Reçu le 11/02/85
H.300

FACULTÉ DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DE L'ÉTAT A GEMBLOUX (BELGIQUE)

SERVICE DE LA SCIENCE DU SOL

L'INTÉGRATION CHRONOSPATIALE DES ACCUMULATIONS CALCAIRES

Approche morphopédologique et géochimique dans un paysage semi-aride de l'Atlas tellien (Algérie)

Dissertation présentée par L. BOCK en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques

ANNÉE ACADÉMIQUE 1983-1984

Composition du jury

Président : Recteur LEDENT A.
Promoteur : Professeur HANOTIAUX G.
Examinateurs : Professeurs COMPÈRE R.
GASPARD-DAUTREBANDE S.
MUNAUT A.
NOIRFALIZE A.
TONNARD V.
Conseillers scientifiques : CALEMBERT J.
DAUCHOT-DEHON M.
DELECOUR F.
LACROIX D.
MARCOEN J.-M.
MATHIEU L.
PAHAUT P.
RASSEL A.

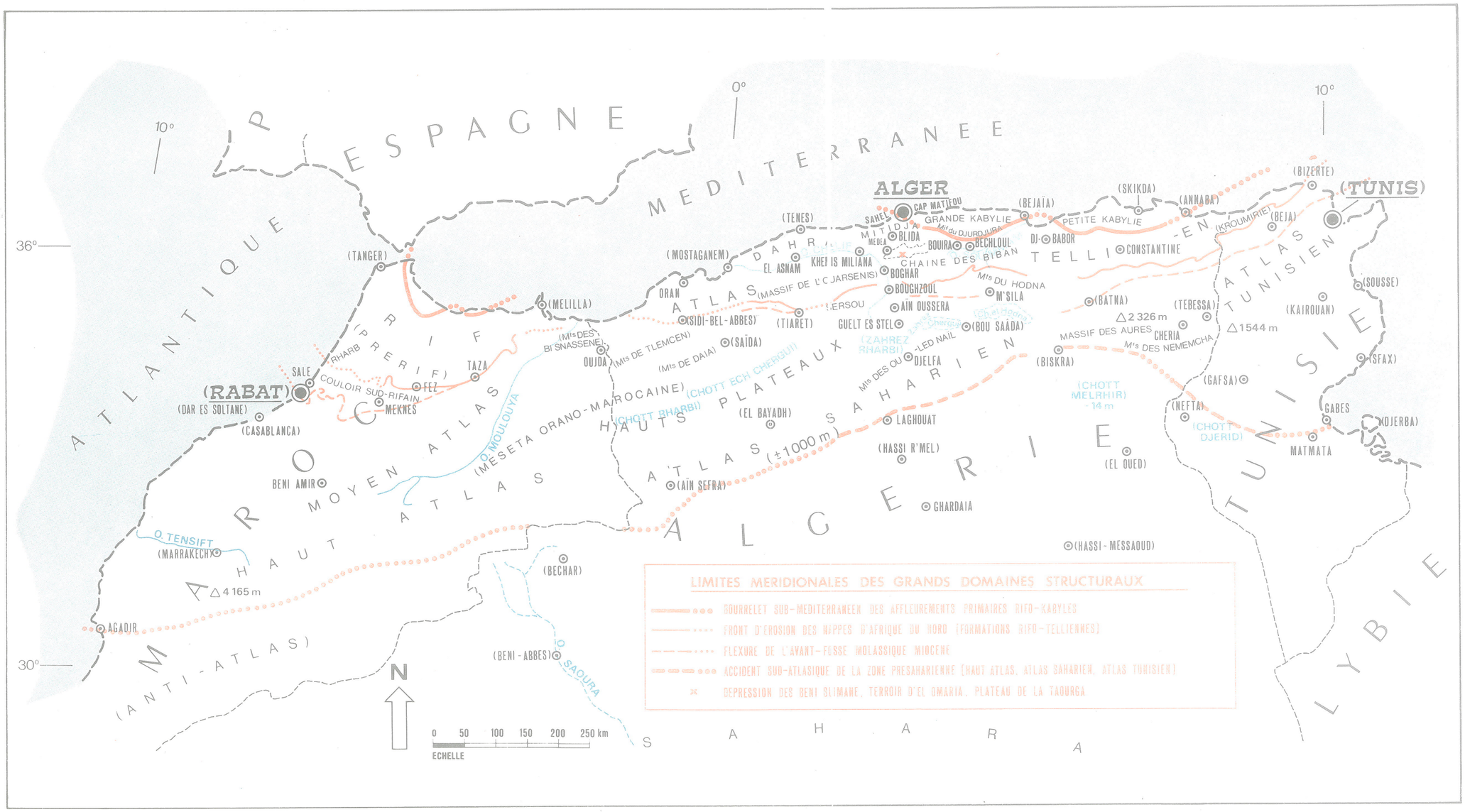


FIG. 1 : Schéma structural simplifié de l'Afrique du Nord (Maghreb) réalisé à partir des illustrations de CAIRE (1971), DESPOIS et RAYNAL (1975) MATHIEU (1977 a) sur la base d'une carte de TIMES ATLAS (1977) avec localisation des références citées - ( ) repérage p.m.

FACULTÉ DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DE L'ÉTAT A GEMBLOUX (BELGIQUE)

SERVICE DE LA SCIENCE DU SOL

Reçu le 11/01/84

L'INTÉGRATION CHRONOSPATIALE DES ACCUMULATIONS CALCAIRES

Approche morphopédologique et géochimique dans un paysage semi-aride de l'Atlas tellien (Algérie)

Dissertation présentée par L. BOCK en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques

ANNÉE ACADÉMIQUE 1983-1984

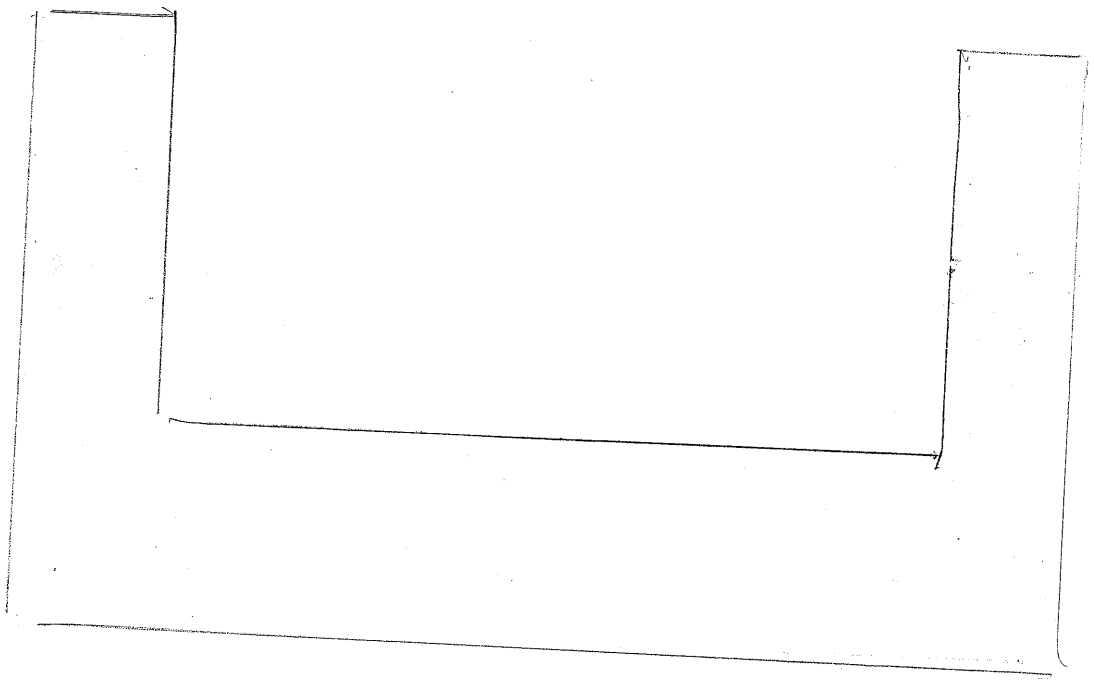
Composition du jury

Président : Recteur LEDENT A.
Promoteur : Professeur HANOTIAUX G.
Examinateurs : Professeurs COMPÈRE R.
GASPARD-DAUTREBANDE S.
MUNAUT A.
NOIRFALIZE A.
TONNARD V.
Conseillers scientifiques : CALEMBERT J.
DAUCHOT-DEHON M.
DELECOUR F.
LACROIX D.
MARCOEN J.-M.
MATHIEU L.
PAHAUT P.
RASSEL A.

MOTS CLEFS :

Quaternaire, accumulations calcaires, sols fersiallitiques, vertisols, (litho) morphopédologie, micromorphologie, minéralogie (attapulgite), pédochimie, palynologie, ^{14}C.

H24





This thesis is dedicated to Jennifer, Jean-François and Vincent.

Cette thèse est dédiée à mes parents.

AVANT - PROPOS

C'est avec plaisir, au moment où je suis chaleureusement encouragé par toute une équipe, que je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements au promoteur de ce travail : le Professeur G. HANOTIAUX qui, depuis bientôt quinze ans, a successivement assuré ma formation de laboratoire, soutenu mon inscription au cadre de la Coopération Technique Universitaire Belge (CTU) en Algérie, retenu ma candidature comme assistant à la Chaire et patronné mes activités scientifiques de façon, certes, exigeante mais pleine de confiance et d'ouverture scientifique. Cependant, cette relation privilégiée ne doit pas me faire oublier tous ceux qui ont collaboré à l'entreprise, c'est-à-dire :

en Algérie :

Messieurs BENACHENOU et A. HALITIM, respectivement Directeur de l'Institut National Agronomique d'Alger et Responsable du Département de Pédologie, qui ont fait preuve de compréhension administrative et m'ont accordé, le plus souvent, une entière liberté d'organisation,

le Service d'Etudes des Sols du Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique pour la disponibilité de sa documentation sur le Haut Chélif,

Monsieur NAMECHE, Directeur du Comité Technique de la Zone de Rénovation des Beni Slimane a Médéa, dont l'attitude positive m'a permis de consulter les rapports techniques de la région, d'arrêter mon choix sur le plateau de la Taourga et d'obtenir des profils parfaitement creusés,

le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique comme employeur (1973-1975),

les Services d'Ambassade, de Consulat et de Représentation culturelle toujours très accueillants et désireux de franche collaboration,

en Belgique :

le Recteur A. LEDENT pour sa présidence au nom d'une Faculté particulièrement propice aux réflexions interdisciplinaires et à leur concrétisation matérielle,

les Professeurs,

V. TONNARD des Sciences de la Terre, qui, déjà au travail de fin d'études, m'avait largement appuyé dans la démarche "litho-pédologique" et qui depuis lors, n'a cessé de me faire des remarques pertinemment didactiques tout en favorisant l'intervention directe de ses collaborateurs,

A. NOIRFALISE d'Ecologie Végétale qui, en lecteur particulièrement critique, m'a suggéré, outre de nombreuses améliorations dans la structure du texte, la mise en exergue des techniques de la paléoécologie dans un dernier chapitre et par là, une meilleure exploitation des données,

S. GASPAR-DAUTREBANDE de Génie Rural, qui, en réalisant de nombreuses missions en Algérie, ne pouvait pas mieux assurer la succession de feu le Professeur SINE et s'inquiéter plus spécialement des implications techniques,

R. COMPERE de Zoologie Appliquée qui, en agrostologue chevronné, m'a convaincu de la perfectibilité du modèle suivi en l'intégrant à la production en même temps qu'il attirait mon attention sur l'important problème des carences en oligo-éléments,

A. MUNAUT de l'Université de Louvain-la-Neuve, qui, en spécialiste de la palynologie et avec l'aide de A.O. TASSANASORN, m'a cordialement aidé et procuré quelques arguments au niveau de la reconstitution paléogéographique,

les Conseillers Scientifiques et confrères pour la plupart,

P. PAHAUT, mon aîné et chef de mission CTU, qui m'a fait bénéficier de sa longue expérience d'Ingénieur à la carte des Sols et d'expert FAO, au

cours de fructueuses journées de description ... garantes du terrain,

J. CALEMBERT, pour sa connaissance vécue des problèmes agronomiques en régions méditerranéennes, son aptitude à la controverse et le bon sens de ses discussions,

F. DELECOUR à qui j'ai pu m'adresser sans réserve pour tout ce qui concerne l'usage des fiches "informatiques" de description et l'étude de la matière organique,

D. LACROIX, géologue et minéralogiste accompli, que j'ai sollicité professionnellement avec l'étude des minéraux denses et des lames minces, amicalement avec mes nombreuses interrogations de fond ou de forme et la correction complète de ce document,

M. DAUCHOT-DEHON, chimiste du ^{14}C à l'Institut Royal du Patrimoine Artistique, dont la contribution enthousiaste a permis d'ordonner l'ensemble des résultats et d'asseoir une synthèse originale,

J.M. MARCOEN qui, responsable de la diffractométrie RX et de l'Analyse Thermique Différentielle, m'a donné de précieux conseils dans l'interprétation des enregistrements,

A. RASSEL de la Station de Chimie et Physique Agricoles dont les très belles photographies d'attapulgite réalisées au microscope électronique à transmission constituent un des points marquants de la démonstration,

le Personnel de la Chaire,

A. HAYEN pour six années de collaboration croissante, sa gestion et son maintien des laboratoires ... avec la toute nouvelle installation de la chaîne à lames minces,

G. BUCHET dont le présent texte imprimé parle de lui-même et se passe de commentaires pour employer cette expression qui lui est chère,

les Membres des Centres de Recherches (I.R.S.I.A.) et plus spécialement,

Ch. BIASIO, l'excellent dessinateur de toutes les figures inédites et Ch. DROEVEN-VAN GRIEKEN, toute aussi excellente dactylographe ... malgré mes tergiversations,

A. DELFOSSE-BODART, F. TOUSSAINT et J. DUFOUR qui m'ont fréquemment aidé aux appareils, face aux étudiants et dans certaines extractions comme celle de la matière organique,

G. HAYEN-FREDERICKX qui, après avoir dactylographié mon travail de fin d'études, a préparé certains tableaux, J. van RAVESTIJN pour son aide extrême ... au broyage et à la pagination, M. GERARD-JASPART qui a réalisé le fractionnement du phosphore et C. DELCORPS-JEANMART pour son efficacité à la bibliothèque,

longue liste qui n'est pas encore close, car en dehors de ces relations soutenues pour ne pas écrire quotidiennes, il m'est agréable de remercier aussi :

l'AGCD et le CEDEV (Liège) comme employeur (1975-1977),

les Professeurs D. STOOPS de la Rijksuniversiteit Gent pour son initiation à la micromorphologie et R. CONIL de l'Université de Louvain-la-Neuve pour la confection de lames minces dans les accumulations calcaires,

les chercheurs Ph. HECQ pour l'interprétation des photographies aériennes à l'analyseur d'images et M. MERCIER du Centre de Recherches pour l'Industrie Belge de la Céramique pour des essais de granulométrie au sédigraphe,

J. SERVAIS pour son intervention technique aux argiles,

en France,

les nombreux missionnaires, mais avec une mention spéciale pour A. RUELLAN qui, auteur bien connu sur le sujet, m'a très clairement synthétisé les concepts

des approches pédologique et géochimique à l'occasion de diverses excursions dont au moins deux sur la Taourga ... de même que pour C. CHEVERRY, spécialiste des vertisols,

feu J. ROMAN, géologue, que j'accompagnais dans ses levés sur la région d'El Omaria en découvrant le difficile problème de la stratigraphie continentale,

mon confrère A. DELAUNOIS, véritable compagnon de route puisque nous avons souvent parcouru ensemble le plateau, pendant un peu plus d'un an épisodiquement passé dans le froid pluvieux comme sous un soleil de plomb,

mon ami J.Y. LALAURIE, également géologue, avec qui j'ai découvert pratiquement toutes les facettes de l'Algérie en suivant différents thèmes (culturel, minéralogique, archéologique) et en approchant le bled,

A tous, un grand merci.

Enfin, c'est avec une certaine émotion que je rédige ces toutes dernières lignes en m'adressant à L. MATHIEU qui m'a d'abord communiqué son approche du terrain et sa connaissance du Maghreb, puis épaulé au Séminaire de Pédologie d'Alger, en 1975, en me faisant découvrir l'intérêt du sujet et par après, entraîné fraternellement.

INTRODUCTION

C'est à l'occasion d'un périple tunisien, en 1971, que nous avons découvert les grandes unités paysagiques d'Afrique du Nord et pu nous rendre compte de la précarité des schémas didactiques, car il nous semblait, tout à la fois, tentant et illusoire de généraliser des systèmes incomplètement inventoriés ou d'extrapoler des modèles d'une région (septentrionale) à l'autre (méridionale) ; toutefois, nous n'étions pas décontenancé, car fort justement, l'enseignement de feu le Professeur MANIL donnait, non sans philosophie, une large place à l'analyse systémique et poussait à la connaissance vécue.

L'année suivante, nous présentâmes, sous la direction du Professeur TONNARD, un mémoire ayant pour thème un essai de caractérisation lithopédologique ; travail dans lequel, nous nous sommes surtout attaché à décrire finement le terrain par focalisations successives, convaincu déjà à l'époque que la pédogenèse s'inscrit dans un cadre chronospatial (quadridimensionnel), c'est-à-dire dans un milieu qu'il faut autant que possible reconstituer (paléo) géographiquement pour cerner la causalité des facteurs, dégager la chronologie des événements et reconnaître la part due au solum biodynamique ... véritable originalité de la pédologie définie au sens de la conception édaphique (MANIL, 1956, 1959).

Mais c'est comme assistant au département des Sciences du Sol de l'Institut National Agronomique (INA) d'Alger que nous avons été chargé, par son responsable HALITIM, d'organiser la journée d'excursion sur les sols calcaires dans le cadre du Séminaire International de Pédologie de 1975. Ne disposant d'aucune expérience personnelle sur le sujet, nous nous sommes inspiré, sur les conseils épistolaires de MATHIEU, de la page 512 de BOULAINE (1957) qui, dans l'interfluve des oueds Chélif et Deurdeur, décrit la superposition d'une formation meuble non calcaire sur une accumulation bien développée et tend à l'expliquer par les processus classiques du lessivage dans un sol ; proposition qui sera analysée plus finement dans son contexte historique (cf. 2.2.2.1°) et qui s'avère être davantage une hypothèse éventuelle de travail

qu'une réelle argumentation de terrain. Ainsi, nous trouvions effectivement, une excellente base de réflexion appuyée par la carte des sols au 1/50.000 de la plaine d'El Khemis-Miliana (ex Affreville - BOULAINE, 1956 - cf. 6.2.2.2° - Fig. 26) et celle, plus récente, publiée par la Direction des Etudes du Milieu et de la Recherche Hydraulique (D.E.M.R.H.) qui mit aimablement, à notre disposition, tous les résultats d'analyses s'y rapportant.

Le jour de l'excursion, livret-guide en main (BOCK, 1975), le groupe des participants (ANTOINE, AUBERT, FRANKART, MATHIEU, RUELLAN, SERVANT, TAVERNIER, ...) remonta une toposéquence sur la rive droite de l'oued Deurdeur en étudiant les unités 15, 8 et 33' de la carte de BOULAINE, c'est-à-dire respectivement selon la légende : un sol alluvial complexe (à calcaire diffus), un sol calcique recouvrant une carapace calcaire (avec débris dès la surface) et un sol très évolué, décalcifié, rubéfié sur carapace calcaire. Très vite, le sujet s'orienta vers des problèmes de classification des sols, étape logique dans la pratique alternée de l'observation et de l'interprétation ; avec ce que cela représente d'intéressant, au début, en échange d'idées et de stérile pour les agronomes quand on s'y cristallise. En fait, cette discussion venait toujours après une minutieuse et séduisante description de RUELLAN qui concluait au Bca et aux profils calcaires variablement différenciés sur lesquels nous reviendrons (cf. 3.2.2.4°), tout en s'empressant de préciser que cet horizon n'implique ni un certain mécanisme, ni l'accumulation d'autres éléments au même niveau.

En fin de journée, bien que partisan des modèles simples, mais conscient aussi de la valeur traditionnellement attachée aux symboles pédologiques, nous avions l'impression de vivre la consécration d'une explication sans aucune démonstration, car l'assemblée reconnaissait la nécessité d'une étude géomorphologique préalable mais suivait une démarche qui n'oblige même pas à regarder le paysage. Le raisonnement était à la dynamique et à la visualisation oblique mais dans les faits, l'application était statique, verticaliste et actualiste, c'est-à-dire qu'on aboutissait peut-être, de cette façon, à un bon inventaire des différentes formes d'accumulations calcaires et de leur distribution, mais pas des sols dans le sens d'une approche intégrée et analytique des processus. Dès lors, nous en avons conclu que le débat sur

les sols à/sur accumulations calcaires restait toujours ouvert et que certaines questions posées par les auteurs, notamment DURANT, MATHIEU, VOGT, ... demeuraient pertinentes à propos de :

- leur genèse ou de la part à faire entre les processus pédogénétiques (horizons de sols) sous des conditions préférentiellement stables et les processus morphogénétiques (couches de dépôts) sous des conditions plus dynamiques,

- leur âge et corollairement du nombre de générations (périodes, phases, épisodes quaternaires, ...),

- leur tendance actuelle (dégradation ou lente évolution),

- leur environnement optimum (relations avec le versant, milieu d'accueil, climat, ...).

Evidemment, la chose serait sans importance si ces accumulations ne constituaient qu'une curiosité scientifique très localisée, mais le fait qu'elles sous-tendent une très grande partie des surfaces cultivables en régions subtropicales, en sous-entendant des problèmes pratiques de volume de sol, de profil hydrique, de carences nutritives, ... mérite, au contraire, toute notre attention.

C'est pourquoi, nous avons opté pour ce sujet qui se situe au carrefour enrichissant d'autres disciplines dans le domaine plus vaste de la géologie du Quaternaire ; ceci dans le but de mieux cadrer les sols dans le paysage, avec comme conséquence théorique de mieux en comprendre la genèse et comme résultat pratique d'en cerner plus judicieusement les facteurs limitants pour la mise en valeur. Toutefois, comme la plupart des études consultées ont été menées à l'échelle d'une région et qu'elles aboutissent toutes au souhait qu'il faille caractériser plus finement les formations pour mieux en déceler les transitions, nous avons adopté l'idée de rechercher un terroir parfaitement localisé.

Ainsi, sous la direction scientifique du Professeur HANOTIAUX, en relation avec les responsables du Comité Technique de la Zone de Rénovation (COTEZOR) des Beni Slimane, au départ des documents morphopédologiques existants (KALMS, 1972 ; RAUNET, 1973 - cf. 6.2.), grâce aux précieux conseils de CHEVERRY, MATHIEU, PAHAUT, ROMAN, RUELLAN, ... et en compagnie inestimable de DELAUNOIS, nous avons choisi et étudié le plateau de la Taourga parce que de dimensions restreintes (± 4.500 ha) et bien délimité dans le contexte paysagique, il présente des profils qui sont la réplique presque parfaite de ceux décrits par BOULAINE, tout en correspondant à des contrastes géomorphologiques plus évocateurs.

Ensuite, en 1978, devenu assistant du Professeur HANOTIAUX, nous avons pu préciser notre démarche par rapport aux auteurs, réaliser un programme d'analyses et établir des liens de collaboration extérieurs au service (CONIL, DAUCHOT-DEHON, EK, HECQ, LACROIX, MARCOEN, MERCIER, MUNAUT, STOOPS, ...), non seulement avec le souci de cette contribution mais aussi des exigences didactiques de notre fonction. Dans ce cadre, l'enseignement nous a aidé à définir une méthodologie de terrain et de laboratoire en nous obligeant à réfléchir sur la signification tant pratique que théorique des opérations réalisées et à saisir la valeur exacte des résultats avec leur limite d'interprétation. Cela avec l'appui inconditionnel de tout le personnel de la Science du Sol ; mais nous tenons à préciser que, si les relations ont été privilégiées avec MATHIEU, jamais nous ne nous sommes vu imposer une doctrine.

En conséquence, cette thèse est articulée en quatre parties :

- première partie : analyse historique (1946-1983) et critique des conceptions génétiques (cadre quaternaire) sur les accumulations calcaires, en milieu (principalement) subtropical,

- deuxième partie : travail de terrain,

- troisième partie : travail de laboratoire,

- quatrième partie : synthèse, conclusions, annexes et informations d'usage.

