité faunique moyenne(déjections de lombrics);
- transition distincte et régulière avec l'horizon **M1**.

L'horizon **S1** subit l'influence de la mise en culture.Il est le siège de perturbations mécaniques avec modifications morphologiques: tassements remaniements et parfois même des remontées en surface, par les labours, d'horizons sous-jacents très calcaires. Ces modifications s'expriment d'autant mieux que le travail du sol pratiqué est relativement profond et que l'horizon **S1** est peu épais (situation de pente ou sol peu différencié).

Variations latérales et transitions

La variation la plus remarquable concerne la couleur de la phase brun-rouge. De l'amont vers l'aval, cette phase d'abord **brun-rouge** devient plus **claire** (5 YR 6/4 en humide) du fait de l'apparition de petits volumes **gris-clair** (5 YR 7/7) à limites diffuses.

En bordure du plateau, à l'amorce de la rupture de pente, l'horizon **S1** est nettement plus mince par suite d'une érosion accentuée par les labours. L'amoncellement de débris de croûtes, bien marqué en bordure de plateau, disparaît sur le versant court, alors que des graviers et nodules calcaires lithorelictuels se concentrent en bas de pente. La texture argilo-limoneuse en amont devient un peu argileuse en aval.

En aval du versant court de la toposéquence **ME**, l'horizon **S1** est relayé par l'horizon **S3** plus sombre.

Sur le plateau et en amont du versant long, l'horizon **S1** est discontinu sous forme de poches plus calcaires et remaniées. Il est relayé par l'horizon **S2**.

Tableau n° 29 : Données analytiques globales de l'horizon **S1**

		Argile %	Limon %	CaCO ₃ %	pH		M.O %
					Eau	Kcl	
Plateau	Haut	39	39	40	7,5	6,3	1,8
	Bas	37	41	45	7,4	6,2	0,9
Versant court	Amont	39	39	40	7,5	6,3	1,8
	Aval	42	36	27	7,3	6,2	2,3

Commentaire

C'est un horizon argilo-limoneux, calcaire et relativement pourvu en matière organique. D'après les données analytiques globales, il est peu variable sur le plateau. Sur le versant court, il devient plus argileux et moins carbonaté à l'aval.

MINERALOGIE

Les diffractogrammes de la figure montrent une composition minéralogique où les **smectites** sont dominantes, **bien cristallisées** et gonflent bien au glycérol, associées à des traces d'illite et de kaolinite.

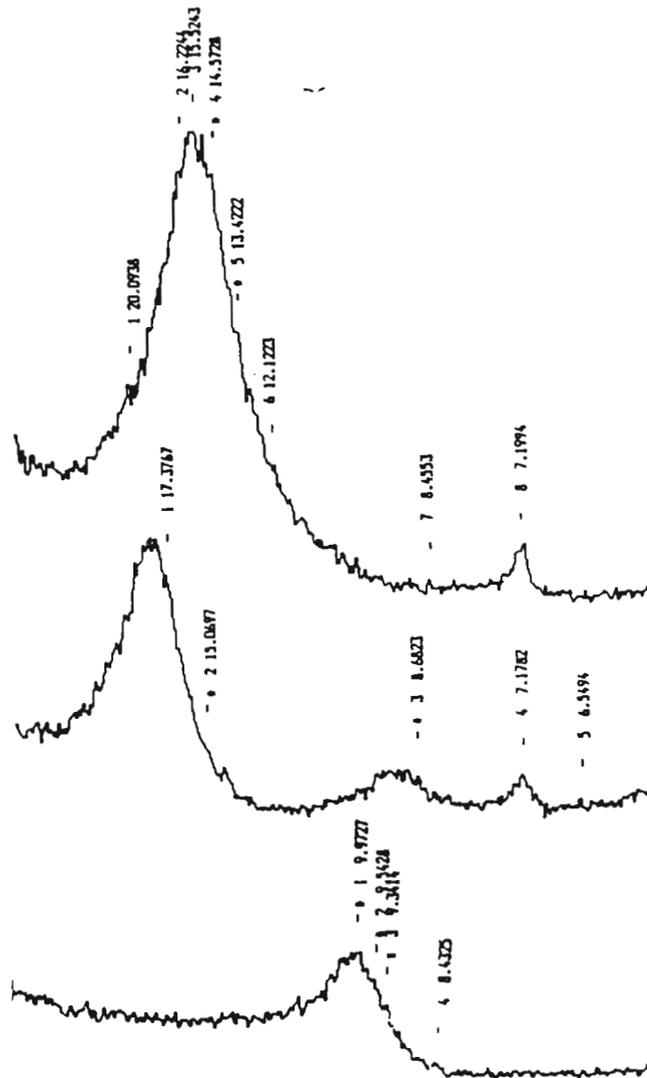


FIG. 59 : Diffractogramme des R.X de la fraction décarbonatée de l'horizon S1
(fosse 31 de la toposéquence ME)

Commentaire

L'horizon de surface **S1** est un horizon de culture où des traits de remaniements apparaissent fréquemment. Ainsi, la phase brun-rouge dominante est mélangée de volumes plus calcaires et plus clairs. Comme nous allons le montrer (Chap.), les horizons très calcaires sous-jacents (**M1** et/ou **M2**) peuvent être remontés en surface par des labours profonds.

La transition de l'horizon **S1** est régulière et très tranchée avec l'horizon sous-jacent (limite probable du travail du sol).

Cet horizon comporte une phase **blanche dure** (graviers calcaires lithorelictuels) et une phase **blanche tendre**.(il s'agit probablement de carbonates secondaires) en volumes séparés dans la phase dominante brun-rouge.

Sa texture peut être sensiblement plus limoneuse selon l'état de perturbation et la richesse en carbonate.

Dans cet horizon aucun élément grossier siliceux ou quartzitique même de la taille des sables n'a été observé.

L'ensemble est meuble, très poreux à structure affirmée, subangulaire à sous-structure grumeleuse .

La fraction insoluble (attaque Hcl 1/10) montre une évolution minéralogique vers le pôle silicaté identique à celle des calcaires lacustres.

Son extension discontinue sur le plateau et en amont du versant long, ainsi qu'une décarbonatation partielle, sont en relation avec des actions anthropiques favorisant l'érosion et des remaniements variables à courtes distances (d'ordre décimétriques).

L'HORIZON S2

Horizon de surface concerné par les pratiques culturales, observé dans quinze fosses et à différentes saisons;

DESCRIPTION

- épaisseur maximale **70** cm;
- humifère (M.O : 1,7 à 2,4 %);
- **non à peu carbonaté** dans la masse (CaCO₃ : 1,2 à 5,5 %),
- ressuyage et séchage lents;
- couleur en humide **brun-rouge foncée** (5 YR 3/2,5);
- texture argileuse (58 à 60 %) avec 5 à 10 % de **graviers siliceux et quartzitiques** subarrondis à sphériques, émoussés et patinés. Ils sont bien répartis dans la phase argileuse, mais peuvent localement se rencontrer en concentration continue de plus de 25 % (fosse 3 de la toposéquence **MA** en aval de **ME**),
- structure massive en humide, polyédrique grossière, subangulaire bien développée à sous-structure polyédrique fine à moyenne en sec;
- porosité d'ensemble fine à moyenne, tubulaire;
- pores fissuraux de 1 à 3 cm de large, les fentes verticales communiquant avec les horizons médians **M7** et **M2**;
- racines fines et moyennes, bien réparties et abondantes;
- activité faunique moyenne (coprolithes et galeries).

Variations latérales et transitions

L'horizon **S2** s'observe essentiellement sur les versants et dans les talwegs. D'amont en aval du versant long il se distingue par :

- son épaisseur qui croît progressivement de 30 à 70 cm, au niveau du replat, puis décroît en bas de versant au contact de l'horizon **S1**;
- sa couleur qui devient plus sombre;
- sa texture de plus en plus argileuse et sa structure plus grossière et plus large;
- sa porosité plus faible et sa décarbonation totale.

Sa transition avec l'horizon médian **M7** sous-jacent est graduelle à diffuse en aval, distincte et régulière en amont au contact de l'horizon **M2**.

Tableau 30 : Données analytiques globales de l'horizon S2

	Argile %	Limon %	CaCo3 %	pH Eau	Kcl	M.O %	Fer T %	Fer I %	FerI/T %
Haut	63	21	0	7,6	6,8	2,4	7,2	3,3	43
Bas	63	21	0	7,5	6,7	1,7	6,5	4,1	63
amont	41	30	3	7,4	6,1	2,1	-	-	-
Aval	54	21	0	7,5	6,1	1,8	-	-	-

Commentaire

Les données analytiques du tableau 30 montrent que l'horizon S2 est un horizon très argileux, non calcaire et relativement pourvu en matière organique. Il est plus rubéfié dans sa partie inférieurs où on a une teneur en fer libre plus élevée.

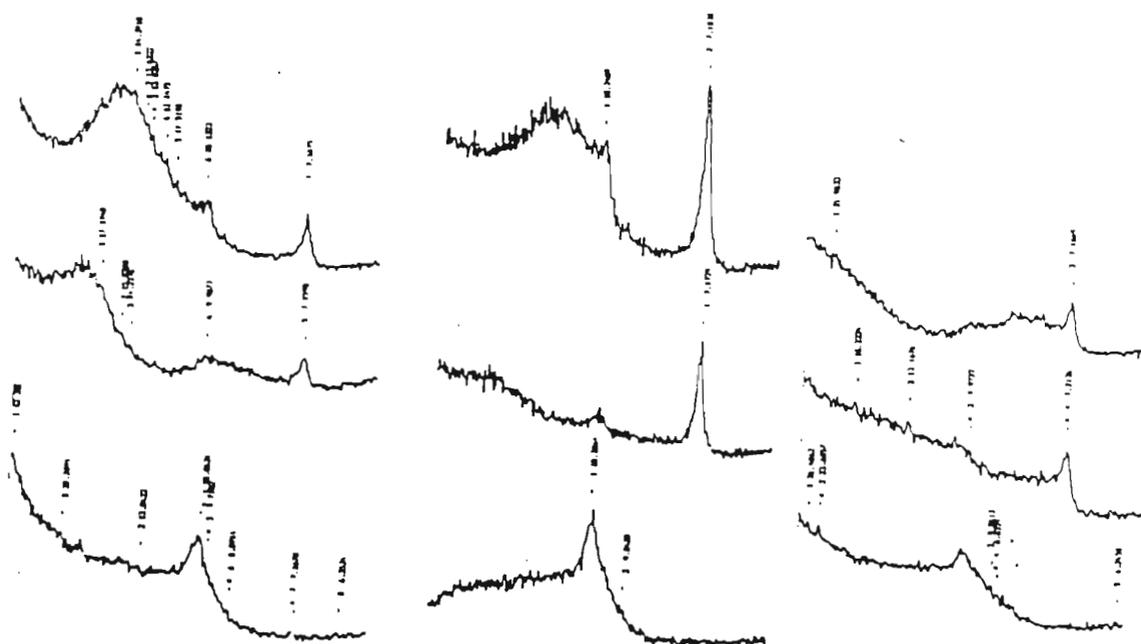
Il faut remarquer pour cette horizon la teneur en argile très élevée relativement aux autres horizons habituellement observés sur les formations calcaires dans les régions semi-arides. Ce qui peut suggéré que l'origine de cet horizon.est en relation avec la possibilité que le sol ait subi une érosion (troncature). L'horizon observé actuellement serait donc la partie supérieure de l'horizon sous jacent. Il appartient donc à la partie supérieure des horizons médians M7, M6.et M5. Mais ce n'est là qu'une hypothèse qu'il faut confirmer.

Minéralogie

Les diffractogrammes des R.X de la figure ont été réalisés sur trois échantillons pris sur le versant long dans la fosse 15 située en amont, la fosse 10 située sur le replat et dans la fosse 3 en aval sur la toposéquence ME.

Les trois échantillons analysés présentent des pics étalés de **smectites** de plus en plus **mal cristallisées** d'amont en aval (cristallinité estimée sur la hauteur des pics). Une proportion relativement importante de kaolinite est montrée par l'échantillon pris sur le replat au niveau des vertisols. L'illite est aussi présente en traces et son pic à 10Å au chauffage est beaucoup plus intense et plus étalé sur le replat.

Ceci est en parfaite concordance avec la minéralogie de l'horizon M7 immédiatement au-dessus. Ce qui suggère une certaine filiation entre ces deux horizons.



a) Fosse 15

b) Fosse 10

c) Fosse 3

FIG. 60 : Diffractogrammes des R.X de l'horizon S2

Micromorphologie

La lame qui sera décrite à été prélevée dans la fosse **10** de la toposéquence **ME** à 60 cm de profondeur.

Le **plasma** ennoie la totalité des grains du squelette (assemblage porphyrosquelique). Il est dominant et correspond à plus de 80% du fond matriciel.

Il apparaît constitué de deux phases :

.Une phase **brun-rouge** dominante, concentrée localement aux approches des parois des vides fissuraux.

.Une phase **brun-jaune** biréfringente par points et en concentrations discontinues, localisée autour des grains du squelette et sur les parois des vides. Elle est fortement orientée, quel-vo-masépique, puis bimasépique à latisépique, peu marquée par endroits.

Le **squelette** est monominéral, constitué principalement de cristaux de **quartz** bien répartis dans la masse plasmique, sans arrangement particulier. Ceux ci sont de formes variables allant du cristal en bâtonnet quadratique (100x400u), au cristal subarrondi à subangulaire à contours émoussés. Ces cristaux de quartz sont fortement altérés. Il sont striés de canalicules anastomosés aboutissant , localement, à leur fragmentation.

Les **vides** sont représentés par des chenaux et des cavités plus ou moins sphériques(0,1 à 0,3 mm de diamètre moyen), légèrement distordus sans angles rentrants. Mais aussi par un réseau de fissures à parois lisses présentant des renflements de 0,1 à 0,4 mm de diamètre. Ces fissures sont soit verticales, soit obliques, soit désordonnées (cf. Fig,).

Les très rares **traits pédologiques** observés sont un nodule et des pédotubules. Le nodule de 1,4 mm de diamètre est de couleur brun-jaune, à structure radiale et de forme arrondie.

Commentaire

L'horizon **S2** est un horizon de surface relativement épais situé sur le replat du versant long de la toposéquence **ME** et de couleur foncée. Il est décarbonaté dans la masse, très argileux et présente une structure large affirmée. Il comporte une phase grossière, plus ou moins importante, siliceuse et quartzitique. La présence de ces éléments grossiers, rencontrés en proportion plus importante dans l'horizon sous-jacent **M7**, de forme arrondie

et patinés, suggère qu'il s'agit là de témoins d'un alluvionnement interstratifié provenant du Causse Moyen Atlasique.

Sa constitution minéralogique comporte exclusivement des smectites gonflantes mal cristallisées associées, à l'état de trace, à de l'illite et à de la kaolinite.

En microscopie optique, l'horizon **S2** présente un plasma dense porphyrosquelique et une organisation plasmique squel-vo-masépique suggérant des pressions internes que peut subir cet horizon argileux.

Sa distribution dans le paysage, où il est souvent en poches et associé à l'horizon **S1**, est difficile à mettre en évidence. Des hypothèses sur sa formation seront proposées ultérieurement.

CONCLUSIONS SUR LA MORPHOLOGIE DES HORIZONS SUPERIEURS

Le tableau 31 récapitule l'ensemble des données morphologiques concernant les trois horizons supérieurs distingués sur la toposéquence **ME**.

Tableau 31 : Principales données morphologiques et analytiques des horizons supérieurs **S**

Phases	Phase colorée			Phase blanche carbonatée			Phase siliceuse	Erosion anthrop.	Subst basal.
	Hz	e = cm	couleur	caco3 %	%	Amas			
S.1	30-40	5YR4/4	40	15	+	++	-	forte	M1- M2
S 2	30-70	5YR3/2,5	2	1	-	-	++	faible	M5-M6- M7
S 3	30-35	5YR3/2	27	1	-	-	+	faible	M4

Analyses globales	Argile %	Limons %	M.O %	structure	Porosité	Act.biol	Minéralogie
S 1	35-40	4	0,9-2,3	Polyed.g	Tubul	+++	S-I-K
S 2	40-58	20	1,7-2,3	Polyed. f	Tubul	+++	S-I-K
S 3	36-40	28	1,5-1,9	Polyéd.f	Tubul.	+++	

Commentaire

Les horizons **S1, S2** et **S3** présentent en commun :

- Une phase colorée entre le brun et le rouge;
- une activité biologique moyenne à forte;
- une composition minéralogique identique.

L'horizon S1, peu épais est soumis à une érosion anthropique importante aussi bien en modelé de plateau que sur pente. Il présente une coloration plus variée sur pente, témoignant d'un remaniement par les pratiques culturales. Son substrat est presque généralement un horizon médian, très carbonaté (**M1** ou **M2**) à croûte ou non, parfois il repose directement sur une croûte surmontant un horizon profond très carbonaté (**P1**) ou sur l'allotérite à phase blanche généralisée **P2** (Faciès III d'altération).

L'horizon S2, plus épais et plus argileux, présente une coloration plus sombre et un profil **décarbonaté**. Sa structure est plus large avec une porosité fissurale parfois importante (larges **fentes** de retrait visibles en saison sèche (cf. planche)).

La particularité de sa constitution minéralogique réside dans la *mauvaise cristallinité* des smectites due probablement à une présence importante de matière organique bien minéralisée, pouvant venir perturber la diffraction des R.X (LAMOUREUX, com. or.).

Sa situation dans le paysage est variée : s'il caractérise les sols de versants et talwegs, il peut très bien se développer sur plateau parfaitement plan, ainsi que sur des versants à pentes douces ne dépassant pas 2 à 3%.

Il est le siège d'un *colluvionnement*, parfois important, montré par les éléments grossiers siliceux et quartzitiques qu'il renferme.

Sa transition basale graduelle se fait presque toujours vers un horizon médian argileux et plus ou moins décarbonaté (**M5, M6, M7**).

La variation d'épaisseur de cet horizon n'est pas en relation avec la nature du substrat, mais est fonction des travaux du sol, relayés par l'érosion.

La forte teneur en argile des horizons supérieurs **S2**, quelle que soit leur position, peut être attribuée soit à une *variation de roche-mère* (présence de sédiments de calcaires argileux) sur le versant, soit à un apport alluvial dans le bas fond, soit à une *évolution verticale* favorisant l'argilisation différente autoaccélérée par l'apparition de *poches* et *cuvettes*.

L'horizon S1 présente par contre une épaisseur régulière liée au travail habituel du sol (labours à 30-35 cm) n'affectant pas l'horizon médian sous-jacent. La seule différence importante concerne le degré de fragmentation de la croûte.

L'horizon S3, forme une transition progressive et forme le terme médian entre les deux autres horizons, **S1** et **S2**. Il occupe une situation de bas de pente. Il se caractérise par des caractéristiques communes aux deux ensembles **S1** et **S2**. Il forme donc un stade d'évolution des horizons **S1** carbonatés vers les horizons **S2** décarbonatés et argileux.

Mais, sa situation en bas de pente, la présence d'éléments grossiers exogènes suggèrent par contre une origine allochtone de cet horizon.

CHAPITRE 10

RELATIONS ENTRE HORIZONS ET PHASES ET LES POSSIBILITES DE FILIATION

A/ Relations morphologiques

La figure 61 identifie et présente les relations entre les différents horizons déduites des observations morphologiques effectuées sur les toposéquences étudiées. Elle montre une variation progressive, ordonnée des organisations le long des versants.

Le fait le plus marquant est la variation de teneurs en calcaire décroissante en fonction de la pente. Il y a aussi à remarquer les transitions entre horizons médians et profonds en glosses et digitations qui suggèrent que celles-ci sont le siège d'une dynamique de l'eau particulière.

Il y a un épaissement des horizons d'amont en aval de la toposéquence qui peuvent dériver alors génétiquement les un des autres du bas vers le haut du profil. Néanmoins l'observation d'éléments exogènes aux sédiments mettent en évidence une discontinuité dans les séquences verticales d'horizons en situation de versant. En plus l'épaisseur des horizons médians et profonds suppose une altération très importante d'une grande quantité de calcaire compte-tenu de la teneur en résidus insolubles de ces sédiments.

Deux processus possibles peuvent être à l'origine de ces discontinuités:

- un processus d'apport qui justifie la présence aussi bien d'éléments exogènes que de la grande quantité d'argiles présente qui sont de ce fait antérieures à la fonte des sédiments,
- un processus d'altération de sédiments calcaires plus marneux.

L'existence de bancs de calcaires lapiazés n'est pas compatible avec le dernier processus.

Pour l'ensemble des horizons de plateau, on peut donc conclure à l'absence de processus sédimentaires lors de leur différenciations. Par contre pour ceux des bas de versants, des apports de sédiments argileux et grossiers sont possibles et que l'évolution pédologique ultérieures a effacée en partie la morphologie initiale de ces apports.