Chaque partie comporte un certain nombre de chapitres précédés de remarques préliminaires qui permettent de justifier les choix et d'annoncer la structure du texte. Chaque chapitre comporte à son tour un certain nombre de paragraphes et sous-paragraphes au niveau desquels l'usage de la numérotation décimale est limité. Ensuite, le classement est opéré en ayant recours aux chiffres indicés, aux lettres minuscules, aux tirets, aux points et aux retraits pour aboutir à cet exemple de présentation :

PREMIERE PARTIE (page cartonnée bleue)

REMARQUES PRELIMINAIRES

CHAPITRE 3 (page cartonnée jaune)

CHAPITRE 3 : L'AUDIENCE DE L'APPROCHE PEDOLOGIQUE (1963-1974)

3.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

3.2.2. L'APPROCHE PEDOLOGIQUE

4° HORIZON Bca ET PROFILS CALCAIRES DIFFERENCIES, UNE RECHERCHE DANS LES PROCESSUS DE MISE EN PLACE

a) Le profil calcaire

- Concentrations continues :
  . encroûtements non feuilletés

Finalement, persuadé de ce que tous les détails de cette démonstration ne peuvent intéresser un lecteur soucieux de s'informer sans être directement concerné par le sujet, nous proposons la possibilité d'un itinéraire de lecture rapide qui, en étant articulé sur les commentaires, résumés, discussions, illustrations synthétiques et interprétations intermédiaires, permet de prendre connaissance du cheminement de la pensée depuis la re-

cherche des faits essentiels ou particulièrement originaux jusqu'aux conclusions, à savoir :

- Première partie :

	Pages
. remarques préliminaires, tableau 1, Fig. 1	7
. chapitre 1, commentaires 1.4.	20
. chapitre 2, commentaires 2.4.	48
. chapitre 3, commentaires 3.4.	95
. chapitre 4, commentaires 4.4., tableaux 2 et 2 bis	144

- Deuxième partie :

. remarques préliminaires	151
. chapitre 5, résumé 5.8.	188
. chapitre 6, résumé 6.4., Fig. 29	221
. chapitre 7, résumé 7.4.	248

- Troisième partie :

. remarques préliminaires	253
. chapitre 8, interprétation 8.3., tableau 14	310
. chapitre 9, interprétation 9.3., tableau 18	351
. chapitre 10, interprétation 10.3., Fig. 62	369

- Quatrième partie :

. Remarques préliminaires	375
. Synthèse et conclusions, Tableau 21, Photo 48	377

PREMIÈRE PARTIE

Analyse historique (1946-1983) et critique des conceptions génétiques (cadre quaternaire) sur les accumulations calcaires en milieu (principalement) subtropical

REMARQUES PRELIMINAIRES

Comme nous l'avons fait remarquer dans l'introduction, une véritable école d'interprétation de pédologie classique s'est constituée à propos des accumulations calcaires ; école dont les arguments de terrain nous ont semblé quelque peu expéditifs sinon dans leur interprétation (à vérifier), du moins dans leur généralisation.

Face à cette position tranchée, nous avons jugé nécessaire, encouragé en cela par les considérations du groupe de travail conduit par DURAND (1979, cf. 4.2.7.), d'entreprendre un historique (refus des comparaisons anachroniques) des conceptions génétiques (cadre quaternaire) sur les accumulations calcaires, en milieu (principalement subtropical), afin de saisir les influences ou parfois le manque d'influences (réciproques) entre les auteurs contemporains et entre les différentes disciplines au cours du temps.

C'est pourquoi, cette première partie est composée de quatre chapitres :

- chapitre 1 : les nombreuses suppositions du Congrès de Montpellier-Alger (1947) où le sujet fut réellement lancé avec notamment les considérations de AUBERT, GAUCHER et GEZE,

- chapitre 2 : l'Afrique du Nord, foyer des premières grandes études de terrain (1948-1962) illustré tout spécialement par les travaux de DURAND et BOULAINE en Algérie, contemporains de ceux de CHOUBERT, GIGOUT, RAYNAL et WILBERT au Maroc,

- chapitre 3 : l'audience de l'approche pédologique (1963-1974) affirmée principalement par les travaux de GILE, (MILLOT) et RUELLAN,

- chapitre 4 : l'appel à la pluridisciplinarité du Colloque de Strasbourg (1975-1983) suscité largement par les travaux de FREYTET, MATHIEU et VOGT.

Mais étant donné que nous percevons le sujet comme une phase obligée de l'inventaire pratique sol/terre et que l'analyse force rapidement à l'intégration des (paléo) milieux, chaque période fait l'objet d'une présentation thématique en trois paragraphes rigoureusement répétés :

- généralités sur la connaissance du Quaternaire continental ou du raisonnement chronologique,

- les accumulations calcaires,

- les formations meubles colorées (d'après l'expression de MATHIEU, 1977 a) ou du raisonnement spatial.

A ce niveau de numérotation, précisons que :

- le premier paragraphe est illustré par le tableau 1 qui, conçu à partir des publications de CHOUBERT, JOLY, GIGOUT, MARCHAIS, MARGAT et RAYNAL (1956), BEAUDET, MAURER et RUELLAN (1967), BALLAIS (1976), MATHIEU (1979), ROGNON (1979), doit guider le lecteur dans sa compréhension des équivalences stratigraphiques supposées ; et ceci, bien que le système marin ait été pratiquement éludé dans le texte,

- le deuxième paragraphe est subdivisé suivant un classement systémique évolutif qui, partant de la géomorphologie, aboutit à la microbiologie et à l'expérimentation,

- le troisième paragraphe comprend trois rubriques respectivement réservées aux concepts généraux, aux terres rouges et aux terres noires (d'après les expressions de STACE, 1956 et de PUJOS, 1957) ; choix des mots qui nous permet de conserver un certain relativisme par rapport aux terminologies proposées et de maintenir le cadre d'une réflexion globale privilégiant les informations de terrain.

Pour de plus :

- rester critique à l'égard des synthèses existantes,

QUATERNAIRE s.l.					
	Continental				Marin du Maroc atlantique et corrélation avec la Méditerranée
	Chronostratigraphie pluviale marocaine	Equivalents glaciaires alpins probables	Civilisations et industries lithiques	Dépôts et pédogenèses	
supérieur ou récent	récent, α_0 RHARBIEN ancien, classique, inférieur, Optimum, α_1	Actuel ↑ Subboréal - Atlantique ↑ Néo-Würm	Civilisation musulmanne Antiquité classique (Fin) Néolithique	Limon gris brun - Isohumisme Pédogenèse noircissante Limon rouge (supérieur ou) hérité non encroûté	< Mellahien = Versilien (Flandrien)
	Fini, terminal, S_2 SOLTANIEN S_1 (a, b)	Tardiglaciaire - Pré-boréal (Pré-Chérien) ↑ Würm (récent = I + II)	Ibero - Maurusien Aterien	Remaniements = Alluvions et colluvions rouges Limons rouges "encroûtés" Altération rubéfiante	< Rabatien - Harounien + Ouljien = EU + Néo-Tyrrhénien
moyen	TENSIFTIEN	Riss	Acheuleen évolué	Accumulation calcaire (bien développée	< Anfatien = Paléotyrrhénien
	AMIRIEN	Mindel	Acheuleen peu évolué	Limons argileux rouges à petits cailloutis et taches calcaires	< Maarifien = Sicilien (II = Milazzien ?)
inférieur ou ancien	SALETIEN	Gunz	Chelleen et Pebble Culture (= Olduvayen)	Blocaille grossière	< Messaoudien = Calabrien ou Sicilien I ?
	REGREGUIEN	p.m.			
	MOULOUYEN	Villafranchien supérieur, récent, terminal - Danube ?	Pebble Culture ancienne	Accumulation calcaire saumon épaisse à Hélicidés	< Moghrebien = Pliocène ou Calabrien ?

TABLEAU 1 : Stratigraphie du Quaternaire s.l. continental et marin en Afrique du Nord, (↑) = retouche de BEAUDET, MAURER et RUELLAN (cf. 3.1.3.)

- éviter de trahir les conceptions des auteurs qui sont souvent aussi importantes que les faits,

- vérifier les formules idéalisées qui réalisent le plus souvent les conclusions d'un ouvrage,

- respecter le cadre géographique des études,

- déceler des transferts possibles entre la recherche théorique et la recherche appliquée,

- éviter la faiblesse de l'argumentation,

nous avons dépassé la simple citation et présenté les travaux sélectionnés en les opposant, avec l'espoir de faire vivre spontanément le texte par le cumul des confirmations et des infirmations. Cependant, d'aucuns trouveront peut-être l'entreprise un peu longue, voire complexe, mais cette complexité émane précisément de ce que le sujet a suscité la curiosité d'un grand nombre de disciplines (investigations multidirectionnelles) et est encore loin de faire sinon l'unanimité, au moins l'accord sur un schéma général. Dédale bibliographique qui transparaît également dans la forme, à travers l'emploi difficilement contrôlé des traits d'union, majuscules et anglicismes. Aussi, toute prise de position prématurée de notre part ne peut que nuire à l'objectivité de la démonstration elle-même en privilégiant une hypothèse avant même d'avoir abordé concrètement le sujet (orientation partisane d'une spécialité). Dès lors, il n'entre pas non plus dans nos intentions de faire la critique précise de toutes les idées exprimées mais seulement de dégager les principes d'une méthodologie (questions dominantes de la dialectique) par l'analyse contradictoire (commentaires) en vue de leur application sur le plateau de la Taourga.

Enfin, nous proposons encore :

- de nombreuses définitions en notes infra-marginales qui, à notre sens, respectent mieux l'importance du contexte (historique ou géographique) qu'un glossaire,

- la mise en évidence des apports les plus originaux par l'emploi des caractères italiques,

- un schéma structural simplifié (Fig. 1) de l'Afrique du Nord (Maghreb) qui permet de localiser toutes les références citées et d'anticiper sur la présentation de la deuxième partie ; schéma qui a été réalisé à partir des illustrations de CAIRE (1971), DESPOIS et RAYNAL (1975), MATHIEU (1977 a) sur la base d'une carte du Times Atlas (1977).

CHAPITRE 1

Les nombreuses suppositions du congrès de pédologie de Montpellier - Alger (1947)

CHAPITRE 1 :

LES NOMBREUSES SUPPOSITIONS DU CONGRES DE PEDOLOGIE DE MONTPELLIER - ALGER (1947)

1.1. GENERALITES SUR LA CONNAISSANCE DU QUATERNAIRE CONTINENTAL

CHOUBERT (1946) constate au Maroc que les niveaux de terrasses remontent loin à l'intérieur des terres et qu'il y a une forte similitude entre les systèmes hydrographiques des bassins atlantique, méditerranéen et saharien. De là, il déduit que *les phases de creusement ou de comblement des oueds sont indépendantes des oscillations du niveau marin* et ne dépendent que du régime hydraulique des oueds bien que ces facteurs soient dépendants des mêmes causes climatiques générales. Ainsi, il nuance la théorie de l'eustatisme glaciaire qui admettait à l'époque que les pluviaux de l'Afrique du Nord, répliques des glaciations européennes, correspondent exactement aux régressions marines et aux phases de creusement fluviatile, les interpluviaux aux transgressions et aux phases de comblement ; nuance qui évoluera en bouleversement (cf. 2.1.1.).

1.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

1.2.1. UN PREMIER ESSAI DE SYNTHESE

AUBERT (1947) est le premier, semble-t-il, à avoir résumé la question et son exposé au Congrès suscita diverses interventions qui sont développées dans les pages suivantes. Après une brève entrée en matière dans

laquelle il définit les croûtes calcaires[1] comme : "*des bancs peu épais qui affleurent à la surface du sol ou à faible profondeur et qui présentent une zone litée très dure suivie d'une masse dure souvent noduleuse sur un niveau tendre granuleux*" et considère que : "*la plus grande partie de ces croûtes est fossile et daterait du Quaternaire ancien même s'il s'en forme encore actuellement*", il passe succinctement en revue les différentes théories qui peuvent être regroupées en trois grandes conceptions :

- *la conception hydrogéologique* : calcaires lacustres, dépôts de sources ou de nappes phréatiques qu'il faut regarder, à son avis, comme des cas particuliers, car les considérations topographiques ne leur sont généralement pas favorables,

- *la conception pédologique subdivisée en tendances per descensum et per ascensum* : la première résulterait de la décalcification d'horizons supérieurs aujourd'hui érodés et de l'encroûtement du calcaire en profondeur où aurait eu lieu son dépôt ; la seconde serait due à la remontée capillaire de solutions dans le sol et au dépôt du calcaire à la surface ou à faible profondeur, soit par évaporation, soit par diminution de la teneur en CO_2. Quelle que soit la variante, il se montre sceptique car il constate que dans le cas du mouvement per descensum :

  . la proximité dans le paysage des sols steppiques et des croûtes calcaires est peu compatible,
  . les horizons de surface auraient dû être anciennement très épais pour fournir une masse aussi importante de calcaire ; contrainte que RUELLAN s'appliquera à lever (cf. 3.2.2.4°),
  . ces processus où ils sont observables actuellement, en régions plus humides, ne donnent jamais ces dépôts,
  . l'horizon supérieur lité (croûte zonaire de GAUCHER) n'a jamais été décrit au sommet des limons encroûtés,

et que le mouvement per ascensum est encore plus difficile à admettre bien que cela doive dépendre de la structure et de la texture du sol.

(1) celles-ci auraient été décrites pour la première fois en 1865 et en Palestine par FRAAS (cité par AGAFONOFF, 1936).

- *la conception mixte :* il cite sans commentaire que plusieurs pédologues considèrent seul l'horizon calcaire durci comme l'horizon de sol ; le calcaire blanc granuleux étant interprété comme un niveau géologique plus ancien qu'on devrait alors retrouver non encroûté en certains endroits.

1.2.2. LA CONCEPTION HYDROGEOLOGIQUE

D'après GAUCHER (in AUBERT, 1947) (1948 a, b, c), *l'examen pétrographique est fondamental* et permet de distinguer une croûte zonaire, couche supérieure peu épaisse de 10 cm au plus et un encroûtement, couche inférieure plus épaisse à structure variable, compacte, rognoneuse, vacuolaire, bulleuse, feuilletée, pulvérulente, granuleuse, stalactiforme ... De ces constatations et de ses observations de terrain, il estime que :

- *la croûte zonaire est indépendante de l'encroûtement* et lui est postérieure argumentant qu'elle se termine en points ou en sifflets dans les fractures de celui-ci quand elle ne le traverse pas complètement,

- l'origine des encroûtements est principalement géologique et hydrologique (dépôt d'émergence, travertin, formation souterraine de nappe phréatique, dépôt de lac ou lit d'oued), car leur teneur en $CaCO_3$ est très élevée (85 à 95 %) et qu'il est difficile de considérer un horizon préexistant en couverture ; de plus, les gisements de ces dépôts se raccordent toujours à des couches perméables qui furent aquifères et surtout à des massifs de roches calcaires, y compris les roches détritiques calcaires, qui abondent en Afrique du Nord,

- des changements de température ou de pression, le dégagement de CO_2 ou un simple phénomène d'interface permettent d'expliquer l'amorce du dépôt à la façon des encroûtements des conduites d'eau,

- de telles formations sont encore possibles actuellement dans des conditions favorables mais leur plus grande partie est antérieure au pluvial würmien et due à *un optimum climatique du dépôt* qui ne fut certainement pas steppique comme le nécessiterait le mouvement per ascensum.

1.2.3. LA CONCEPTION PEDOLOGIQUE

1° LE MOUVEMENT PER DESCENSUM

YANKOVITCH (in AUBERT, 1947) *s'oppose à l'origine de la croûte calcaire pendant une période bien déterminée du Quaternaire*, car il en a vue bien formée sur des étages anciens compris entre le Barrémien et le Pliocène qui peuvent avoir été en surface à tout moment, y compris l'Actuel, et avoir été couverts de croûte. Il s'oppose aussi au mouvement per ascensum, car on n'a jamais rien expliqué de la sorte auparavant, à l'exception des solontchaks où la nappe phréatique est proche de la surface.
Par contre, il défend le mouvement per descensum, car l'horizon supérieur est toujours plus ou moins décalcifié du fait de la solubilisation du calcaire par le CO_2 de l'eau de pluie et rappelle à la mémoire DRANITZINE, père de la conception.

2° LE MOUVEMENT PER ASCENSUM

FLANDRIN, GAUTIER, LAFFITE (1948) pensent que le mouvement de POMEL est indiscutable et que la *controverse peut seule porter sur la manière dont s'est produite l'évaporation* de façon physique ou physiologique, à la surface ou en profondeur. Selon eux, les idées de GAUCHER ne peuvent être généralisées, car d'une manière générale en Algérie, il y a disproportion entre la faible surface des massifs calcaires et l'immense étendue des croûtes.

1.2.4. LA CONCEPTION MIXTE

ROSEAU (in AUBERT, 1947), en tant que spécialiste de la circulation de l'eau dans les sols, réfute le mouvement per ascensum, sur base d'observations de terrain et de mesures en champ, de la façon suivante :

- la croûte présente des couches horizontales, "des horizons", nettement délimités alors que les mouvements occasionnels dans les capillaires engendreraient des dépôts discontinus,

- *les mesures en cases lysimétriques font condamner ce mouvement* (Institut d'Agriculture d'Alger).

En revanche, il se montre favorable à la conception mixte :

- hydrologique, en comparant la formation par redissolution superficielle et évaporation brutale, en zone aride, de minces pellicules à la surface des croûtes, à celles des dépôts zonaires de stalactites, et en interprétant l'encroûtement comme une formation lacustre,

- pédologique per descensum, en considérant les nodules de profondeur comme le produit de la dissolution de calcaire à la partie inférieure de la croûte et de sa *reprécipitation dans les cavités laissées, notamment par les racines d'arbres*.

1.2.5. EN MARGE DU CONGRES

CHOUBERT (1948 a), au Maroc, juge les considérations de GAUCHER et FLANDRIN trop catégoriques et rapporte que :

- la croûte calcaire se serait formée pendant la majeure partie du cycle climatique et eustatique tyrrhénien (interpluvial Mindel-Riss) caractérisé par l'industrie acheuléenne, et ce jusqu'à la régression post-tyrrhénienne puisqu'elle descend sous le niveau de la mer,

- le climat devait être humide et relativement chaud en accord avec les faunes chaudes et s'intercaler entre deux phases rubéfiantes dont il constituerait une particularité, car le résidu du traitement de la croûte par HCl est rouge,

- la teneur en CO_2 de l'atmosphère devait être plus forte qu'actuellement[1], pour provoquer une hydrolyse aussi intense des calcaires et être au maximum pendant le climat favorable à la croûte,

---

(1) TRICART (1967) renforcera cette idée en faisant allusion à de véritables déséquilibres géochimiques périodiques au moment de la formation et de la disparition des glaciers.

- *l'encroûtement dépend des facteurs climatique, lithologique et morphologique*, c'est-à-dire qu'il est favorisé par les influences maritimes et que la croûte est plus puissante sur les formations "calcarifères" meubles ou tendres et sur les surfaces aplanies subhorizontales ; ainsi plus le climat est sec, plus les deux autres facteurs sont importants.

Il en déduit qu'il n'y a pas un seul processus de formation de la croûte mais une infinité de processus conjugués et parallèles dans lesquels l'altération des roches a joué un très grand rôle ; partout où il y avait assez d'eau et de calcaire, les croûtes se sont formées.

1.3. LES FORMATIONS MEUBLES COLORÉES

1.3.1. CONCEPTS GENERAUX

GEZE (1947 a) montre clairement que le facteur temps, considéré sous l'angle de l'âge des sols, est aussi important que les autres facteurs de l'évolution et il estime que la cartographie doit traduire la chose de façons différentes suivant le but poursuivi et l'échelle adoptée : figuration seule des grandes zones d'égale tendance évolutive actuelle sur les cartes à petite échelle, figuration complète de cette tendance et des paléosols sur les cartes à grande échelle.

1.3.2. TERRES ROUGES

1° LA RELATION DES FORMATIONS

Ainsi GEZE (1947 a) passant en revue, dans le Bas Languedoc, les formations rouges de l'Antécambrien au Quaternaire plus celles distinctes de la décalcification, *interprète les "zones rouges" observées dans les plaines comme des remaniements d'âges variés* descendus des hauteurs voisines, c'est-à-dire des

résidus rouges d'une évolution superficielle de caractère plus ou moins latéritique (paléosols) ; alors que la tendance actuelle est aux sols lessivés, parfois un peu podzoliques.

Et la même année (1947 b), dans ses notes et réflexions sur le Congrès précité, il souligne que les *rapports éventuels entre sols rouges et sols à croûtes n'ont pas attiré l'attention des participants* alors qu'il lui semble, après avoir vu des croûtes sur et sous des formations rouges, qu'il conviendrait de préciser si les secondes ravinent les premières ou si les premières ont servi de roche-mère aux secondes ou bien encore s'il peut s'agir d'un même profil dans lequel ces deux horizons bien différents d'aspect s'individualiseraient.

2° LA RELATION DES EVENEMENTS

Pour GAUCHER (1947), les formations pédologiques méditerranéennes rubéfiées sont, dans l'ensemble, des dépôts fossiles effectués entre deux phases d'érosion. Ceux-ci seraient les témoins d'un climat rubéfiant du type soudanais actuel, humide et chaud à saisons alternantes, contemporain des marnes à strombes et des faunes à Elephas atlanticus caractéristiques du Paléolithique moyen. Pour lui, tout porte à croire que la pédogenèse s'est produite normalement, en surface et à l'air libre et que, normalement aussi, *la pédogenèse a précédé les phénomènes de lithogenèse comportant l'érosion et la sédimentation.*

3° TERRA ROSSA[1] ET LIMONS ROUGES

CHOUBERT (1948 b) considère que les limons rouges des montagnes sont des paléosols qui ont été à l'origine des limons rouges des plaines ; ces derniers n'étant donc pas des terra rossa. De plus, il développe (1948 c)

(1) terra rossa (KUBIENA, 1953) : terme italien employé pour la première fois par ZIPPE en 1853 qui désigne un sol généralement déficient en humus, décalcifié, rouge vif, rouge brique sombre ou brun rouge, riche en colloïdes inorganiques, contenant des composés d'hydroxydes ferriques déficients en eau, principalement sous la forme de concrétions et de précipitations granulaires qui pénètrent la structure entière ; la réaction du sol est légèrement acide ou neutre, seules les formations enrichies secondairement en calcaire sont légèrement alcalines.

l'observation précédente de la croûte calcaire intercalée entre deux phases rubéfiantes en faisant une nette distinction entre les *limons rouges inférieurs encroûtés* qu'il attribue à l'interpluvial Günz-Mindel et les *limons rouges superficiels (hamris) généralement non encroûtés* qu'il attribue à l'interpluvial Riss-Würm

1.3.3. TERRES NOIRES OU TIRS (1)

CHOUBERT et BRYSSINE (1946) estiment que le Flandrien (Holocène) est responsable de la transformation en tirs variés de formations préexistantes telles que la croûte, les limons rouges superficiels, les limons alluvionnaires ... et que *le processus de tirsification dépend de facteurs morphologiques*. Peu après, CHOUBERT (1948 b) précise que les limons sont restés rouges partout où l'évacuation de l'excès d'eau était assurée et rapporte que la tirsification n'ayant plus à présent la même intensité et généralité qu'au Flandrien, il faut peut-être penser au retour actuel d'un climat rubéfiant puisque certains auteurs insistent sur l'actualité de la rubéfaction ; dernière idée qu'il ne semble pas maintenir plus tard (1965).

1.4. COMMENTAIRES

Nous voyons que les idées sont fertiles mais que la discussion relève plus d'impressions et d'estimations personnelles que d'observations précises sur le terrain, qui pour les rares existantes, sont de toute façon très partielles et difficilement comparables du fait de la grande diversité disciplinaire des arguments non recoupés (climatique, lithologique, morphologique, physico-chimique, voire paléontologique ou archéologique) et de l'imprécision dans le

---

(1) tirs (à partir des définitions données par BRYSSINE, 1965 et WILBERT, 1965 b) : nom vernaculaire arabe qui désigne des sols argileux de couleur foncée, noire ou grise, de régime aéro-hydropédique, lourds à travailler mais capables de fournir d'assez belles récoltes ; BRYSSINE a forgé l'expression de ce régime sur la base de celle de l'hydro-hypopédisme de DEL VILLAR parce qu'il attribuait à ces sols des propriétés hydriques tenant à la fois des sables et des argiles.

vocabulaire vis-à-vis duquel le lecteur doit conserver un esprit critique et souple.

Cependant, parmi les facteurs de pédogenèse diversement considérés, le temps est particulièrement mis en exergue par l'emploi d'expressions (fossile, paléosol, évolution actuelle, âge du sol ...) qui vont catalyser les discussions futures et qui montrent bien que l'étude des formations superficielles doit s'inscrire dans un cadre hiérarchisé. Dès lors, nous pouvons nous réjouir de ce que certains auteurs posent déjà le principe de la reconstitution chronologique des événements, même incomplètement, en esquissant *le tryptique de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation qui sont à la base de la théorie de la biorhexistasie de ERHART (cf. 2.2.3.1°) et de l'approche morpho-pédologique de TRICART (cf. 6.1.)*. Ceci est d'autant plus nécessaire que la notion d'optimum climatique, en sous-entendant celle de l'intensité d'un phénomène, suppose l'existence de nombreuses formations intermédiaires.