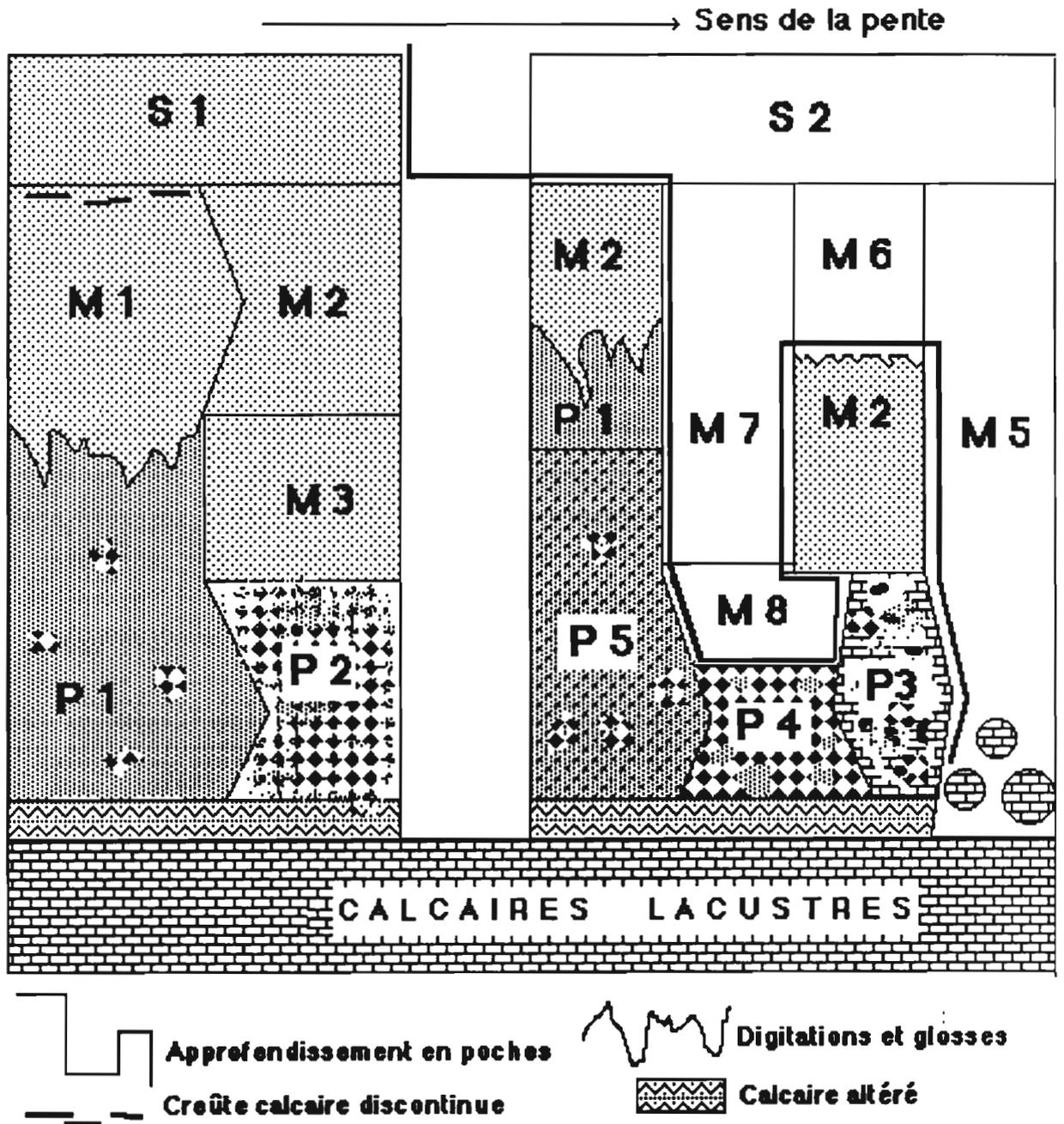


Fig. 61 : Relations entre les ensembles d'horizons

B/ Relations minéralogiques

L'étude minéralogique réalisée sur les différents horizons et phases était indispensable pour pouvoir déterminer la part d'héritage du substrat calcaire ainsi que celle d'éventuelles apports extérieurs ou actions pédogénétiques (néoformation). Mais avant de discuter nos résultats, nous donneront tout d'abord un bref résumé des travaux réalisés dans la région de Meknès sur ce sujet.

Depuis SCHOEN (1968) qui avait abordé l'étude de la composition minéralogique des sols du Maroc, très peu de travaux ont prolongés ces premières investigations. Dans son travail sur la connaissance des minéraux argileux, il signale que pour les formations lacustres, qu'il s'agissent des calcaires durs, des tufs calcaires tendres ou des couches interstratifiées d'argiles plastiques, le contenu en minéraux argileux est le même : traces d'illite, peu de chlorite, *prédominance de montmorillonite*

L'argile des sols formés sur formations lacustres est également dominés par la montmorillonite. La kaolinite et l'illite sont parfois légèrement plus abondantes dans la partie supérieure du profil. De ce fait il attribue l'augmentation de la kaolinite et de l'illite dans les horizons supérieurs à un apport .

En plus, la ressemblance entre minéraux argileux du substratum et du sol n'a pu être observée que dans les sols formés sur matériaux tuffeux et tendres. Ce qui lui permet d'avancer que les tufs tendres constituent dans le plateau de Meknès la terminaison de la série des formations lacustres.

Par contre, lorsqu'affleure le calcaire lacustre dur, les minéraux argileux des sols (sols rouge méditerranéens) *diffèrent* fondamentalement de ceux des formations lacustres sous-jacentes.

En conclusion il établit la règle suivante : les sols sur calcaire lacustre dur sont un apport "post lac", les sols sur matériaux lacustres tendres sont formés à partir de celui-ci.

Dans son travail sur les encroûtements calcaires dans le Saïs occidental, BENABDALLAH (1986), signale que la composition minéralogique montre une richesse en *smectite*, la kaolinite et l'illite existent en quantités relativement faibles. En plus il y a une ressemblance

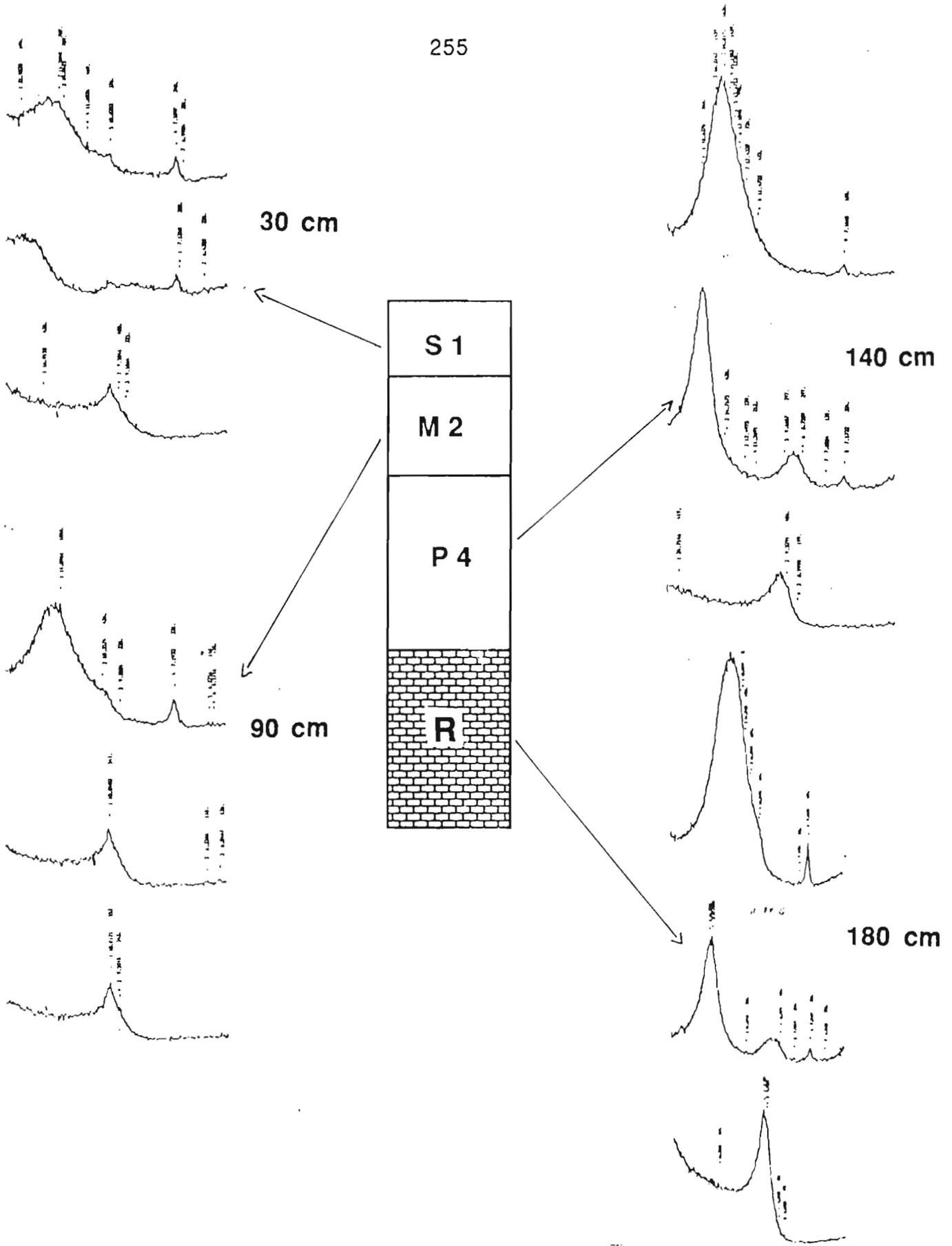


Fig. 62 : Diffractogrammes des R.X de la fosse 8 de la coupe AV

minéralogique de bas en haut le long des profils donc une continuité entre le sol et la roche-mère.

Dans notre étude, les résultats obtenus ont essentiellement un caractère qualitatif afin d'apporter quelques éléments concernant l'identification des minéraux argileux constitutifs des différents horizons permettant tant soit peu de comprendre le mode de formation et de genèse des sols du plateau de Meknès.

L'examen des diffractogrammes des RX montre une certaine analogie entre tous les horizons étudiés et les calcaires lacustres durs et/ou tendres. Nous allons exposer dans le détail les résultats obtenus sur un profil, celui de la coupe **AV**. Ensuite, un résumé synthétique de l'ensemble des résultats sera présenté.

On remarque sur les diffractogrammes des R.X des horizons, la présence de minéraux gonflants, à distance basale de 14 Å qui après saturation par l'éthyle glycol, donne une diffraction centrée sur 17 Å, ce qui est une expansion normale pour une *smectite*.

Dans tous les échantillons apparaissent également des réflexions faibles à 10 Å, dues à la présence d'*illite*. Cette réflexion est associée à celle des smectite ce qui peut laisser supposer la présence d'interstatifiés.

Enfin, on remarque aussi, pour tous les échantillons, la présence de *kaolinite* (réflexion à 7,18 Å qui disparaît au chauffage) à l'état de traces.

L'analyse de la composition minéralogique par diffractométrie aux R.X. de la fraction insoluble révèle la présence constante et largement dominante de smectite, de kaolinite et d'illite en minéraux accessoires.

Néanmoins, on constate une présence de Kaolinite relativement plus importante dans les horizons argileux médians **M5**, **M6** et **M7**. Ce qui peut suggérer une provenance différente des ces horizons argileux

La cristallinité des minéraux appréciée par l'allure des pics (CHAMLEY, 1967), est très marquée dans les calcaires lacustres et les horizons profonds. Elle est médiocre pour les horizons de surface. Ce comportement a été d'ailleurs souligné par SCHOEN dans les vertisols du Maroc.

Si l'on considère la littérature, un tel comportement des smectites est lié à la présence de matières organiques qui forme un complexe matière organique-argile stable limitant l'apparition de la cristallinité des minéraux argileux aux R.X.

Conclusion

Dans les études antérieures traitant de la minéralogie des argiles des sols du plateau de Meknè, on peut remarquer tout d'abord une hétérogénéité dans les résultats obtenus, dépendant probablement de la localisation géographique des prélèvements. Ensuite, dans les textes, il y a un manque de détails et de descriptions permettant d'établir des comparaisons entre les différentes formations étudiées.

Dans la région étudiée, les altérites et les sols montrent une relative homogénéité au niveau de leur composition minéralogique. Le minérale prépondérant présent est une **smectite** associée à des minéraux illitiques et kaoliniques. Les horizons médians argileux présente par contre une teneur en Kaolinite relativement plus importante.

C/ Relations micromorphologique

Nous allons résumer les principales caractéristiques micromorphologiques en montrant leur évolution des horizons d'altération aux horizons de surface.

1/ LE PLASMA

Les différentes phases associées qui constituent le plasma varient progressivement de bas en haut dans le profil. La couleur depuis les calcaires lacustres aux horizons supérieurs **S** passe du gris puis au blanc vers le brun rouge et le rouge.

Dans l'ensemble la couleur du plasma est assez homogène dans les horizons médians sauf pour les horizons **M1**. Ces changements de couleur traduisent certainement des modifications concernant les oxy-hydroxydes et la libération de minéraux argileux.

De bas en haut et d'amont en aval; les phases en présence se développent au dépens de la phase dominante gris blanc et blanc des calcaires lacustres. Ils résultent de la fragmentation et dissolution de la roche calcaire suivie d'une décarbonatation et libération d'oxy-hydroxydes et minéraux argileux. Ces transformations trouvent leur maximum dans les horizons médian et profond argileux où les flux hydriques sont les plus importants. Dans ces horizons plus transformés on a donc une modification

des conditions physico-chimiques du milieu, c'est à dire de la composition des solutions de percolation.

Dans les horizons argileux profond **P4** on observe des accumulations argileuses qui apparaissent sous forme de cutanes simples, microlités de rouge et noir, comblant partiellement les vides. La présence de ces cutanes suggèrent que les horizons profonds ne seraient pas formés sous les conditions du milieu actuel.

LE SQUELETTE

Il est constitué principalement de cristaux de quartz de formes et taille très variables. Il est très importants dans les horizons de surface et voit son importance, aussi bien au niveau taille que proportion, diminuer vers les horizons d'altération. Les quartz, enrobés par le plasma, sont irrégulièrement répartis et sans orientation particulière. Certains d'entre eux sont brisés et présentent des fissures de dissolution remplies d'une matrice brun rouge.

L'ESPACE PORALE

La macroporosité visible sur lames minces est constituée principalement de fissures fines, discontinues et sans orientations dominante et de pores tubulaires verticaux d'origine probablement biologique. Leurs importance croît de bas en haut des profils. Les fissures fine se localisent dans les domaines riches en phases colorées.

Sur les bords des fissures grossières, des pores tubulaires et des cavités anguleuses, on observe souvent au niveau des horizons médians des impregnations de couleur jaunes concentriques avec un gradient de diffusion vers l'intérieur des éléments structuraux. Ces impregnations présentent un plasma analogue à celui des horizons fortement décarbonatés. Ces impregnations laissent la place par endroits à des précipitations de calcite sous forme de lublinité. Ce plasma peut donc être considéré comme le résultat d'une décarbonatation et témoigne d'un transfert de solution et de son dépôt.

Conclusion

Les observations micromorphologiques révèlent une variation d'organisation des fonds matriciels, allant des horizons d'altération des calcaires lacustres aux horizons pédologiques. Il y a augmentation progressive du plasma de bas en haut et de l'amont vers l'aval, de même que le squelette quartzeux qui devient plus important. L'assemblage, de porphyroscuelique devient masépique et vol-squelsépique à latisépique dans les horizons médians et profonds très argileux.

Ces observations montrent une altération des calcaires lacustres (décarbonatation lente) et une libération de l'argile et des oxy-hydroxydes (pédoplasmatation) qui impregnent le fond matriciel sous forme de volumes et de revêtements argilo-ferriques.

Les nodules calcaires, isolés et essentiellement micritiques présentent la même organisation à l'amont et l'aval de la toposéquence. Ils présentent un squelette dépourvu de quartz et montrent des transitions diffuses, ils ont donc un caractère relictuel et paraissent se différencier à partir du fond matriciel micritique initial environnant.

En résumé, du matériau de calcaire lacustre au sol, la texture du calcaire disparaît, les altéropasmas se forment et s'organisent en un fond matriciel de transformation qui peut contenir des lithoreliques. Les produits du fond matriciel peuvent être mobilisés et distribués dans la porosité de dissolution.

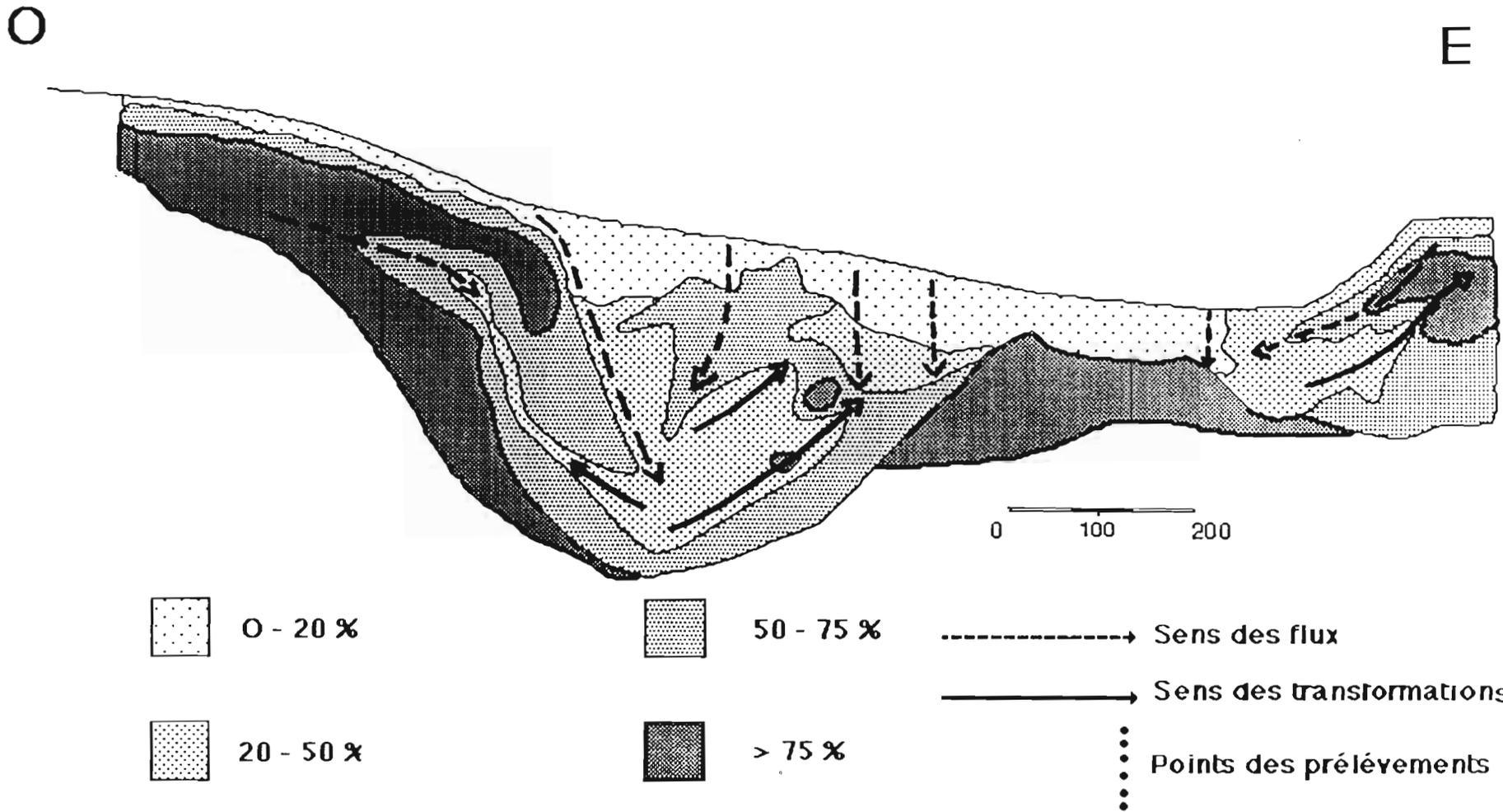


FIG63 Toposéquence ME : Dynamique et courbes d'isovaleur du calcaire

4. LE CALCAIRE : Différentes expressions morphologiques et dynamique

La dynamique des carbonates est un des éléments importants dans la différenciation des sols du plateau de Mèknès. Le calcaire qui est très fréquent, se dissout, migre et s'accumule sous différentes expressions morphologiques dans la région étudiée. Il existe dans tous les sols sous différentes formes et en quantités variables, de ce fait, son étude dans les sols fut abordé par plusieurs pédologues.

Les accumulations de calcaire tendres ou indurées dans les sols sont connus sous diverses appellations : croûte calcaires, encroûtement nodulaire ou friable, taches, nodules, concrétions, dalle, pellicule rubanées accumulation diffuses, granules, amas pulvérulents...

Les horizons d'accumulation des calcaires confèrent à ces sols leurs particularités morphologiques et physico-chimiques particulières. Leur présence à mi-profondeur constituent l'une des contraintes intrinsèques majeures à leur mise en valeur. Ceci réduit leur volume utilisable et limite la pénétration des racines dans les horizons potentiellement plus riches.

4.1. Variations des teneurs en carbonate de calcium

L'analyse des teneurs en carbonate de calcium dans les profils de la toposéquences **ME** illustrée par la figure 61, montre que les teneurs sont notables sur la partie plateau (amont) et décroissent pour devenir nulles en aval au niveau des ensembles supérieurs **S2** et médians **M5**, **M6** et **M7**. Verticalement on observe un accroissement jusqu'aux calcaires lacustres altérés où elles atteignent plus de **80 %**.

Au niveau de la toposéquence **ME**, le calcium présente donc une dynamique active qui se traduit par une décarbonation progressive verticale et latérale et par l'accumulation de carbonate de calcium sous différentes formes.