Par conséquent, nous partageons l'avis de AUBERT quand il conclut à la confusion sous un même nom et une même explication de formations d'origines diverses (nous sommes tenté d'écrire que l'inverse est vrai aussi en appelant différemment une même formation) et à la nécessité d'entreprendre la classification des croûtes calcaires en étudiant leurs caractéristiques chimiques et microscopiques ; tout en partageant celui de GAUCHER, à qui il faut reconnaître la paternité de la croûte zonaire, quand il suggère d'examiner correctement les conditions de gisement de ces formations en essayant de les rattacher, à l'amont et à l'aval, dans le cadre du modelé du paysage (espace) et dans le contexte de la géologie du Quaternaire (temps).

CHAPITRE 2

L'Afrique du Nord
foyer des premières grandes études de terrain
(1948-1962)

CHAPITRE 2 :

L'AFRIQUE DU NORD, FOYER DES PREMIERES GRANDES ETUDES DE TERRAIN (1948 - 1962)

2.1. GENERALITES SUR LA CONNAISSANCE DU QUATERNAIRE CONTINENTAL

2.1.1. UN BOULEVERSEMENT DANS LE SCHEMA DE LA MORPHOLOGIE QUATERNAIRE

CHOUBERT, qui supposait déjà (cf. 1.1.) que les terrasses fluviatiles étaient, au point de vue du mécanisme, des formations cycliques indépendantes des terrasses marines, bouleverse le schéma de la morphologie quaternaire en Afrique du Nord (1953, 1965) en considérant sur une idée de TREVISAN appliquée par RAYNAL au Maroc, que le *comblement des oueds a lieu pendant les pluviaux* (= glaciaires = régressions) et que le *creusement s'exerce pendant les interpluviaux* (= interglaciaires = transgressions) ; contrairement à ce qui était admis et à ce que lui-même avait appliqué auparavant.

2.1.2. UNE PROPOSITION D'ECHELLE CHRONOSTRATIGRAPHIQUE

CHOUBERT, JOLY, GIGOUT, MARCAIS, MARGAT et RAYNAL (1956) proposent, au Maroc, une échelle de chronostratigraphie continentale, car l'habitude d'appeler les pluviaux du nom des glaciations est rendue caduque par la découverte d'un cinquième cycle (ou période) ; cet essai peut être résumé ainsi :

- *Rharbien* (plaine du Rharb) = demi-cycle récent = post-pluvial = post-Würm = industries néolithiques = formations limoneuses grises des basses plaines alluviales : les tirs et les r'mel[1] ; l'absence des formations rouges et de croûte constitue la principale particularité, car le périglaciaire se retirant dans la haute montagne, le climat paraît avoir été voisin de l'actuel quoique plus humide,

- *Soltanien* (grotte de Dar es Soltane) = Würm = industries atériennes = pluvial relativement tempéré, caractérisé par un très large développement de limons rouges (ou ocres) ; ces limons passent latéralement dans les zones montagneuses à des dépôts de pentes de structure périglaciaire au-dessus d'une limite d'altitude variable selon les régions et des formations glaciaires soltaniennes caractérisent certains massifs élevés.

- *Tensiftien* (oued Tensift) = Riss = industries acheuléennes évoluées = pluvial à climat rigoureux dont les dépôts comportent une forte proportion d'amas de galets mis en place par des phénomènes périglaciaires qui descendaient, tout comme les formes d'érosion et d'accumulation glaciaire (moraines ...), à des limites d'altitude inférieures à celles reconnues pour le cycle soltanien ; les formations rouges sont peu développées ou absentes mais contrairement au Soltanien, les croûtes calcaires sont abondantes,

- *Amirien* (Beni Amir) = Mindel = industries acheuléennes peu évoluées voire archaïques = pluvial à climat vraisemblablement moins rigoureux qu'au Tensiftien caractérisé par des dépôts limoneux roses importants et des croûtes calcaires localement bien développées, mais le plus souvent à seules concrétions calcaires ; les formations périglaciaires de ce cycle sont relativement réduites et se limitent aux parties élevées des montagnes.

- *Salétien* (plateau de Salé) = Gunz ? = industries chélléennes et Pebble Culture = pluvial aux vestiges moins bien conservés dans lesquels les formations rouges et les croûtes sont rares ; sur les hauts piedmonts et en

---

(1) r'mel = sol sableux.

montagne, des dépôts caillouteux de gros calibre, qui portent des traces de gélivation et qui descendent à des altitudes plus faibles que lors des cycles "précédents", semblent correspondre parfois à des moraines.

- *Moulouyen*[1] (oued Moulouya) = Villafranchien récent = pluvial à climat moins rude qu'au Salétien mais tout en ayant été plus froid qu'à l'Amirien et au Soltanien ; les épaisses croûtes dites villafranchiennes doivent dater de ce cycle et les formations à caractère périglaciaire, qui s'étalent largement sur les piedmonts, sont généralisées.

Cette équipe conclut que la succession des cinq niveaux n'est pas partout complète ni même étagée et qu'il est encore difficile d'établir une correspondance exacte entre ces étages climatiques et les transgressions marines bien que le bouleversement proposé par CHOUBERT soit généralement admis.

L'année suivante, GIGOUT et RAYNAL (1957) apportent quelques nuances concernant la possibilité de croûtes calcaires au Soltanien et d'un cycle complet d'alluvionnement encadré par deux phases de creusement fluvial au Rharbien.

2.1.3. L'IMPORTANCE DES PHENOMENES PERIGLACIAIRES

Dans une série de notes (1955, 1956, 1961, ...) RAYNAL met l'accent sur l'étude des phénomènes périglaciaires qui sont loin d'avoir été négligeables du fait des oscillations thermiques brutales et courtes ainsi que de la résistance même de la plupart des matériaux qui se sont laissés facilement

---

(1) bien que lors du 18ème Congrès Géologique International de Londres en 1948, il ait été décidé de déplacer la limite entre le Tertiaire et le Quaternaire en limitant le premier au Pliocène et en incluant le Villafranchien au second, GIGOUT et RAYNAL (1959) précisent que le Moulouyen doit être pris dans le sens de période à sédimentation continentale pour désigner sans ambiguité le premier pluvial pléistocène marocain, car les limites du Villafranchien ne se superposent pas exactement dans les acceptions stratigraphiques et paléontologiques. C'est le même genre de difficultés à rallier l'accord général qui incitera CHOUBERT (1965) à regrouper utilement les différents niveaux du Quaternaire continental en :
- Quaternaire récent : Soltanien + Rharbien = formations limoneuses
- Quaternaire moyen : Amirien + Tensiftien
- Quaternaire ancien : Villafranchien supérieur (?) + Salétien

déliter par la fréquence des cycles gel-dégel ; ces phénomènes s'observant d'autant plus bas (en altitude) qu'on monte en latitude, c'est-à-dire du Haut Atlas au Rif en passant par le Moyen Atlas, les différences s'estompent entre les trois massifs et les raccords avec les glacis descendent de plus en plus bas (800 m dans le Rif). De l'ensemble de ses observations, il considère que *l'évolution climatique au cours du Quaternaire doit être définie comme un mouvement pendulaire dont les oscillations s'amortissent progressivement ;* un de ses arguments étant la diminution de l'épaisseur des croûtes calcaires, des plus anciennes au plus récentes.

2.1.4. LES ARGUMENTS DU ^{14}C ET DE L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE

1° L'ACTUALITE DU RHARBIEN

A la suite d'une mesure sur du charbon de bois trouvé à 3 m de profondeur (- 800 ± 200 ans) (1), GIGOUT (1959, 1960 b, 1961) situe la tirsification, c'est-à-dire le Rharbien, dans des conditions climatiques proto-historiques et historiques très voisines de l'état actuel et il fait appel au *facteur anthropique,* à défaut de variations climatiques suffisantes, pour expliquer le *creusement moderne* postérieur au 12ème siècle qui interrompt l'alluvionnement, en pensant à la dégradation des prairies, forêts et sols par l'extension du nomadisme. Dès lors, en contradiction, semble-t-il, avec sa note de 1957 (GIGOUT et RAYNAL), il précise qu'il se dépose toujours du Rharbien, notamment dans le Rharb.

2° UN CHANGEMENT DANS LA VEGETATION

PONS et QUEZEL (1956), au Sahara central, renforcent la théorie du "mouvement pendulaire" de RAYNAL en mettant en évidence le caractère de moins en moins septentrional de plusieurs oscillations climatiques

(1) l'auteur ne précise malheureusement pas l'époque de référence.

quaternaires, mais pourtant bien perceptible jusqu'à une époque récente, avec une *disparition des éléments caducifoliés européens* (Tilia, Alnus, Fraxinus), *puis du cèdre et l'apparition d'essences plus thermoxérophiles* (Oléa, Ziziphus, Cupressus) contemporaines de l'homme néolithique cultivateur. Conclusions d'intérêt paléoclimatique qui sont ensuite confirmées au Sahara septentrional (DUTIL, MARTINEZ et QUEZEL, 1959).

2.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

2.2.1. L'APPROCHE GEOMORPHOLOGIQUE

MARGAT et TALTASSE dans le couloir Sud-rifain et RAYNAL dans le Maroc oriental (bassin de la Moulouya) livrent ensemble (1954) les résultats de leurs observations en situant les croûtes dans la stratigraphie du Quaternaire et dans le paysage ainsi qu'en étudiant leur structure à la façon préconisée par GAUCHER (cf. 1.4.).

1° NIVEAUX DE CROUTES ET SURENCROUTEMENTS

Dans le couloir Sud-rifain, les auteurs rejettent l'hypothèse d'un âge unique de la croûte, car *il en existe plusieurs niveaux bien distincts associés au Néogène supérieur et au Quaternaire s.s.*, c'est-à-dire Villafranchien exclu [1]. Ils notent que :

- les croûtes associées aux calcaires lacustres d'âge villafranchien ancien du plateau de Meknès présentent le plus souvent, une surface inférieure irrégulière qui se moule sur un micro-relief résultant de l'érosion consécutive à l'exondation temporaire d'une partie de lac,

- les couches inférieures (calcaires pulvérulents et nodules) de la croûte (dalle zonaire) du Villafranchien récent s'associent aux blocs et galets des cônes de déjection qui tapissent de point en point la bordure du plateau,

(1) Néogène = Miocène + Pliocène

- des masses solifluées sont recouvertes par une croûte du Quaternaire moyen dont les feuillets ondulés épousent tous les détails de la surface et qui contient des morceaux de croûte brisée empruntés aux formations antérieures,

- la nature lithologique de la croûte n'est jamais subordonnée à celle de son substratum et la puissance de la croûte ne varie pas lorsque la nature lithologique ou plus précisément le type de perméabilité de son substratum change.

Ce qui leur permet :

- d'interpréter la croûte comme la conséquence du ruissellement en nappe et les conglomérats comme le résultat d'un transport par l'eau en *un* réseau *fluviatile anastomosé à l'extrême évoluant vers un régime palustre,*

- de conclure du fait de l'évolution géomorphologique du bassin karstique de Fès-Meknès au Quaternaire qu'il est très vraisemblable que, le plus souvent, chacun des climats à croûte ultérieurs au Villafranchien n'ait donné que des surencroûtements locaux plutôt que des croûtes bien individualisées et étagées, comme on peut en observer dans le Maroc oriental ; de la sorte, ils corroborent aussi la théorie du "mouvement pendulaire".

2° STRUCTURE DE CROUTES ET PHASE CLIMATIQUE

Dans le bassin de la Moulouya, RAYNAL remarque que *la plus puissante et la plus complexe de ces différentes croûtes est aussi la plus ancienne ;* elle se situe sur le glacis n° 5[(1)] qu'il attribue au Quaternaire ancien s.l. et d'une manière plus précise, au Villafranchien terminal (Moulouyen).

(1) glacis (TRICART, RAYNAL et BESANCON, 1973) : vieux mot français tiré du vocabulaire militaire qui désigne une surface, en pente unie et nue, aménagée en avant d'un ouvrage fortifié pour faciliter le tir des défenseurs et qui, en milieu de morphogenèse naturelle sous l'effet d'une dénivellation initiale et du ruissellement diffus, peut donner lieu à une classification génétique composée des termes d'ablation, d'épandage et d'ennoyage.

- (c) peut manifester le triomphe du réchauffement et de l'assèchement marqué par la diminution et la disparition de la solifluction et par des concrétions successives qui donnent non plus des feuillets séparés, mais une dalle varvée.

2.2.2. L'APPROCHE PEDOLOGIQUE

1° ORIGINALITE DE LA DEMARCHE, NOMENCLATURE VERNACULAIRE ET ROLE DE LA VEGETATION

Comme nous l'avons déjà signalé dans l'introduction, BOULAINE (1956, 1957) est l'auteur d'une très importante cartographie des sols dans les plaines du Chélif et attribue une origine pédologique à la carapace calcaire à la suite d'une observation que nous jugeons utile de reproduire dans sa presqu' intégralité, car elle a servi de cadre à l'excursion de Pédologie d'Alger en 1975 et préfigure nos descriptions personnelles, (75 km E), à savoir :

"Il existe dans le Chélif, une zone où la carapace calcaire ne peut avoir d'autre origine qu'une origine pédologique : au Sud du village d'Aïn Sultan et au Sud du Chélif, il existe en rive droite de l'oued Deurdeur, un grand glacis d'accumulation polygénique. Les matériaux de ce glacis ne peuvent avoir que trois origines : apports du Chélif, apports du Deurdeur, apports du bassin versant. Le Chélif et le Deurdeur sont des oueds dont les bassins versants sont très vastes et géologiquement très variés : ils contiennent de nombreux affleurements de calcaire ; les alluvions du Chélif ont 30 % de $CaCO_3$ (alluvions fines), celles du Deurdeur 20 %. Sur 100 cailloux roulés du lit majeur de l'oued Chélif, il y en a 40 à 60 qui sont calcaires, pour le Deurdeur, ce chiffre est voisin de 30 ; il en est de même pour les cailloux roulés de la masse du glacis qui a été atteinte par les puits creusés dans la région.
Or, à la surface du glacis, il y a un sol rouge avec une carapace calcaire en profondeur ; à la surface de ce sol rouge, il n'y a pas de cailloux calcaires (0 à 1 %) alors que les cailloux siliceux sont très nombreux et parfois énormes (plusieurs kilogrammes) : ces cailloux siliceux proviennent d'ailleurs de la haute vallée de l'oued Deurdeur.

Sur les glacis 4 et 3, les croûtes n'existent pas d'une manière aussi générale, *soit qu'elles se soient non ou mal formées,* dans certaines conditions, *soit que moins résistantes ou moins puissantes, elles aient été détruites* par les phases successives d'érosion. Par contre, sur les glacis ou terrasses 2 (Tensiftien), les témoins d'une croûte peu épaisse demeurent partout conservés.
Admettant comme CHOUBERT que le façonnement des glacis doit être rapporté aux pluviaux du Quaternaire, il considère que l'élaboration des croûtes intervient plus ou moins activement, à la fin de chacune de ces périodes ; ce qui peut être mis en parallèle, en montagne, avec les formations de pentes périglaciaires cimentées en brèches à l'exception de la plus récente (Soltanien). Ces brèches représenteraient, en quelque sorte, un équivalent latéral des croûtes de glacis qui fossilisent et cimentent, elles aussi, des nappes de galets mises en place au cours des pluviaux du Quaternaire.
Selon lui, quels que soient leur âge et leur puissance, les croûtes du Maroc présentent de bas en haut :

- feuillets minces (mm à cm) très ondulés, chevauchant partiellement les uns les autres (a),

- matériel limoneux ocre-clair, entrecoupé d'ébauches de feuillets calcaires discontinus (b),

- dalle constituée par une superposition de feuillets eux-mêmes souvent varvés ; la partie inférieure juxtapose des fragments de strates ondulées et brisées, cependant que, vers le haut, la masse de plus en plus compacte forme une couche subhorizontale (c).

La structure des croûtes confirmerait donc leurs rapports avec les fins de pluviaux, de sorte que :

- (a) peut correspondre aux premières pulsations climatiques vers l'assèchement,

- (b) à une reprise plus ou moins longue du froid humide ;

dans ces deux premiers cas, les ondulations correspondraient à des rides superficielles de solifluction,

Il faut noter que le bassin versant est formé de grès du Miocène qui sont calcaires et qu'il relève en un monoclinal jusqu'à la vallée d'un affluent de l'oued Deurdeur qu'il domine de plus de 100 mètres.
La disparition des cailloux calcaires à la surface et dans la partie terreuse du sol rouge et l'existence d'une carapace calcaire en profondeur ne peut pas s'expliquer autrement que par un phénomène pédologique : dissolution du calcaire du sol, y compris le calcaire du squelette minéral, et accumulation en profondeur. Toute autre explication de la genèse de la carapace ne permet pas d'expliquer l'absence de cailloux calcaires au-dessus de celle-ci et leur présence en-dessous alors que les cailloux siliceux ont la même origine et que des différences aussi radicales dans l'alluvionnement d'un oued dont le bassin versant est aussi vaste (et aussi montagneux) ne peuvent être invoquées".

Ainsi de l'hypothèse à la thèse par exclusion, il trouve original de faire jouer toutes les ressources d'une jeune science pour lever les indéterminations laissées par les autres théories et d'expliquer la formation de la carapace calcaire comme le résultat de phénomènes complexes physiques, chimiques et *biologiques* qui se produisent à l'intérieur du sol ; c'est-à-dire :

- lessivage des horizons supérieurs,

- évaporation à un certain niveau sous l'action de la chaleur, *des microrganismes ou des racines,*

- remontée des solutions du sol à certaines époques.

En accord avec les définitions (à venir) de croûte, croûte zonaire et encroûtement de DURAND, il définit la carapace calcaire comme la formation d'allure complexe, sub-superficielle et d'épaisseur relativement constante qui recouvre sur de grandes surfaces, des formations géologiques très variées dans les pays à climat méditerranéen aride, semi-aride et subaride, et il propose une nomenclature qui repose sur les trois termes vernaculaires[1] suivants :

- *Trab* : formations terreuses par-dessus la carapace qui représentent tout ou partie du sol, selon les conceptions,

---

(1) dont l'usage est cependant quelque peu contesté par GAUCHER (1959)

- *Tifkert* : partie dure et solide de la carapace dont on peut faire des pierres pour la construction,

- *Taffeza* : formations calcaires tendres, friables, homogènes ou nodulaires.

Les différents faciès peuvent être davantage précisés et permettre de décrire une coupe classique de carapace comme suit :

- une zone de dégradation de la carapace (rognons de Tifkert quand ils existent),

- une zone de dureté maximum et de recouvrement de la carapace (Tifkert rubané et Tirkert zonaire),

- une zone d'accumulation maximum du calcaire et de structuration (Tifkert et Taffeza homogène, nodulaire et feuilleté),

- une zone de transition (Tafezza nodulaire et stalagmiforme),

- la roche-mère sous-jacente.

Par après, il synthétise (1961) ses conceptions en insistant sur *le rôle de la végétation* dans la formation des carapaces calcaires qu'il distingue bien des encroûtements proprement dits, qui sont toujours en relation avec une nappe phréatique actuelle ou fossile, et des carapaces calcaires steppiques des Hauts Plateaux ; aussi, à l'argument ou plutôt à l'hypothèse développée longuement ci-dessus, il ajoute que :

- les nodules calcaires se forment autour d'anciennes racines et dans les pores des sols alluviaux récents du Chélif,

- des racines de pins sont "épigénisées"[1] par du calcaire pratiquement pur (92 %)

---

(1) épigénie (FOUCAULT et RAOULT, 1980) : remplacement lent, au sein d'une roche d'un minéral par un autre, molécule à molécule ... en général avec conservation très précise des formes de l'élément original.

- des horizons gypseux ou calcaro-gypseux se sont formés ou se forment dans des sols développés sur des dunes dans lesquelles il n'y a pas de nappe ou d'écoulement en nappe,

- des horizons d'accumulation de calcaire friable, homogène, non consolidé apparaissent sous des horizons décalcifiés en surface et sur des horizons profonds à nodules sans qu'il y ait de rupture de continuité ...,

- les sols à carapace calcaire sont situés dans le domaine des forêts méditerranéennes et dans des limites assez étroites au point de vue climatique : il ne s'en forme guère dans les zones où les hauteurs de pluies annuelles moyennes sont supérieures à 650 mm ou inférieures à 350 mm,

- les carapaces calcaires recouvrent des surfaces à morphologie évoluée : collines, terrasses, fragments de glacis d'accumulation anciens.

De là, il en conclut que l'accumulation du calcaire aurait lieu pendant une période de biostasie, soit dans un horizon sub-superficiel à haute teneur en calcaire situé dans la zone d'action du chevelu radiculaire, soit dans les horizons plus profonds sous forme de nodules à l'emplacement des grosses racines ; la consolidation et le remaniement de l'horizon sub-superficiel pouvant intervenir pendant une période postérieure de rhexistasie.

2° UNE CONFIRMATION NUANCEE

GIGOUT (1958) abonde, dans un premier temps, en faveur des conceptions de BOULAINE, en présentant les deux exemples suivants (Fig. 2) décrits au Maroc.

- A : un lit horizontal de galets siliceux, qui traverse indistinctement un calcaire conglomératique d'âge calabrien et une poche d'argile sableuse rouge salétienne, indique que le limon est le produit du lessivage en place du calcaire et la déformation de ce lit de galets, c'est-à-dire son affaissement, permet de chiffrer la proportion de matière entraînée par dissolution,

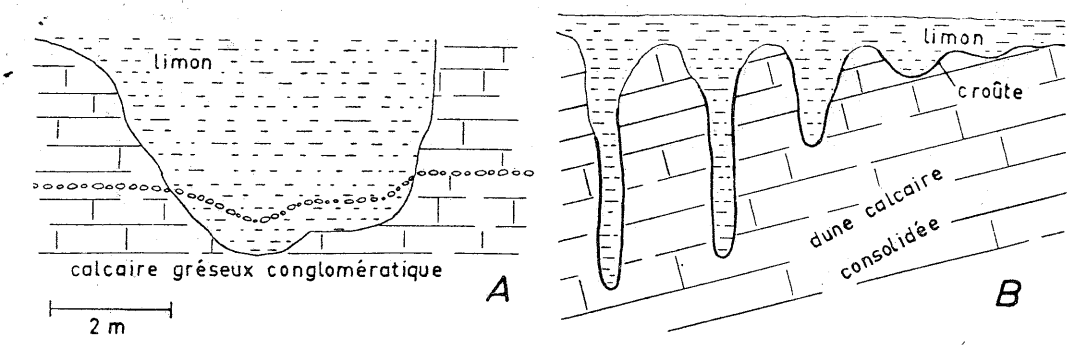


FIG. 2 : Formation, d'après GIGOUT (1958), de limon rouge en place dans les lapiez, par lessivage du calcaire qui forme une croûte zonaire.

- B : des limons rouges qui pénètrent dans des poches de calcaires gréseux de 4 m de profondeur tapissées d'une pellicule de croûte de "texture" zonée et l'impossibilité d'imaginer de telles poches vides ou béantes font supposer que le limon est un horizon de lessivage et la croûte zonée, un horizon d'accumulation.

Il recoupe ses observations avec celles d'un autre chercheur qui fait la distinction entre les limons rouges autochtones et ceux allochtones de la base à la surface des poches et de conclure que, personne ne contestant la possibilité d'un transport, *les limons rouges autochtones et allochtones ont la même nature pétrographique et vraisemblablement la même origine pédogénétique, mais sont d'autant plus allochtones qu'ils sont vieux ou que le relief s'y prête ;* la croûte leur est peut-être contemporaine ou postérieure mais certainement pas antérieure.

Ensuite (1960 a), il revoit ses conceptions, car l'explication pédologique ne lui semble pas rendre compte de tous les aspects des croûtes : leurs parties détritiques, leurs différences de "texture", de dureté, d'épaisseur, etc ... Dès lors, il pense qu'il faut y voir deux phénomènes, celui pédologique de l'enrichissement calcaire par lessivage supérieur ou par altération de la roche substratum dans l'horizon interne d'un sol qui devient lessivé, plus ou moins rubéfié, enrichi en argiles, et celui sédimentologique de dépôts ou de diagenèse[1] qu'il appelle phase de durcissement, par remise en

(1) diagenèse (FOUCAULT et RAOULT, 1980) : ensemble de processus qui affecte un dépôt sédimentaire et le transforme progressivement en roche sédimentaire solide.

mouvement et recristallisation de ce calcaire, après l'érosion du limon-sol qui devient allochtone. Les deux processus, une fois amorcés, ont pu être simultanés mais, à son avis, les climats des pluviaux ont été favorables à la pédogenèse et ceux des interpluviaux à l'érosion. Information qui fera écrire à CHOUBERT (1965) que GIGOUT redécouvre l'alternance des phénomènes en oubliant de citer ses sources !

2.2.3. L'APPROCHE MIXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

1° PREMIER ESSAI DE NOMENCLATURE ET INTERPRETATION BIORHEXISTASIQUE

La contribution de DURAND (s.d., 1954, 1959) à l'étude des accumulations calcaires (et des sols rouges), en Algérie, est considérable, car il fait l'historique du sujet depuis 1865, rappelle les lois de la dissolution du calcaire et propose une méthode de travail inspirée des suggestions d'AUBERT et de GAUCHER (cf. 1.4.) en repérant les échantillons sur le terrain et en mettant en oeuvre des techniques de laboratoire telles que la *morphoscopie des sables, l'étude des minéraux lourds, la caractérisation des argiles par rayons X et par analyse thermique différentielle et la description de lames minces*. De la sorte, il caractérise morphologiquement (macro et micro) et minéralogiquement les échantillons, cerne les *relations sol-accumulation calcaire* et propose une interprétation qui lui permet de concevoir une nomenclature objective :

- *formations pulvérulentes :*
  . morphologie : formations calcaires (ou sulfatées)[1] d'aspect pulvérulent, tendres, crayeuses, blanchâtres, très riches en carbonate de chaux et pauvres en autres éléments,
  . relation : les minéraux lourds permettent d'affirmer l'indépendance des sols qui sont d'origine éolienne et du calcaire sous-jacent ; ce ne sont

(1) nous anticipons sur le fait que le plateau de la Taourga ne présente ni gypse, ni salinité pour négliger, par la suite, ces deux aspects de la question.

donc pas des sols à croûte mais des sols sur couche calcaire déjà en place,

. interprétation : dépôts de lacs quand il sont généralisés ou dépôts de source quand ils sont localisés, dans lesquels le carbonate de chaux se serait précipité sous l'action de divers facteurs physico-chimiques ; ce sont donc deux types de tuf calcaire n'ayant aucun rapport avec la croûte et qui constituent la phase migratrice soluble de la pédogenèse des sols rouges,

- *nodules pulvérulents ou farineux :*

. morphologie : amas de carbonate de chaux pur qui se rencontrent le plus souvent dans les argiles surmontées de bancs calcaires,

. relation : la rareté des éléments clastiques empêche de penser que les nodules ont pu se former à l'intérieur du sédiment bien que l'analyse minéralogique ne s'y oppose pas,

. interprétation : une ségrégation quasi-instantanée du calcaire dans les fentes de retrait ou les vides, au moment du dépôt du sédiment, paraît la plus probable,

- *croûtes zonaires :*

. morphologie : formations de calcaire très pur, peu épaisses (quelques cm au maximum) d'aspect sublithograhique et présentant une cassure rubanée, formées par la superposition de lits alternativement clairs et colorés, disposés en général suivant une direction subhorizontale ; le plus souvent, elles passent vers le bas à une partie plus tendre non litée et, très répandues en Afrique du Nord, elles masquent de nombreuses roches,

. relation : la pauvreté de ce type de croûtes en éléments clastiques montre qu'elles se sont formées à l'air libre et non dans un sédiment déjà en place et qu'elles sont donc indépendantes du sol,

. interprétation : dépôts dus au ruissellement en nappe, au cours de la formation des sols rouges, d'eau chargée en bicarbonate de chaux dissous qui s'étale sur les pentes douces et favorise la précipitation par évaporation du CO_2 ; ce ruissellement a dû se produire par intermittence, permettant ainsi aux feuillets de croûtes de durcir par exposition à l'air. Dans le même temps, les masses calcaires pouvaient se briser en

. relation : ces nodules se sont formés et peuvent encore se former dans les sols par entraînement en profondeur du calcaire,
. interprétation : entraînement et précipitation du calcaire dans les horizons généralement lourds où la perméabilité diminue par évaporation de CO_2 ou par augmentation de la teneur en carbonate,

- *pseudomyceliums* (p.m.) : ceux-ci concerneraient uniquement les sols salins ; ce n'est cependant pas le sens restrictif que nous leur donnerons par la suite.

En conclusion à cette étude, il propose de limiter l'utilisation du terme "croûte" aux seules formations de croûte zonaire et d'encroûtement car, en accord avec AUBERT (cf. 1.4.), il considère que celui-ci a été utilisé de façon trop vague jusqu'alors, pour désigner toute formation blanchâtre de faible profondeur quelle que soit son origine.

Dans son essai de synthèse sur la formation des sols rouges et des accumulations calcaires, il s'inspire largement des concepts développés précédemment (cf. 1.3.2.) et de la *théorie de la biorhexistasie* de ERHART (1956) pour proposer un scénario (Fig. 3) dont nous résumons les principales étapes, car malheureusement cet auteur, ne disposant pas d'une chronostratigraphie continentale bien mise au point comme au Maroc, n'a eu d'autres possibilités que de se référer à celle du Quaternaire marin. Ainsi :

- les sols rouges (terra rossa) se seraient formés à l'amont, en climat chaud et humide villafranchien, sous une forêt à allure tropicale (biostasie), tandis que se déposaient à l'aval, les calcaires lacustres et les formations pulvérulentes dans des lacs qui se sont colmatés peu après,

- ensuite, une rhexistasie orogénique aurait provoqué une première érosion du sol et une sédimentation mixte détritique et chimique de limons à nodules farineux avant une brève période de biostasie relative à une sédimentation chimique qui aurait donné les croûtes zonaires,

- finalement, la série se serait achevée par l'ensevelissement de tout le paysage sous des formations continentales rouges (limons rouges), les fleuves

polygones, par dessication et retrait pour donner des sortes de dalles prêtes, lors d'un nouveau ruissellement en nappe, à se recouvrir d'un feuillet calcaire supplémentaire qui épouse les irrégularités de la surface en contournant les angles et en donnant à la cassure un aspect enveloppant,

- *patines calcaires :*
  . morphologie : dépôts au sommet des roches-mères calcaires,
  . relation : processus pédologique qui se produit à l'air libre,
  . interprétation : comparable à celle des croûtes zonaires, mais avec un développement moindre,

- *encroûtements calcaires :*
  . morphologie : formations dures, d'aspect plus ou moins scoriacé et gréseux, constituées de sédiments cimentés par du calcaire, du gypse et même des sels divers,
  . relation : les encroûtements se produisent dans des sédiments en place et constituent des horizons de sol, puisque des dépôts sédimentaires d'origines variées peuvent être encroûtés par du calcaire,
  . interprétation : formation dans la frange capillaire ou zone d'aération d'une nappe phréatique due à l'évasion de CO_2 par une élévation de température,

- *racines pétrifiées :*
  . morphologie : formations calcaires ou gypseuses entourant les racines de végétaux divers ; feutrages de fins cristaux dans la région pilifère des racines qui évoluent en tubes à parois épaisses, conservant éventuellement l'axe végétal,
  . relation : semblable à celle de l'encroûtement mais accélérée par la plante qui évapore plus que le sol et crée au voisinage de la zone pilifère une concentration plus grande de la solution primitive,

- *nodules concrétionnés :*
  . morphologie : nodules arrondis ou mamelonnés durs, de nature calcaire ou ferrugineuse,

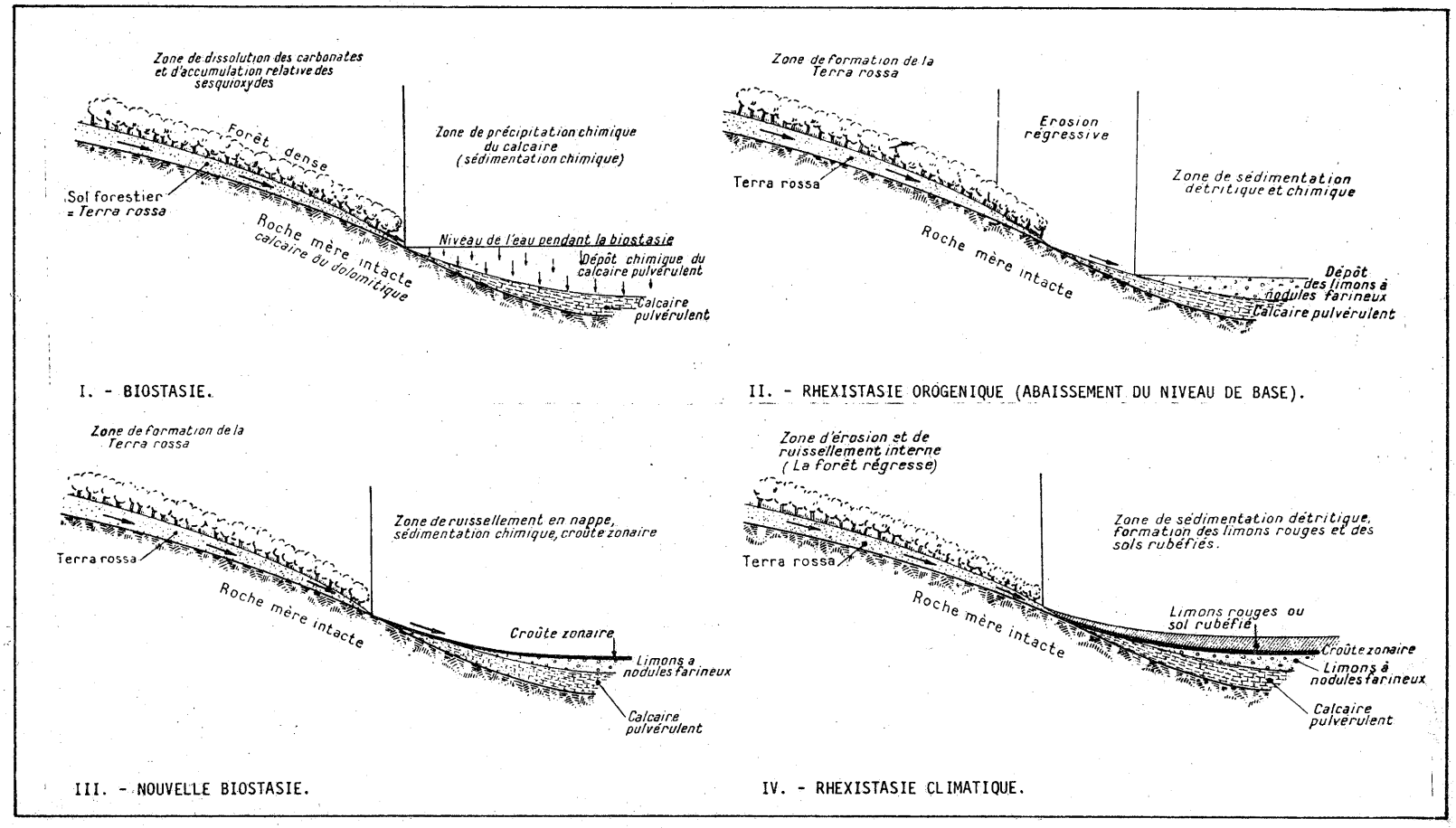


FIG. 3 : Schéma montrant, d'après DURAND (1959, 1973), la genèse des terra rossa, des limons à nodules farineux, des limons rouges, des calcaires pulvérulents et des croûtes zonaires ainsi que leur succession dans le temps.

allant s'encaisser dans les formations anciennes de leurs hautes terrasses (rhexistasie) ;

dès lors, il lui semble que le *rôle d'indicateur paléoclimatique de la croûte est limité*[1].

Sur le plan pratique, DURAND est un des seuls à avoir donné un aperçu du rôle des accumulations calcaires[2] et des sols rouges en agriculture et en géologie appliquée, en étudiant leurs conséquences agricoles, leur hydrologie, leurs utilisations en construction ou en travaux publics et leurs inconvénients pour l'ingénieur.

2° DES OBSERVATIONS PERTINENTES, DES INTERPRETATIONS SEMBLABLES, UN DESACCORD DANS LA SYNTHESE CHRONOLOGIQUE

Pour WILBERT (1962) que TRICART (1969) considère comme le meilleur géomorphologue du sujet, la façon dont se présentent les divers faciès décrits, leurs associations et leur mode de répartition dans la nature (cartographie) sont déterminants pour établir un essai de synthèse générale des encroûtements calcaires du Maroc occidental. Pour ce faire, il propose une nomenclature et des explications assez semblables à celles de DURAND ; aussi nous ne reprenons que l'essentiel de ses observations originales :

- les encroûtements se trouvent dans la zone d'influence des sources du calcaire, que ce soit par épandage fluviatile, par circulation de nappes ou par remaniement sur place du calcaire des roches-mères et des sols étudiés,

- certaines formes de concrétionnement du calcaire se manifestent sur des matériaux n'en contenant pas, mais susceptibles d'en fournir par dégradation, exemple d'une roche basique telle que le basalte,

---

(1) bien plus tard, LATTMAN (1973) suivra à peu près la même méthodologie dans le Sud du Nevada et arrivera à des conclusions à peu près semblables sans avoir pris connaissance, apparemment, des travaux de DURAND.

(2) récemment NETTERBERG (1978 a, b) en a souligné l'intérêt dans la construction des routes.

- les matériaux durs étant souvent en relief, ne peuvent guère porter que la croûte lamellaire (croûte zonaire de GAUCHER),

- les matériaux tendres, plus précisément les alluvions et les colluvions sont des lieux de prédilection de ce type de pédogenèse,

- les collines marneuses ne portent pratiquement pas de croûte sans doute du fait de leur susceptibilité à l'érosion.

Quelque peu en contradiction avec MARGAT, TALTASSE et RAYNAL (1954) par les dernières propositions, il en arrive ainsi à une conception et à *une répartition très géographique du phénomène*, car les alluvions se trouvent par définition dans les zones d'épandage des oueds qui véhiculent des eaux chargées tantôt de cailloux ou de limon, tantôt de solutions salines et notamment de carbonates alcalino-terreux, alors que les zones de relief constituent les secteurs de départ du calcaire. De plus, il constate par l'étude des *associations verticales et latérales* que les diverses formes d'encroûtement calcaire peuvent passer très aisément les unes aux autres sans que chacune d'entre elles ne soit précisément caractéristique d'un phénomène zonal ; d'où il conclut à *l'importance du pédoclimat* qui dépend de la nature de la roche-mère, des possibilités d'approvisionnement en calcaire, des possibilités d'apports fluviatiles bruts ou brutaux et du régime hydrique.

Il illustre cette idée en donnant l'exemple des "hautes surfaces alluvionnaires" datées du Villafranchien-Moulouyen : croûte lamellaire 1 sur encroûtement tuffeux 2 (formation pulvérulente de DURAND, tafezza de BOULAINE) passant latéralement à un encroûtement nodulaire 3 (nodules concrétionnés de DURAND) pour donner 1/3 ; ces deux ensembles, 1/2 et 1/3, reposent sur un limon encroûté à taches de calcaire pulvérulent (nodules farineux de DURAND).

Sans entrer dans les détails, il propose un tableau des époques du Quaternaire marocain, aidé en cela par l'échelle chronostratigraphique continentale pour montrer que la chronologie des faciès et l'application de la biorhexistasie proposée par DURAND cadrent assez mal avec les observations faites au Maroc.

2.3. LES FORMATIONS MEUBLES COLORÉES

2.3.1. CONCEPTS GENERAUX

1° UN CLASSEMENT BASE SUR LA COULEUR DES TERRES

Dans le Sud de l'Australie, STACE (1956) estime qu'il n'a guère de critères particuliers pour distinguer les terra rossa des rendzines[1] et intègre ces formations dans une séquence continue de sols fort semblables, peu épais, non différenciés et développés sur, à partir de, recouvrant et associés à des matériaux calcaires qu'il regroupe sous le nom de *"red, brown black terracal"*. Expression que PUJOS (1957) utilise également au Maroc sous la forme *"terres rouges, terres noires, terres grises"*.

Plus précisément, DIVOUX et PUJOS (1959) synthétisent leurs travaux de cartographie dans le Rharb en se montrant convaincus par la succession dans les sols, de phases récentes, sédimentaires (alluviales, colluviales, éoliennes) et évolutives, réalisées sous des conditions climatiques différentes au cours desquelles, les processus primordiaux de surface ont été l'enrichissement en argile et les colorations rouge du Soltanien et noire du Rharbien ; alors que le gris serait le *produit de la rétrogradation de ces couleurs* suite au triage par les eaux de ruissellement mais aussi de la *non coloration due à la pédogenèse actuelle ou récente* sur des sédiments plus sableux que les sédiments anciens. Et de suggérer que le pédologue distingue de plus en plus les phénomènes de superposition et de "surimposition" en recherchant les discontinuités pour reconnaître la place de chaque horizon dans le profil et par la suite, tâcher de dater chacun d'eux : fossiles, subactuels, actuels ; en un mot, de tendre à reconstituer l'histoire des processus de la sédimentation et de la genèse des sols dans le Quaternaire.

---

(1) rendzines (KUBIENA, 1953) : terme polonais employé pour la première fois par SIBIRTZEV en 1896 qui désigne des sols colorés en noir, en gris noir ou en gris clair selon le type d'humus, généralement calcaires à très calcaires et caractérisés par la formation d'un horizon humique reposant directement sur une roche-mère calcaire, dolomitique ou gypseuse.

2° UN CLASSEMENT BASE SUR L'AGE DES SOLS

GEZE (1959) estime que seule, l'association des disciplines géologique et pédologique permet l'espoir d'éviter, à l'avenir, les grossières erreurs d'interprétation qui se sont glissées trop souvent dans une *pédologie actualiste et trop dogmatique* ; c'est pourquoi, il précise certaines notions (cf. 1.3.1.) et propose une classification des sols basée sur leur âge, de laquelle nous ne développons que les définitions concernant directement le sujet :

- sols actuels :
  . non évolués
  . évolués,

- sols hérités :
  . monophasés : exemple de la plupart des sols rouges d'Afrique du Nord qui semblent avoir toujours été soumis à des influences climatiques voisines de celles qui ont présidé à leur genèse même s'il y a eu plusieurs phases de rubéfaction ; ce serait donc des sols, à la fois *vieux et jeunes*, sans qu'il soit possible de faire la distinction entre les divers épisodes d'évolution,
  . polyphasés : par comparaison avec les précédents, ce sont les sols rouges du Midi de la France dans lesquels une fraction héritée à la base du profil est masquée par une fraction "néogène" dans les horizons supérieurs sous l'effet des facteurs climatiques actuels : sorte de *roches-filles devenues mères* à leur tour pour un nouveau type de sol le plus souvent brun,

- sols fossiles :
  . enterrés
  . exhumés
  . momifiés : paléosols restés en surface sans subir une nouvelle évolution, en raison du manque d'agressivité du climat : exemple de croûtes calcaires, de certains sols rouges ou roches-mères rubéfiées.

3° UN CLASSEMENT BASE SUR LES FACTEURS ET LES PROCESSUS

WILBERT (1961, cité par MATHIEU, 1977 a) propose une hiérarchisation des facteurs de différenciation des sols (roche-mère ou complexe texture -

ancienneté du dépôt et des pédogenèses passées, topographie, climat) et une hiérarchisation des processus pédogénétiques suivants :

- *lessivage de l'argile et du fer* : phénomène ancien pratiquement arrêté à l'heure actuelle qui a affecté les sols rouges et châtains[1],

- *hydromorphie* : phénomène à la fois ancien et récent qui est surtout lié aux bas-fonds,

- *tirsification* : phénomène de surface qui se produit dans les terrains gardant l'eau mais néanmoins bien ressuyables (sinon il n'y aurait pas de couleur noire de la matière organique) et qui peut avoir débuté dès le fini-Soltanien avant de connaître un optimum au Rharbien ancien et un parachèvement au Rharbien récent,

- *steppisation* (synonyme d'isohumisme) : phénomène très récent ou actuel qui serait dû à la mise en culture par l'homme et qui affecte tous les types de sol.

2.3.2. TERRES ROUGES

1° UNE DES PREMIERES LOCALISATIONS DE LA RUBEFACTION SUR LE TERRAIN

PUJOS (1953) définit la rubéfaction comme le développement de la couleur rouge dans les produits de décomposition des roches par actions de surface (physiques, chimiques et biologiques) et par érosion, donc par des processus accompagnant la pédogenèse ; à condition d'éliminer les séries géologiques lithochromiques dont la couleur rouge peut avoir une autre origine. D'une excursion de Fès à Oujda, au Maroc, il conclut que :

(1) sol châtain : employé pour la première fois par DOKOUTCHAIEV (cité par AGAFONOFF, 1936), terme qui désigne (DUCHAUFOUR, 1976) les sols de steppe claire, de climat plus sec que les chernozems et moins riches en matière organique, souvent non entièrement décarbonatés, à complexe parfois légèrement sodique.

- la rubéfaction va de pair avec la granulométrie ou la perméabilité et n'apparaît donc jamais sur les marnes,

- l'intensité de la rubéfaction est maximale dans la zone atlantique, là où la pluviométrie est supérieure à 400 mm et où le facteur pluviométrique P/T de LANG est de l'ordre de 20,

- la période de la rubéfaction paraît être du passé, mais avec une prolongation possible dans des conditions locales particulières,

- *l'observation des formations rubéfiées est un élément d'appréciation de ce qui revient à la sédimentation d'une part et à la pédologie d'autre part.*

2° LA NOTION DU PROFIL CALCAIRE

Dans son essai de classification des sols automorphes[1] de la vallée du Chélif, BOULAINE (1957) soustrait les sols calciques ou rendziniformes auxquels il attribue une origine secondaire par altération de la carapace calcaire et range les autres types parmi les sols marron[2] qu'il propose de subdiviser suivant *le mode d'évolution et d'accumulation du calcaire pris comme critère principal de différenciation*, à savoir :

- sols sans évolution du calcaire
- sols à accumulation progressive du calcaire
- sols à accumulation brusque du calcaire.

A son avis, cette façon de voir résoud de nombreux problèmes pédologiques parce qu'elle donne une place importante aux sols dans lesquels se sont formées la plupart des carapaces calcaires et classe, à un niveau moindre, les sols qui se différencient par des degrés d'évolution ; ce serait le cas des sols rouges

(1) sol automorphe (BOULAINE, 1978) : sol qui ne présente aucun caractère majeur dû à un engorgement quelconque du profil ou d'un de ses horizons, si ce n'est très secondairement.

(2) sol marron (GERASSIMOV, 1961) : terme employé pour la première fois par ZAHKAROV en 1924 qui désigne des sols de forêt subtropicale caractérisés par un pH égal ou légèrement supérieur à 7, une bonne répartition de la matière organique, un horizon carbonaté, une forte argilisation, une capacité de sorption élevée et des rapports moléculaires relativement bas.

qu'il lie génétiquement à la carapace en les estimant d'autant plus rubéfiés qu'ils sont anciens, décalcifiés et lessivés et qui pourraient de la sorte constituer une unité d'ordre inférieur de la classification. Mais, fait-il remarquer, on se heurte toujours à la délicate question de la hiérarchisation des caractères, car il n'est pas exclu que les sols rouges méditerranéens aient un jour droit de cité parmi les grands groupes.

3° LE SOL ROUGE MEDITERRANEEN

Dans son étude bibliographique, DURAND (1959), comparant la définition donnée à la terra rossa par KUBIENA (cf. 1.3.2.3° - infra) à celles d'autres auteurs, juge préférable d'utiliser *le terme compréhensif de "sol rouge méditerranéen"* qui comprend non seulement la terra rossa mais aussi bien d'autres sols rouges et qui désigne un type de paysage plutôt qu'une association de sols bien définis ; à cette occasion, il rappelle les hypothèses de REIFFENBERG qui sont les plus généralement admises à l'époque pour expliquer la formation de ces sols : *"sous un climat méditerranéen alternativement humide et sec qui se rencontre là où l'indice de LANG varie entre 30 et 60 pendant les mois humides, l'acide silicique, à défaut d'humus, joue le rôle de colloïde protecteur et rend possible la migration du fer en présence du calcium."*

De cette proposition comme d'autres, DURAND considère que la plupart des auteurs ont cherché à adapter les faits à une hypothèse à partir d'études incomplètes et non à accumuler les observations avant de rechercher une théorie ; aussi, il aborde le sujet avec la même méthodologie que pour les accumulations calcaires en réalisant une étude complète des formations par analyses chimiques et minéralogiques dont il tire les conclusions suivantes :

- les terra rossa, dont le nom doit être réservé aux formations rouges des pays karstiques, présentent des caractères de latérites d'accumulation relative ayant reçu parfois des apports extérieurs et jouant maintenant le rôle de roche-mère pour les sols climatiques du lieu,

- les sols calcaires ou rendzines rouges sont formés par dissolution du carbonate de chaux et colorés en rouge par le fer venant de la glauconie que contenait la roche-mère ; ayant subi l'action de processus pédologiques

identiques ou voisins de ceux subis par les terra rossa, ils s'enrichissent actuellement en calcaire néoformé,

- les limons rouges et les sols rubéfiés résultent du dépôt de produits d'érosion, plus intense dans le premier cas que dans le second ; ainsi, les sols rubéfiés de la vallée du Chélif auraient la même origine détritique que les limons rouges du littoral algérois tout en ayant des conditions de gisement nettement différentes.