4.2. Les formes d'accumulations du calcaire observées

Les observations morphologiques rendent compte d'une dynamique très active du carbonate de calcium qui se manifeste par des formes de concentrations variées. Elles peuvent être liées soit à une dissolution des

calcaires sous-jacent (tufs) et à leur exportation hors du profil et du paysage par les eaux de drainage, laissant sur place le calcaire figuré, soit par la même dissolution suivie d'une redistribution par la macro- et la microporosité dans un des horizons du sol.

Sur la toposéquence **ME** et sur les autres toposéquences et coupes quatre types d'accumulations sont reconnues :

*** L'accumulation diffuse (petites taches et pseudomyceliums)**

Elle concerne et caractérise principalement les horizons de surface **S1**. Elles sont diffus, peu durs et/ou tendres et réparties sur les éléments pédiques.

*** Les amas**

Cette forme d'accumulation est tendre ou pulvérulente, de forme arrondie ou subelliptique, subangulaire ou polyforme. Leurs contours extérieurs sont réguliers et leurs transitions avec la masse sont distinctes. Quelle que soit la taille et la forme de ces accumulations calcaires, : taches diformes, utricules, chevrons... celles-ci contiennent plus de 80 % de carbonates de calcium.

La répartition des amas dans les sols est préférentielle aux horizons profonds. Elles présentent souvent un noyau central dur et porcelané, ce qui peut constituer un indice de leur formation "in situ" (Cf. Planche).

Au microscope, ces amas se présentent comme des masses ou cristallisation de calcite micritique où les organisations et structures sont absentes. Ils sont parfois déformés, tourmentés par une porosité tapissés de microsparites et de sparites, ce qui peut suggéré qu'il sont en relation avec une certaine abondance d'eau.

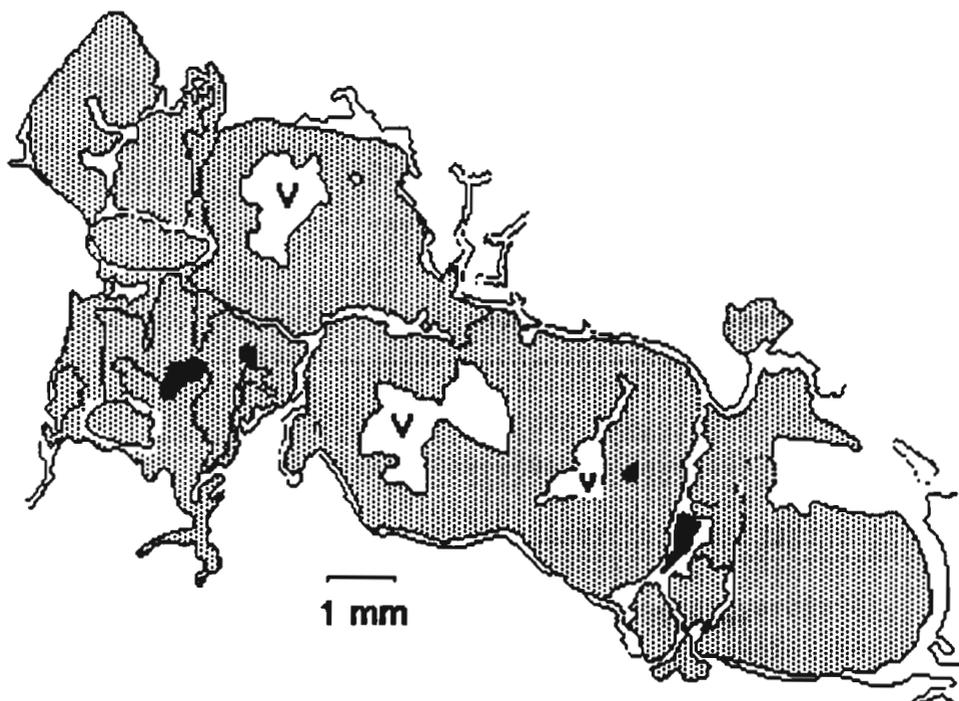


Fig. 64 : Aspect microscopique d'un amas calcaire

*** Les nodules**

Les plus typiques sont de forme arrondie dominante, sont durs et leurs dimensions varient de 1 mm à plus de 5 cm. Ils sont enrobés d'une pellicule très fine et tendre de calcaire. Ceci suggère que ces formations, anciennes, et qui témoignent d'une formation très lente, paraissent recevoir encore actuellement des éléments fins calcaires. Mais peut suggéré aussi, qu'une modification du régime hydrique interne du sol entraîne actuellement leur altération.

Ils sont rencontrés sur la majorité des sols, ce qui peut indiquer une relative variation et contraste dans les conditions climatiques et pédohydriques. Néanmoins, les sols des parties hautes du paysage (plateau) en sont les mieux pourvus (sols Calcimagnésiques et sols Isohumiques). Par contre, les sols en situation de versant bien drainant ne présentent pas ou très peu de nodules, ce qui pourrait être un reflet de leur jeunesse relative.

Au microscope, ils apparaissent associés à des vides et/ou très individualisés dans le plasma environnant avec lequel ils ont une limite très nette. Ils ont des formes subarrondies ou légèrement allongées et une dimension qui varie de 0,1 à 1,4 mm de long et de 0,9 à 1,4 mm de large. Ils sont constitués essentiellement de calcite microsparitique blanche.

Certains nodules présentent un fond matriciel constitué de calcite micritique gris clair et leurs bords de calcite microsparitique et sparitique. Plus ces nodules sont petits, plus la limite avec le plasma est diffuse.

* *Les croûtes*

Elles correspondent aux accumulations calcaires les plus indurées et les plus denses et se présentent sous forme d'une superposition de feuillets continus et de structure interne très massive. Elles sont de couleur gris blanc à rose saumon (YR). Elles sont très calcaires (90 % en moyenne)

La croûte calcaire a deux effets principaux sur l'évolution des sols:

- Si elle est continue et épaisse, elle joue le rôle d'imperméable et permet un écoulement latéral des eaux météoriques. Elle modifie ainsi le drainage interne du sol,

- elle protège les horizons sous-jacents des effets directs de l'érosion en nappe. Dans ce cas, elle ne modifie pas la pédogenèse, mais lui permet de se développer à l'abri de l'érosion.

Conclusion

Le calcaire et sa redistribution dans le paysage saissien sous différentes formes sont les marques d'une pédogenèse ancienne

A partir des calcaires lacustres, l'altération induit une libération de la calcite micritique qui sera à l'origine soit d'accumulations discontinues, soit d'accumulation continues et massives. Ces différentes formes d'accumulations correspondent à des faciès de restructuration, ou de réorganisation de la calcite micritique qui tend à devenir exclusive.

L'analyse micromorphologique montre une cristallisation et réarrangement du calcaire. Au sein de la masse micritique, des plages de microsparites et sparites se forment et les vides sont comblés par de la sparite. Il s'agit d'une dissolution et d'une cristallisation sur des carbonates libérés.

5. Les actions anthropiques

L'évolution des horizons présentés sur la toposéquence **ME** est fortement influencée par l'activité anthropique. Sur le **versant Est**, on a pu observé des perturbations des horizons supérieurs et médians qui entraînent des modifications dans la morphologie des ces horizons.

Le versant Est est constitué de 3 segments :

- un segment amont (de la fosse 34 à 32) qui fait partie du plateau de l'ENA,
- un versant concave à pente forte (de la fosse 32 à 31),
- un segment aval à pente faible (de la fosse 31 à la séguia).

L'étude des fosses et des sondages complémentaires nous permet de schématiser ce versant (Fig.) et de constater :

a) Des variations de couleur de surface liées aux effets du labour et à l'érosion (Cf. Photoaérienne P.) :

- plages blanches dues aux remontées des horizons médians calcaires,
- plage brun foncé due probablement à l'enrichissement en matière organique venant de l'amont

b) Des transformations anthropiques de surface (suivies à la tarière sur le versant pentu)

- de la fosse 32 à 32.1, les horizons très calcaires , de couleur blanc beige et à débris de croûte, passant à des horizons présentant des volumes brun foncé et blanc, nettement remaniés. Les labours successifs, suivant la pente, favorisent les transports amont-aval,

- de la fosse 32.1 à 80, la couleur brun pâle devient plus jaune pour devenir nettement jaune (2,5 YR 6/4) sur 10 à 15 mètres environ,

- de la fosse 80;3 à 81, la couleur jaune passe à l'orange (7,5 YR 5/65) puis au brun rougeâtre (7,5 YR 5/6).

Commentaire

L'activité anthropique (travail du sol) favorise :

- les érosions de surface : apparition de plages blanches calcaires en haut de pente, transport de terre le long de la pente,
- les écoulements hydriques suivant la pente, avec engorgement relatif à mi-pente (hydratation ou jaunissement du fer), tandis qu'en bas de pente la couleur jaune disparaît, les eaux semblent être mieux drainées vers la séguia.

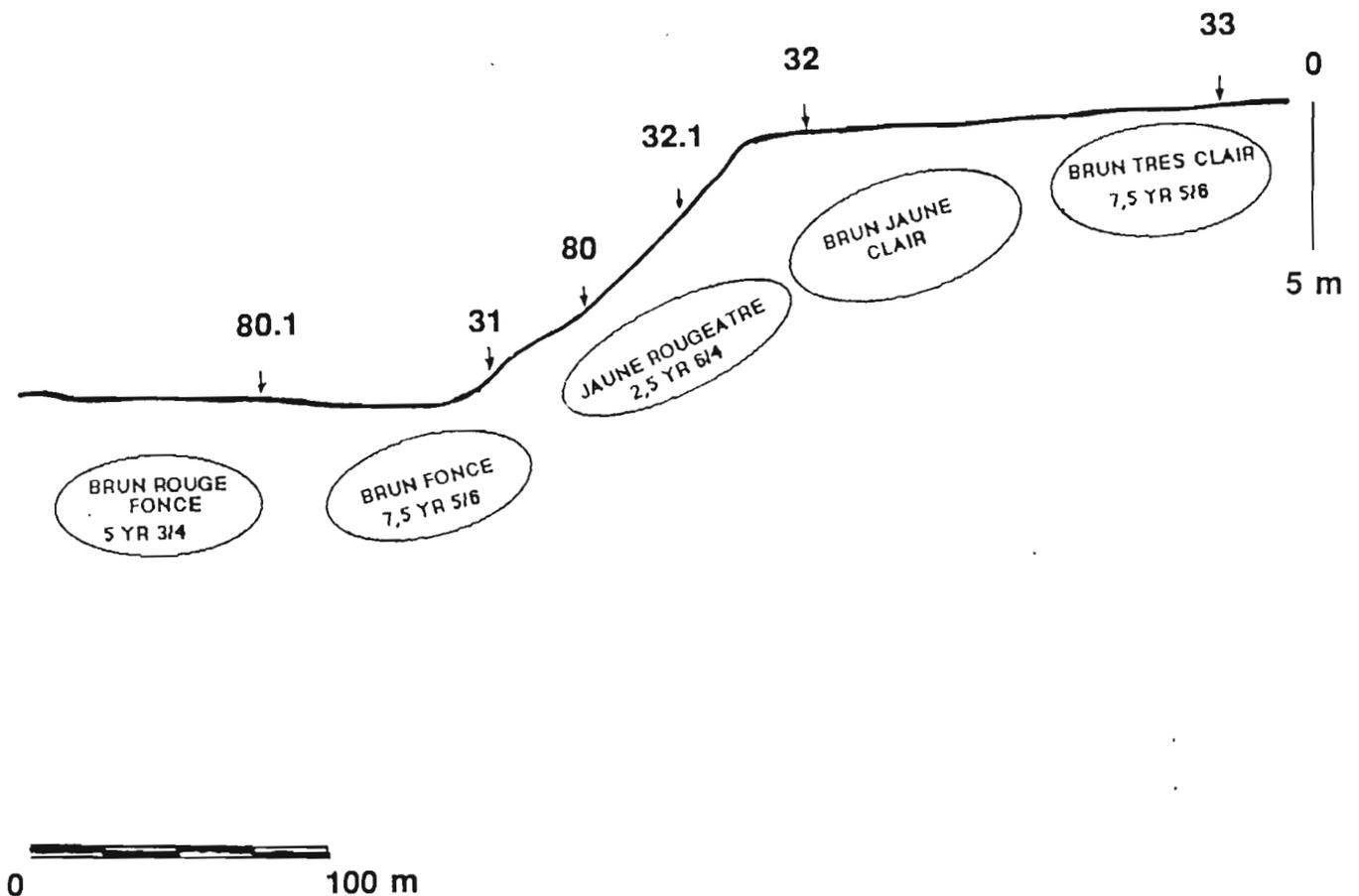


Fig. 65 : Toposéquence ME : Profil chromatique du versant court

Planche n° 5



Photo. 1 - Etat de surface de l'horizon S2.
Phénomène de retrait en saison sèche
(replat de la toposéquence ME)



Photo.2 - Aspect anthropique de l'horizon S1
Remaniement et remontée des horizons médians
(Plateau E.N.A)

Chapitre 11

AUTRES TOPOSEQUENCES ET COUPES:

Analogie et degré d'évolution et de différenciations

Trois toposéquences seront successivement étudiées, bien que présentant des successions de sols comparables sinon identiques, ces séquences sont complémentaires, car leur degré de différenciation et d'évolution n'est pas le même, la toposéquence de référence **ME** présente l'évolution la plus poussée. En fait, il est rare de retrouver cette association complète des différents types de sols.

11.1 - *DANS LE SED : TOPOSEQUENCES MA ET MX*

Les toposéquences **MA** et **MX** considérées comme moins différenciées que la toposéquence **ME**, sont localisées sur le **SED** et illustrées par la fig. .

11.11 - *Toposéquence MA*

Les caractéristiques topographiques de cette toposéquence sont très voisines de celles de la toposéquence **ME**.: 1300 m de longueur et 19 m de dénivelée totale. Deux versant dissymétriques composent la toposéquence : un *versant long* de 820 m avec une pente moyenne de 2,3 % et un *versant court* de 480 m avec une pente moyenne de 4 %. Le replat-cuvette qui caractérise la toposéquence **ME**, fait défaut ici, et les versants sont réctilignes. Dans le détail, les pentes passent progressivement de 2,9 à 1 % de l'amont vers l'aval du versant long, et de 1,5 à 6,5 % du versant court.

L'examen des ensembles d'horizons aussi bien dans leur disposition verticale que leur répartition latérale montre que, dans cette toposéquence, nous avons à faire aux mêmes différenciations que celles de **ME** et que les sols présentent une répartition latérale analogue. Toutefois la différenciation en vertisols fait défaut. De l'amont vers l'aval et de part et d'autre du talweg **A**, les états de différenciation sont les suivants :

- Un ensemble de sols calcimagnésiques, bruns calcaires et rendzines, qui disparaît après m,
- un ensemble de sols à profil nettement plus différenciés isohumiques (sols marrons),
- Un ensemble de sols fersiallitiques (rouges).

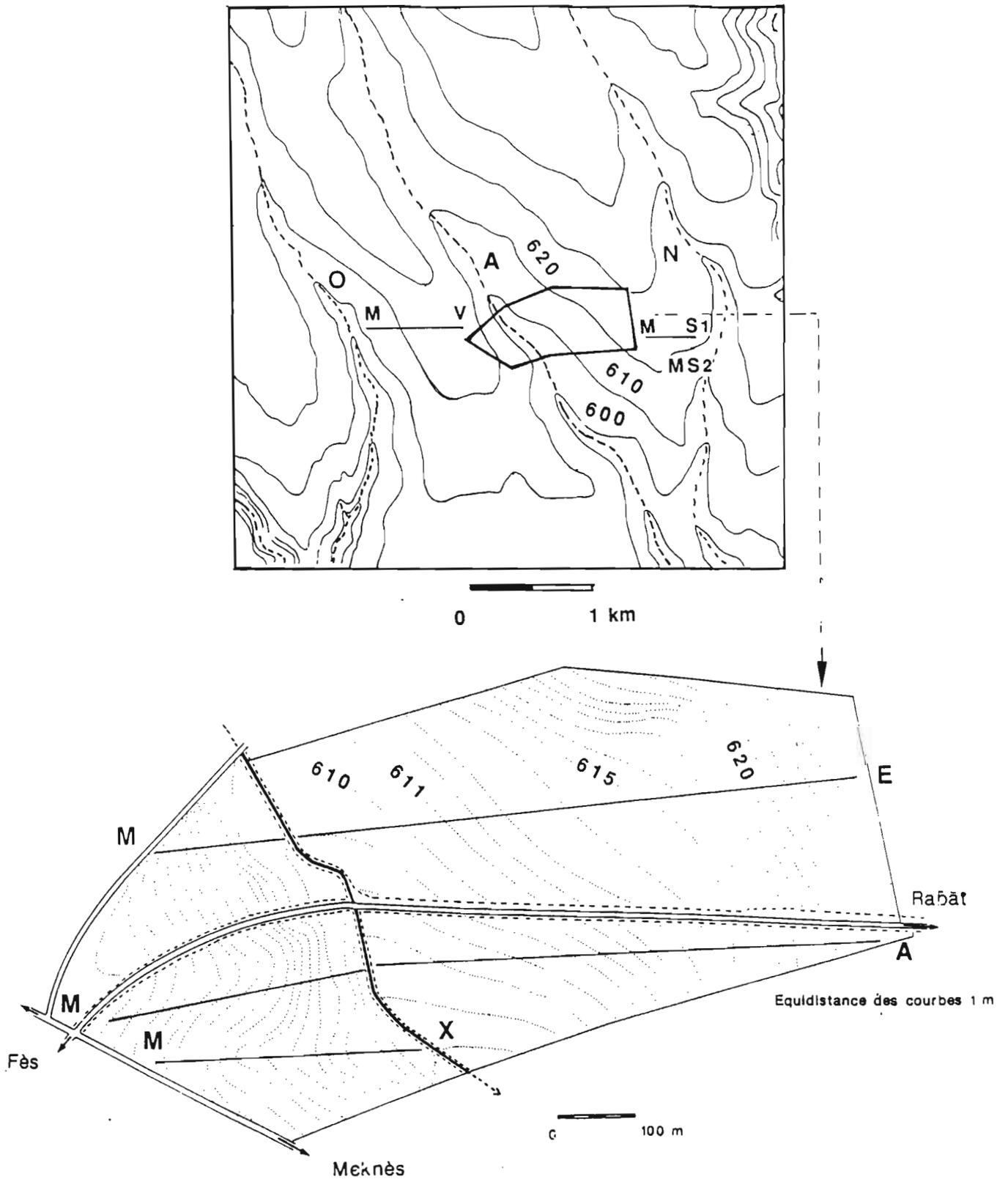


Fig. 66 : Localisation des toposéquences étudiées

11.12 - Toposéquence MX

Localisée sur le prolongement d'un talweg de versant, la toposéquence **MX** se développe sur une distance de 600 m, pour une dénivelée de 15 m avec une pente moyenne de 3 %. Cette toposéquence se caractérise par la succession d'un ensemble d'horizons qui présente un développement ordonné qui s'accroît au long du talweg de versant développant ainsi progressivement un vertisol profond analogue à celui observé sur le replat-cuvette de la toposéquence **ME**.

D'amont en aval, on distingue trois unités de sols dont la répartition se calque sur les deux segments topographiques composant le modelé du versant.

11.2 -DANS LA ZONE D'ETUDE (TOPOSEQUENCES AV,MS,MV)

11.21 - Toposéquence AV

Le long de cette coupe, ravinant les calcaires lacustres, une différenciation pédologique est visible sur le manteau d'altération, décrit au chapitre 11, parallèle à la pente

11.22 - Toposéquence MS1 et site MS2

Cette toposéquence se localise sur le prolongement Ouest de **ME** Elle présente un profil topographique à pente faible et les mêmes différenciations pédologiques que sur la toposéquence de référence. Elle montre surtout avec le site **MS2** une idée sur les transformations en poches en position de plateau.

11.23 - Toposéquence MV

L'opportunité de travaux entrepris pour creuser les fondations de laboratoires a permis d'étudier la partie plateau qui prolonge à l'Est le S.E.D. et d'avoir aussi une idée des organisations de la couverture pédologique des surfaces subtabulaires, toujours difficiles à cartographier. La toposéquence étudiées (fig.) confirme ce qui a été vu sur les toposéquences **ME** et **AV** :

- organisations en poches décamétriques de 1 à 2 m de profondeur,
- réseau interpoches nettement encroûté vers 60 à 80 cm,
- échancrures du plateau à partir des poches s'ouvrant vers de petits talwegs de versants.