2.3.3. TERRES NOIRES

Après avoir montré que la couleur des sols noirs aux Indes est due plus à la composition spécifique de la matière organique qu'à sa quantité puisque, dans une même région géographique, les sols rouges en contiennent autant, SINGH (1956) étudie la réaction de différentes argiles avec des extraits de matière organique fermentée anaérobiquement et constate que :

- les argiles à forte capacité d'échange cationique favorisent la formation de complexes organo-minéraux sombres dans lesquels la matière organique est liée,

- les argiles sodiques absorbent des quantités supérieures de matière organique et donnent des produits plus sombres que les argiles calciques ou magnésiennes,

- l'absorption est maximum à pH 5, moindre à pH 7 et non apparente à pH 9,

- la nature de la matière organique absorbée ne change pas quel que soit le type d'argile, les bases échangeables ou le pH,

- la capacité d'échange du complexe n'est pas additive et peut être même inférieure à celle des constituants pris séparément,

- la présence d'oxydes de fer finement divisés dans la fraction argileuse ou de composés de fer dans l'extrait organique inhibe la production de couleur

mais pas l'absorption.

De ce fait, il conclut que la formation de complexes organo-minéraux foncés nécessite une acidité locale qui n'est imaginable, dans les sols calcaires, qu'en anaérobie pendant la saison humide et que le complexe des sols noirs est fondamentalement différent de celui des sols rouges.

2.4. COMMENTAIRES

Le Congrès de pédologie de Montpellier-Alger a visiblement porté ses fruits en suscitant un grand nombre d'études qui confèrent un rôle historique à l'Afrique du Nord dans la recherche sur les accumulations calcaires au point que FEDOROFF (1961) ne peut que se référer aux auteurs du Maghreb pour comparer ses observations du Midi méditerranéen. Malheureusement, la plupart des chercheurs sont encore restés souvent isolés et dominés par leurs préoccupations professionnelles en abordant individuellement le sujet dans des régions ou à des échelles parfois difficiles à comparer. Mais, si les recoupements sont encore aléatoires dans le détail, nous commençons à disposer d'un inventaire riche en observations de base, en hypothèses originales et en réflexions méthodologiques pertinentes, à savoir :

- la reconnaissance d'une zonalité climatique altitudinale aussi importante que latitudinale et d'un climat quaternaire aux contrastes cycliques de moins en moins marqués,

- les propositions d'une échelle de chronostratigraphie "relative" pour le Quaternaire continental méditerranéen et d'une nomenclature pour les accumulations calcaires,

- la description d'associations verticales et latérales d'accumulations calcaires en relation avec les conditions lithologiques et géomorphologiques aussi bien d'amont que d'aval,

- le recours au facteur biologique et au rôle observé de la végétation,

- l'introduction du facteur anthropique, pour expliquer l'érosion et l'isohumisme,

- la nécessité toujours impérative de hiérarchiser les facteurs et les processus de pédogenèse en les inscrivant dans le temps,

- la réserve exprimée sur l'intérêt paléoclimatique des accumulations calcaires apparemment corroborée par la notion de pédoclimat.

Il n'en subsiste pas moins qu'une très grande confusion se maintient à propos de la chronologie des événements, puisque d'aucuns décrivent l'altération de substrats en place, d'autres cherchent à reconnaître des horizons pédologiques dans des formations allochtones et d'autres, encore, essaient de lier ces deux conceptions extrêmes en insistant sur la place du transport. Confusion qui, née de niveaux différents de perception, introduit une appréciation différente du facteur temps et entraîne automatiquement une confusion dans les autres facteurs de pédogenèse que chacun privilégie au mieux de son interprétation.

C'est pourquoi, il nous est agréable de rappeler ici que, dès 1950, MANIL préconisait de recourir aux analyses de morphologie pédologique pour essayer de résoudre les problèmes physiogéographiques et de reconstitution paléoclimatique et que dès 1959, il défendait le concept du profil édaphique en le définissant par rapport au profil pédologique comme la physiologie peut l'être par rapport à l'anatomie.

Dans ce contexte, c'est indéniablement DURAND qui propose l'essai le plus anatomique en distinguant les produits solubles de la pédogenèse de ceux de l'accumulation sédimentaire ou pédologique par la hiérarchisation des différentes phases d'altération, de transport et d'évolution postérieure dans son schéma biorhexistasique ; même si ce dernier est à revoir dans le cadre d'une chronostratigraphie mieux adaptée.

Par contre, BOULAINE pourrait être considéré comme le physiologiste si son désir d'unicité du profil ne correspondait pas davantage à celui d'une explication monogénétique qu'à la recherche du profil édaphique. En effet,

nous ne pensons pas qu'il faille obligatoirement confondre les notions comme il le fait quand il considère : *"les couches des alluvions, dont l'origine n'est pas pédologique mais pétrographique, comme de véritables horizons de sol naturel tel qu'il sert de support à la vie"* parce que cette attitude hypothèque la prise en considération de certains processus et ne garantit pas, pour autant, la reconnaissance des facteurs limitants dynamiques.

Cependant, si ces deux auteurs apparaissent les plus originaux sur le plan des idées avancées en suscitant la dicussion, il apparaît aussi que c'est WILBERT qui, inspiré probablement par ces travaux antérieurs, a su détailler le plus objectivement les faits de terrain et choisir les expressions les plus heureuses, c'est-à-dire les moins ambiguës.

Finalement, c'est au moment d'exprimer le degré de filiation entre les formations meubles colorées et les accumulations calcaires que les conceptions apparaissent les plus tranchées entre les tenants de l'explication pédologique dominante qui oblige parfois aux discontinuités latérales et ceux de l'intégration chronomorphoséquentielle qui oblige parfois aux discontinuités verticales ; sans compter ceux qui, sous réserve d'inventaire, expriment simplement l'état des connaissances du moment par des formules tout aussi vagues que percutantes. C'est pourquoi le travail de SINGH mérite d'être souligné pour sa recherche dans la compréhension intime des phénomènes qui est véritablement explicative et qui seule peut permettre de dégager des critères sérieux de classification ; même si l'homogénéité de la matière organique absorbée surprend.

De cette diversité, il est normal de conclure que l'étude du Quaternaire Nord-africain n'en est pas encore, en 1962, à la période des synthèses mais à celle des études de détail tout en relevant avec BOULAINE que malgré les oppositions sur l'explication génétique des accumulations calcaires, la majorité des auteurs admettent les points suivants :

- la généralité de la formation des accumulations calcaires (dans de nombreuses régions et sur de grandes surfaces),

- leur distribution en fonction du climat (apparemment méditerranéen semi-aride et aride),

- leur épaisseur et leur nature calcaire,

- leur présence à la surface des affleurements géologiques sous une faible épaisseur de terre (voire en surface),

- leur ancienneté relative (villafranchienne et tensiftienne),

- la pauvreté en éléments clastiques de certains faciès.

CHAPITRE 3

L'audience de l'approche pédologique (1963-1974)

CHAPITRE 3 :

L'AUDIENCE DE L'APPROCHE PEDOLOGIQUE (1963 - 1974)

3.1. GENERALITES SUR LA CONNAISSANCE DU QUATERNAIRE CONTINENTAL

3.1.1. EVENEMENTS PERIODIQUES ET SIGNIFICATION PALEOCLIMATIQUE

Dans un essai de reconstitution des processus successifs au cours du pluvial soltanien, RAYNAL (1965) estime que la mutation des processus, au cours de 75.000 ans, ne s'est pas réalisée brusquement à deux reprises en menant d'abord de l'érosion linéaire à l'accumulation généralisée, puis de celle-ci à la phase d'incision des lits fluviaux mais au contraire en suivant des étapes, car la végétation et l'évolution eustatique accusent un temps de réponse par rapport aux conditions climatiques. En conséquence, il distingue les quatre phases suivantes :

- *phase paroxysmale du pluvial* pendant laquelle la surcharge du ruissellement, en relation avec une intense désagrégation physique et chimique des roches, provoque des accumulations massives et grossières ; c'est la période du façonnement des glacis et de la sédimentation caractérisée par une autocatalyse des phénomènes qui entretiennent l'activité morphogénétique et empêchent l'implantation d'une couverture végétale même si les données hydriques et thermiques ne s'y opposent pas,

- *la phase décroissante du pluvial ou catapluvial*, déjà suggérée précédemment (cf. 2.2.1.2°), pendant laquelle une pédogenèse de type subtropical s'installe tout en n'empêchant pas la mobilisation et le transport des produits fins d'altération ; ensuite la tendance à l'assèchement s'accentuant, des substances comme les carbonates ou les oxydes de fer se fixent dans le sol

en fonction des endroits (ou des cycles),

- *la phase interpluviale* pendant laquelle l'érosion fluviatile linéaire domine, du moins dans les limites du semi-aride, parce que la désagrégation moins active des roches, le développement suffisant de la végétation et la poursuite de l'alimentation des oueds par les pluies saisonnières ou les sources provoquent une diminution plus rapide de la charge que du débit,

- *la phase ascendante du pluvial ou anapluvial* pendant laquelle la tendance à l'épaississement du couvert végétal est inversée par la brutalité de la morphogenèse due à des averses copieuses, brutales et intermittentes, de type méditerranéen.

Mais il estime aussi que pour généraliser ce schéma à l'Afrique du Nord et à tout le Quaternaire, il faut tenir compte des *variantes spatiales vers l'aride et le subhumide et des variantes chronologiques* (ce qu'il fera avec DEWOLF et JOLY en 1975, en présentant un tableau sur la répartition géographique des types de croûtes calcaires en Afrique du Nord et en limitant l'explication pédologique au milieu subhumide), car au cours des différents cycles pluviaux, certaines phases ont dû être plus importantes que d'autres puisqu'elles ont laissé des témoins différents en fonction de l'histoire même du Quaternaire, c'est-à-dire que *chaque période pluviale n'a pas été l'exact recommencement de la période antérieure*. Ainsi, selon lui, dans le cas précis du Soltanien, la sédimentation s'est traduite par le dépôt, sur les terrasses, d'un limon rouge d'interstade doux entre deux couches riches en galets ... autrement dit, depuis le maximum du pluvial würmien jusque dans la phase décroissante, deux variantes froides et humides auraient été séparées par une variante moins rigoureuse.

Cependant, NAHON et RUELLAN (1972) repérant des encroûtements calcaires et des cuirasses ferrugineuses dans l'Ouest du Sénégal et observant que les séquences latérales et verticales des accumulations calcaires sont les mêmes qu'en pays méditerranéens, concluent qu'*il n'est pas possible d'attribuer*, selon le schéma traditionnel, *une signification paléoclimatique tropicale aux cuirasses ferrugineuses et une signification paléoclimatique méditerranéenne aux encroûtements calcaires*, car les toposéquences à cuirasses et à encroûtements voisinent dans les mêmes paysages.

3.1.2. L'IMPORTANCE DE LA ZONALITE CLIMATIQUE, DES MANIFESTATIONS EOLIENNES RECENTES ET DES INTERFERENCES TECTONIQUES

COQUE et JAUZEIN (1966) signalent que *la différenciation zonale des croûtes et encroûtements constitue une des caractéristiques fondamentales du Quaternaire tunisien* qui ne se manifeste qu'après le Villafranchien, à savoir :

- jusqu'à la bordure méridionale de la Haute Steppe, les encroûtements calcaires sont dus à la cimentation d'un matériel alluvial préexistant et sont souvent revêtus d'une croûte de structure zonée plus ou moins développée ; selon la texture, leur aspect est gréseux ou poudinguiforme et leur consistance varie parallèlement à l'intensité de l'enrichissement en carbonate de chaux. En Tunisie septentrionale, où on peut observer des phénomènes paraglaciaires, cette formation appelée torba, généralement pulvérulente ou tuffeuse, est blanche ou beige clair alors qu'en Tunisie centrale, le ciment est plus rose, voire franchement saumon,

- par contre, dès la marge méridionale de ce domaine, ces formations sont d'une tout autre nature ; le haut glacis d'érosion montre encore un encroûtement calcaire typique, mais celui qu'il domine est recouvert par une croûte gypseuse.

Dans leur essai d'interprétation paléoclimatique, ils considèrent que les caractéristiques communes entre les pluviaux et les interpluviaux aussi bien que *le mouvement d'aridification vers notre époque* sont bien établis, car ils observent *la disparition des phénomènes d'encroûtements régionaux* pendant les dernières séquences morphoclimatiques et *l'augmentation des formations éoliennes* avec le saupoudrage des loess matmatiens à concrétions de carbonate de chaux ou l'édification de lunettes[1] plus au Nord. Mais ils tiennent compte aussi de *l'instabilité tectonique et des mouvements orogéniques* qui, se répartissant en deux époques bien délimitées et caractérisées, *ont interféré pendant une partie du Quaternaire avec les fluctuations climatiques* ; les plus anciens de ces mouve-

(1) lunette (POUGET, 1980) : accumulation éolienne de particules argileuses et de cristaux de sels en bordure des sebkhas ... terme auquel TRICART (1969) préfère l'expression de bourrelet marginal.

ments correspondent à la dernière phase orogénique d'âge plio-villafranchien de l'Atlas tunisien qui s'est terminée, au plus tard, avant l'Acheuléen très évolué (Tensiftien) alors que les déformations postérieures à cette phase ont été des épiphénomènes localisés et rares quoique souvent spectaculaires.

3.1.3. MODIFICATION OU ADOPTION DE L'ECHELLE CHRONOSTRATIGRAPHIQUE DE 1956

Eprouvant certaines difficultés à interpréter leurs travaux, BEAUDET, MAURER et RUELLAN (1967) proposent de modifier l'échelle stratigraphique de 1956 (cf. 2.1.2.), car ils supposent (Fig. 4) qu'il y a eu *un déphasage dans la morphogenèse entre l'amont et l'aval* des grands bassins hydrographiques, sans pourtant qu'il y ait eu une opposition chronologique complète aboutissant à une zone neutre intermédiaire ; au contraire, la fin du remblaiement d'amont (pluvial, froid) serait passé au début de l'alluvionnement d'aval, comme le début du creusement d'aval aurait coïncidé avec la fin du creusement d'amont. Ainsi d'après eux, ce mécanisme pourrait expliquer que les niveaux quaternaires sont topographiquement continus, mais qu'ils ne sont pas partout contemporains et sont donc génétiquement composites ; plus précisément, les dépôts pluviaux de l'arrière-pays se raccorderaient à la base des observations de position eustatique de l'interpluvial postérieur [1].

Par contre, dans la plaine du Hodna (130 km ESE du plateau de la Taourga), GUIRAUD (1968) constate que *les positions relatives et les faciès restent toujours, dans l'état actuel des travaux, les seuls critères de classifications,* car les données paléontologiques, préhistoriques ou d'âge radiogénique manquent et il se montre frappé par l'analogie qui existe entre ses observations et les formations équivalentes décrites dans les Aurès, en Tunisie et surtout au Maroc ; ce qui le conduit à adopter la chronostratigraphie de 1956 en Algérie pour caractériser le Villafranchien supérieur et le Quaternaire :

(1) c'est à partir de ces réflexions que HUBSCHMAN (1967) admet la possibilité de devoir rajeunir le Soltanien et le Rharbien avant de conclure que la rubéfaction du Quaternaire récent est essentiellement lithochromique.

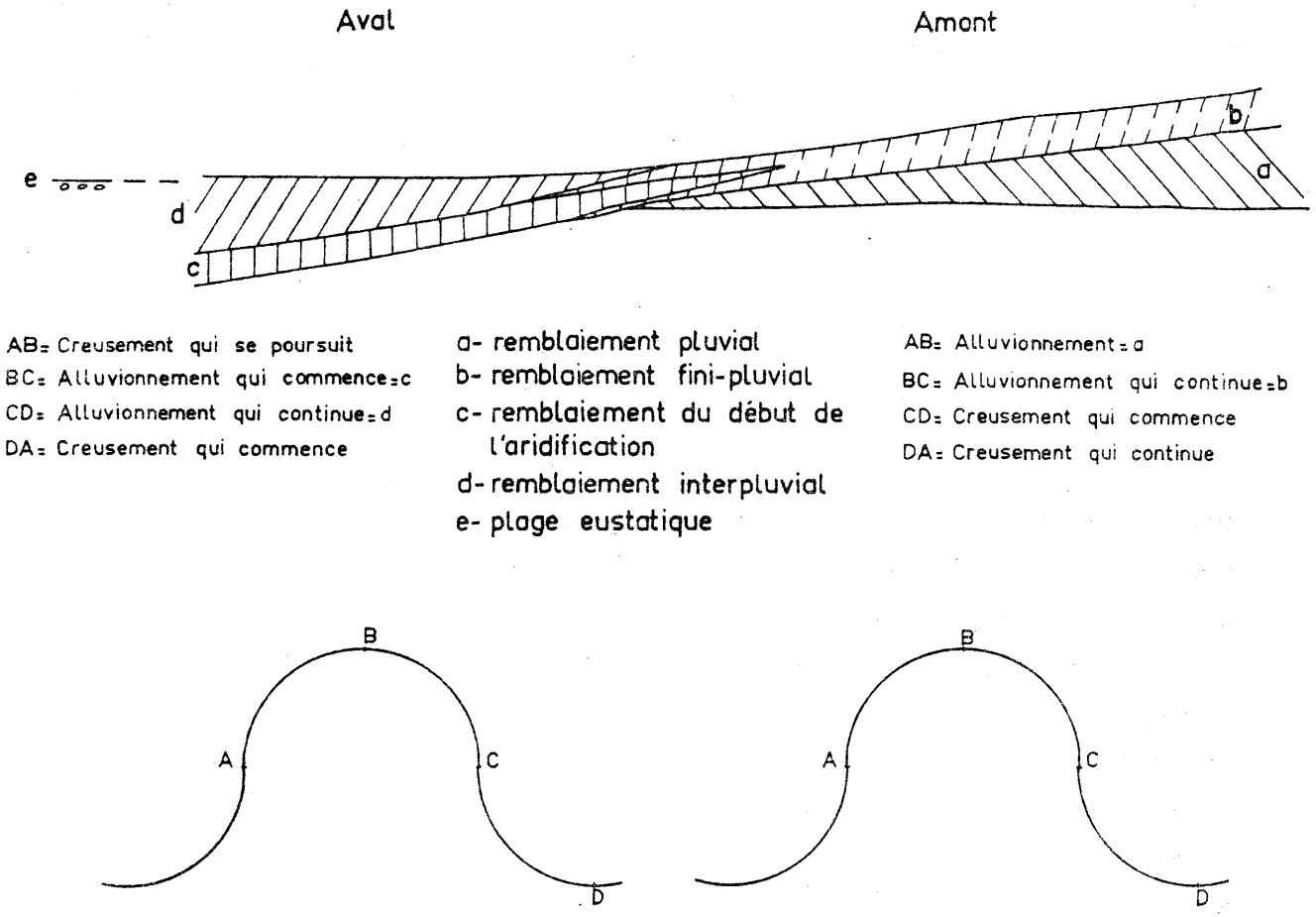


FIG. 4 : Schéma théorique de la constitution d'un remblaiement continental d'après BEAUDET, MAURER et RUELLAN (1967)

- *Plio-Villafranchien* : formations continentales conglomératiques développées et grossières à proximité des reliefs les plus élevés mais qui ailleurs renferment assez rapidement des intercalations gréseuses puis sableuses et argileuses devenant dominantes au sommet de la série,

- *Moulouyen* : niveau le plus élevé et légèrement déformé qui peut atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur quand il est bien conservé et qui présente de bas en haut : un conglomérat, des colluvions rougeâtres, une couche à galets et "granules calcaires", finalement des feuillets calcaires de couleur saumon pouvant se répéter et englober des galets pour former une "dalle noduleuse et bréchoïde" ,

- *Salétien et Amirien* : p.m.

- *Tensiftien* : niveau à granules ou minces feuillets calcaires en surface

- *Soltanien* : niveau qui est largement développé dans les plaines alluviales et qui débute par un conglomérat mal cimenté, parfois lenticulaire que recouvrent plusieurs mètres d'argiles sableuses de couleur gris verdâtre à jaunâtre enrichies en calcaire sous la forme de taches diffuses ou de poupées ; localement, à l'amont de bancs gréseux, les couches supérieures présentent *une ou plusieurs intercalations noirâtres hydromorphes renfermant de riches faunes de gastéropodes qui en soulignent le caractère palustre et au sommet de la formation, on observe parfois un horizon rubéfié surmonté par un paléosol gris-brun ;*

- *Rharbien et Actuel* : niveau à couverture limoneuse récente.

3.1.4. LES ARGUMENTS DU ^{14}C ET DE L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE

1° UN PREMIER INVENTAIRE

CHOUBERT, FAURE-MURET et MAARLEVELD (1967) présentent une synthèse des différentes datations obtenues jusqu'alors par les méthodes du ^{14}C (limite supérieure de validité : 40.000 ans), $^{23}Th/^{234}U$ (limite supérieure de validité : 200.000 ans) et $^{40}A/^{40}K$ dans le Quaternaire marocain dont nous ne reprenons que celles concernant les formations continentales avec le commentaire des auteurs :

- *Rharbien* - 280 $\pm$ 60 [1] (charbon de bois se trouvant à la limite tirs - terre grise), - 800 $\pm$ 200 (cf. 2.1.4.1°) et - 1.300 $\pm$ 60 ans (coquillages de Mytilidés) ; de plus, *le Rharbien recouvre certaines ruines romaines et les tirs peuvent même contenir du Punique,*

(1) même remarque que précédemment, les auteurs ne précisent pas l'époque de référence.

- *Soltanien terminal* : - 10.800[(1)] ± 400 et - 12.070 ± 400 ans (charbon de bois dans les limons bruns à Epipaléolithique) ; cette époque se place donc à cheval sur le maximum climatique de l'interstade würmien IV-V pris couramment pour la limite entre le Pléistocène et l'Holocène.

- *Soltanien* : - 28.300 ± 500 (coquillages encroûtés d'Hélicidés dans les limons rouges durcis) et - 32.000 ± 600 ans (Limnées d'une terrasse limoneuse tirsifiée comportant de l'Atérien atypique dans la couche supérieure).

2° UNE PRECISION FLORISTIQUE

Par analyse palynologique des flores quaternaires au Sahara Nord occidental, BEUCHER (1963) confirme les études de PONS et QUEZEL (cf. 2.1.4.2°) et précise que parmi les essences tempérées signalées, Alnus et Betula sont encore présents en Afrique du Nord (Rif, Numidie), mais que d'autres comme Fagus, Carpinus et Tilia, en auraient maintenant disparu à l'état spontané.

3.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

3.2.1. L'APPROCHE GEOMORPHOLOGIQUE

PIAS (1974) nous apprend l'existence d'accumulations calcaires en Afghanistan et ses observations sont particulièrement intéressantes, car distribuées dans un pays fortement étagé ; à une altitude de 2.000 m, le climat présente encore un caractère méditerranéen très affirmé avec des précipitations faibles (300 à 350 mm), surtout nivales et la plus grande partie des accumulations calcaires se situent entre 1.800 et 3.000 m, soit comme ciment de conglomérats fluvio-glaciaires très répandus, soit comme "horizon B_{Ca}" dans les loess de pointements résiduels en voie de démantèlement.

(1) en fait, les auteurs signalent le nombre de 10.500 en se référant à une publication de ROCHE de 1958 sans avoir pris connaissance de ce que celui-ci y avait apporté une modification en 1959.

A cette occasion, il recourt aux *datations par le* ^{14}C (1) qui mettent en évidence deux périodes de formations distinctes :

- la première comprise entre 29.040 ± 1.150 et 18.900 ± 420 ans B.P.,
- la seconde, entre 15.740 ± 230 et 12.750 ± 190 ans B.P.,

et il explique l'étalement dans le temps par les différences altitudinales entre les échantillons, *car la formation des encroûtements devait se faire à une altitude de moins en moins élevée au fur et à mesure que la glaciation s'accentuait.*

L'importance des accumulations calcaires sous différentes formes (croûtes, encroûtements, travertins, parfois dolomie ...) en différents lieux (piedmont de massifs, terrasses de fleuves ...) lui font penser à des phénomènes de "fonte" particulièrement intense des roches sédimentaires calcaires ou des roches basiques dus à une percolation prolongée par des eaux d'origine nivale avant l'installation des glaciers *(préglaciation)* ou par les eaux de leur fusion *(déglaciation)*.