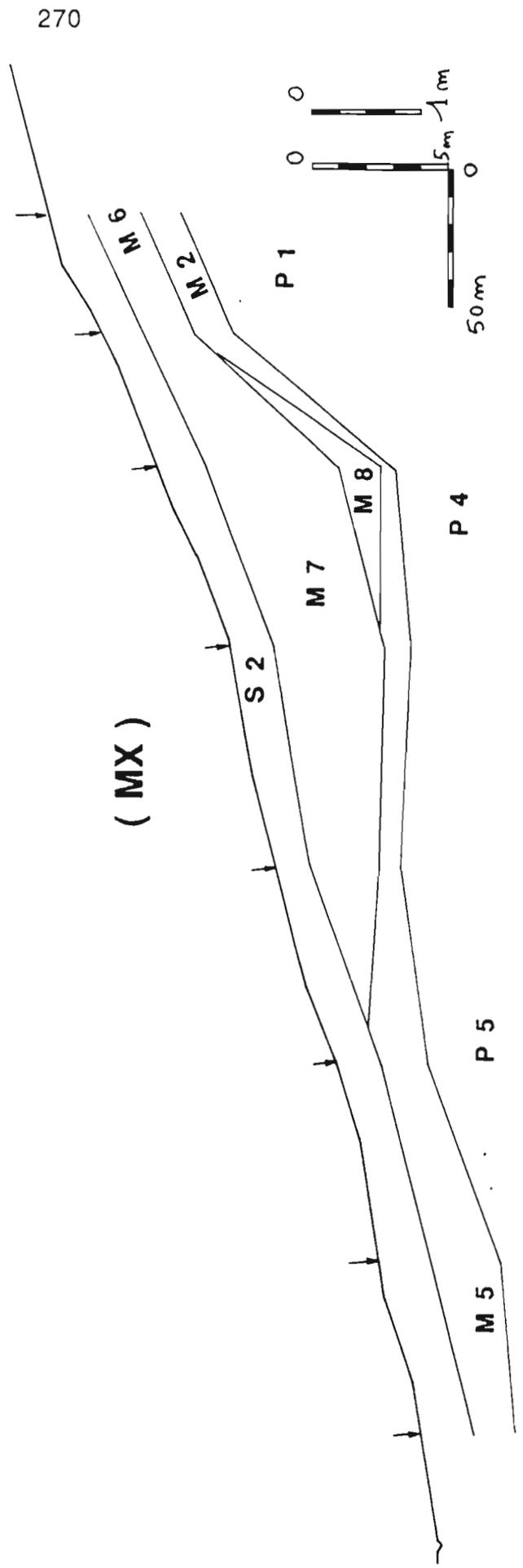
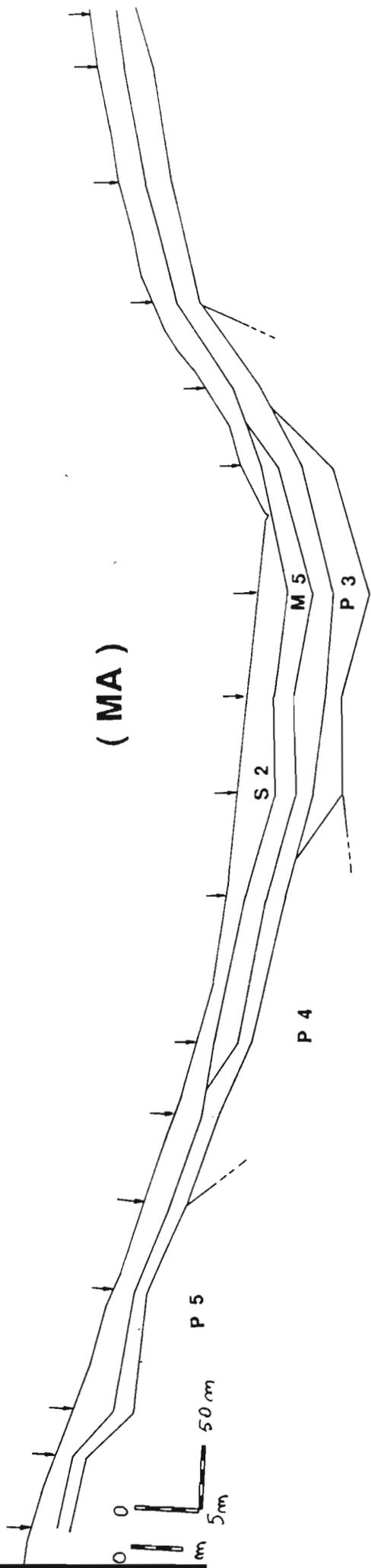


Fig.68: Toposéquences MA et MX : organisation en horizons

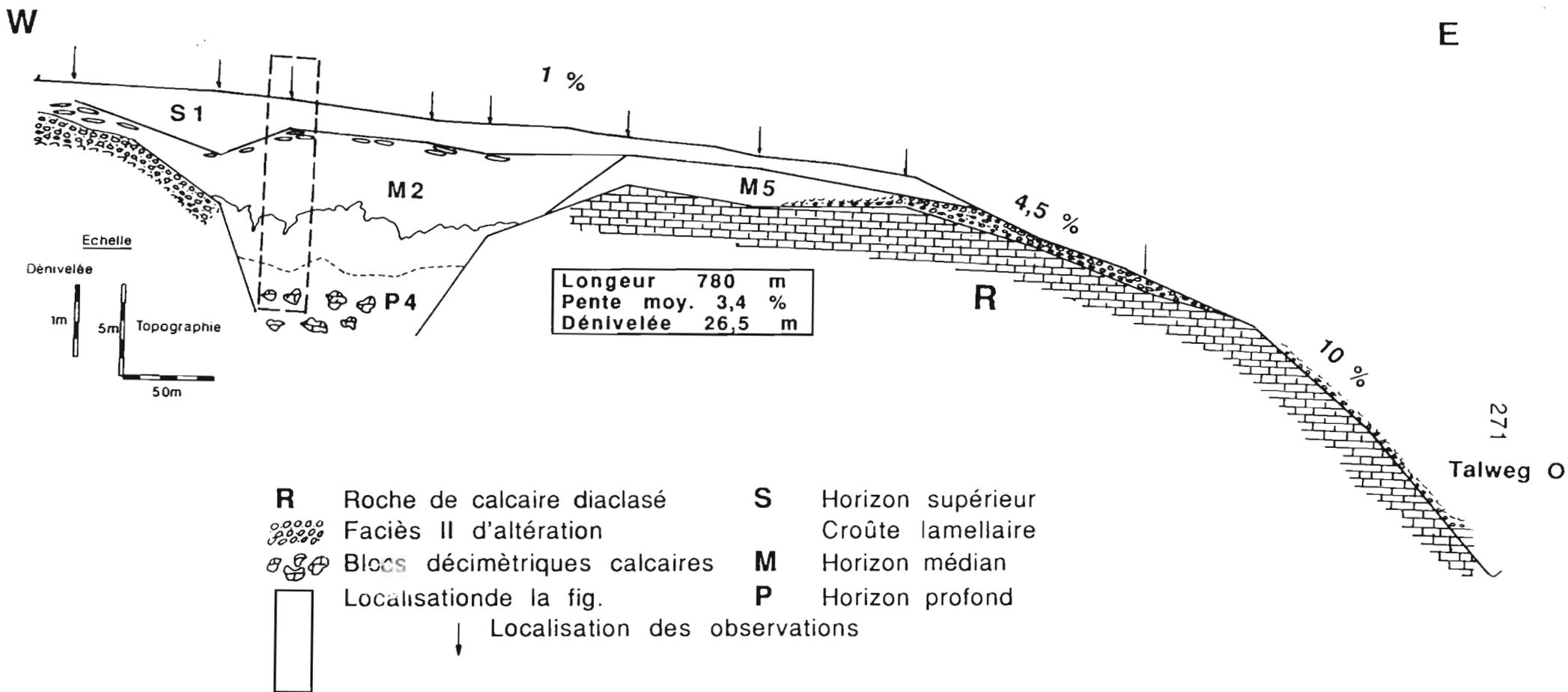


Fig. : Toposéquences MV montrant l'approfondissement en cuvette

La toposéquence présente une différenciation d'horizons identique à celle observée sur la toposéquence **ME**, mais une évolution moins exprimée d'amont en aval où elle se réduit à un banc de calcaire lacustre dont la surface est jonchée de moncellement de débris calcaires lithorelictuels. (démantèlement de la croûte).

L'horizon **P4**, sous-jacent à l'horizon **M2** qui le pénètre en glosses, relativement importantes et profondes localement, est identique à celui observé sur la toposéquence **ME** mais se caractérise par une transformation des calcaires lacustres moins poussée

Cet horizon se présente comme une poche-cuvette et montre deux phases principales associées n'ayant aucune répartition particulière :

- une phase colorée, argileuse, brun-rouge à rouge (5YR3/3) puis jaune-rouge (5YR5/6) en profondeur (4 m), non à très peu carbonatée. Elle se présente sous forme d'abord de petits volumes isolés, puis en trainées digitées verticalement, enfin en gros amas, à limites distinctes et contour régulier en profondeur. Localement ces amas se regroupent et s'anastomosent pour donner de véritables poches d'argile au sein desquelles se reconnaît encore des lithoreliques de calcaires lacustres. L'ensemble jouxte les calcaires lacustres durs ou faiblement altérés.

En profondeur, la répartition de cette phase n'est pas la même d'un endroit à un autre. Elle semble localisée au niveau d'anciennes fissures fines (Planche.)

- Une phase **blanche** fortement carbonatée et individualisée en gros amas pulvérulents, parfois à noyau central dur et porcelané rappelant la structure des calcaires lacustres "sains", puis en trainées irrégulières, localement plus indurée et en cailloux d'aspect "pourris" à structure lithologique détruite dans la masse, mais l'aspect externe rappelle les cailloux lithorelictuels de calcaire lacustre en place. Ces derniers sont subarrondis, à contour net, disposés d'une manière quelconque et auréolés d'un film calcaire poudreux blanc pur et tacheté de fins points noirs.

L'ensemble de ces deux phases donne à cet horizon profond un aspect bariolé et une structure interne complexe.

Commentaire

Les autres toposéquences étudiées présentent de très nombreux traits communs d'ordre morphologique et structure interne des domaines pédologiques avec la toposéquence de référence **ME**.

En comparaison, le trait majeur de la différenciation des sols au long des toposéquences présentées, correspond bien à la tendance générale de l'évolution des sols sur calcaire en zone semi-aride. Mais, le facteur du milieu déterminant de ces différenciations semble être le *modelé* en concert avec la nature lithologique du matériau parental. Le facteur anthropique intervient pour accuser l'évolution des ensembles supérieurs et médians peu profonds.

Reste le problème des quantités d'argiles formées au dessus des altérites. Dérivent-elles de ces dernières, est-ce des épandages de formations argileuses d'amont ayant subi les pédogenèses successives ou est-ce le Résultat des transformations des marnes calcaires de sédimentation intercallées entre les calcaires lacustres dont on observe actuellement les vestiges après transformation par la pédogenèse? Or ces formations d'argiles épaisses se localisent principalement en des endroits permettant aussi bien ces épandages que la possibilité d'une altération profonde (versant , talweg de versant, replat-cuvette et même sur plateau plan). Ceci suppose donc un départ important des carbonates et une concentration des argiles résiduelles, donc un mouvement remontant et latérale.

Nous s'efforcerons dans ce suit de discuter ces trois hypothèses et de proposer celle la plus plausible ou la conjugaison des trois.

Dans un contexte sédimentaire, il est toujours difficile de prouver que tel profil est bien issu d'un matériau originel identiques à ceux du substrat basale plutôt qu'à un autre aujourd'hui complètement transformé par les pédogenèses.

Conclusion

*Si les sols sont présents, les différenciations pédologiques très accusées sont dues à la position topographique du profil et au matériau originel. ils se distribuent, en fonction des segments du modelé dans l'ordre de celui de la toposéquence **ME**.*

Chapitre 12

LES GRANDS DOMAINES DE PEDOGENESE ET LEUR ARTICULATION

(Relations entre la topo-morphologie et la différenciation
de la couverture pédologique)

INTRODUCTION

L'analyse de l'organisation générale des sols le long de la toposéquence **ME** a permis de distinguer verticalement, **quatre grands ensembles d'horizons** qui présentent des caractères de variation verticale et latérale : **Altérltiques, profonds, médians et supérieurs**. Leur **succession** dans les profils et leur **extension** le long de la toposéquence permettent de reconstituer les différenciations verticales et latérales de la couverture pédologique du **S.E.D.**

L'examen de ces différenciations nous a amené à définir des **domaines pédologiques** majeurs qui jalonnent la variabilité de la couverture pédologiques du **S.E.D.**

Ces domaines sont présentés comme une portion d'unité de paysage subdivisant les toposéquences et correspondant à un type de couverture pédologique associée. Les observations de terrain confirment, d'une façon générale, une corrélation étroite entre les différents segments topographiques et les différenciations séquentielles des sols.

La définition de ces domaines se rapproche de celle d'un profil pédologique dominant ayant une extension latérale suivant un segment topographique défini par une dénivellation (plateau plan, versant pentu ou a pente faible, talweg de versant, replat-cuvette).

12.1/ LES QUATRES DOMAINES PEDOLOGIQUES

Aux ensembles d'horizons qui se succèdent verticalement dans la toposéquence **ME**, correspondent latéralement quatre domaines d'altération et de pédogenèse (Fig.), qui s'ordonnent latéralement d'amont en aval.

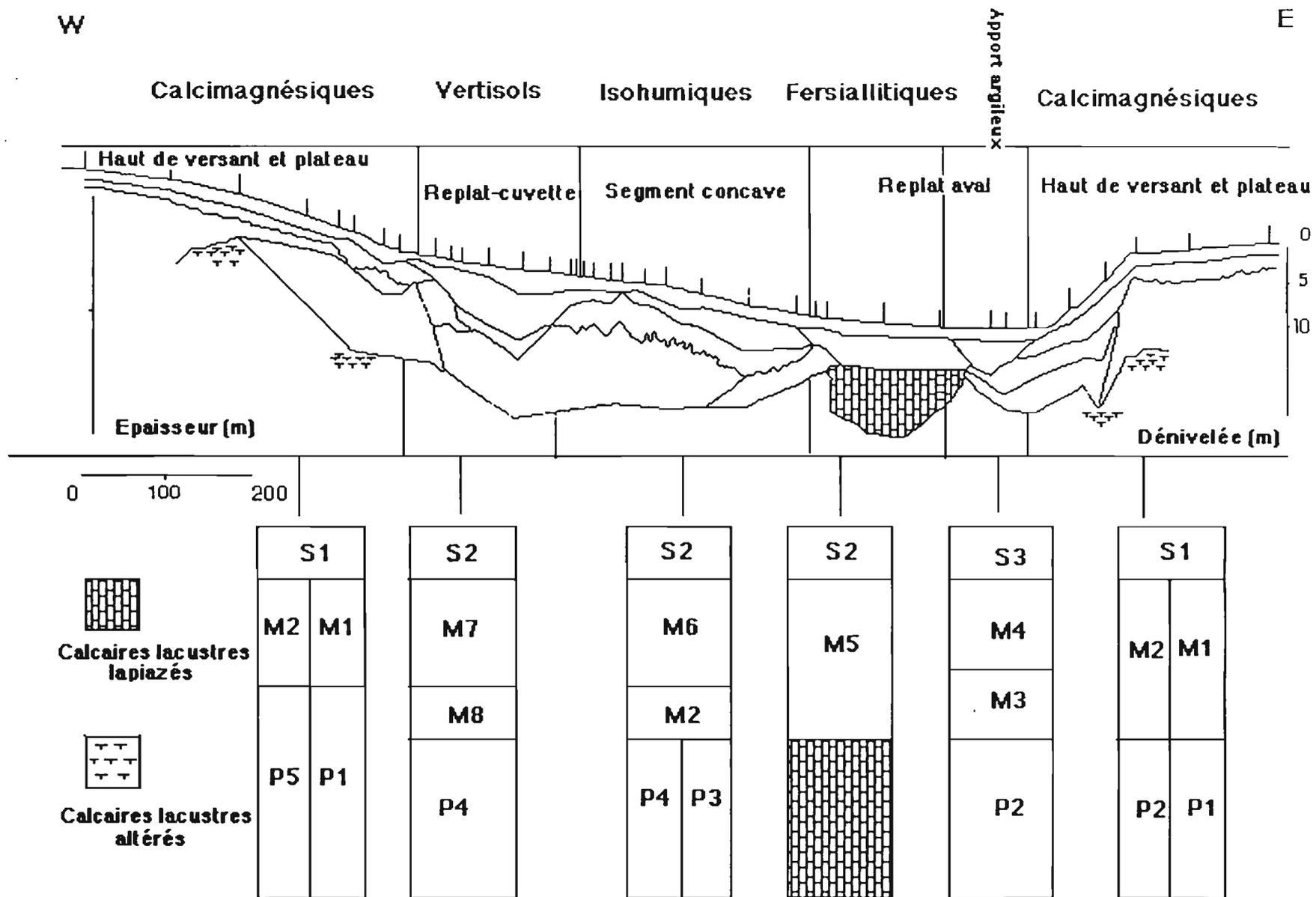


Fig. : Toposéquence ME : les domaines pédo-topographiques

12.11) *Le domaine de plateau et haut de versant Calcimagnésiques(Toposéquences M.S, M.V, AV)*

Ce domaine est relativement bien représenté sur la toposéquence et présente une grande variabilité dans l'organisation morphologique de ses horizons. L'altération des calcaires y est profonde avec le développement d'un faciès de calcaire tendre tuffeux (faciès III) (cf. coupe AV)

Il se localise sur les deux segments plateau (de part et d'autre du talweg A) et sur le versant court où il est le plus variable. Ce domaine s'étend sur x m et regroupe des sols peu profonds, d'épaisseur variable qui admettent des variantes en fonction de la profondeur du substrat et de la position topographique.

La calcimorphie est le processus pédogénétique dominant de ce domaine où les sols sont constitués par la succession verticale de quatre ensembles d'horizons directement originaires de l'altération des calcaires lacustres sous-jacents et qui sont dans l'ordre de bas en haut :

Faciès III / P1 / M1 et/ou M2 / S1.

La morphologie de ces sols apparaît complètement développée. Les deux variations les plus notables et les plus répandues qui affectent cette succession d'horizons portent sur la **couleur**, liée aux teneurs en calcaire, et la **redistribution des carbonates** dans le profil et latéralement. Le démantèlement (anthropique) de la croûte de l'ensemble d'horizon M1 alimente par le haut et par le bas, l'ensemble des horizons médians et supérieurs.

De plus, selon l'état des **perturbations anthropiques** (active surtout en position de pente, mais aussi sur plateau quand le substrat de calcaire tendre n'est pas loin), la texture de ce domaine prend un caractère plus limoneux associée à des traces plus ou moins nettes de **remaniements** sous-jacents mélangés à la terre fine des horizons supérieurs et médians .En aval du versant court, sur pente relativement forte, l'horizon médian est associé à l'ensemble profond ou localement porté en affleurement par suite de l'érosion hydrique et anthropique conjuguées (Exemple de la micro séquence anthropique décrite au chapitre x).

De façon générale, on constate la faible épaisseur des sols au- dessus des altérites, et en particulier, le développement réduit des profils de forte pente et du plateau. Mais la présence de zones de développement de profils profonds tant sur le plateau que sur pente pose le problème d'une évolution

pédologique différente. Il y a développement d'une différenciation en **cuvette** et **poches** à argile rouge de plus en plus décarbonatées (cf. coupe **MS** alt. 620 m et coupe **MV** alt. 610-625 m)

12.12 / Le Domaine des versants Isohumiques (toposéquences ME, MA, MX.)

Il s'agit de la plus grande étendue, avec un sol profond et des horizons dont le caractère le plus distinctif est la présence d'horizons médians épais, décarbonatés et plus argileux que ceux du domaine précédent. La différenciation latérale des sols le long de ce domaine n'est pas aussi importante que dans le cas du domaine précédent. C'est le prolongement de l'évolution des sols calcimagnésiques de la zone amont. Ils peuvent présenter une fréquente tendance verticale.

12.121/ Le replat-cuvette et talweg de versant -Vertiques

Ce domaine constitué de vertisols profonds, contrairement à ce qui a été observé pour les autres domaines, présente un développement spatial limité. Il est localisé en position basse confinée (ralentissement de la circulation des solutions) et propice à une accumulation relative et/ou absolue de minéraux 2/1/1 (**Smectites**). Ce domaine est à progression latérale remontante dans le versant long et dans les talwegs de versant et verticale remontante dans le profil. Il diffère nettement des précédents domaines par la succession verticale de trois ensembles d'horizons relativement massifs, faiblement et homogènement teints par une matière organique peu abondante différenciés par la composante structurale.

L'apparition progressive des vertisols, qui s'effectue sur environ 300 m , laisserait penser que leur genèse est conditionnée par la situation topographique (replat cuvette, talweg de versant). Ils cèdent la place à des sols voisins composant le domaine isohumiques à caractères vertiques.

En conséquence, le développement des vertisols profond semble coïncider avec les modification du modelé et l'apparition de replat-cuvette ou de talweg de versant. L'apparition de cette différenciation ultime peut se rattacher ainsi aux caractéristiques géochimiques des eaux qui circulent latéralement au sein des horizons. Mais, peuvent provenir aussi d'un comblement par des apports argileux qui auront subis par la suite une

pédogénèse. Les éléments grossiers siliceux et quartzitiques, irréguliers et discontinues, s'observent au sein de l'horizons médian (M7) et supérieur (S2) de ce domaine. Ils ont été apportés et paraissent provenir des massifs bordiers en amont du S.E.D.

Néanmoins, sur plateau, la même différenciation en vertisols profonds, sans éléments exogènes, est observée. Il ne peut s'agir dans ce cas que d'une altération sur place favorisée par la préexistence d'une cassure ou fissure suffisamment large pour favoriser ce type d'altération.

12.122/ Le versant plan-Fersiallitique (Replat aval)

Ce domaine constitué de sols Fersiallitiques rouges, forme une sorte d'enclave au long de la toposéquence, il est sous la dépendance de la présence à faible profondeur de calcaire lacustre dur et lapiazé. Dans ce domaine nous constatons la succession verticale de trois ensembles d'horizons (de bas vers le haut) : **calcaire lacustre lapiazé/M6/S2.**

Dans ce domaine, les sols Fersiallitiques sont associés à des apports argileux qui se présentent sous forme d'une bande étroite le long du talweg A. Ce domaine est pourvu d'éléments grossiers siliceux et quartzitiques comme sur le domaine précédent. La mise en place de ce domaine serait alors aussi ancienne puisque les sols de ce domaine ont subi ultérieurement des transformations.pédologiques.

Conclusion

La couverture pédologique se différencie donc sur la toposéquence ME selon *quatre principaux domaines pédologiques distincts* qui présentent des caractères de variation latérales et verticales. On constate que ces différents domaines de sols identifiés se répartissent sur les segments constitutif du modelé. Nous pouvons aussi remarquer que ces derniers correspondent à une logique d'organisation découlant de processus d'évolution pédogénétique des sols et du modelé. *Cela implique que l'analyse du modelé doit pouvoir largement facilitée, au moins avec ce type de toposéquence, l'étude de la répartition spatiale des sols. La distribution n'est pas quelconque, mais il existe une relation étroite entre la pente et le*

*type de sol ceci évoque l'existence d'un **système de sol** ¹ en fonctionnement.*

L'ensemble des données ainsi relatées montre que la différenciation de la couverture pédologique est continue et qu'elle s'accompagne de l'évolution du modelé. Les surfaces sommitales comportent les premiers stades d'évolution de la différenciation avec le système de sols calcimagnésiques (rendzines à croûtes et bruns calcaires), les surfaces de l'avale, versant long et partie basse de versant court mettent en évidence une séquence verticale de différenciation plus avancée à partir des sols bruns calcaires jusqu'aux vertisols. Il apparaît donc que les différenciations observées sont de nature pédologiques. Le **SED** apparaît ainsi comme un **système de sols** qui aboutit au remplacement des calcaires lacustres par des couvertures pédologiques plus ou moins évolués suivant le modelé. Dans ce cas, la couverture pédologique du **SED** est le résultat d'une évolution essentiellement commandée par des processus physico-chimique qui conduisent à des différenciations qui sont avant tout d'ordre morphologiques (enfoncement par dissolution géochimique plus au moins important suivant la situation dans le modelé).

Les domaines de versant et replat-cuvette contiennent dans leurs horizons médians et supérieurs des éléments grossiers qui sont absents des autres horizons des domaines de plateau. Ils sont donc étrangers aux formations de calcaire lacustre et peuvent provenir des régions limitrophes amont où ils sont d'ailleurs observés (sablière d'Ait Yazem et Causse Moyen Atlasique).

12.2/ ARTICULATION ENTRE DOMAINES (Relations entre la topo-morphologie et la différenciation de la couverture pédologique)

Les relations entre ces domaines s'expriment par des **différenciations latérales progressives** de l'amont vers l'aval, par un développement plus important et progressif vertical remontant des transformations qui définissent un milieu semi-confiné dans la partie aval de la toposéquence et un milieu ouvert dans la partie sommitale .Ceci crée de nouvelles organisation et différenciations qui atteignent leur développement

¹ Ensemble structuré de volumes pédologiques correspondant à des séquences d'organisations élémentaires, ordonnées dans l'espace et dans le temps.

maximal à l'aval de la toposéquence sur le replat cuvette et sur le talweg de versant.

La différenciation latérale se manifeste au niveau de l'épaisseur des principaux horizons qui va en croissant de l'amont de la toposéquence vers l'aval. Cet accroissement est lui-même lié à une altération et transformation profondes; une partie des eaux recues sur le plateau étant drainée latéralement vers l'aval, ainsi la quantité d'eau en contact avec présente sera plus élevée et l'altération sera donc plus profonde (l'humidité plus élevée observée dans les fosses du replat et des talwegs de versant en sont la preuve d'un milieu plus confiné et un drainage ralenti).

12.21- Informations apportées par les photographie aériennes

La figure 70 présente une photographie aérienne de la mission 1976, agrandie à l'échelle du 1/8000. La zone concernée englobe et jouxte le S.E.D. On l'appellera S.V.P. : Secteur Voisin Photographié.

Elle porte l'information tirées de l'aspect de surface à une période de pratique culturale mettant en valeur la couleur des horizons travaillés (dans le sens de la plus grande pente généralement).

Sur cette photo panchromatique, on distingue 4 teintes :

- une teinte claire (Tc) presque blanche attribuée à du calcaire en surface ou peu profond;
- un teinte plus foncée (Tl) intermédiaire avec la suivante;
- une teinte grise (Tf) plus ou moins moucheté ou rayée de blanc;
- une teinte noire (Tn) généralement proche des cours d'eau.

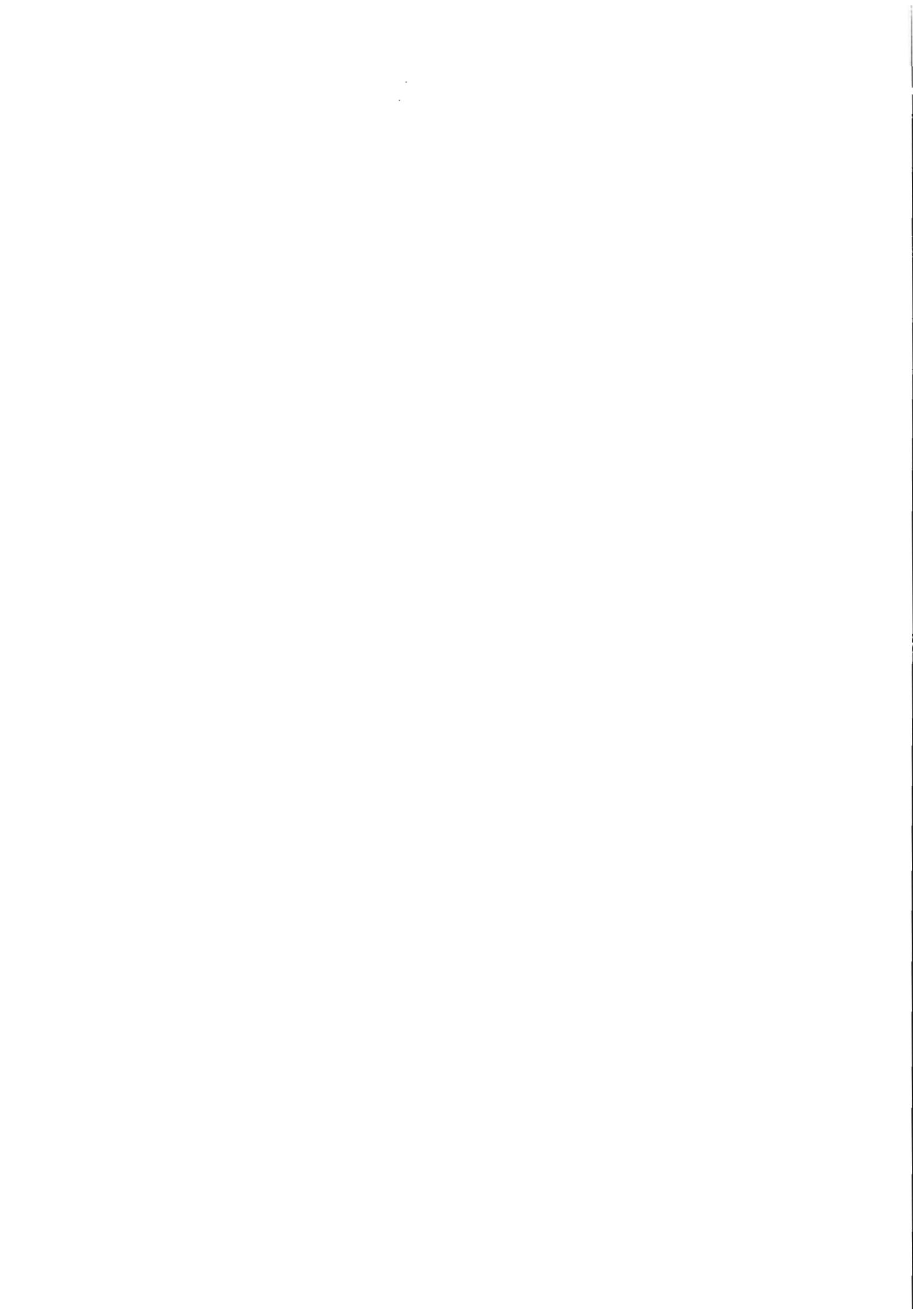
211 - La topographie

La topographie n'est connue avec précision que dans le S.E.D. (équidistance 1 m). On a cependant indiqué sur la figure en regard la position de l'inflexion de pente du versant gauche du talweg A en aval du S.E.D où se trouve la formation la plus lisible.

La zone couverte par le S.V.P. contient pratiquement tout le S.E.D et s'étend à l'Ouest jusqu'au talweg N . Au Sud du SED le versant Est comporte l'inflexion de pente où la différenciation pédologique est particulièrement visible dans une parcelle triangulaire récemment plantée en Amandier. On peut suivre mais avec plus de difficultés ces différences sur les parcelles voisines.



FIG.70: Relations topo-morphologie et différenciations de la couverture pédologique



calcaires de diamètre décamétriques. Les limites de cette zone sont rectilignes (N-NW-SSE) et de direction perpendiculaire, suggérant un déterminisme dû à des lignes de diaclase ou à des fractures.

Cette zone fortement carbonatée se trouve effectivement en position de commandement entre les talwegs **A** et **N**. Ces deux talwegs sont bien différents : **A** est chenalisé et son tracé tortueux alimente par des séguias le versant Est du talweg **N**. Ce dernier est marqué par un sol noir (argile récente colluvionée) large de 50 à 100 m, il présente de vastes ondulations alternes de rayon de courbure > 1 km. Il est peu marqué dans la topographie, dépourvu d'écoulement permanent et de lit mineur. Sa partie amont est entièrement perturbée par des cultures.

C'est aussi une des conclusions du travail de José MADEIRA (1991) dans la région de Brasilia utilisant la couleur des champs labourés pour identifier le (les) type (s) de sol correspondant.

QUATRIEME PARTIE

PRINCIPAUX RESULTATS, DISCUSSIONS ET SYNTHESE

QUATRIEME PARTIE

PRINCIPAUX RESULTATS, DISCUSSIONS ET SYNTHESE

La figure 71 superpose les principales données concernant le substrat et l'oro-hydrographie.

1/ RESULTATS CONCERNANT LE SUBSTRAT

Le substrat géologique est constitué principalement de calcaires lacustres ainsi que de sables fauves et marnes.

Les calcaires lacustres durs et de couleur grise, sont caractérisés par leur disposition en bancs, concordant avec la surface topographique, plus ou moins massifs (diaclasés), parfois formés de blocs jointifs formant de petits bancs distincts. Ils sont très calcaires et leur cortège minéralogique est partout identique et constitué principalement de smectite et secondairement de kaolinite et d'illite.

Ils sont en outre caractérisés au niveau du plateau de Meknès par :

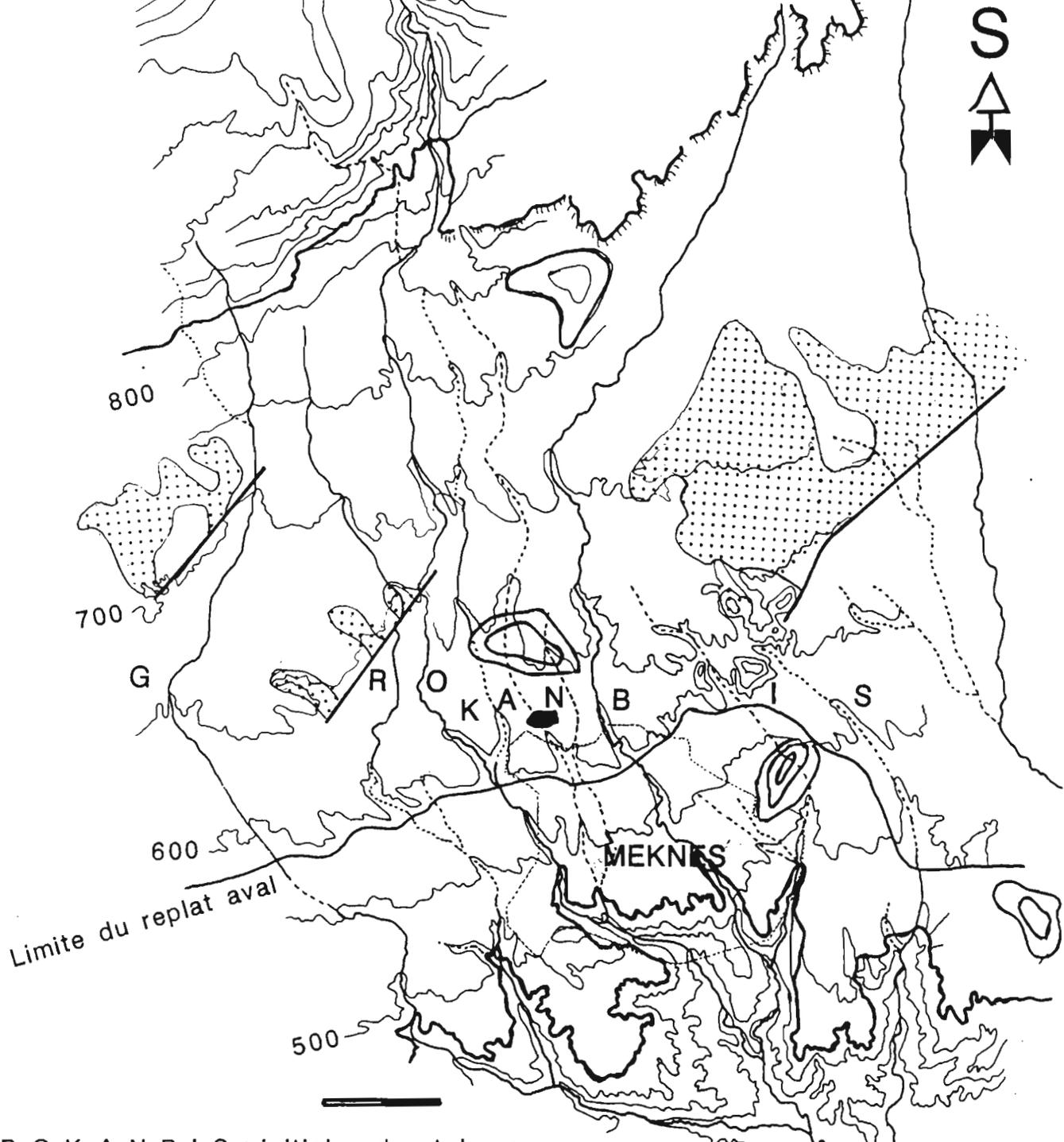
- 1 - Leur composition (chimique et minéralogique) uniforme, avec cependant des lentilles marneuses intercalaires, ce qui contraste avec la variété des épaisseurs et leur disposition en bancs (diaclases),
- 2 - Leur épaisseur variable, faible, en moyenne inférieure à 10 m, localement supérieure à 50 m au niveau de pivots ou de dômes.

Deux hypothèses sont suscitées pour expliquer la présence de pivots :

- * Une sédimentation sur une surface topographique initiale accidentée ,
- * une sédimentation suivie de plissements et de fractures lors des deux phases tectoniques

3 - La présence de fenêtres, laissant apparaître les sables fauves sous-jacents. Ces fenêtres sont le résultats de failles de direction Sud-Est et elles contribuent par leur rejet au basculement du plateau vers le Nord-Ouest,

4 - La présence d'un liseré noir argileux entre les sables fauves et les calcaires lacustres. Il peut être post-sédimentaire et représenter un arrêt de la matière organique ou une accumulation de manganèse par exemple.



G R O K A N B I S : initiales des talwegs

Pivots 

Failles 

Sables fauves 

Redan

R'dom

Fig. 71 : Récapitulation des principales données concernant l'oro-hydrographie et le substrat

2/ RESULTATS CONCERNANT L'ORO-HYDROGRAPHIE

La topographie du plateau de Meknès se distingue par sa pente relativement forte, qui change de direction, ainsi que par son réseau hydrographique serré et peu hiérarchisé à l'exception du faisceau central que forment les talwegs **K.A.N** qui confluent dans le redan de Meknès

L'étude du modelé souligne l'importance que représentent les profils transversaux des versants pour la définition des unités de modelé. C'est ainsi que les talwegs de versant s'observent sur les versants convexo-concave et le sol est souvent plus épais, plus argileux et plus humide, donc plus productif dans les conditions climatiques actuelles.

Les profils transversaux des vallées, souvent dissymétriques sont fréquents, avec alternance de versants courts et de versants longs : la cause peut être tectonique. La déformation en bombement dissymétrique pour expliquer la distribution des sources à l'aval peut aussi être envisagée. La dissymétrie des versants s'observe aussi lorsque les deux talwegs de bordure sont d'ordre différent.

En ce qui concerne l'hydrologie, les sources sont nombreuses en rebord du plateau aval, de part et d'autre de l'articulation entre le segment plan (plateau) et l'entaille concave de l'aval. D'autres sources, plus espacées sont signalées sur le replat aval du plateau. C'est la zone de resserrement puis d'incurvation du réseau. Il y a là des sorties d'eau favorisées par les flexures ou par les failles. En aval de cette étroitesse les cours d'eau commencent à décrire des méandres, indice d'une compétence accrue.

Les écoulements superficiels peuvent être liés à la forte pente longitudinale du plateau, à l'amincissement de la formation carbonatée ou à la présence d'un plancher imperméable.

Les résurgences apportent un excédent d'eau provenant des causes qui augmentent les possibilités de dissolution.

3/ RESULTATS CONCERNANT LES EFFETS ATTRIBUES A LA TECTONIQUE

Les effets de la tectonique sur le modelé et consécutivement sur les circulations souterraines et superficielles sont les suivants :

- * La pente relativement forte (1%) du plateau et qui change de direction vers le Nord-Ouest (1,3%), qui peut être attribuée au basculement du plateau vers le Nord-Ouest
- * La concentration des écoulement dans la zone de resserrement du réseau des talwegs de vallées
- * La présence de failles parallèles "en marches d'escalier", de direction N60°, laissant apparaître les sables fauves sous-jacents
- * L'abondance des sources sur les deux rives en regard des talwegs O et I, peut résulter soit d'un bombement anticlinal dissymétrique d'axe proche de B, soit d'une tectonique cassante.

La topographie accidentée de la base des calcaires lacustres avec ses pivots profonds de plus de 50 m et alignés et le bombement anticlinal, suggèrent une tectonique plissante.

La pente relativement forte qui change de direction et la présence de failles parallèles sont les indices d'une tectonique cassante. Le deux pentes successives du plateau indique plutôt un basculement.

Les deux tendances, plissement et cassement, ont pu se relayer dans le temps en accord avec les deux phases tectoniques, au fur et à mesure du durcissement de la formation calcaire.

4/ RESULTATS CONCERNANT LA KARSTIFICATION DU PLATEAU

L'entablement calcaire du plateau de Meknès est-il ou a-t-il été karstifié?

Le tableau ci-dessus présente les arguments en faveur ou à l'encontre de cette karstification.

En faveur de la karstification	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de lapiez - Abondance des sources en aval - Pertes et résurgences
Contre la karstification	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de dolines - Ecoulement superficiel peu hiérarchisé - Minceur des calcaires (<10 m)

Commentaire

Les formes d'une évolution karstique de type doline ne sont pas observés ou marquent peu la topographie. Ceci est en accord avec la fréquence des écoulements superficiels et la faible épaisseur des calcaires.

L'abondance de sources, pertes et résurgences, observées en de nombreux endroits, témoignent par contre d'une évolution karstique du plateau calcaire de Meknès.

La pente relativement forte et la suralimentation en eau provenant du causse en amont par résurgences et par voies de surface, ont entreteint une karstification rapide du plateau.

C'est alors l'amincissement de la formation calcaire et l'accumulation des résidus de décarbonatation (auxquels on peut ajouter le liseré argileux noir signalé par plusieurs géologues à la base des calcaires lacustres) qui entraînent de facto l'arrêt de la karstification.

Les mêmes processus qui ont favorisés l'évolution karstique des formations calcaires du plateau de Meknès ont entraînés sa disparition.

Les lapièz dégagés observés à 700 m d'altitude ne sont plus dans leur conditions de fonctionnement. Seules le lapièz observé dans le SED, au fond de la vallée du talweg A, actuellement recouvert d'argiles rouges décarbonatées est dans les conditions de fonctionnement.

L'entablement calcaire du plateau de Meknès paraît actuellement un karst finissant par disparition progressive (dissolution, érosion et pédogenèse) des formations carbonatées.

L'amincissement des formations calcaires et la karstification rapide combinée avec le temps, nous paraissent être les deux facteurs déterminant dans l'évolution du plateau calcaire de Meknès.

5. RESULTATS CONCERNANT LES ALTERATIONS ET LES ROCHES MERES

L'entablement calcaire du plateau de Meknès est caractérisé par des bancs de calcaire plus ou moins épais et fracturé par des failles et fissures qui peuvent être profondes par endroits. A l'état de nos connaissances, les effets des actions tectoniques sont peu visible sur le plateau où les calcaires lacustres observés y ont plus ou moins gardé leur allure tabulaire. Mais ces phases ont permis la mise en place d'un *réseau de diaclases et fractures apparemment complexes* qui sont des sites d'infiltration préférentielle des solutions d'altération.

Les calcaires lacustres en coupes montrent une diversité de type différenciés par la couleur (du gris au blanc), la dureté (de dur à pulvérulent) et par leur structure interne (bancs massifs et/ou en blocs), diaclases, fissures et états d'altération).

Les observations des coupes et fosses dans la zone d'étude permettent d'établir une série de succession des principaux faciès d'altération.