Des analyses palynologiques (2) effectuées, il retient que :

- les pollens de végétation arborée sont absents ou de faible importance (généralement inférieure à 5 %) avec Pinus, Betula, Alnus, Ephedra et Salix, mais que la représentation des trois premières essences peut être expliquée par une dissémination éolienne lointaine,

---

(1) GILE, PETERSON et GROSSMAN (1966) avaient déjà recouru à cette technique pour montrer que la fourchette d'âges pouvait être très forte sur une faible épaisseur (9 cm), confirmant par là les appréhensions de GAUCHER (cf. 1.2.2.) et que des inversions étaient possibles ; résultats qui avaient cependant suscité le scepticisme de RUHE (1967) parce qu'il y voyait, notamment, une discordance d'âges entre le carbone inorganique (le contenant) et le carbone organique (le contenu) ; de même, VERMEIRE, DAUCHOT-DEHON (coauteurs des datations présentées en 10.2.) et DE PAEPE (1974) y recourent sur une croûte calcaire des Canaries pour en déduire que la formation s'est développée de bas en haut entre le Würm et le Tardiglaciaire (23.897 ± 560 et 17.456 ± 540 ans B.C.) pour les parties inférieures et la période atlantique avec prolongation possible jusqu'à l'Actuel pour la partie supérieure (5.130 ± 301 ans B.C.) voire latérale de fracture.

(2) MATHIEU (1977 a) aboutit à peu près au même inventaire en collaboration avec MUNAUT qui a également assuré la direction des déterminations présentées en 10.2.

- d'une manière générale, *les échantillons sont assez pauvres en pollens et ce d'autant plus qu'on se rapproche du maximum de la glaciation* en montrant ainsi une raréfaction de la strate herbacée,

- les pollens non arborés sont principalement ceux de Composées (Artemisia), de Chénopodiacées et d'Ombellifères,

et il lui semble que la steppe à Artemisia primitive se soit progressivement enrichie en Chénopodiacées en même temps que le couvert herbacé devenait plus lâche ou bien encore que la steppe à Artemisia se situait sur les points surélevés du relief des piedmonts pendant que les Chénopodiacées s'installaient dans les étendues marécageuses.

3.2.2. L'APPROCHE PEDOLOGIQUE

1° HORIZON K

Dans son étude des horizons Ca qui apparaissent sur une variété de sédiments et de surfaces géomorphologiques dans les sols d'une région désertique (New Mexico, Etats-Unis), GILE (1961) dont les travaux trouvent écho en Europe quelques années plus tard, résume d'abord très brièvement les définitions anglo-saxonnes de l'époque :

- pour certains, le terme "caliche" désigne le matériau calcaire qui est formé dans la zone d'altération et celui de "capock", la partie supérieure la plus dense,

- pour d'autres, "caliche" est utilisé indistinctement pour les formes les moins indurées comme pour les formes dures et constitue un horizon C_{Ca},

- pour le Soil Survey Manual, "caliche" est employé pour des horizons C_{Ca} et le terme croûte calcaire (en français) est synonyme de caliche durci.

Ensuite, il situe le terrain et observe que dans les sols et les paléosols sous-jacents, les horizons Ca apparaissent sous différentes formes depuis les revêtements de carbonates sur galets ou les filaments carbonatés jusqu'aux horizons épais de plusieurs "pieds". Aussi, de ses observations et de toute une série de *tests* principalement *physiques et mécaniques,* il propose une nomenclature qui lui permet de classer l'horizon Ca sur base du sous-horizon (souligné ci-dessous) à teneur en carbonate, à résistance et à densité apparente maxima et à infiltration minimale dont voici deux exemples extrêmes :

- "very strong Ca horizon" : profil $A\text{-}B_{21}\text{-}B_{22Ca}\text{-}\underline{C_{Cam1}}\text{-}C_{Cam2}\text{-}C_{Ca3}\text{-}C_{Ca4}\text{-}C$, avec un horizon de référence massif (m) qui est composé d'un complexe de trois unités constituées chacunes d'une partie supérieure "laminar" (zonaire de GAUCHER) et d'une partie qui ne l'est pas,

- "weak Ca horizon" : profil $A_1\text{-}B_{21}\text{-}B_{22Ca}\text{-}\underline{C_{Ca}}\text{-}D_{Ca}$, avec un horizon de référence qui est composé de petits nodules et de filaments.

Peu de temps après, GILE, PETERSON et GROSSMAN (1965) estiment que le suffixe Ca ne convient pas pour caractériser les horizons riches en carbonate authigène[1] parce qu'il n'indique pas les propriétés dominantes du sol et qu'il implique que les autres propriétés peuvent encore être déterminées sur le terrain, telle la teneur en argile. De plus, ils constatent que le choix d'un sigle principal dépend uniquement de la position dans le profil quelles que soient sa signification génétique et la perturbation due à l'accumulation du carbonate. C'est pourquoi, ils proposent l'introduction de *l'horizon K* (de l'allemand kalk) *"as a new master horizon"* pour décrire les horizons du sol qui présentent des accumulations importantes de carbonate[2]. L'utilisation de ce sigle exigerait un minimum de 15 à 40 % de carbonate authigène mais le pourcentage réel ne serait pas déterminant puisqu'on ne peut le mesurer sur le terrain, qu'on ne peut faire la différence entre ce qui est authigène et ce qui est

---

(1) authigène (FOUCAULT et RAOULT, 1980) : s'applique à tout minéral ayant pris naissance dans la roche où il se trouve ... terme surtout utilisé pour les minéraux ayant cristallisé au sein d'une roche sédimentaire au cours de la diagenèse.

(2) il est toutefois plaisant de signaler que DEL VILLAR (1947) avait déjà fait appel à ce symbole et à ses subdivisions pour désigner les accumulations calcaires.

allogène[1] (débris de roche calcaire, par exemple) et que de larges variations existent. En conséquence, ils définissent l'horizon K sur base du volume approximatif du "K fabric", c'est-à-dire sur le volume approximatif du matériau dans lequel le carbonate recouvre ou enrobe les grains du squelette et forme un milieu continu. A partir de là, ils suggèrent les subdivisions suivantes :

- K_1 : horizon éventuel de transition entre un horizon A ou B avec un horizon K_2 ou K_{2m} sous-jacent qui contient 50 % ou plus de "K fabric", généralement sous la forme de nodules dispersés ou de feuillets recouvrant un horizon K_{2m},

- K_2 : horizon le plus important, le plus dur et le plus blanc qui contient 90 % ou plus de "K fabric" dont les formes durcies (K_{2m}) peuvent être recouvertes par un ou plusieurs sous-horizons "laminar",

- K_3 : horizon de transition d'un K_2 ou K_{2m} avec un horizon sous-jacent du type C_{Ca}, C, paléosol ou roche-mère et qui contient 50 % ou plus de "K fabric" généralement sous la forme de nodules indurés ou d'agglomérations du squelette ;

et ils continuent d'anoter les autres horizons du sol par le suffixe Ca avec le sigle approprié ; ce qui donne par exemple :

$$A\text{-}A_3\text{-}B_{21tCa}\text{-}B_{22tCa}\text{-}K_1(B_{23tCa})\text{-}K_{21}(C_{1Ca})\text{-}K_{22}(C_{2Ca})\text{-}K_3(C_{3Ca}).$$

Puis, ces trois auteurs (1966) étudient différentes séquences de sols et concluent que ceux-ci n'ont probablement jamais été sous l'influence d'une remontée capillaire mais au contraire que *la plus grande partie du carbonate serait illuviale et d'origine éolienne* ; ce mécanisme du dépôt, de la solubilisation et de l'entraînement dans le sol des particules carbonatées[2] expliquerait, à quelques nuances près, l'apparition d'horizons carbonatés de même importance sur des sédiments calcaires qui dérivent de roches-mères calcaires et sur d'autres non calcaires de même âge. De plus, que ce soit dans les

---

(1) allogène (FOUCAULT et RAOULT, 1980) : se dit d'un minéral qui a été formé ailleurs que dans la roche où il se trouve.

(2) YAALON et GANOR (1973) transposent ce schéma aux régions méditerranéennes et supposent que de nombreux horizons calciques d'Afrique du Nord en relèvent.

horizons graveleux ou non, la convergence de formes serait semblable et ils interprètent *l'horizon "laminar" sommital* presqu'entièrement constitué de matériau authigène, dont la terre fine non calcaire est riche en argile et en carbone organique, comme le *résultat du ruissellement et de l'évaporation de l'eau sous un sol*. Mais étant donné que les fortes accumulations de carbonates ne sont pas accompagnées par de fortes accumulations de matériau éolien, ils supposent que les poussières limoneuses sont reprises par les tempêtes successives.

Enfin, GILE et GROSSMAN (1968) identifient des horizons brun rouge d'accumulations argileuses à des horizons "argillic" (Bt), bien qu'il n'y ait pas de revêtement d'argile (clay skins)(1) sur les surfaces structurales ou dans les pores, en arguant de la présence d'enduits argileux (coatings of oriented clay) sur les grains de sable et les éléments grossiers et/ou de la présence de papules à l'intérieur des éléments structuraux ; ces derniers, selon eux, sont les témoins d'*une origine illuviale masquée par des phénomènes de perturbations physiques postérieures* telles que l'accumulation de carbonates, le faible volume utile avec ses conséquences sur les racines et lesplantes, les changements d'humidité et la présence de montmorillonite. Dès lors, ils pensent que le développement d'un horizon "argillic" est lié à l'âge du sol tout en ne l'étant pas aussi étroitement que les accumulations calcaires ; nous y reviendrons dans la rubrique des terres rouges.

2° UN ACTUALISME CLAIREMENT EXPRIME

De l'étude d'une toposéquence où la nappe phréatique est à plus de 20 m de profondeur, VERHEYE (1968) déduit que la formation des sols dans le Nord Est du Liban est marquée par *différentes formes d'accumulations calcaires sous les conditions arides actuelles*. C'est ainsi qu'il décrit et explique trois types de profils :

---

(1) le lecteur peut trouver la définition de ces traits les plus communément attribués à la pédologie dans la note de BREWER (1960) qui justifie l'emploi du terme "cutans" à la place de celui de "clay skins" et les classe entre autres en fonction de leur nature minéralogique (ferrans, calcitans ...) ou de leur mécanisme possible de formation (cutans d'illuviation, stress cutans ...)

- dans les points bas du paysage, la quantité d'eau qui résulte du ruissellement superficiel hivernal est suffisante pour assurer un régime hydrique favorable à l'équilibre percolation-évaporation et de ce fait, les sols ne présentent pas d'individualisation du calcaire à l'exception d'un léger pseudomycélium,

- sur les surfaces planes, le calcaire est solubilisé et migre vers les horizons profonds pendant l'hiver pour remonter à la surface et précipiter sous forme de nodules indurés pendant l'été,

- aux endroits où un substratum conglomératique plus ou moins imperméable apparaît à faible profondeur, le calcaire solubilisé migre des horizons supérieurs, se concentre et précipite par évaporation au printemps pour former une croûte calcaire.

3° UNE INTERPRETATION EMBARASSEE, UN FINALISME PRATIQUE

FOURNET (1969), dans son étude pédologique de la Dorsale tunisienne, trouve qu'il est difficile d'établir le lien qui existe entre l'encroûtement ou la croûte et le sol sus-jacent. Bien qu'il s'agisse de deux strates sédimentaires, il pense que la solution à ce problème consisterait à distinguer la part qui revient à l'empilement des sédiments formant la couverture des glacis et des cônes de celle qui représente la pédogenèse sur une roche-mère polygénique ; cela sans perdre de vue que la différenciation des horizons ne doit pas être considérée comme un phénomène instantané mais plutôt comme un processus étalé sur une longue période au cours de laquelle *la pédogenèse fluctuerait au gré* d'événements se situant à mi-chemin entre la sédimentation et l'érosion. Rappelant qu'on a coutume de considérer un horizon (B) structural encore organique et un horizon C_{Ca} qui est celui de l'accumulation calcaire, il suggère que ce dernier représente le véritable horizon B illuvial de *l'entraînement vertical et oblique* de ces constituants tandis que l'horizon C normal caractériserait la couche altérée de la roche-mère.
De cette manière, il suppose qu'*il serait plus aisé d'établir la codification des horizons* et, partant, la classification des sols encroûtés de la zone méditerranéenne ; d'autant plus que l'indépendance relative des encroûtements vis-à-vis de leur substrat est une règle qui semble fondamentale.

4° HORIZON Bca ET PROFILS CALCAIRES DIFFERENCIES, UNE RECHERCHE DANS LES PROCESSUS DE MISE EN PLACE

RUELLAN (1968), sans vouloir nier l'extension certaine, au Maroc, de carapaces d'origine géologique, considère qu'une très grande partie des horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire aux faciès très variés sont le résultat d'une même famille de processus pédologiques qui entrent dans le cadre de la formation des sols isohumiques subtropicaux et des sols rouges. Après dix années d'observations et de publications, il présente (1970, 1971 a, 1973) le fruit de ses réflexions sur les "sols à profil calcaire différencié" des plaines semi-arides et arides de la Basse Moulouya que nous avons déjà pressenti dans l'introduction pour marquer notre étonnement quant à son mode d'expression symbolique trop interprétatif et justifier le choix de notre sujet. Comme le calcaire existe dans toutes les formations quaternaires et que tous les sols qui s'y développent sont calcaires, sur une partie ou sur toute l'épaisseur du profil, il cède à la tentation de commencer par une étude morphodynamique de sa distribution et de sa concentration.

a) Le profil calcaire

Pour ce faire, RUELLAN propose une classification dans laquelle il reprend, ordonne et précise tout ce qui a été écrit auparavant ; les accumulations y sont classées en fonction de leur continuité, de leur structure et de leur dureté, comme suit :

- *distributions diffuses* : le calcaire n'est présent que sous la forme de particules fines difficilement visibles à l'oeil et peut néanmoins présenter une grande diversité de formes et de distributions,

- *concentrations discontinues* qui peuvent venir s'ajouter aux distributions précédentes dans un profil :
  . pseudomycélium,
  . amas friables = nodules farineux de DURAND
  . nodules (appelé parfois granules) = nodules concrétionnés de DURAND,

- *concentrations continues* dans lesquelles la couleur habituelle des sols et des dépôts tend à disparaître ; ce sont les encroûtements dont la te-

neur en calcaire est souvent supérieure à 60 % et dont la consolidation peut être très accentuée = "K horizon" de GILE = horizon "petrocalcic" de la classification de l'United States Department of Agriculture (USDA) :

. encroûtements non feuilletés : massifs, d'aspect crayeux ou tuffeux = formations pulvérulentes et peut-être certains encroûtements calcaires de DURAND = tifkert ou tafezza homogène ou feuilleté de BOULAINE ; nodulaires = une partie des nodules concrétionnés de DURAND = tifkert ou tafezza nodulaire de BOULAINE,

. encroûtements feuilletés : croûtes constituées par la superposition de feuillets d'encroûtement durci mais non pétrifié dans lesquels les teneurs en calcaire peuvent varier de 60 à plus de 90 % = partie de la croûte zonaire de DURAND = tifkert zonaire de BOULAINE ; dalles compactes constituées par un ou plusieurs feuillets de calcaire extrêmement durs, pétrifiés, de couleur grise ou plus souvent saumon, qui peuvent atteindre individuellement 10 à 20 cm d'épaisseur avec une teneur en calcaire fréquemment supérieure à 80 %,

. encroûtements lamellaires ou pellicules rubanées : formations très dures et très calcaires (plus de 70 %), dont l'épaisseur varie de quelques millimètres à quelques centimètres ; elles sont très nettement stratifiées, blanches ou saumonées avec des filets plus sombres et exemptes de cailloux = une autre partie de la croûte zonaire de DURAND = tifkert rubané de BOULAINE.

Sur base de cette nomenclature et de la répartition verticale du calcaire dans les sols isohumiques, ils distingue *trois horizons principaux* :

- A_{Ca} : calcaire ou non mais quand il y en a, sa distribution est diffuse,

- B_{Ca} : où la teneur en calcaire est plus élevée que dans les autres horizons et qui constitue donc un horizon d'accumulation du calcaire sans que cela implique pour autant, comme nous l'avons déjà rapporté, soit un certain mécanisme, soit l'accumulation d'autres éléments au même niveau, l'argile par exemple ; cet horizon peut présenter les différentes formes d'accumulations énumérées ci-dessus, parfois en association (distribution diffuse, amas friables, nodules), parfois en superposition (encroûtement double ou triple),

- C : représente le matériau originel où le calcaire est moins abondant qu'en B_{Ca} mais toujours présent et souvent bien individualisé.

Au cours de cette étude, il constate ou estime que :

- le passage entre l'horizon A_{Ca} et B_{Ca} devient de plus en plus net quand l'augmentation du calcaire est de plus en plus rapide, car c'est surtout au sommet du B_{Ca} que la richesse en calcaire s'accroît et devient brutale pour les encroûtements,

- le fait de retrouver des débris de croûte, de dalle ou de pellicule rubanée dans l'horizon A_{Ca} n'est pas une preuve d'allochtonie, mais de *remaniement presque sur place sans véritable transport* (1),

- la teneur en calcaire d'un horizon superficiel et son épaisseur ne sont pas corrélées avec la puissance (épaisseur et richesse en calcaire) de l'accumulation ; ce qui, contrairement au scepticisme de AUBERT (cf. 1.2.1.), ne constitue nullement une contradiction dans la mesure où on admet le *lessivage oblique*,

- le passage entre l'horizon B_{Ca} et C est toujours progressif,

- la richesse en calcium ou en calcaire du matériau originel n'a aucun rapport avec la puissance de l'accumulation ; tous les types d'accumulation peuvent se développer dans des matériaux qui n'étaient pas calcaires lors de leur mise en place,

- la texture du matériau originel a une influence certaine sur les formes que prennent les accumulations calcaires,

- les passages latéraux progressifs entre les diverses formes d'accumulations et de concentrations du calcaire sont fréquents. Observations que WILBERT avait déjà relevées (cf. 2.2.3.2°) et que RUELLAN exprime par un schéma (Fig. 5) pour montrer que les encroûtements non feuilletés dérivent d'horizons à

(1) notion qui apparaissait déjà dans la typologie des sols (rouges) du Maroc de BRYSSINE (1954).

concentrations discontinues, que les croûtes dérivent des encroûtements non feuilletés et que les dalles compactes dérivent des croûtes ; seules les pellicules rubanées paraissent assez indépendantes encore qu'on ne les trouve que sur les encroûtements et les roches dures (et dans les fentes).

Figure qui est aussi l'exemple d'un niveau du Quaternaire moyen où l'accumulation du calcaire est toujours :

- maximum sur la pente de raccordement avec le niveau supérieur et sur le rebord des niveaux,

- minimum au milieu de la terrasse ou du glacis puisque l'eau y circule moins vite et que les assèchements importants y sont plus rares.

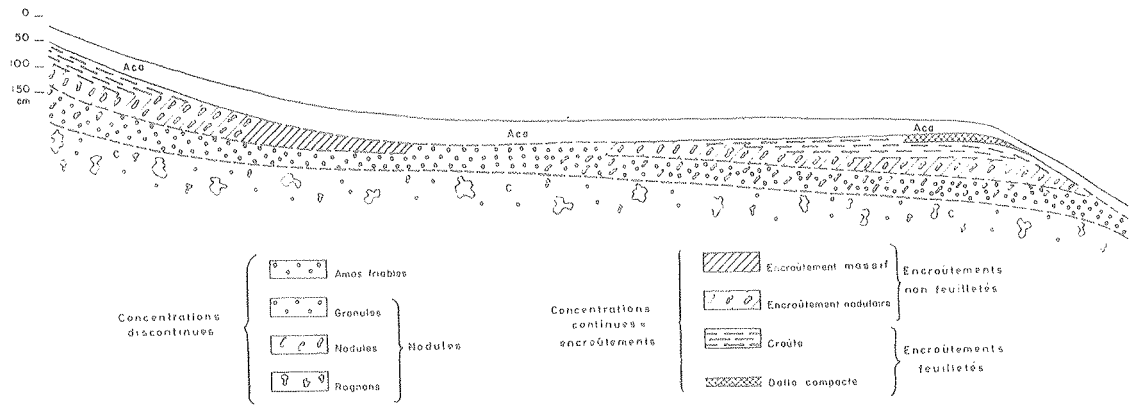


FIG. 5 : Passages latéraux, d'après RUELLAN (1971 a), entre les divers types d'horizons B_{Ca} dans les sols de la Basse Moulouya.

A son avis dès lors, l'individualisation et l'accumulation du calcaire, jusqu'à l'encroûtement le plus dur, se sont donc bien réalisés dans un matériau préexistant, car il ne peut pas imaginer qu'une croûte ou une dalle compacte soit un apport superposé au matériau sous-jacent ; mais il lui semble aussi que ce n'est pas du matériau originel sous-jacent que provient l'essentiel du calcaire accumulé dans l'horizon B_{Ca}. C'est donc principalement en fonction de la morphologie

de l'horizon d'accumulation B_{Ca} qu'il détermine le type de profil dans les plaines, à savoir :

- *non différencié* : il n'y a pas d'horizon B_{Ca} ; le sol est uniformément calcaire ou non calcaire, peu évolué d'apport ou rouge méditerranéen ,

- *peu différencié* : l'horizon B_{Ca} est diffus ; le sol est déjà isohumique dans la terminologie classique,

- *moyennement différencié* : l'horizon B_{Ca} contient des amas et des nodules ; le sol est isohumique brun rouge à châtain rouge subtropical,

- *très différencié* : l'horizon B_{Ca} est en partie sous la forme d'un encroûtement, le sol, du même type que ci-dessus, est dit encroûté,

alors que dans les montagnes, les sols sont de type rouge fersiallitique ou calcimagnésimorphe et s'inscrivent facilement dans les catégories de sol à profil calcaire plus ou moins différencié distinguées dans les plaines.

b) Le profil textural

Liant donc par les symboles le matériau meuble châtain rouge de surface et les accumulations calcaires, RUELLAN réalise qu'il est très difficile de faire la part des caractères attribuables aux matériaux de ceux qui résultent de la pédogenèse même si le profil textural constitue un des aspects morphologiques les plus visibles et facilement contrôlables au laboratoire, car *selon les convictions de chacun, les mêmes ensembles de propriétés peuvent être considérés comme caractéristiques des matériaux ou de l'évolution des sols*. C'est pourquoi, il distingue nettement la variation verticale (quantité et distribution) des éléments grossiers ("sables grossiers", cailloux) qui permet de discuter l'homogénéité ou l'hétérogénéité des matériaux de celle des éléments fins, en particulier la fraction argileuse qui peut résulter de l'évolution pédologique. Ainsi, de ses observations, il retient que :

- les matériaux, alluvions et colluvions sont variés et induisent une hétérogénéité horizontale mais aussi verticale,

- les matériaux en se superposant ou en s'emboîtant ont pu tronquer et enterrer des sols,

- la disparition des cailloux et, bien que cela ne soit pas un argument décisif, l'homogénéité des courbes granulométriques sont en faveur de l'origine pédogénétique des horizons A_{Ca} et B_{Ca} qui seraient donc bien des horizons pédologiques et non des couches sédimentaires superposées,

- presque tous les sols possèdent *un horizon B textural caractérisé par un ventre d'argile* dont les limites sont toujours très diffuses et *dans lequel les vrais revêtements argileux sont rares ou absents*,

- dans les sols peu différenciés, le Bt est absent ou peu différencié,

- dans les sols moyennement et très différenciés, si les horizons superficiels sont peu ou non calcaires, le Bt se situe surtout au-dessus et dans la partie supérieure du B_{Ca} avec des cutans fréquents dans le plasma et autour des grains de sable dès la surface ; si les horizons superficiels sont calcaires, le Bt se situe au niveau et plus bas que le B_{Ca} avec de rares cutans. Ce qui le conduit à subdiviser éventuellement l'horizon A_{Ca} en At et Bt, l'horizon B_{Ca} en Bt et Ct.

c) Le profil du fer et de la matière organique

p.m.

d) Les facteurs influençant la répartition des sols

Rappelant, ensuite, le rôle général du climat et du relief sur lequel nous reviendrons aussi, RUELLAN aborde le problème intéressant de la topographie de détail et fait remarquer, schémas à l'appui (Fig. 6), qu'il peut y avoir un réel danger d'essayer de dater des surfaces par une observation trop localisée des sols, car sur un même niveau, terrasse ou glacis, *l'horizon B_{Ca} peut changer de faciès selon les variations du micro-relief*.

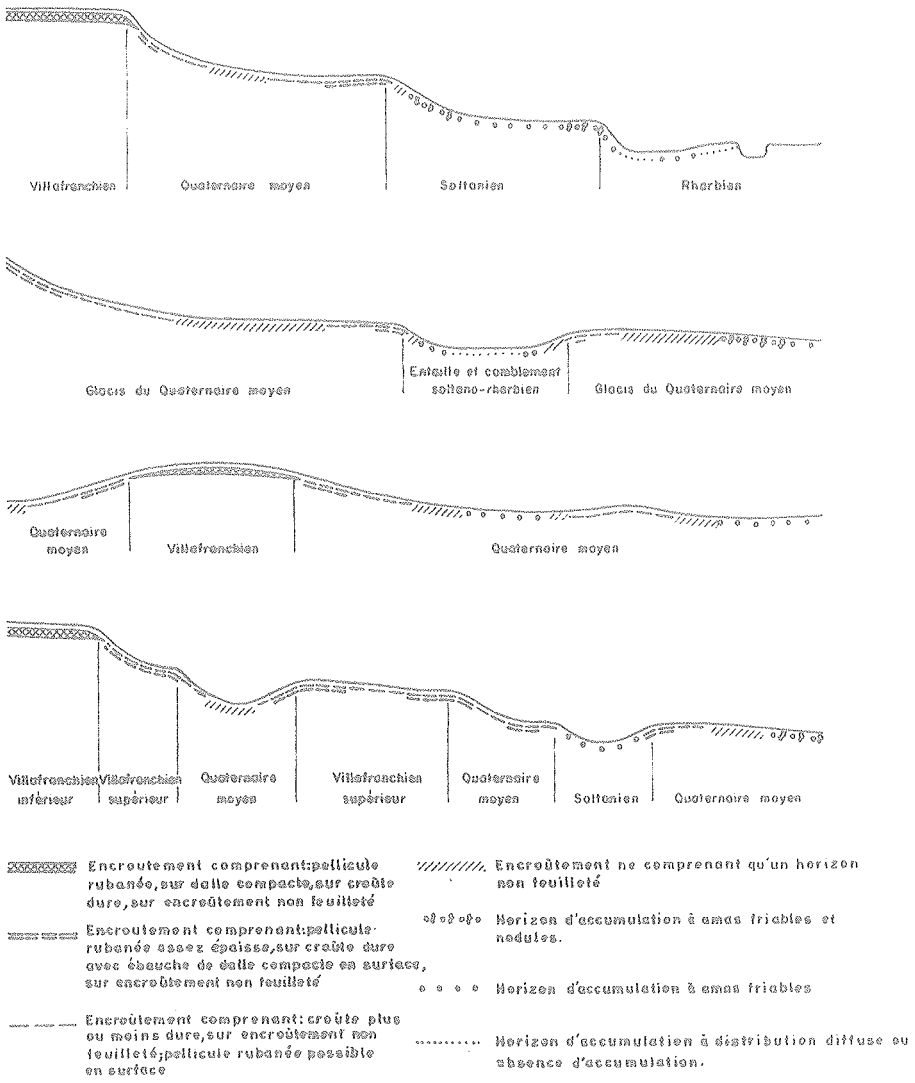


FIG. 6 : Quelques exemples, d'après RUELLAN (1971 a) de la répartition des divers types d'horizons B_{Ca} en fonction du relief.

e) Les processus de mise en place

Comme à son avis, la différenciation de ces sols résulte principalement des migrations latérales qui établissent, au sein du bassin versant, des *relations étroites de l'amont vers l'aval* entre les matériaux, les mécanismes et les sols, transformant la notion de roche-mère, RUELLAN en vient à considérer les principaux éléments qui migrent :

- les matériaux : ceux-ci proviennent surtout de l'érosion des sols d'amont dont ils ont hérité de nombreux caractères suite à la mise en place rapide

des alluvions et colluvions au cours de plusieurs phases du Quaternaire ; mais avec des remaniements qui se poursuivent lentement pendant la différenciation des sols, en surface par érosion, en profondeur sous la forme de *mouvements individuels ou de masse*. Ces remaniements, facilités par les variations d'humidité, sont tout à la fois des mécanismes actifs de la formation des sols et de façonnement du relief qui *créent de fausses discontinuités lithologiques et rendent la pédogenèse et la morphogenèse interdépendantes*,

- *les particules fines* : celles-ci migrent dans les horizons superficiels sous forme dispersée ou en suspension ; elles sont d'autant plus nombreuses que les matériaux sont moins calcaires et sont partiellement à l'origine de l'horizon At alors que l'horizon Bt est le résultat de *l'altération in situ* et dans certains cas de *la néoformation de minéraux* argileux,

- *les ions* : ceux-ci migrent en solution sur, dans et sous les sols ; les distances et les profondeurs atteintes dépendent de l'importance relative que prennent les mouvements verticaux par rapport aux mouvements obliques et aussi du climat, de la perméabilité et de l'humidité.

Et de conclure que :

- l'accumulation du $CaCO_3$ accompagné d'un peu de $MgCO_3$ se concentre autour de la partie moyenne et inférieure du système radiculaire puissant des forêts et des matorrals (1),

- la concentration des solutions est d'autant plus superficielle que l'évaporation n'est pas compensée par la production de CO_2 d'origine biologique,

---

(1) matorral (BEAUDET, 1969) : terme espagnol pour désigner toutes les formations ligneuses basses (inférieures à 7 m) qu'il s'agisse d'espèces basses, d'arbres jeunes ou de formations dégradées ; cas particuliers (MATHIEU, 1977 a), le maquis est un matorral dense élevé sur sol siliceux et la garrigue est un matorral moyen troué, toujours sur sol calcaire.

c'est-à-dire que le milieu est plus aride, moins perméable, à régime hydrique plus contrasté et que l'influence de l'amont est importante,

- seule la pellicule rubanée se développe rapidement par *ruissellement sub-superficiel ou superficiel* sur des surfaces dures et imperméables,

- la décarbonatation de l'horizon A_{Ca} n'accompagne pas la différenciation du B_{Ca}, car son appauvrissement en $CaCO_3$ est contrarié ; bien au contraire, il peut avoir tendance à s'amincir et à se recalcariser par remontée ou par érosion du B_{Ca}.

5° L'OUTIL MICROMORPHOLOGIQUE, LA DIFFICULTE DE RESPECTER LES NORMES

Pour *décrire micromorphologiquement* les sols de plaines alluviales arides et semi-arides (Indes), SEGHAL et STOOPS (1972) utilisent autant que possible le système de BREWER en y adjoignant des termes pétrographiques ou en adoptant, dans certains cas, la terminologie de KUBIENA et reconnaissent neuf formes différentes d'accumulations calcaires qui, depuis la calcite microcristalline jusqu'aux cristallaria grossièrement cristallisées, sont toutes *d'origine secondaire* : les "inflorescences" constitueraient le premier stade de développement suite au mouvement de solutions le long des vides et à leur pénétration dans le "S matrix" du matériau pédologique ; ensuite, les formes évolueraient vers les nodules indurés par accumulation, concentration et dessication. Ainsi, en fonction de la ou des formes présentes, les auteurs jugent qu'il est possible de reconstituer les différentes étapes du développement du profil, mais ils font toutefois remarquer qu'il n'y a pas de croûte zonaire soit que, se référant aux datations de GILE, les sols sont trop jeunes, soit que l'activité biologique s'y oppose. Ne pouvant utiliser le "k horizon" de l'USDA "system" du fait de la discontinuité des horizons, ils suggèrent d'utiliser le "K horizon" de GILE quand on passe les 50 % de "K fabric" et d'utiliser le suffixe Ca dans les autres cas.

Mais, en Israël, WIEDER et YAALON (1974), en s'aidant notamment de la microsonde électronique, ne partagent pas les conclusions précédentes sur l'enchaînement des formes, car, selon eux, la dimension et la croissance des cristaux de calcite d'un nodule sont déterminées par la composition de la matrice, en particulier par la présence d'argile ; à cette occasion et en quelque

sorte à la suite de BLOCKHUIS, PAPE et SLAGER (1968), ils distinguent les *"orthic nodules"* formés in situ, les *"disorthic nodules"* marqués par la pédoturbation et les *"allothic nodules"* remaniés par transport.

3.2.3. L'APPROCHE MIXTE MORPHOPEDOLOGIQUE

1° UNE INTERPRETATION HATIVE

Dans la région des Beni Slimane, qui comprend le plateau de la Taourga, en milieu semi-aride, RAUNET (1974) applique les principes de *l'approche morphopédologique* définis par TRICART (cf. 6.1.) et observe que *les interactions morphogenèse-pédogenèse conduisent à une dégradation lente des glacis* qui, formes héritées des phases pluviales quaternaires, sont fortement imprimés par les caractères de pédogenèses anciennes :

- les plus anciens (du Plio-Villafranchien au Tensiftien) présentent les empreintes paléoclimatiques les plus importantes que sont la rubéfaction des dépôts superficiels argilifiés in situ et les croûtes calcaires qui se sont formées à la base des sols rouges, postérieurement à leur dépôt,

- les plus récents (Soltanien et Rharbien) ne montrent pas ces caractères.

2° UNE OBSERVATION RAISONNEE

Non loin de là, dans la région de Bechloul (80 km ENE du plateau de la Taourga), THIBOUT (1974) déduit de ses observations que les croûtes calcaires résultent des phénomènes pédogénétiques du Quaternaire ancien et moyen mais que les sols contemporains de leur formation ont été érodés au cours de différentes phases climatiques postérieures ; *si bien qu'elles ont permis la conservation des formes anciennes en protégeant le matériau miocène sous-jacent et qu'elles jouent le rôle de roche-mère dans les processus de pédogenèse actuelle*, en étant elles-mêmes localement incisées par l'érosion régressive et en contribuant à alimenter en calcaire les zones situées en aval. Il conclut que *le sol actuel est le résultat de la somme des facteurs successifs*

de pédogenèse et de morphogenèse qu'il n'est donc pas raisonnable de séparer.

3.2.4. L'APPROCHE GEOCHIMIQUE OU DE L'ATTAPULGITE(1)

1° L'ATTAPULGITE, MINERAL DE NEOFORMATION PEDOLOGIQUE

A l'occasion de la thèse de RUELLAN, largement résumée ci-dessus, MILLOT et PAQUET (1969) ont caractérisé minéralogiquement les échantillons provenant de la Basse Moulouya et leur interprétation de la *néoformation d'attapulgite dans les sols à carapace calcaire* constitue la véritable surprise des résultats puisqu'auparavant, MILLOT avait considéré que ce silicate alumino-magnésien de la surface de l'écorce terrestre ne prenait pas naissance au cours de la pédogenèse mais seulement dans la sédimentation chimique basique lacustre (MILLOT, RADIER et BONIFAS, 1957) et marine (MILLOT, 1964). Ils constatent en effet que l'attapulgite est :

- absente sur les versants,
- abondante dans les carapaces calcaires des glacis villafranchiens et ne peut être héritée des amphithéâtres géologiques,
- héritée des débris du Villafranchien remaniés dans les alluvions et colluvions du Quaternaire moyen et récent,
- éliminée par hydrolyse des horizons de surface dans les régions les moins arides,

(1) attapulgite : ce terme du nom d'Attapulgus en Géorgie (U.S.A.), a été proposé par LAPPARENT (1935) pour désigner un minéral qui se distingue des montmorillonites et qui semblait ne pouvoir être associé aux palygorskites russes ; mais trois ans plus tard (1938) reconnaissant que l'attapulgite et la palygorskite sont un même minéral, cet auteur proposa de continuer à faire la distinction pour réserver le second terme uniquement aux variétés nettement fibreuses et d'une alcalinité excessivement faible ou nulle ; précisons d'ailleurs que la palygorskite a été signalée dans les accumulations calcaires dès 1957, par OSMOND et STEPHEN qui étudiaient à Chypre, la fraction argileuse de dépôts pléistocènes calcaires localement appelés "kafkalla, havara ou croûte".

- conservée dans les horizons de sols à amas et nodules calcaires et ce d'autant plus en surface que le climat est aride,

- néoformée dans les carapaces calcaires et spécialement dans les encroûtements à la base des croûtes puisque les teneurs en ce minéral s'élèvent jusqu'à 100 % de la fraction argileuse et que l'examen horizontal des chaînes de sols montre la naissance, puis la croissance de cette attapulgite dans un même horizon de plus en plus chargé en calcaire.

2° UN ESSAI DE GEOCHIMIE PAYSAGIQUE

Avec TARDY (PAQUET, RUELLAN, TARDY et MILLOT, 1969), les trois précédents auteurs proposent le schéma suivant d'explication :

- sur les versants, il y aurait, dans les sols fersiallitiques[1], *héritage et dégradation ménagée* des minéraux argileux vers le stade de la vermiculite[2] avec départ des ions solubles alcalins et alcalino-terreux et de la silice,

- sur les flancs inférieurs des montagnes, là où l'aridité intervient, il y aurait *héritage*, ralentissement de l'évacuation de la silice et *transformation ménagée* en direction de la montmorillonite avec production d'interstratifiés,

- dans les plaines où les sols subtropicaux trouvent leur origine dans un héritage mécanique généralisé par transport latéral, les ions migrent et

---

(1) sol fersiallitique : d'après SYS (1967), ce terme (de fer, silice et aluminium) a été forgé par BOTELHO DA COSTA en 1959 pour désigner des sols dont les argiles sont caractérisées par des rapports SiO_2/Al_2O_3 supérieurs à 2 et SiO_2/R_2O_3 inférieurs à 2 ; sous-classe des sols à sesquioxydes de fer de la Commission de Pédologie et Cartographie des Sols (CPCS, 1967), il désigne (DUCHAUFOUR, 1976) des sols de climat chaud, à saison sèche marquée, très colorés par des oxydes de fer bien individualisés, à complexe absorbant saturé ou peu désaturé et à argiles dominantes du type 2/1.

(2) LAMOUROUX, PAQUET et MILLOT (1973) ont fixé, au Liban, le seuil de pluviométrie à 1.000 mm entre le domaine supérieur de la vermiculitisation et celui inférieur de la montmorillonitisation en précisant qu'il n'y a guère d'évolution en deça de 600 mm comme l'avait déjà pressenti BUOL (1965).

s'y trouvent en partie piégés ; le potassium et le magnésium provoquent une *légère agradation générale* des minéraux argileux et le calcium engendre des imprégnations, inclusions et croûtes calcaires dans lesquelles la silice et la magnésie se combinent à l'alumine pour réaliser une véritable *néoformation d'attapulgite*.

Et de résumer : *"Ainsi, le milieu lessivé des montagnes provoque l'évolution des silicates par soustraction, tandis que le milieu aride des plaines réalise un domaine confiné où les silicates vont évoluer par addition suivant des transformations agradantes et/ou des néoformations ; telle est la géochimie de ce paysage où, dans une seule unité géographique, les fruits de la soustraction géochimique en altitude nourrissent les évolutions par addition de la plaine*[1]".

Mais au Tchad, BOCQUIER, PAQUET et MILLOT (1970) raffinent encore ce schéma de la *différenciation bio-géodynamique* latérale par migrations obliques en rapportant que, si l'amont nourrit l'aval, l'aval envahit l'amont par remontée de la montmorillonite.

3° L'ATTAPULGITE, MINERAL DE NEOFORMATION SEDIMENTAIRE

Pour expliquer la genèse d'une croûte calcaire qui dans le contexte morphologique ne peut être rendue indépendante d'un substrat tuffeux sous-jacent dont la fraction argileuse est constituée uniquement d'attapulgite, CONRAD (1969), qui a longtemps étudié le Sahara algérien, pense d'abord, selon ses propres termes, à l'hypothèse hybride de l'influence d'une nappe superficielle au sein d'un profil pédologique avant de prendre connaissance des travaux de RUELLAN et de MILLOT qui lui permettent d'envisager deux hypothèses :

- l'hypothèse sous-aquatique avec la formation des tufs calcaires à attapulgite au niveau de la nappe,

- l'hypothèse pédologique avec la formation des tufs et des croûtes au sein des profils comme cela est observé dans les sols à croûtes au Maroc où

(1) c'est ce que MILLOT, BOCQUIER et PAQUET (1976) appelleront "le culbuto géochimique".

tous les intermédiaires existent : concrétions calcaires, encroûtements, croûtes zonaires,

et de souligner que, s'il fallait établir *une primauté dans le rôle des deux mécanismes* possibles, celui de la nappe paraît plus important que celui du couple sol-végétation à cause du lien essentiel qui existe entre la morphologie et la croûte.

4° FRAGILITE OU RESISTANCE DE L'ATTAPULGITE A L'ALTERATION

OSMOND et STEPHEN (1957) remarquent que la présence de montmorillonite dans les sols rouges associés aux croûtes correspond à une diminution de la palygorskite. SCHOEN (1969) confirme cette observation au Maroc, en notant que l'attapulgite, minéral peu stable sous les conditions atmosphériques, disparaît assez rapidement, même dans les sols relativement jeunes ou peu évolués et que cet amoindrissement se fait toujours en faveur de la formation de montmorillonite dont les "surfaces fraîches" favorisent particulièrement la tirsification. A ce propos, il relève l'inconvénient d'une cartographie des sols et d'une classification qui reposent avant tout sur les observations de terrain et sur l'étude de la morphologie du profil, car il estime qu'une telle méthode néglige *le critère des propriétés physiques et chimiques de l'argile* dans toutes les catégories de sol où le type argilo-minéralogique ne s'extériorise pas[1].

Par contre, DUTIL (1971), pour qui il est possible que l'attapulgite se forme encore actuellement dans les daïas[2] sahariennes soumises à une humidité temporaire en milieu assez perméable, affirme que, s'il n'en est pas ainsi, ce minéral se conserve extrêmement bien dans l'ambiance calci-magnésique de ces milieux ; dès lors, il estime que sa présence constitue *un trait marquant de la pédogenèse* pour ces régions au cours des dernières phases humides du Quaternaire.

---

(1) souhait qu'il avait déjà exprimé dans une note signée avec MAURER (1964)

(2) daïa (CONRAD, 1969) : terme qui désigne une dépression à fond plus ou moins perméable où les eaux de ruissellement s'accumulent après les pluies et dont le sol n'est pas salé.

3.2.5. L'APPROCHE EXPERIMENTALE PHYSICO-CHIMIQUE

1° DECARBONATATION ET DESILICIFICATION

PEDRO (1968) présente les résultats d'une expérimentation sur marne à 35 % de $CaCO_3$ et 65 % d'illite qui démontrent que la dissolution à l'eau pure (pH = 6) du calcaire et la désilicification de l'illite peuvent se produire simultanément mais que l'introduction de CO_2 (pH = 4.5) qui favorise normalement le dernier processus ralentit fortement celui-ci dans le cas des roches-mères calcaires où son action porte avant tout sur les espèces carbonatées.

Peu de temps après, DURAND et DUTIL (1972) soumettent différentes roches calci-magnésiques à une altération expérimentale en conditions hypertropicales avec de l'eau à 50° C et confirment les observations de PEDRO en montrant que *la décarbonatation est le processus dominant de l'évolution des roches carbonatées*. De plus, ils remarquent que, si le rôle de la roche-mère est prépondérant de par sa structure, sa porosité et la nature minéralogique des carbonates, *le climat conditionne la nature du processus de décarbonatation, règle la vitesse de dissolution des minéraux carbonatés et agit sur les composés sialferriques* ; ainsi, ils montrent que la dynamique de ces composés est en accord avec les processus d'altération latérisante et que l'évolution des minéraux argileux demeure très faible tant que le processus majeur de décarbonatation n'est pas achevé.

2° LES EFFETS DE LA TEMPERATURE

EK et PISSART (1965) obtiennent des dépôts carbonatés *par congélation* et ADOLPHE (1972) obtient des encroûtements de calcite par des alternances gel-dégel, dont l'épaisseur est liée au nombre de cycles de gel, car on compte autant de zones claires et colorées que de cycles réalisés ; chaque zone claire se terminant par un liséré sombre d'oxydes de fer, probablement dû à leur concentration en fin de cristallisation.

PLET-LAJOUX (1971) démontre que les encroûtements importants de carbonate de calcium formés à partir des eaux d'une nappe phréatique ne nécessitent pas de phases de dessication mais qu'ils peuvent apparaître et se

consolider en milieu saturé en eau, à la base de la colonne capillaire, sous la seule influence d'une *élévation de température* ; et d'arriver à la conclusion que les encroûtements calcaires peuvent se former au sein du milieu naturel, dans des situations extrêmement variées.

3.3. LES FORMATIONS MEUBLES COLOREES

3.3.1. CONCEPTS GENERAUX

A l'occasion de la note précitée sur la retouche chronostratigraphique, RUELLAN rapporte quatre observations d'ordre pédologique qui lui semblent fondamentales et en déduit, contrairement précise-t-il à DIVOUX (cf. 2.3.1.1°), que *la pédogenèse actuelle est très ralentie*, du moins dans les plaines, et qu'*il faut donc attribuer la plupart des sols à des paléoclimats certainement plus humides que le climat actuel mais qui ont toujours été méditerranéens et répartis de façon semblable à celle des climats actuels*.
De plus, il considère que la position classique, qui rend contemporaines les périodes de sédimentation continentale et les phases pédogénétiques, est critiquable et qu'il faut envisager *deux types de rapports chronologiques entre les phénomènes* :

- un dépôt uniformément rubéfié et constitué sur une grande épaisseur de sédiments fins peut provenir d'une roche-mère rouge et argileuse (le Trias, souvent) ou peut aussi résulter de l'érosion et de l'accumulation de sols rouges antérieurement constitués dans le bassin versant supérieur ; dans ce cas, *la pédogenèse a précédé la morphogenèse* comme l'avait déjà bien exprimé GAUCHER (cf. 1.3.2.2°),

- dans un dépôt morphologique quelconque, la présence à proximité de la surface (sur quelques mètres au plus) de variations de couleur, de texture et de teneur en calcaire, est le plus souvent due à une pédogenèse postérieure à la mise en place du dépôt ; de même, l'existence dans l'ensemble du sédiment de taches, granules et nodules calcaires, comme le dé-

veloppement des plages diversement colorées et l'apparition de certains caractères de structure (polyédrique, cubique) ne peuvent s'expliquer que par *une pédogenèse profonde postérieure au dépôt* et probablement liée à une certaine hydromorphie.

Dès lors, en quelque sorte à la suite de GEZE (cf. 2.3.1.2°) RUELLAN (1971 b) tente de répondre aux questions sur l'histoire plus ou moins longue et compliquée des sols en regroupant ceux-ci en trois types :

- *les sols en équilibre* qui ont toujours évolué dans un environnement identique à l'environnement actuel et qui peuvent présenter, au sein même de chaque sol, des caractères d'âges différents dus à des processus rapides ou lents[1],

- *les sols à certains* (quelquefois même, presque tous) *caractères reliques* qui résultent d'une évolution pédologique ancienne rendue différente de l'évolution actuelle à la suite d'un changement de climat, de mouvements tectoniques, de différenciations internes des sols ou de l'utilisation par l'homme,

- *les sols faiblement* (plus rarement profondément) *enterrés* qui présentent une limite supérieure souvent difficile et âprement discutée, qui sont souvent remaniés depuis le simple brassage jusqu'au déplacement latéral de tout un horizon sur quelques dizaines de mètres et qui ont été fréquemment érodés avant d'être enfouis,

et en précisant que :

- un sol vieux n'est pas nécessairement un paléosol,

- un caractère relique peut être jeune si le changement d'évolution pédologique est récent,

- certains pédologues multiplient les caractères reliques ou les apports

(1) le lecteur peut consulter l'essai de YAALON (1971) qui regroupe, dans un tableau, les traits et horizons de diagnostic pédologique groupés selon leur origine et leur persistance relative dans les paléosols.

allochtones alors que d'autres défendent une longue évolution pédologique dans des formations autochtones tout au plus remaniées.

Ainsi, il préconise pour atteindre les objectifs de la paléopédologie, branche historique de la pédologie, de recourir :

- à l'étude détaillée de toposéquences, c'est-à-dire des limites entre horizons, et de la dynamique actuelle avec son facteur anthropique,

- à la datation des constituants pédologiques.

3.3.2. TERRES ROUGES

1° DES PROCESSUS LENTS D'UNE ZONALITE CLIMATIQUE PRESQUE PARFAITE

Comme annoncé, RUELLAN (1967) distingue, dans la formation des sols du Maroc, *les processus rapides et les processus lents en classant la rubéfaction dans ces derniers avec l'évolution du profil calcaire, l'évolution des minéraux argileux et le développement de certaines formes d'hydromorphie,* ainsi :

- à propos des sols rouges méditerranéens, il juge nécessaire de faire la différence entre ceux formés sur roches-mères calcaires qui s'épanouissent en conditions subhumides à humides et ceux formés sur roches-mères non calcaires, en particulier sur schiste, qui se retrouvent actuellement en conditions semi-arides. Développant le premier groupe, il sépare les roches à altération lente (calcaire dur) ou très perméables (grès calcaire) qui permettent un lessivage du calcaire, des roches tendres qui s'altèrent trop vite en libérant du calcaire qui n'a pas le temps d'être éliminé ; d'autant plus que sur ces dernières, les sols sont fréquemment rajeunis. Pour réfuter l'hypothèse des sols fossiles témoignant d'un climat à tendance tropicale, il rappelle leur plus ou moins grande zonalité climatique actuelle fraîche, signale leur cotoiement avec les sols isohumiques subtropicaux qu'il explique par une différence de roches-mères et précise surtout que l'altération

des minéraux argileux primaires n'est pas totale de même que la formation de la kaolinite reste un phénomène rare et limité (mis à part dans les formations villafranchiennes),

- à propos des sols isohumiques subtropicaux, il indique que la rubéfaction est un phénomène caractéristique qui reste le plus souvent assez discret et qui résulte à la fois de l'accumulation d'argile et d'une certaine "individualisation" des hydroxydes de fer dont le processus exact reste à préciser.