La roche fracturée et diaclasée se débite d'abord en *gros blocs jointifs (faciès I)* qui sont alors soumis aux agents atmosphériques qui exploitent les fissures et en créent d'autres. Cette action va se traduire par la corrosion des blocs calcaires en formant une porosité. Ces blocs se débitent ensuite en *cubes et plaquette (faciès II)* qui seront à leur tour divisés en polyédres offrant à la dissolution une multitude de faces. Ceci permet plus facilement la sursaturation des eaux en calcaire dissous qui peut précipiter et la formation de *calcaire tendre pulvérulent (faciès III)*.

Au microscope les calcaires durs, riches en microfossiles, présentent un fond matriciel gris blanc *continu*, constitué principalement de calcite micritique. Les *microvides de dissolution sont rares*. Dans les calcaires altérés, le fond matriciel devient *plus poreux (vides de dissolution)*. Les fissures et les vides contiennent de la calcite. Des volumes brun-rouge s'individualisent, ainsi que des sphérolites micritiques qui paraissent en îlots dans le fond matriciel.

La figure 72 (a) présente les principales successions de faciès d'altération observés au-dessus des formations de calcaires lacustres gris et durs.

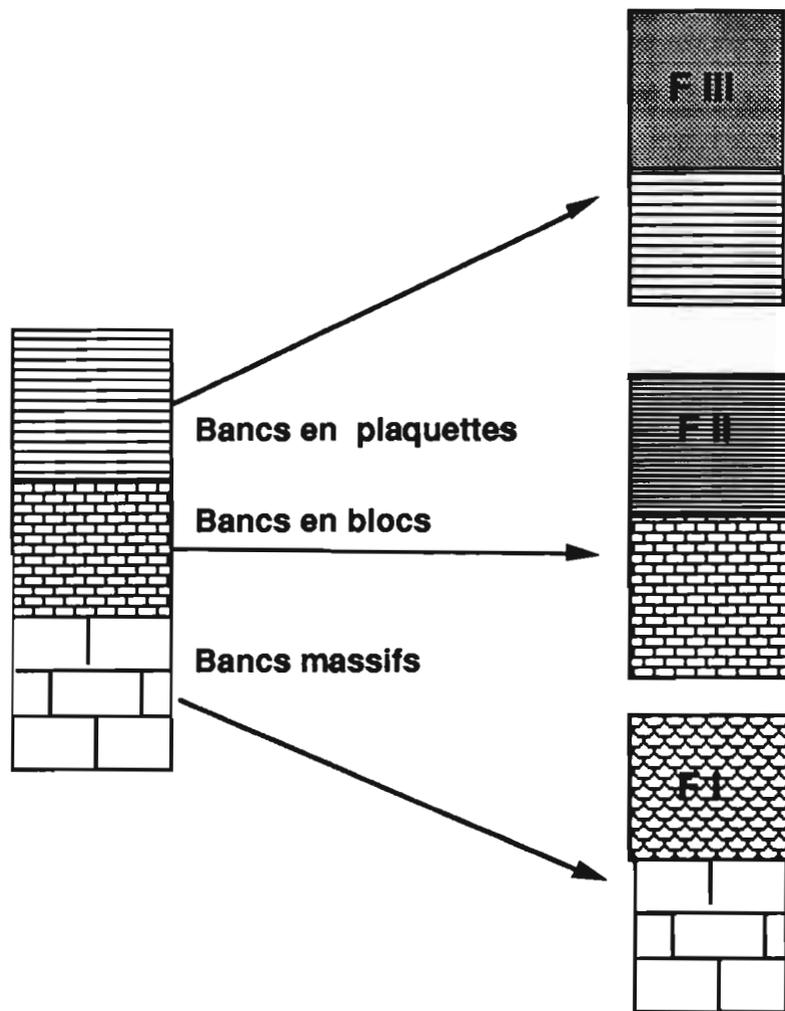
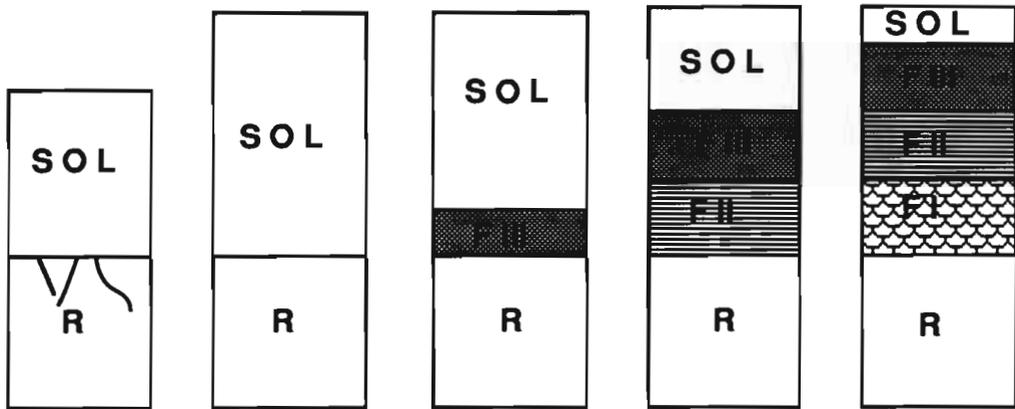


Fig. 72 : Les calcaires lacustres : possibilités de fillation

Commentaire et discussion (Fig 72)

La figure 72 (b) présente trois cas de figure que peuvent revêtir les bancs calcaires.

La possibilité 1 suppose un sédimentation en bancs massifs qui donnerait par altération d'abord le faciès I puis les autres faciès.

La possibilité 2 suppose par contre des bancs plus minces qui donnerait directement le faciès II.

La possibilité 3 donnerait le faciès III.

Il va sans dire que cette disposition des bancs dans les trois cas peut se trouver associée et superposée, ce qui donnerait la succession des trois faciès d'altération I, II et III.

Au sommet d'interfluve de pente faible, le calcaire dur a été profondément altéré sur une épaisseur de plusieurs mètres (3 m). Mais les termes de passages verticaux de la roche dure à la formation de calcaire tendre pulvérulent ne sont pas toujours présents.

L'altération de la roche dure présente une altération de plus en plus accentuée de bas en haut. Elle peut être expliquée par :

- une discontinuité mécanique rapportée aux régimes des contraintes, qui a eu un rôle d'abord en créant des plans de fragilité (diaclases) qui favorisent la circulation des eaux en profondeur, ensuite en créant des zones de tension et des zones de compression. Ces diaclases et fractures interviennent dans le drainage de l'ensemble de la formation carbonatée (perméabilité en grand).

- par la présence d'un réseau de stratification représentatif de la fracturation synsédimentaire.

Comment peut-on avoir ces différents faciès d'une formation carbonatée de composition chimique et minéralogique uniforme mais à débits irrégulier?

Deux processus peuvent être proposés pour expliquer cette variété de faciès :

- 1/ les débits des bancs en blocs différents qui seraient un héritage de la sédimentation et des effets de la tectonique (fragmentation et diaclases). Ils nécessitent donc deux types de fracturation

- Horizontale suivant les plans de faiblesse ou joints de stratification,
- verticale par effets de la tectonique (fractures et diaclases).

Les formations sédimentaires carbonatées après leur dépôts auraient hérités d'une stratification en bancs de différente tailles Celà suppose plusieurs phases de dépôts.

Ces deux types de fractures peuvent se combiner, se compenser ou s'exclure.

2/ Les effets d'altération induits par une concentration des eaux météoriques à tyrauers les fractures et les diaclases (dissolution).

Les formations sédimentaires carbonatées après leur dépôts auraient hérités d'une stratification en bancs de différente tailles Celà suppose plusieurs phases de dépôts.

Conclusion

Après les déformations tectoniques des sédiments carbonatés, une longue phase d'altération a profondément décomposée les calcaires lacustres offrant les trois faciès d'altération .

Le processus, n'ayant pas la même rapidité d'un point à l'autre d'un banc calcaire, est différent selon sa structure : degré de fracturation, débit en blocs plus ou moins massifs, variation d'épaisseur et position dans le paysage et à travers elle la tectonique qui la façonnée (plis, failles, pendage).

6/ RESULTATS CONCERNANT LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

6.1 - Les différenciations pédologiques verticales (les horizons profonds épais, argileux et humides)

L'étude des toposéquences et l'inventaire des horizons pédologiques observés sur le SED nous ont amené à distinguer une différenciation verticale de quatre ensembles d'horizons différents. La succession verticale des ensembles d'horizons pédologiques, **A/P/M/S**, qui paraît en concordance avec la surface topographique, se relaie dans un ordre de complexité décroissante de bas en haut. Ceci est particulièrement visible au niveau des ensemble médian (**M**) et profonds (**P**) qui admettent plusieurs variantes en fonction de leur site sur la modelé.

Par rapport à d'autres régions similaires, le plateau de Meknès se distingue par le développement d'un ensemble d'horizons profonds (**P**) dont la morphologie et le degré d'approfondissement relativement aux horizons supérieurs et médian est remarquablement diversifié, en contraste avec le milieu semi-aride de la région.

Le développement des ces horizons profonds est un trait original. En effet, ces horizons sont profonds, très argileux et relativement humides en fin de saison sèche, ce qui rend leur formation énigmatique.

Comment est-il possible à partir de calcaire lacustre dur, qui ne peut fournir que de petites quantités de résidus, de passer à des horizons argileux très épais? Le calcul de l'épaisseur de calcaire nécessaire à la formation de cette masse argileuse constituera sûrement un estimation, mais les données dont on dispose ne nous permettent pas de répondre à cette idée.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer la formation des ces horizons profonds.

- Par altération profonde des formations carbonatées, puis par enfoncement géochimique. Le stade initial de cette altération profonde a d'ailleurs été observé sur la toposéquence **ME** au niveau de l'horizon profond **P3**. La position des horizons profonds dans le modelé peut suggérer l'intervention d'une dynamique profonde de l'eau accentuée par une circulation latérale plus importante au fur et à mesure de l'enfoncement du sol et l'apparition de processus qui accélèrent la libération de minéraux argileux.

- Par des apports de formations argileuse arrachées à l'amont (colluvions)
- Par la présence de bancs plus argileux (marnes)

6.2 - Les différenciations pédologiques latérales (les transformations en poches et cuvettes)

Les observations montrent une variation progressive, ordonnée des organisations le long des deux versants des toposéquences étudiées.

Sur la toposéquence **ME**, la différenciation pédologique verticale très nette et progressive des profils est complétée par une différenciation latérale qui se manifeste par l'existence de *quatre domaines pédologiques* caractérisés par des différenciation verticales et latérales analogues.

Les modification du modelé s'accompagnent en effet de changements dans la morphologie des horizons. Les modifications du profil pédologique intéresse principalement la morphologie des horizons médians et profonds. D'amont en aval de la toposéquence **ME** et des autres toposéquences, on voit en effet un changement dans la morphologie des horizons qui intéressent les différences majeures suivantes :

- Une variation progressive de la couleur qui souligne le passage des sols calcimagnésiques aux sols isohumiques; vertisols et fersiallitiques,
- une décarbonatation des profils pédologiques d'amont en aval,
- une variation texturale de plus en plus marquée d'amont en aval,
- le passage d'une structure polyédrique plus ou moins développée à une structure large verticale à tendance massive.

Les différenciations pédologiques latérales montrent la présence de transformations en poches et cuvettes.

Leurs formes est variables suivant le degré d'évolution. Des simples denticulations aux poches profondes et aux cuvettes. Il faut remarquer que les formes relevés sur les toposéquences donnent des intersections différentes suivant leur position par rapport à l'axe de la poche.

Leur dimensions est aussi variables, d'ordre centimétrique à décimétrique pour la denticulation, à décimétrique pour les poches et hectométrique pour les cuvettes.

Leur contenu est aussi différent. Les poches les plus différenciées contiennent des argiles brun rouge foncé décarbonatées, les moins

différenciées des argiles-limons calcaires, d'autres des limons très calcaires et pulvérulents.

Cette évolution possible des différenciations pédologiques latérales que l'on observe, aussi bien en situation de plateau à pente faible qu'en situation de versant, est en relation avec les segments topographiques et la structure (degré de fracturation) de la roche initial.

La position topographique où ces transformations en poches et cuvettes sont les plus développées se remarque en générale par des replats-cuvettes et des talwegs de versants. Ces segments topographiques bénéficient en effet de concentration des eaux. Les circulations latérales d'eau naissent et se développent à partir des plateaux plans et sont ensuite accentuées par la pente pour finalement se concentrer dès que la pente redevient faible. C'est alors là où comence à apparaître et se développer les poches et cuvettes . Cette évolution s'accompagne donc d'un abaissement du modelé par enfoncement vertical de la couverture pédologique dans les sédiments de calcaire lacustre. L'interprétation proposée de l'évolution des différenciations pédologiques en poches relève de conditions pédo-hydrriques différentes entre deux mileiux : un milieu que l'on peut considérer comme xérique en position plane et en sommet d'interfluve, l'autre subhumide, réceptif et semi-confiné en bas de pente. A ce sujet, les toposéquences et coupe ME, MV, AV et MX sont significatives.

Les conditions hydriques entre ces deux milieux est finalement un critère fondamentale pour expliquer les transformations en poches et cuvettes. Par ailleurs, ces dernières ont été observées aussi en position de plateau plan. Ce qui nous suggère à considérer un autre critère important qui est la structure interne des bancs de calcaire, c'est à dire l'état de fracturation et de broyage de la roche dure après les déformations tectoniques.

La figure présente les cas possibles.

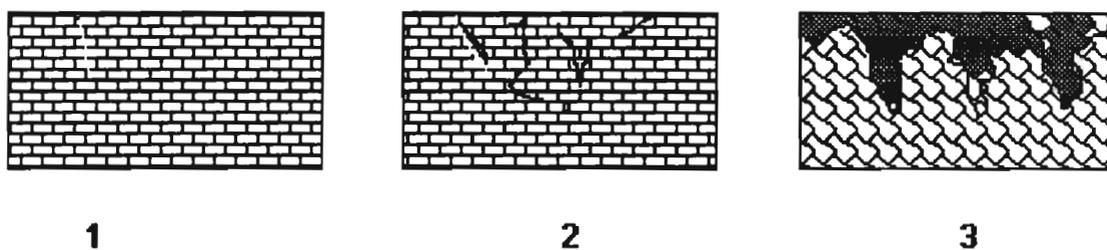


Fig. 73 : Les stades d'altération possibles

Commentaire

Le stade initial (1) correspond à la roche dure intacte; L'eau ruisselle, et il n'y a pratiquement pas d'infiltration

Le stade suivant (2) représente la même roche après fracturation sous les effets de la tectonique. Deux cas peuvent se présenter :

- un fracturation donnant de simples fissures fines dans les différents sens où l'eau peut s'y localiser et se concentrer Dans ce cas, un liseré d'argile rouge au contact des parois des fissures est présent (2),

- une fracturation plus poussée par broyage et concassage en petits blocs. La porosité offerte alors est plus importante et permet une circulation des eaux météoriques et la poursuite des altérations en profondeur(3).

6.3 - Distribution des types de profils de sols dans la paysage

La couverture pédologique étudiée montre une diversité de sols en fonction du modelé. Le plateau est entaillé progressivement et remplacé par un modelé en interfluvés dissymétriques.

Les caractères morphologiques des sols sur plateau diffèrent de ceux des versant. La distribution spatiale se réalise de façon régulière chaque fois que les possibilités de drainage profond ainsi qu'une modification du profil hydrique sont favorisés.

Sur la zone de plateau, sous un climat semi-aride, l'altération se poursuit sous une couverture pédologique soumise aux aléas climatiques peu agressives (évapotranspiration) et de ce fait la pédogenèse reste faible et donne des sols peu différenciés qu'on peut considérer comme les représentant d'un pôle initial de la pédogenèse ou d'un pôle ultime de l'érosion. De plus la présence de côtes tend ralentir l'enfoncement des

profils pédologiques et l'évolution se trouve ainsi limitée. Le plateau porte les premiers stades d'une évolution pédogénétique conditionnée par une fragmentation suivie d'une dissolution des calcaires sous-jacents et une libération d'argile. Les profils de sols résultent donc d'une évolution par descente géochimique. Ces formations sont souvent à croûte lamellaire à faible profondeur et des accumulations de carbonates secondaires sous différentes expressions morphologiques.

Les zones basses, versants, replats et talwegs de versant, portent des sols nettement plus évolués, argileux profonds, rouges et/ou noirs, et décarbonatés. L'évolution de ces sols dépend aussi bien de processus de dissolution, qui progresse latéralement au dépend des sols de plateau, que de processus d'apports anciens aujourd'hui complètement transformés par la pédogenèse.

Les sols de plateau sont donc remplacés par ceux des versants liée à une évolution par transformations profonde et plus rapides liées à une modification de la dynamique hydrique.

La présence de poches ou cuvettes, formées de sols profonds verticaux, à la base de pente, laisse penser que celles-ci jouent le rôle d'impluvium et favorisent de ce fait les circulations et les concentrations d'eau plus importantes, accélérant les altérations profondes. Il n'est pas exclu qu'une poche de bord de plateau, initiant un petit talweg, soit à l'origine des ces poches en bas de pente, d'où l'idée d'une évolution progressive des versants au dépend des lanières du plateau.

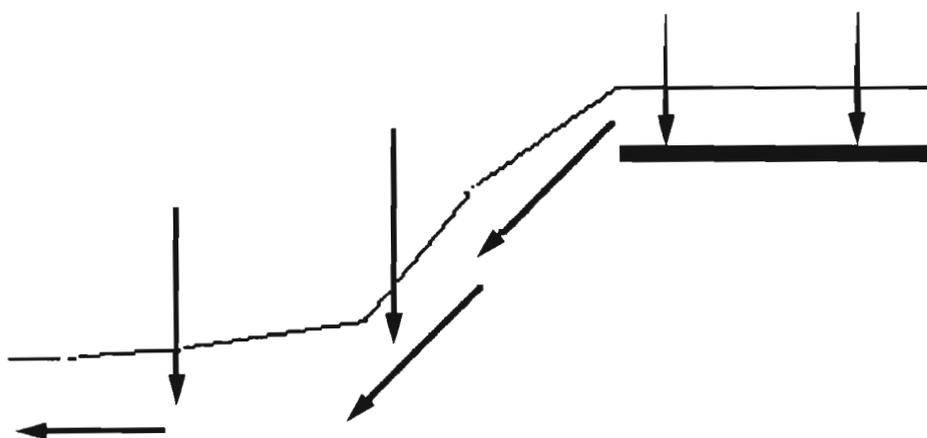


Fig.74 : Effets de la pente sur les transformations en poches

Les différenciations pédologiques verticales et latérales sont différentes selon le versant considéré. Il paraît alors logique de penser qu'une telle

évolution passe par différents stades. Ainsi sur le S.E.D., nous passons du stade le plus juvénile, représenté par la toposéquence MA dont la couverture de sols est la moins transformé sur les ces deux versants, à la toposéquence MX avec une poche verticale à mis versant, pour arriver enfin à la toposéquence ME qui présente le stade le plus avancé observé à ce jour.

En aval du versants long et de part et d'autre du Talweg A, les profils présente parfois des phénomènes locaux de remaniement, en particulier les gravier de quartzite et des sables. Ceci suggère un rapprochement entre ces sols et ceux du causse atlasique.

Conclusion

Il est fort probable qu'il y a une évolution pédogénétique actuelle surimposant ses effets à des paléocarctères hérités de périodes plus humides. Le climat actuel, à lui seul, ne peut donc expliquer la structure actuelle de la couverture pédologique du plateau de Meknès. Néanmoins, il conditionne la dynamique profonde et saisonnière des eaux dans les profils pédologiques en concert avec le modelé et la structure interne des bancs de calcaire lacustre.

7 - VERS UNE APPROCHE DE LA CARTOGRAPHIE TENANT EN COMPTE LES APPORTS DE CETTE ETUDE

7.1 - Reconnaissance des types de pédogenèse

Tableau 32 : Poches de plateau et cuvettes de versants

1 - Critères diagnostics des types de pédogenèse

	Calcaire en surface	calcaire en profondeur	Horizon Profond	% Argile	Couleur
Calci-magnésiques	Oui	Oui	Oui/Non	30-40	Brun-gris
Isohumiques	Non	Oui	Oui/Non	40-50	Marrons
Vertisols	Non	Oui	Oui	50-60	Brun-rouge
Fersiallitiques	Non	Non	Non	50-60	Rouges

2 - Critères de reconnaissance à partir de la surface

Position	Etat de surface	Cartes topos	Photoaériennes	Moyens	Enquêtes	
Plateau	Non	non	oui	Fosses	Oui	
Versant court	Oui	Oui	Oui	Fosses	Oui	
versant long	Oui	Oui	Oui	Fosses	Oui	

3 - Dimensions et caractères

Position	Dimension	Epaisseur	Argiles	Humidité	Surface	Couleur
Plateau	> mètre	métrique	A	+	-	Foncé
Versant Long	hecto - métrique	> 3 mètres	A A	++	Fentes Plastique	Foncé
Versant Court	Déca - métrique	> mètre	A A	++	Fente Plastique	Foncé

Les poches et/ou cuvettes de sols les plus développées (larges et profondes) correspondent aux topographies de replats (sur les coupes) c'est à dire à des dépressions-cuvettes ou des talwegs de versant sur la carte topographique. Les poches moins développées (en position de plateau) ne sont pas marquées dans la topographie. Cela suggère une filiation entre la différenciation pédologique en poches et la formation dans le modelé de ces talwegs ou dépressions.

L'examen détaillé de la toposéquence de référence (**ME**) montre que la différenciation du sol verticale déborde légèrement en amont du replat topographique, ce qui est un argument supplémentaire pour considérer qu'un réajustement topographique se produit suite à la différenciation de ces poches.

Le repérage de ces poches de sols, plus décarbonatés, plus argileux, plus épais est essentiel dans la cartographie pour la compréhension et pour l'utilisation des sols. La poche de la toposéquence de référence (**ME**) d'un diamètre de 300 m est représentée jusqu'à l'échelle du 1/50 000. Il faut prévoir pour les repérer soit des documents topographiques à 1/5 000, ce qui est irréalisable hors projet de couture intensive, soit des critères de photoaériennes d'échelle supérieur exploitant une différenciation d'état de surface sinon une visualisation des anomalies topographiques sur ces photos, soit encore des critères de parcours de prospection, à savoir :

- recherche et repérage des replats topographiques sur les versants longs,
- repérage des états de surfaces caractéristiques de ces poches (fentes de retrait, couleur différente en saison humide, végétation naturelle ou cultures différentes);
- observation d'écoulement de surface ou infiltration spéciale en période d'averse.

Il nous faut bien préciser qu'on ne repère que les poches les plus différenciées, donc que le paysage en contient d'autres (par exemple celle du site **MS2**), et que la forme et la superficie de ces unités de sol diffèrent de celles de ces anomalies topographiques qui leur sont associées.

7.2 - Proposition d'une cartographie basée sur l'oro-hydrographie

Les relations entre le relief et l'hydrographie a permis de définir des unités de modelé à partir de deux différenciations croisées : l'une dite en "lanières" l'autre dite en "bandes".

Les différentes lanières ont des caractères communs, les différentes bandes aussi, de sorte que l'oro-hydrographie introduit un découpage en damier avec réseau croisé de bandes et lanières. Chaque bande (ou chaque lanière) ont un ou plusieurs traits en commun dans chaque ligne et dans chaque colonne.

Il arrive aussi que cette organisation croisée de bandes et lanières soit estompée par une anomalie majeure, par exemple une fenêtre dans le karst, un épaissement du calcaire en dôme. Ces zones nécessitent une étude à part.

Les affluents des talwegs principaux délimitent, entre sources et confluent, des unités de modelé plus petites, ce qui permet d'affiner la caractérisation morpho-pédologique.

Le Secteur D'étude Détaillée (**S.E.D**) n'est pas représentatif de toutes ces unités de modelé découlant du croisement des bandes et des lanières.

Mais, les règles de différenciation de la couverture pédologique établie sur le **S.E.D** pourront être étendues à tout le plateau

*CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES*

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude est une contribution à la connaissance des sols du plateau calcaire de Meknès.

Elle s'est concrétisée d'abord par une cartographie extensive (1987), puis par l'étude détaillée d'un secteur proche de l'E.N.A. particulièrement adapté par la variété des sols qu'on y observe qui a nécessité d'élargir la notion d'objet - sol, qui passe du profil au système pédologique plus vaste, caractérisé par sa structure, sa dynamique et son histoire.

L'approche par profils a permis le rattachement des différents types de sols par rapport aux taxons de la C.P.C.S.

Une tentative d'analyse détaillée établissant la continuité des structures pédologiques s'est avérée inapplicable du fait de la présence de formations dures à faible profondeur qui ne permettent guère l'utilisation de la tarière et de la dimension kilométrique des toposéquences.

On a donc été amené à combiner les deux approches précédentes en s'appuyant sur les relations entre la couverture pédologique et le modelé.

Les spécificités du plateau de Meknès sont :

Le **plateau** calcaire de Meknès au Maroc est situé entre deux gradins : en amont (Sud) le causse Moyen Atlasique, en aval (Nord) les rides Pré-Rifaines. Il reçoit donc eau et matière du causse et il en restitue au rides. Le bilan hydrologique et son tracé hydrographique sont difficile à établir.

- **Le climat** de type semi-aride comporte en fait des années nettements plus pluvieuses de récurrence biennale qui peuvent marquer profondément la pédogenèse. A cela s'ajoutent les apports d'eau du causse Moyen Atlasique. Ce surplus peut expliquer en partie la présence de sols profonds, argileux et décarbonatés.

- **Le substrat** de calcaire dur est composé presque exclusivement de calcaire. ceux-ci sont de composition uniforme mais se distinguant par la dimension initiale des blocs liée elle même aux réseaux de diaclases.

Les phénomènes tectoniques, synchrones ou ultérieures, responsables du basculement du plateau et de fractures paraissent entraîner l'évolution

rapide du karst, les formes typiques de karstification n'ont pas toutes été observées.

Les calcaires durs s'altèrent en trois faciès successifs (**FI**, **FII** et **FIII**). mais cette succession de bas en haut n'est pas toujours complète.

Les calcaires tendres et pulvérulents parfois considérés comme un faciès de sédimentation, correspondent en fait au dernier faciès de cette séquence verticale d'altération.

- **La couverture de sols** du plateau calcaire s'organise verticalement en quatre ensembles d'horizons :

- Un ensemble altéritique en trois faciès (faciès I au faciès III).

- Un ensemble de cinq horizons profonds (**P1** à **P5**). Les horizons **P1**, **P3** et **P5** gardent des caractères isaltéritiques. **P2** et **P4** sont en situation basse, plus évolués et présentent une polarité verticale résultant de l'intervention de processus de bio-pédo-turbation.

- Un ensemble de neuf horizons médian (**M1** à **M9**). Ils occupent une grande extension spatiale et donnent la caractéristique spécifique des grands groupes de sols identifiés jusqu'alors dans le plateau.

- Un ensemble de trois horizons supérieurs (**S1** à **S3**). Ils sont le siège de perturbations mécaniques qui entraînent des modifications morphologiques.

Cette couverture de sols s'articule latéralement en quatre domaines pédologiques: Calcimagnésique, Isohumique, Vertique et Fersiallitique.

Les sols de plateau sont fortement calcaires (Calcimagnésiques) ou affectés par la décarbonatation (Isohumiques). On observe en outre sur le plateau des poches de sols argileux d'échelle métrique.

Les sols de versants se rattachent également aux sols Calcimagnésiques, Isohumiques, Fersiallitiques et Vertisols et comportent des poches et cuvettes mais de dimensions plus grandes (hectométriques).

La décarbonatation et l'argilification décroissent du plateau vers le centre de la poche dans le sens Calcimagnésique - Isohumiques-vertisols. On constate en outre que les sols décarbonatés occupent une surface au moins égale à celle des sols carbonatés.

Les sols les plus différenciés s'observent sur des pentes faibles de versants et sont associés à des modelés convexo-concaves (replat et talwegs de versants).

Sur le plateau ces poches ne sont pas marquées par la topographie mais sont visibles sur photo-aériennes.

Si les sols sont présents, les différenciations pédologiques très accusées sont dues à la position topographiques et au matériau originel. Ils se distribuent en fonction des segments du modelé dans l'ordre de celui de la toposéquence de référence **ME**.

Le développement des processus pédogénétiques est lié a la nature des matériaux originels, au modelé ainsi qu'aux péripéties de leur évolution : nature et amplitude des mouvements tectoniques (réseau de fractutres), variations probables du pédoclimats ainsi que les transports et dépôts, l'érosion et actions anthropiques .

P E R S P E C T I V E S D E R E C H E R C H E S

Il est nécessaire d'asseoir les résultats obtenus par la poursuite des observations et des analyses à d'autre échelles. Il serait intéressant aussi dans la poursuite des études sur ces couverture pédologiques du plateau calcaire de Meknès, de corroborer les résultats obtenus, soit à d'autres couvertures pédologiques de la même région, soit à d'autres études similaires.

Trois axes de recherche semblent essentiels :

- Une recherche à plus grande échelle de l'importance spatiale des différenciations pédologiques étudiées. Elle serait effectuée en recherchant les liens éventuels entre les différents domaines pédo-topographiques caractérisés dans le S.E.D. Un affinement est à réaliser en ce qui concerne la détermination des divers types de complexes de pentes, formes et inclinaisons des versants, ce qui permet de préciser les dépendances.

- Une recherche du fonctionnement hydrique des différents systèmes de sols inventoriés : bilan hydrique, recherche des voies de circulation des eaux, de la capacité de drainage et de la composition des solutions.

- Un essai de cartographie basé sur le croisement d'interfluves délimités par le réseau de talwegs et les bandes inscrites entre les différents profils transversaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AL SIDDIK M.A., 1983**, "La couverture pédologique en forêt de Rennes. Analyse morphologique de séquences et cartographie en courbes d'isodifférenciation à grande et petite échelle" ; Thèse Dct. 3ème cycle, Rennes, 114 p.
- ANTOINE P., 1974**, "Classification et cartographie des sol : l'approche américaine actuelle" ; *Homme, Terre et Eaux.*, n° 12, pp. 21-45.
- AUBERT G., 1965**, "La classification pédologique utilisée en France" ; *Pédologie*, Gand, n° 3 (n° spécial sur la classification des sols), pp. 25-56.
- BAIZE. D., 1972**, *Les sols développés dans la couverture des plateaux jurassiques de Bourgogne. Pédogénèse et origine*, Sc. du sol n°1, p.37.
- BEAUDET. G., 1966**, *le plateau central marocain et ses bordures. Etude géomorphologique* ; Rabat : Inframar, 480p.
- BENABDALLAH F.Z., 1986**, "Encroûtements calcaires dans le Saïs occidental : Minéralogie et genèse" ; *Mém. 3ème cycle Agron.*, I.A.V.Hassan II, Rabat, Maroc.
- BENAMAR. M., 1979**, "Etude de quelques caractéristiques des sols du plateau de Meknès" ; *Mém. Fin d'étude. ENA; Meknès, Maroc*, 28 p
- BILLAUX P., 1967**, "Profils de sols présentés dans le Saïs .Congrès de Pédologie Méditerranéenne" ; *Cah.Rech.Agro 25*, Rabat, Maroc, pp. 117-209
- BOCQUIER G., 1971**, *Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique* ; *Mémoire ORSTOM 62*, 1973 ; Thèse.Sc. Strasbourg ; 350p.
- BOULAINÉ J., 1957**, *Etude des sols des plaines du Chéelif*, Thèse Sci., Alger, Serv. Et.Sci., 582 p.
- BOULAINÉ J., 1978**, "La structure de la couverture pédologique" ; *INA Paris-Grignon ; Doc.multigr. 16 p.*
- BOULET R, CHAUVEL A, HUMBEL F.X, LUCAS Y., 1982**, *Analyse structurale et cartographie en pédologie.*
- BOULET R., 1974**, "Toposéquence de sols tropicaux en haute Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique" ; *Thèse Sci. Strasbourg, et Mém. ORSTOM n° 85*, 1978, 272 p.
- BOULET R., CHAUVEL A., LUCAS Y., 1984** "Les systèmes de transformation en pédologie" ; *AFES, livre jubilaire du cinquantenaire*, pp. 167-179.
- BRYSSINE G. 1954**, *La typologie des sols du Maroc*, Trav, Sect, Pédol, Soc, Sci, natr & phys, Maroc, t.8-9, pp.87-128
- BRUAND. A., 1981**, *Les sols du Saïs. Essai synthétique. ENA. Meknès, Maroc*, 19 p
- CAVALLAR W., 1950**, *Esquisse préliminaire de la carte des sols du Maroc*, serv, Rech, Agr. Rabat, Maroc.
- C.P.C.S., 1967**, *Classification des sols* ; *Doc. multigr. 96 p. Grignon.*
- CHAUVEL A., 1977**, *Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées* ; *Thèse Sci. Strasbourg, et trav. et Doc. ; ORSTOM n°62*, 532 p.

- EL IDRISSI R.M., 1973, *Contribution à l'étude agro-pédologique des sols de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès. ; Mémoire de fin d'étude E.N.A, 70 p.*
- EL IDRISSI R.M., 1974, *Reconnaissance des sols de la région de Tahala,*
- EL IDRISSI R.M., 1976, *Sur l'altération de quelques roches calcaires Jurassiques du Chatillonnais. Conséquences pédologiques; D.E.A Fédéral de Pédologie et Aménagements des sols, Univ. Paris VII - ORSTOM-I.N.R.A- I.N.A Paris-Grignon, 50 p.*
- EL IDRISSI R.M., 1977, *Diagnostic de la salure des sols par mesures de la résistivité électrique "in-situ", Direct Ress en Eau et en sols de Tunisie - ORSTOM, 65 p.*
- EL IDRISSI R.M., 1979, *Etude pédologique et agropédologique de 5 périmètres irrigués du Moyen Atlas.Conv.DPA.Meknès.Diffusion interne.*
- EL IDRISSI R.M., 1986, *Etude pédologique au 1/100 000 en vue de la mise en valeur de la Province de Khénifra. Conv. DPA Khénifra -INRA. 5 cartes hors texte; Diffusion interne.*
- EL IDRISSI R.M., 1989, *Etude pédologique a 1/100 000 en vue de la mise en valeur de de la Province de Meknès (Cercle de Meknès banlieue) (Projet Meknès II), 290.p. 9 Cartes hors texte, INRA, DPA-Meknès,*
- FARAJ H., 1967, "Le Saïs", *Congrès de Pédologie Méditerranéenne. Cah. Rech. Agro.Rabat, Maroc, n°24, pp.227-267.*
- FASSI D., 1978, *Le Saïs de Meknès. Thèse 3ème cycle. Aix-en-Provence, p. 327.*
- FRITSCH E., BOCQUIER G., BOULET R., DOSSO M., HUMBEL F.X., 1986, "Les systèmes transformants d'une couverture ferrallitique de Guyane française : analyse structurale d'une transformation supergène mode de représentation" ; *Cah. ORSTOM, série Pédologie, Vol. XXII, 4 ; pp. 361-395.*
- GHANEM H. 1981, *Contribution à la connaissance des sols du Maroc. Genèse, classification et répartition des sols des régions des Zaërs, de la Basse Chaouia et des Sehoulis. Thèse Cah. Rech. Agro. n° 37, 2 t; t1, 481 p. Rabat.*
- HMAOU. H., 1990, *Caractérisation des formations carbonatées pulvérulentes de la région de TIZNIT.MAROC.; D.E.A de pédologie, Univ.Paris VI, 53.p.*
- HUMBEL F.X., 1981, "Les études détaillées et l'organisation des sols en guyane et leur application" ; *C.R. des journées pédologiques ORSTOM, Paris pp.55-59.*
- HUMBEL F.X., 1982, *Une approche générale pour étudier et représenter l'organisation du sol en horizons. Approche méthodologique guyanaise. Cours D.E.A. INA Paris-Grignon. Doc. multigr. 26 p.*
- HUMBEL F.X., 1984, "L'analyse structurale des couvertures de sol, une base pour la cartographie des sols en guyane" ; *AFES ; Livre jubilaire du cinquantenaire., pp. 181-191.*
- I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquences et leurs principaux apports à la des sols. Cah. ORSTOM, série Pédologie, Vol. XIX, 4, 309-321.*
- III Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM, série Pédologie, VOL. XIX, 4, 323-351.*
- II Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques.*

- LAGARDE R., 1954**, Les sols de la plaine de Meknès. Soc. Sc. Nat. et Phys. du Maroc, Trav. Sect. Pédologie
- LAMOTTE M. et al, 1990**, "Une démarche itérative entre caractérisation et cartographie de sols en Orléanais. Cas d'un système planosols-sols hydromorphes à substrat argileux" ; *Sc. Sol*, Vol. 28, 2 , pp. 109-122
- LAMOUREUX M., 1967**, "Contribution à l'étude de la pédogénèse en sols rouges méditerranéens" ; *Sci. Sol* ; n° 2, pp. 55-86.
- LAMOUREUX M., 1983**, "Les sols fersiallitiques" ; *Garcia de Orta, Ser.Est, Agron., Lisboa*, 10 (1-2), pp. 11-18.
- LAMOUREUX M., 1971**, *Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban* ; Thèse Sci. Strasbourg et Mém. ORSTOM ; n° 56, 1972, 266 p.
- LOUDYI B., 1989**, *Contribution à l'étude de la chimie du phosphore et de la fertilisation phosphatée des sols du plateau de Meknès* ; Thèse (Ph.D.), Univ. Laval, Quebec, CANADA,
- LUCAS Y., 1989**, *Systèmes pédologiques en Amazonie brésilienne. Equilibre, déséquilibre et transformations* ; Thèse Univ. Poitier, 160 p.
- MILNE. G., 1935**, *Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils*, *Soil Res.*, 4, PP 183-198.
- MISSANTE G., PAJOT C., WATTEW R., 1964**, *Carte de reconnaissance des sols de la plaine de Meknès-Fès. 1/100 000* ; INRA, Rabat, Maroc
- MOREAU. R., 1981**, *Etude des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift au nord du Haouz de Marrakech*; *Trav et Doc. ORSTOM n°139*, 273 p.
- PROJET DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE D'EL HAJEB, 1978**, *Etude des sols en sec. Commune de Sebâa Ayoun. Province de Meknès.*; SCET, Rabat, Maroc. 165 p.
- PROJET SEBOU., 1968**, *Pédologie. Zone de Fès-Meknès. Etude de reconnaissance 1/100 000* ; Fasc.1, Rabat, Maroc, 154 p.
- RHOURI A., BOUKSIRAT H., 1978**, *Contribution à l'étude des sols de la ferme de l'Ecole Nationale d'Agriculture* ; Mém. fin étude, ENA de Meknès, 60 p.
- ROBAIN H., 1989**, *Organisations et transformations dans une couverture ferrallitique de Guyane française* ; Thèse Univ. Paris VI, 185 p.
- RUELLAN A., 1970**, *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : les sols à profil calcaire différenciés des plaines de la Basse Moulouya (Maroc oriental).*; Thèse Sc., Strasbourg, Mém. ORSTOM 54, 1971, 302 p.
- RUELLAN A., DOSSO M., FRITSCH E., 1989**, "L'analyse structurale de la couverture pédologique" ; *Science du sol* 27, 4, pp. 319-334.
- SCHOEN, U., 1968**, *Contribution à la connaissance des minéraux argileux dans les sols marocains*, Thèse Sci; Goettingen, Pb. Prov. INRA, multigr. 134 p, Rabat.
- SILVA MADEIRA NETTO J., Etude quantitative des relations constituants minéralogiques. Reflectance diffuse des latosols brésiliens. Application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasilia), Thèse Univ. Paris VI, 232 p.**
- TABET. A., 1989**, *Compte-rendu de mission N°91/SRG/MEK/89, Ronéo*, 11 p.

TALTASSE P., 1953, Recherches géologiques et hydrologiques dans le bassin lacustre de Fès-Meknès , Notes et Mém. ; Serv. Géol. du Maroc n° 115, 300 p.

WILBERT J., 1962 Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc. Al Awamia. Rabat, n°3, pp. 175-193.

LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
1 - Le plateau de Meknès et son contexte géographique.....	20
2 - Réseau hydrographique et toponymie.....	22
3 - Coupe scématique Nord-Sud.....	23
4 - Situation du plateau de Meknès dans le Saïs de Meknès-fès et principales formations géologiques.....	26
5 - Esquisse géologique du plateau de Meknès.....	26
6 - Lithologie et substrats.....	28
7 - Isopaques des formations lacustres du Saïs de Meknès-Fès.....	30
8 - Moyennes mensuelles des précipitations et températures.....	37
9 - Climagramme pluviothermique d'Emberger.....	40
10 - Moyennes mensuelles des précipitations (St.ENA et Aviation).....	41
11 - Ecart à la moyenne annuelle des précipitations (St. ENA et Aviation).....	42
12 - Différences des totaux annuelles des précipitations en mm entre stations voisines (période 1951-89).....	44
13 - Histogrammes des précipitations décennales (année 1987-88).....	47
14 - Diagramme thermique (station Meknès-aviation).....	48
15 - PLuviométrie et évaporation à la station Aviation (période 58-78.....	49
16 - Diagrammes ombrothermiques (stations Meknès-aviation, ENA,A.Taoujadate).....	50
17 - Carte lithologique de la zone étudiée.....	65
18 - Carte des sols de la zone étudiée.....	68
19 - Profils de sols Calcimagnésiques bruns calcaires schématisés.....	71
20 - Profils de sols Isohumiques schématisés.....	74
21 - Schémas de profils des Vertisols.....	76
22 - Profils de sols Fersiallitiques schématisés.....	79
23 - Réseau hydrographique.....	83
24 - Réseau hydrographique et courbes de niveau.....	85
25 - Coupes transversales Ouest-Est du plateau et délimitation latérale....	91
26 - Localisation et altitudes en m des sources de redan de Meknès.....	93
27 - Profils en long de l'oued Ouislane (Talweg O) prolongé jusqu'à R'dom.....	95

28 - Profils en long des talwegs G.R.O.K.A.N.B.I.S	97
29 - Découpage en lanière de différentes ordres par le réseau hydrographique.....	101
30 - Bassins versant du faisceau O.K.A.N.B	103
31 - Les 5 type de profils transversaux des talwegw O.K.A.N.B et R.I	105
32 - Unité de paysage. Réseau croisé de bandes et lanières.....	107
33 - Localisation du SED repéré au réseau hydrographique et aux courbes de niveau.....	124
34 - Modelé du Secteur d'Etude Détaillée.(S.E.D .).....	124
35 - Couverture pédologique du S.E.D	125
36 - Modelé des toposéquences ME, MA et MX	128
37 - Les affleurements de roches et sites d'observation.....	134
38 - Cailloux de calcaire lacustre "sain" aspect extérieur après cassure...	138
39 - Diffractogramme des RX des calcaires lacustres "sains" des coupe AV,BO et BA	140
40.- Coupe AV : calcaire lacustre et faciès d'altération.....	146
41.- Coupe AV : les différents faciès d'altération.....	148
42.- Calcaires lacustres et faciès d'altération FI, FII, FIII les possibilités de filiation.....	152
43.- Séquences verticale d'altération des calcaires lacustres.....	155
44 - Diffractogramme des RX des calcaires lacustres altérés du plateau de l'ENA (toposéquence MV).....	159
45.- Fosse 2 : toposéquence ME . Diffractomètres des RX.....	163
46.- Toposéquence ME : localisation des horizons profonds P	169
47.- Diffractogrammes des RX de l'horizon P1	175
48.- Diffractogrammes des RX de l'horiozn P2	179
49.- Diffractogrammes des RX de l'horiozn P4	185
50.- Diffractogrammes des RX de la phase argileuse de l'horizon P5	193
51 - Toposéquence ME : Localisation des horizons médians M	204
52 - Diffractogrammes des RX de l'Horizon Médian M1	209
53.- Diffractogrammes des RX de l'Horizon Médian M2	214
54.- Diffractogrammes des RX de l'Horizon Médian M3	218
55.- Diffractogrammes des RX de l'Horizon Médian M5	221
56 - Diffractogrammes des RX de l'Horizon Médian M6	226
57 - Diffractogrammes des RX de l'Horizon Médian M7	228
58 - Toposéquence ME : Localisation des horizons supérieurs S	239

59 - Diffractogrammes des RX de la phase décarbonatée de l'horizon S1.....	243
60 - Diffractogrammes des RX de l'Horizon supérieur S2.....	247
61 - Relations entre les ensembles d'horizons et les calcaires lacustres.....	254
62 - Diffractogrammes des R.X de la fosse 8 de la coupe AV.....	256
63 - Toposéquence ME : Dynamique et courbes d'isovaleur du calcaire.....	260
64 - Aspect microscopique d'un amas calcaire.....	263
65 - Toposéquence ME :Profil chromatique du versant court.....	266
66 - Localisation des toposéquences étudiées.....	268
67 - Toposéquence MA et MX : organisation en horizons.....	270
68 - Toposéquence MV montrant l'approfondissement en cuvette.....	271
69 - Toposéquence ME : les domaines pédo-topographiques.....	275
70 - Relation topo-morphologique et différenciations de la couverture pédologique du S.V.P. (Secteur Voisin Photographié).....	281
71 - Récapitulation des principales données concernant l'oro-hydrographie et le substrat.....	286
72 - Les calcaires lacustres : possibilités de filiation.....	291
73 - Stades possibles d' altération.....	297
74 - Effet impluvium sur les transformations en poches.....	298

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
1.- Données pluviométriques et thermiques des 3 stations Meknès-Aviation, ENA et Ain Taoujdate.....	35
2.- Précipitations journalières à Meknès-Aviation et ENA (année 1987-88).....	46
3 - Tableaux de l'évaporation (Piche) à la station Meknès-Aviation sur 20 ans.....	50
4.- Superficies et pourcentages des classes de sols sur la carte pédologique	69
5.- Mensuration des profils longitudinaux des talwegs G, R, O, K, A, N, B, I, S	87
6.- Ecartement moyen, en km, des talwegs adjacents.....	88
7 - Profils en long : point d'inflexion x et y et segment rectiligne (comparaison avec la pente du plateau).....	99
8 - Relations en modelé et roches.....	114
9 - Relations entre mériaux et modelé.....	117
10 - Relations entre sols et matériaux originels.....	117
11 - Coordonnées géographiques des sites d'observation du substrat calcaire.....	136
12 -Composition chimique des résidus des échantillons AV, BA et BO	143
13 - Fosse 2: Données analytiques globales.....	162
14 - Données analytiques globales de l'horizon P1	172
15 - Résultats en % d'oxydes des phases de l'horizon P1	174
16 - Données analytiques globales de l'horizon P2	178
17 - Données analytiques globales de l'horizon P4	184
18 - Données analytiques globales de l'horizon P5	192
19 - Récapitulation des principaux caractères des horizons profonds P présentés séparément par phases et par les mesures globales.....	195
20 - Données analytiques globales de l'horizon M1	207
21 - Données analytiques globales de l'horizon M2	211
22 - Données analytiques globales de l'horizon M3	216
23 - Données analytiques globales de l'horizon M5	220

24 - Données analytiques globales de l'horizon M6.....	224
25 - Données analytiques globales de l'horizon M7.....	227
26 - Données analytiques globales de l'horizon M8.....	230
27 - Données analytiques globales de l'horizon M9.....	232
28 - Récapitulation des principaux caractères des horizons M.....	233
29 - Données analytiques de l'horizon S1.....	241
30 - Données analytiques de l'horizon S2.....	245
31 - Principales données morphologiques et analytiques des horizons supérieurs S.....	249
32 - Poches de plateau et cuvettes de versants.....	300

LISTE DES PLANCHES

Planche n°	Page
1 - Coupe Rougui : Lithologie et position du niveau marneux intercalaire.....	145
2 - Détails de la planche 1 : les phases associées.....	146
3 - Morphologie de l'horizon P4	182
4 - Aspect morphologique des phases associées de l'horizon P4	183
5 - Aspect anthropique et état de surface des horizons supérieurs S1 et S2	262

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	3
AVANT PROPOS.....	3
SOMMAIRE.....	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION.....	7
PRESENTATION DE L'ETUDE	11
APPROCHES METHODOLOGIQUES.....	15
PLAN DE L'EXPOSE.....	17

PREMIERE PARTIE : CADRE REGIONAL

Chap. 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	21
1.1 Régions naturelles du Maroc.....	21
1.2 Le plateau de Meknès.....	22
 Chap. 2.GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE.....	 25
2.1 Lithologie et substrats.....	23
- Marnes grises	
- Sables fauves	
- Calcaires lacustres	
2.2 Caractéristiques des formations lacustres :	
Apports des différents auteurs.....	27
2.3 Tectonique et histoire du paysage.....	25
 Chap. 3.BIO-CLIMAT ACTUEL.....	 35
3.1 Type de climat actuel.....	35
- Stations météorologiques.....	35
- Paramètres moyens pluvio-thérmiqes.....	35
- Classification du climat du plateau de Meknès.....	
3.2 Pluviosité.....	41
- Variations interannuelles	
- Différences d'une station à l'autre	
3.3 Variations à d'autres échelles de temps.....	45
3.4 Températures.....	48
3.5 Evaporation.....	50
3.6 Reconstitution des climats passés.....	
3.7 Végétation.....	52
3.8 Modifications dues à l'homme.....	53

Chap. 4. LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.....	54
4.1 Sols et utilisations actuelles.....	54
4.2 Travaux pédologiques antérieurs.....	57
4.21 Approche par profils "représentatifs".....	57
4.22 Principaux types de sols.....	58
4.3 Enseignement de la carte pédologique à 1/100 000	
et de l'étude par profils.....	63
- Localisation, objectifs et méthode.....	63
- Les facteurs de la pédogenèse.....	
- Les sols observés : héritage ou pédogenèse actuelle.....	
- Principaux types de sols.....	

**DEUXIEME PARTIE : LE PLATEAU DE MEKNES:ORO-
HYDROGRAPHIE ET CHOIX D'UN SECTEUR D'ETUDE
DETAILLÉE**

Chap. 5.- MODELE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	82
5.1 Objectifs et méthodologie.....	82
5.2 Réseau hydrographique et relief.....	86
5.3 Devers Est-Ouest.....	89
5.4 Hydrologie et sources.....	90
5.5 Profils en long des talwegs.....	96
5.6 Interfluves allongés : les différentes "lanières".....	100.
5.7 Profils transversaux des talwegs : distinction des	
différentes "bandes".....	104
5.8 Relations profils transversaux - profils en long.....	107
5.9 Unités de modelé à différenciation croisée.....	108
Chap. 6.- RELATIONS SOLS-FACTEURS DU MILIEU :	
Lithologie-Modelé - Hydrographie.....	112
6.1 - Matériau basale : matériau originel ou substrat.....	112
6.2 - Matériau originel et filiation d'horizon.....	113
6.3 - Substrat et roche-mère.....	113
6.4 - Tectonique et structure géologique.....	113
6.5 - Informations apportées par la prospection pédologique	113
6.6 - Modelé caractéristique de certaines roches.....	114
6.7 - Relations lithologie - modelé.....	117
6.8 - Relations sols-matériaux originels.....	117
Chap.7.- ETUDE DETAILLEE DETAILLEE D'UN SECTEUR	
APPROPRIE.....	121
7.1 Interêt d'une analyse détaillée, méthodologie.....	121
7.2 Morphologie du S.E.D et des toposéquences.....	122
7.21 - Morphologie et couverture pédologique du S.E.D	123
7.22 - La toposéquence ME et les toposéquences annexes.....	127

**TROISIEME PARTIE : LA COUVERTURE ALTERITIQUE ET
PEDOLOGIQUE DU PLATEAU DE MEKNES
ORGANISATIONS EN PHASES ET HORIZONS ET LES
POSSIBILITES DE FILIATION**

LES PRINCIPAUX ENSEMBLES D'HORIZON.....132

Chap. 8.- LES SUBSTRATS ET ROCHE-MERES

8.1 Les affleurements et sites d'observation.....	135
8.2 Les roches dures : Les calcaires lacustres durs.....	137
8.3 Les calcaires lacustres et les argiles calcaires de la coupe Rougui.....	143

**Chap. 9.- LA COUVERTURE ALTERITIQUES DES CALCAIRES
DURS**

9.1 La coupe AV : trois faciès d'altération des calcaires durs...	148
9.2 Distribution des faciès dans le paysage.....	154
9.3 Les autres faciès d'altération dans le modelé.....	156
9.4 Autres faciès plus ou moins calcaires.....	166

**Chap.10 - DEFINITION ET CARACTERISATION DES GRANDS
ENSEMBLES D'HORIZONS**

10.1 - L'ENSEMBLE D'HORIZONS PROFONDS..P.....	170
10.2 - RELATIONS ET ARTICULATION DE L'ENSEMBLE PROFOND AVEC LES AUTRES ENSEMBLES.....	198
10.3 - L'ENSEMBLE D'HORIZONS MEDIANS...M.....	204
10.4 - L'ENSEMBLE D'HORIZONS SUPERIEURS..S.....	239

Chap. 11.- RELATIONS ENTRE HORIZONS ET PHASES

LES FILIATIONS POSSIBLES252

Chap. 12.- AUTRES TOPOSEQUENCES ET COUPES

Analogie et degré d'évolution et de différenciations.....269

**Chap. 13- LES GRANDS DOMAINES DE PEDOGENESE ET LEUR
ARTICULATION**

13.1 - Plateau et haut de versant Calcimagnésiques.....	276
13.2 - Versant Isohumiques.....	277
13.3 - Replat-cuvettes et talwegs de versant vertiques.....	277
13.4 - Versant plan Fersiallitiques.....	278
13.5 - Articulation des domaines pédo-topographiques.....	279
13.6 - Informations apportées par les photographies aériennes.....	280

QUATRIEME PARTIE : PRINCIPAUX RESULTATS, DISCUSSION ET SYNTHESE

1 - CONCERNANT LE SUBSTRAT.....	285
2 - CONCERNANT L'ORO-HYDROGRAPHIE.....	287
3 - CONCERNANT LES EFFET ATTRIBUES A LA TECTONIQUE....	287
4 - CONCERNANT LA KARSTIFICATION DU PLATEAU DE MEKNES	
5 - CONCERNANT L'ALTERATIONS ET ROCHES-MERES.....	289
6 - CONCERNANT LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.....	294
- DIFFERENCIATIONS VERTICALE : LES HORIZONS PROFONDS ARGILEUX.....	294
- DIFFRENCIATION LATERALES : TRANSFORMATIONS EN POCHES.....	294
- DISTRIBUTION DES PROFILS DE SOLS DANS LE PAYSAGE	
7 - VERS UNE APPROCHE DE LA CARTOGRAPHIE TENANT EN COMPTE LES APPORTS DE CETTE ÉTUDE.....	300

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE.....	304
PERSPECTIVES DE RECHERCHES.....	306

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	308
LISTE DES FIGURES.....	312
LISTE DES TABLEAUX.....	315
LISTE DES PLANCHES.....	317
TABLE DES MATIERES.....	318
ANNEXES.....	322

A N N E X E S



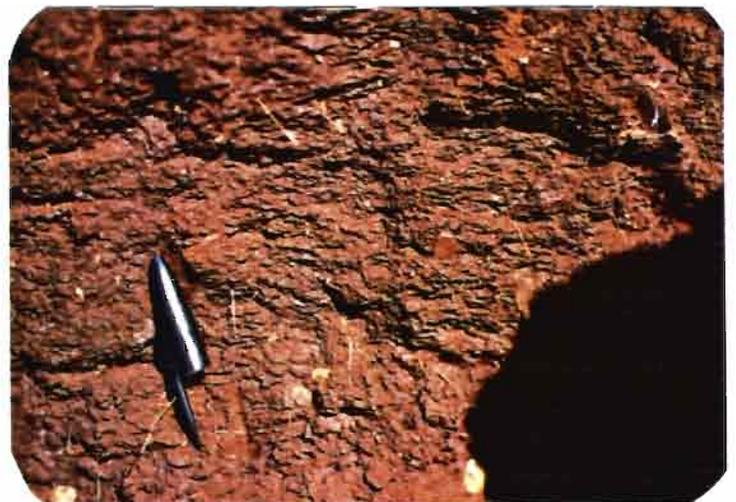
1



3



2



4

Les modifications anthropiques des horizons supérieurs

1 / Coupe M V (plateau de l'E.N.A.) : inversion des horizons par les travaux du sol. Remarquer aussi la pénétration en poche de l'horion M2 dans l'horizon P1.

2 / Sur la même tranchée, à quelques mètres de la photo 1, le même phénomène est observé, mais ici l'horizon P1 présente une transition nette avec l'horizon supérieur.

3 / Sur cette photo les travaux du sol n'ont pas atteint l'ensemble de l'horizon M2. Il faut remarquer aussi la transition graduelle avec l'horizon P1 qui présente plus de volumes argileux colorés.

4 / Cette photo présente la partie supérieure de l'horizon S2 qui est argileux et où une structure lamellaire très nette est observée.



1



2



3



4

Planche

Les ensembles d'horizons pédologiques

1 / Aspect morphologique des horizons S1 & M1 reposant directement sur le faciès III d'altération des calcaires lacustres en position de plateau.

2 / Aspect morphologique des horizons S2 & M7 du vertisol du replat-cuvette de la toposéquence ME.

3 / Aspect morphologique des horizons S1 & M2 de la coupe Aviation

4 / Aspect morphologique des horizons S2 & M6 de la toposéquence ME



1



2



3



4



5

Planche

Les ensembles d'horizons pédologiques

1 : Dans cette fosse en position de plateau, on observe à sa base le faciès III d'altération du calcaire, puis l'horizon M1 encore très mince. Une croûte calcaire discontinue forme la transition avec l'horizon supérieur S1

2 / Sur cette photo, l'horizon P1 arrive presque au contact de la croûte calcaire qui est ici plus épaisse et à pellicule rubanée. Il faut remarquer la transition graduelle blanc beige en forme de poche

3 / Aspect morphologique de l'horizon P4 à amas calcaires pulvérulents à polarité verticale

4 / Aspect morphologique de l'horizon P3 reposant directement sur les calcaires lacustres lapiazés

5 / Aspect morphologique de profondeur de l'horizon P1 à volumes d'argile encore calcaires dispersés dans la masse calcaire friable

LES CALCAIRES LACUSTRES ET LES POSSIBILITES DE FILIAISON

A la base d'une tranchée situées à 4 km au Nord de l'ENA, les calcaires lacustres sont subhorizontaux et semblent s'altérer en plaquettes (faciès II), puis passer progressivement à une formation blanche pulvérulente (faciès III) où un litage est encore respecté. On passe ensuite à un horizon supérieur argileux, brun rouge foncé encore calcaire à la base (photo 4).

A quelques mètres de la photo 4, on observe entre la formation blanche et le calcaire altéré en plaquettes une formation de 30 cm environ d'une argile gris-bleu à gris-vert qui rappelle des marnes (photo 3).

Encore à quelques mètres sur la tranchée (photo 1 & 2), au contact de la formation blanche et de l'horizon supérieur, on observe un horizon de transition constitué de cailloux probablement relictuels.



1



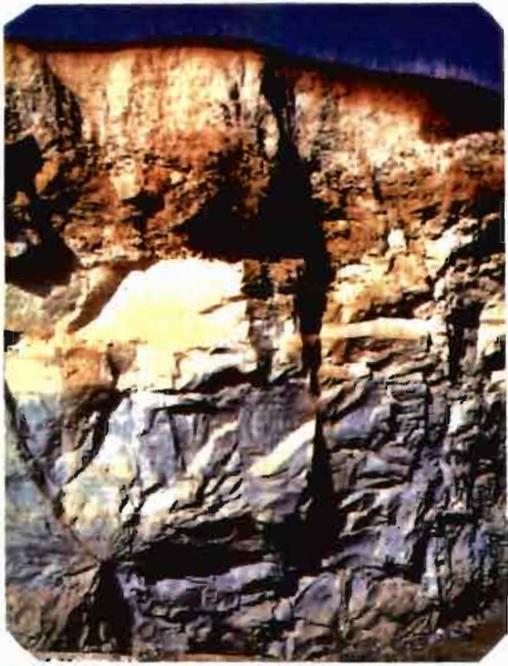
2



3



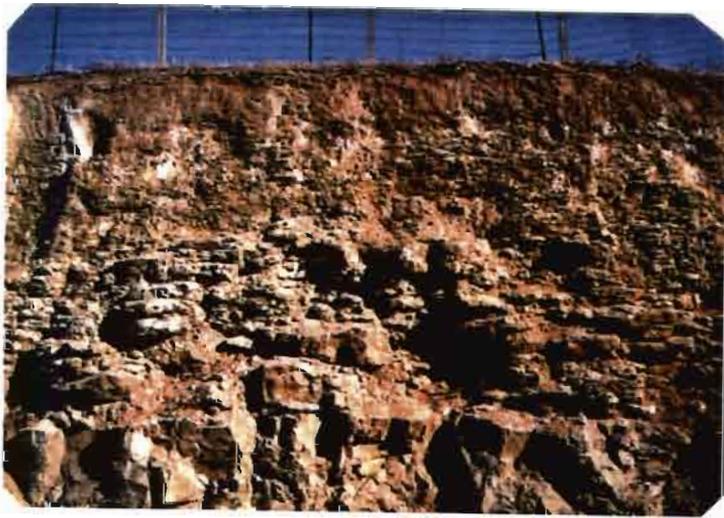
4



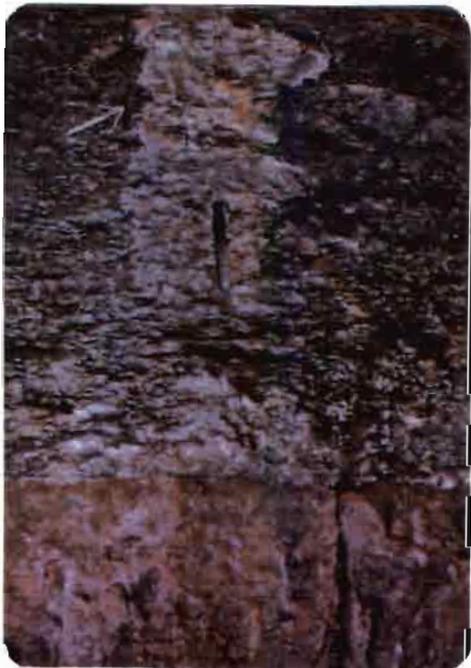
1



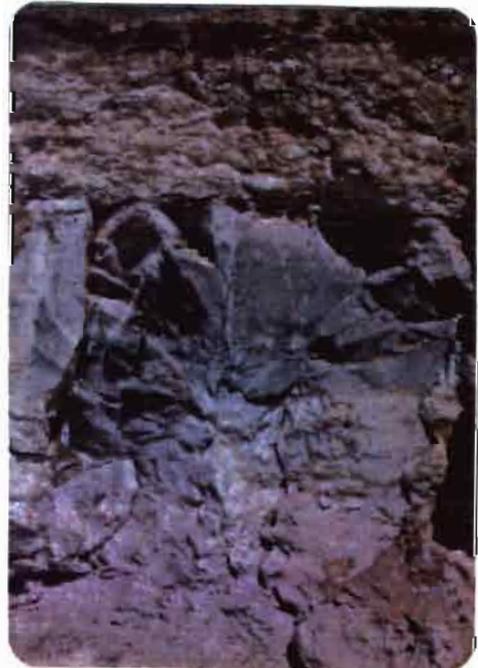
2



3



4



5

Planche

Les calcaires lacustres du plateau de Meknès et les différents faciès d'altération

1 / Les calcaires lacustres de la coupe Boufékrane avec les faciès II et III d'altération

2 / Les calcaires lacustres lapiazés de la coupe Bougaraa

**3 / Les calcaires lacustres de la coupes Aviation
Dans cette coupe les trois faciès I, II, III sont présents.**

4 / Les calcaires lacustres dans une coupe près du S.E.D. Ils sont ici en contact direct avec le faciès d'altération II

5 / Dans cette coupe, les calcaires lacustres sains supportent directement le faciès III d'altération