2° SOL FERSIALLITIQUE ET BRUNIFICATION

En 1967, dans une étude bibliographique très complète, BOTTNER et LOSSAINT sont obligés d'admettre que la couleur, qui doit se situer dans les gammes (hues) plus rouges que 5 YR pour la Septième Approximation de la classification américaine des sols, constitue encore et toujours la seule différence fondamentale entre les sols rouges et les sols bruns.

Peu après, BOTTNER (1972), dans son étude sur l'évolution des sols en milieu carbonaté, associe les sols fersiallitiques à réserve calcique du Midi (subhumide à humide) de la France à des surfaces karstiques (roches-mères calcaires compactes) très anciennes sur lesquelles, *il est difficile de mettre en évidence les phénomènes de pédogenèse actuelle*. Cependant, de l'examen du profil calcaire, il en propose le schéma (Fig. 7) et la légende suivante :

- B_{Cac} une épaisse accumulation calcaire sous forme de croûte massive et extrêmement dure,

- B_{Can} le passage progressif à une accumulation calcaire sus-jacente à nodules de plus en plus libres à la partie supérieure,

- (B) un horizon décarbonaté,

- $A_1 - A_3$ un horizon recarbonaté à la suite de remaniements physiques (rarement plus de 10 % de $CaCO_3$ localisé dans les fractions granulométriques supérieures à 20 μ).

sols[1],

- l'alternance des périodes sèches et humides est prépondérante,

- l'ordre relatif des solubilités décroissantes est le suivant : K_2O, Na_2O, CaO, MgO, P_2O_5, SiO_2, FeO_3, Al_2O_3,

- les résidus des roches carbonatées sont qualitativement semblables aux constituants des sols mais que certaines proportions peuvent varier au cours des altérations ; leur couleur brune indiquerait par ailleurs que *la rubéfaction est un phénomène pédogénétique (postérieur à l'altération)*,

- la relation quantitative entre l'insoluble des roches carbonatées et les sols observés est concevable, pour en déduire qu'il suffit de 5.000 à 7.500 ans, en conditions humides, pour dissoudre 1,5 m de roche moyennement dure et permettre la formation de 30 cm de sol alors qu'il faudrait de 50.000 à 100.000 ans sur roche dure[2]

Conséquemment, il observe que le fer :

- *en milieu confiné*, entre fréquemment dans la constitution de réseaux argileux du type montmorillonitique ou se présente essentiellement sous forme de goethite,

- *en milieu bien drainé*, est responsable de la couleur rouge des sols sous une forme amorphe aux Rayons X qui se localise à la surface d'inhibiteurs de cristallisation tels que les minéraux argileux, la matière organique, les anions phosphoriques ou siliciques.

Selon lui, "les valeurs" de ce "fer amorphe" (méthode SEGALEN), qui a amorcé un début de cristallisation et qu'on peut assimiler à une hydrohématite, représen-

(1) altération que CALLOT (1978) qualifiera de manifestation secondaire d'un système dissolution-colmatage.

(2) GRAS (1975) travaillant en lysimètres et en parcelles d'expérimentation sur les sols bruns calcaires du Liban Sud sous climat méditerranéen humide, arrivera à peu près aux mêmes conclusions sur la vitesse de formation des sols.

tent le processus fondamental de pédogenèse qui doit être classé au niveau le plus élevé. C'est pourquoi, il juge que les sols rouges fortement lixiviés en éléments hydrosolubles et riches en fer amorphe doivent constituer la classe des sols fersiallitiques. Poursuivant sa proposition, il suggère de distinguer une sous-classe de sols saturés (plus de 90 %) et une sous-classe de sols désaturés (40 à 90 %) dans chacune desquelles apparaîtraient les groupes modal, mollique, hydraté, appauvri et remanié ; les sous-groupes étant différenciés par des caractères secondaires vertiques ou hydromorphes, par des types de remaniement, etc ... Ainsi, il décrit différents types de sols rouges fersiallitiques, à savoir :

- *de karst fermé ou ouvert* qui sont caractérisés principalement par une texture argileuse (60 à 90 %), une richesse en "pseudo-particules" de la taille des limons ou des sables fins, un faible gradient d'argile, une pauvreté en cutanes d'illuviation mais une abondance en cutanes de pression,

- *de karst couvert* qui fournissent un manteau souvent épais dont les parties supérieures sont coupées de leur approvisionnement calcique et qui sont caractérisés par un très fort gradient d'argile souligné par quelques cutanes d'illuviation,

- *de glacis et de piedmont* qui sont peu évolués d'apport et marqués par une faible organisation micromorphologique, un héritage des minéraux argileux, un certain degré d'évolution de la matière organique et de la structure.

Mais il précise que ces sols peuvent toujours :

- se recalcariser dans un de leurs horizons pour donner un sol à profil calcaire différencié,

- se transformer en bas de pente sous l'effet d'une nappe phréatique en sol hydromorphe suite à la perte du "fer amorphe oxydé",

- se transformer du fait de la richesse en minéraux du type 2/1 en vertisol[1] rouge tout en gardant des taux élevés de fer amorphe,

- se transformer par confinement dans une poche karstique en sol brun hydraté avec évolution du fer amorphe en goethite.

Il remarque encore que les accumulations calcaires piègent des constituants minéraux dont les taux de produits ferrugineux amorphes relativement au fer total doivent refléter la nature du milieu de pédogenèse où elles ont pris naissance et il conclut enfin que jeunes ou rajeunis, les sols du Liban formés sur karst apparaissent comme *des sols vivant actuellement*.

4° HORIZON "B ARGILLIC" ET RHODOXERALF

En une période de temps assez courte qui suivit la publication du remarquable ouvrage de BREWER (1964) sur la micromorphologie des sols, de nombreuses lames minces de sols rouges fersiallitiques, alfisols ou luvisols[2] ont été décrites pour souvent prêter à la conclusion ambiguë d'une difficile reconnaissance de l'illuviation et d'un horizon "B argillic" sous les conditions méditerranéennes. Retenons notamment, et en plus de ce qui a déjà été rapporté par GILE, GROSSMAN et RUELLAN, que :

- NETTLETON, FLACH et BRASHER (1969) mettent en évidence, dans les sols argileux du Sud Ouest des Etats-Unis, une relation apparemment assez étroite entre la présence ou l'absence (formation empêchée ou destruction) de revêtements argileux, le degré d'orientation des séparations plasmiques (de in

---

(1) vertisol : terme proposé par l'USDA, en 1960, pour désigner (DUCHAUFOUR, 1976) les sols marqués par la néoformation ou la conservation des argiles gonflantes presque exclusives qui se lient à la partie fortement polymérisée de la matière organique, dans des conditions stationnelles lithomorphes ou topomorphes accentuant les contrastes pédoclimatiques saisonniers par rapport aux sols isohumiques ; un sol est dit vertique quand il n'a acquis que les caractères les plus rapides et n'est pas exclusivement constitué de montmorillonites mais qu'il comporte une notable proportion d'interstratifiés semi-gonflants.

(2) le lecteur peut aussi utilement consulter :
- le "Soil Taxonomy" de l'USDA (1975)
- le "Field extract of Soil Taxonomy" de l'International Soil Museum (ISM, 1980)
- la publication de ANTOINE (1976)
- la légende de la carte mondiale des sols (FAO - UNESCO, 1975)

à omnisépiques) et le potentiel du sol (teneur en argile, types de minéraux, régime hydrique) à gonfler puis à se retracter (shrinking - swelling stress) pour finalement interpréter ces profils par l'illuviation,

- MERMUT et PAPE (1971) reconnaissent, dans des alfisols de Turquie (P = 900 mm), des revêtements argileux d'altération in situ et les effets du stress ("réorientation" plasmique du type omni, skel, glae, vosépique) pour aboutir à la certitude d'une illuviation même si elle est jugée de quantification compliquée et non active en cas de recarbonatation,

- REYNDERS (1972), après avoir rappelé la proposition de MANCINI d'abandonner le terme "méditerranéen" en pédologie et revu les principaux critères de l'horizon "B argillic" (gradient d'argile de 1,2 entre A et B ou une $\neq$ de 8 % si la teneur en A est > 40 % et au moins 1 % de revêtement), fait successivement allusion à la fiabilité relative de l'analyse granulométrique, aux variations de couleur et de porosité entre l'intérieur et l'extérieur des éléments structuraux[1], à la notion de l'horizon B dynamique (assimilation à l'intérieur du plasma) de FEDOROFF (1968 a) ... pour conclure que le lessivage d'argile et les processus de "calcification" se poursuivent encore, à des profondeurs différentes et de façon non mesurable, dans des sols châtains (P = 568 mm) et rouges (P = 432 mm) isohumiques du Maroc et que ce type d'horizon est une réalité,

- VERHEYE (1972) (voir aussi VERHEYE et STOOPS, 1973), analysant les critères de classification des systèmes de l'Office de Recherches Scientifiques d'Outre-Mer (ORSTOM) et de l'USDA, réalise que les sols rouges méditerranéens à texture lourde n'entrent ni dans la classe des sols fersiallitiques, ni dans celle des alfisols, car les indices de lessivage ne sont pas suffisants pour caractériser un horizon "B argillic". Se posant la question du pourquoi et comment l'expliquer, il invoque le lessivage suivi du stress, car l'accroissement porte sur la fraction argileuse la plus fine, pour en déduire qu'il faut réaménager les indices en les adaptant à la texture des horizons superficiels

(1) LEGROS et ARGELES (1973) ont proposé le test de la contre-épreuve qui consiste, après avoir gratté la surface d'un agrégat avec la pointe d'un couteau et fait changé sa couleur, de vérifier qu'on ne revienne pas à l'aspect antérieur en lissant avec le plat de la lame.

- OSMAN et ESWARAN (1973) observent que ces particules les plus fines (qui migreraient) sont des argiles du type de la montmorillonite, responsables des propriétés vertiques des sols rouges méditerranéens,

- GUERRA et ses nombreux collaborateurs (1972) estiment, par contre, que la formation de l'horizon Bt des sols rouges d'Espagne résulte d'une argilisation par altération chimique faible sans illuviation,

- enfin, CALLOT (1972) parle de sol rouge lessivé allochtone, ARNAL (1972) décrit un B_3t qui descend jusqu'à 10 m de profondeur, BRESSON (1973) compare un sol rouge d'Algérie ("poly-argillic") à un sol rouge lessivé holocène de climat tempéré humide pour être tenté d'y voir les mêmes processus, mais datés du Pléistocène.

C'est dans ce contexte que VERHEYE (1973 a, b, 1974), comparant des toposéquences sur calcaire marneux et sur calcaire dur au Liban Sud, suppose une évolution possible d'un "Rendollic Xerochrept" vers un "Rendollic Haploxeralf" en passant par certaines étapes (Fig. 8) et estime, en minimisant le caractère lithomorphique, que la plupart des sols du bassin méditerranéen ont atteint un *équilibre avec les conditions d'environnement actuel* qui tendent vers le profil du type "Rhodoxeralf" quand elles sont optima (milieu bien drainé et stable). A cette occasion, il signale la néoformation de kaolinite dans le milieu racinaire en stipulant qu'elle a dû être plus importante dans le passé qu'actuellement et il termine son étude par un chapitre d'intérêt pratique en abordant les principes de l'évaluation et du classement paramétrique des terres.

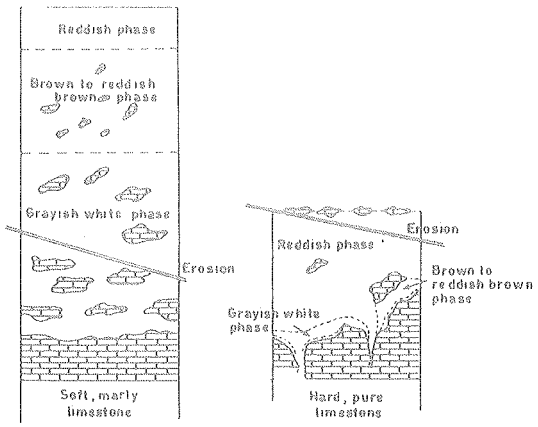


FIG. 8 :

Représentation schématique des tendances de l'évolution sur calcaires en milieu méditerranéen d'après VERHEYE (1973)

3.3.3. TERRES NOIRES[1]

1° TIRS ET TOPOSEQUENCE

En deux articles (1965 a, b), WILBERT résume les connaissances sur les tirs et les sols tirsifiés du Maroc et constate que leur répartition dépend :

- du climat dans une fourchette pluviométrique comprise entre 250 et 800 mm recoupant les étages bioclimatiques d'EMBERGER (cf. 5.1.1.) de l'aride au subhumide et en fonction, semble-t-il, de la température moyenne du mois le plus froid comprise entre 3° et 7° C,

- de la roche-mère qui doit fournir du calcium et pas spécialement du calcaire et présenter une fraction argileuse suffisamment importante et riche en minéraux gonflants responsables d'*une endohydromorphie*,

- de la topographie qui détermine les tendances vers le bon ou le mauvais drainage et de citer différentes caténas du sol tirsifié vers :
  - les sols calcarimorphes (bruns calcaires) et même rendziniformes,
  - les sols isohumiques en passant par les sols châtains tirsifiés,
  - les sols hydromorphes.

Il précise aussi ses conceptions d'optimum de la tirsification (cf. 2.3.1.3°) en considérant qu'il varie en fonction des régions et qu'un nouvel optimum de profil se développe à la suite du défrichement et de la mise en culture.

2° DES PROCESSUS RAPIDES

Par rapport aux processus lents développés précédemment, RUELLAN (1967) classe l'évolution et *la répartition de la matière organique, la salinisation et l'alcalinisation, la vertisolisation et certaines autres*

(1) le lecteur peut aussi consulter utilement la synthèse de DUDAL (1967) sur les sols argileux foncés des régions tropicales et subtropicales dans laquelle, il déplore la profusion des noms locaux tel que celui de tirs.

formes de l'hydromorphie dans les processus rapides azonaux et réversibles qui peuvent former des sols en quelques centaines d'années voire dizaines d'années seulement. Il souligne que les sols marqués par ces processus sont très généralement des sols jeunes dont l'étude ne peut que renseigner sur l'évolution tout à fait récente des conditions locales, car s'il est pratiquement certain que ces sols se sont formés tout au cours du Pléistocène, ils ont été au fur et à mesure détruits et on n'en retrouve aujourd'hui que de rares vestiges discutables. De même, étant donné l'action de l'homme sur le couvert végétal, il considère que l'utilisation du profil organique des sols pour interpréter les conditions du milieu au cours du temps, même les plus récentes, est particulièrement dangereuse et qu'*il faut entreprendre l'étude approfondie des éléments composant cette matière organique*.

3° TOPOMORPHIE ET LITHOMORPHIE, MONTMORILLONITES MAGNESIENNES ET FERRIFERES

Dans l'introduction de leur note, TRAUTH, PAQUET, LUCAS et MILLOT (1967) rappellent qu'AUBERT (1965) distingue deux grandes sous-classes de vertisols :

- *les vertisols topomorphes* dont l'évolution sans drainage externe provoque l'abondance des ions alcalino-terreux et la stabilité de la montmorillonite,

- *les vertisols lithomorphes* dont l'évolution avec drainage externe est réglée par les roches-mères calco-magnésiennes.

Ensuite, après avoir rappelé que l'origine de la montmorillonite est difficile à établir dans les vertisols topomorphes parce que souvent développés sur des alluvions montmorillonitiques, ils montrent à partir de trois exemples décrits dans la zone subtropicale soudano-sahélienne que :

- l'altération qui donne naissance aux vertisols lithomorphes débute par l'hydrolyse totale des silicates de la roche-mère mais que les ions libérés se réorganisent pour néoformer une *montmorillonite ferrifère*,

- cette mise en réserve du fer peut être éphémère si l'hydrolyse reprend,

- si les grandes plaines vertisoliques à montmorillonite sont reprises par l'érosion à la faveur d'un changement de niveau de base, les montmorillonites ferrifères vont venir alimenter les bassins sédimentaires d'aval,

- on peut alors distinguer dans les séries sédimentaires, les montmorillonites ferrifères héritées des vertisols des basses plaines subtropicales et les *montmorillonites magnésiennes* néoformées dans les bassins à sédimentation chimique basique,

- si de telles montmorillonites ferrifères pénètrent dans un bassin confiné, la fixation de l'ion K est aisée, préférentielle et irréversible formant vraisemblablement des illites ferrifères.

4° LES DIFFICULTES ET LES PIEGES DE L'INTERPRETATION

Dans son étude des vertisols en Haute Volta, KALOGA (1966) considère qu'une des principales difficultés de la classification provient des phénomènes de recouvrement qui sont fréquents dans la région étudiée et que le problème qui se pose alors est celui de *savoir si l'on classe d'abord les recouvrements ou le matériau couvert*. Pour sa part, il choisit la seconde solution en justifiant que les argiles vertiques, mêmes recouvertes, ont une très grande influence sur la pédogenèse des recouvrements et qu'il faut donc adopter une limite artificielle pour éviter la multiplication des groupes et des sous-groupes, car tous les stades intermédiaires entre le vertisol typique et le vertisol à fort recouvrement sont représentés. A cette occasion, il constate avec étonnement que, dans les sols à pH voisin de 7 et à engorgement prononcé, le rapport fer libre sur fer total est très élevé. C'est pourquoi, il émet les deux hypothèses suivantes :

- la protection du fer par des agents complexants (acides humiques, anions organiques, silice),

- *la libération du fer compris dans le réseau cristallin des nontronites*[1]

(1) nontronites (ROSS, cité par KALOGA, 1966) : terme qui désigne des minéraux ferrifères qui peuvent aller de la montmorillonite à un stade où Fe^{3+}, constituant dominant, occupe les positions octaédriques dans le réseau cristallin.

par les réactifs employés,

pour démontrer la seconde et en déduire que le rapport fer libre sur fer total ne traduit pas ici la dynamique du fer. Ne pouvant toutefois expliquer de la même manière le fait que, à quantité presque identique de fer total, ce rapport soit inférieur dans les sols rouges du Nord Cameroun qu'il compare à des sols bruns eutrophes vertiques de Haute Volta, il pense (1970) que *certains oxydes ou hydroxydes de fer ne sont pas attaqués* dans le premier lot d'échantillons.

Le même auteur, avec THOMANN (1971), constate aussi que dans les sols bruns eutrophes, les variations du rapport C/N suivent exactement et dans le même sens celles du rapport des acides humiques liés au calcium sur les acides humiques totaux. Il en déduit que le *rapport C/N exprime bien le degré de décomposition de la matière organique mais que cette relation est proportionnelle au lieu d'être inversément proportionnelle* comme on l'admet communément.

3.4. COMMENTAIRES

Comme BOULAINE l'avait pressenti, cette nouvelle génération de travaux est marquée par l'audience de l'approche pédologique qui trouve son essor dans la cartographie des sols et qui essaie d'établir, par sa classification, une motivation réciproque entre *le besoin de proposer un système pratique et le désir de comprendre les processus*. Malheureusement, force est de constater que la seconde proposition est dominée par la première et que la tendance, comme l'avait déjà souligné DURAND, est parfois à *sacrifier les observations au raisonnement d'un modèle unique ;* le souhait de codification exprimé par FOURNET au détriment de l'explication et le choix opéré par KALOGA de classer des matériaux couverts sont explicites à ce sujet. De même, il nous est difficile d'adopter la proposition, apparemment objective du K horizon dès l'instant où GILE, PETERSON et GROSSMAN en formalisent l'usage (symboles classiques placés entre

parenthèses pour les subdivisions). Ce qui ne signifie nullement que nous contestons la validité de leur interprétation d'une origine éolienne assortie d'illuviation, car :

- ceux-ci n'y voient que des processus quasi-superficiels pour les formations épaisses,

- COQUE et JAUZEIN ont attiré l'attention sur la grande variabilité régionale des faciès,

mais, nous sommes évidemment réservé sur leur généralité.

Dès lors, face aux difficultés rencontrées par SEGHAL et STOOPS pour exprimer symboliquement leurs observations, on comprend le succès rencontré par la synthèse de RUELLAN qui aboutit à la généralisation latente de l'horizon B_{Ca} et du système apparemment logique du profil calcaire différencié. Pourtant, dans ce domaine géographique aux caractéristiques beaucoup plus proches de celles du plateau de la Taourga, il nous semble qu'il faille admettre de nombreuses suppositions pour suivre cet auteur dans sa démonstration fort exclusive qui, toutes précautions périphrasées du texte mises à part, défend le concept de la différenciation lente et continue des accumulations calcaires par lessivage vertical ou oblique dans les sols en équilibre avec les conditions climatiques actuelles ; suppositions d'autant plus contraignantes que, dans la forme, le lecteur subit d'entrée le conditionnement de cette hypothèse.

C'est pourquoi, bien que l'approche géochimique s'avère prometteuse par son aptitude à cerner certaines relations entre les milieux en accordant une juste place à l'étude de la fraction argileuse telle que l'a conseillé SCHOEN, c'est avec tout autant de circonspection qu'il faut accueillir l'interprétation pédologique qui est faite de l'attapulgite par MILLOT, PAQUET et RUELLAN puisqu'elle repose, en effet, sur une interprétation des accumulations calcaires qui est loin de représenter toutes les tendances exprimées jusqu'alors ; interprétation à laquelle CONRAD n'a pas manqué d'expliciter sobrement mais clairement son opposition pendant que les avis divergent,

aussi, sur la résistance de ce minéral à l'altération ou qu'on en récupère l'expression par le recours au microscope électronique à balayage (MEB) sur d'autres matériaux et dans d'autres conditions (ESWARAN et BARZANJI, 1973).

Cependant, s'il est vrai que les mots cachent souvent notre ignorance, l'évolution de la terminologie pédologique, en proposant de remplacer certaines expressions par d'autres : tirs par vertisol (conformément aux voeux de HESS et SCHOEN, 1969) et sol rouge méditerranéen par sol fersiallitique, souligne les progrès réalisés dans la connaissance intime de certains processus qui peuvent être enchaînés de la façon suivante :

- en milieux lixiviés (et lessivants) : érosion (plus rapide sur roche tendre que sur roche dure), décarbonatation (plus poussée sur roche dure que sur roche tendre), fersiallitisation, rubéfaction (sur roche non-calcaire ou sur roche calcaire en voie de décarbonatation) et brunification pré(altération) ou post (isohumique ?) phase rubéfiante,

- en milieux confinés : agradation (néoformation) de minéraux argileux accompagnée d'une complexation organo-minérale poussée.

Schéma qui suggère d'étudier la fraction argileuse, la dynamique du fer aussi bien des terres noires que des terres rouges, les structures de la matière organique aussi bien des terres rouges que des terres noires et l'organisation micromorphologique ; mais qui pose aussi le problème du choix des méthodes ou des critères d'interprétation s'il faut en juger par les résultats peu différenciés de BOTTNER, les formulations continuellement adaptées de KALOGA et les commentaires, presqu'unanimement tirés des observations en lames minces, sur l'importance quantitative du lessivage (par définition) dans les alfisols. Dernier point étonnant quand on sait que BREWER (1968, 1972) avec SLEEMAN (1969) a personnellement insisté sur le fait qu'il ne s'agissait pas d'un outil magique et que, si la teneur et la distribution de l'argile illuviale peuvent constituer des caractéristiques utiles pour la classification génétique des profils, d'autres processus, tels que ceux d'une altération différentielle entre les horizons ou de sédimentations différentes, doivent être invoqués, dans certains cas, pour expliquer les variations texturales. D'où nous comprenons également l'embarras des auteurs comme MUECHER, CARBALLAS,

GUITIAN OJEA, JUNGERIUS, KROONENBERG et VILLAR (1972) qui en viennent à proposer un parallélisme de sigles pour détailler un même profil jugé polygénétique : exemple d'un horizon IV B K_2.

En conséquence, ces problèmes montrent, à suffisance, que l'étude des formations meubles colorées demeure tout aussi confuse que celle des accumulations calcaires et relève souvent encore du même état d'esprit ; celui de rechercher ou de privilégier, dans les conclusions, le plus petit commun dénominateur d'une explication originale à tendance verticaliste et actualiste, plutôt que de réaliser ou de rappeler la somme algébrique des différentes composantes de l'écosystème. Néanmoins, il est heureux de constater que la notion de séquence ait définitivement supplanté celle du profil isolé et permis, de la sorte, de moduler un certain nombre de processus, notamment avec LAMOUROUX, même si leur intégration dans le temps est discutable par endroit et ne souffre certainement pas une extrapolation aveugle.

Assez paradoxalement, les conceptions sur le Quaternaire ne semblent pas tant prêter à discussion étant donné que personne ne conteste :

- la valeur d'un mouvement cyclique qui aurait toujours entretenu les contrastes climatiques entre les différents compartiments géographiques reconnus actuellement et dont les périodes, en s'atténuant auraient déterminé un climat toujours plus subtropical,

- l'existence de phases, au sein d'un cycle, diversément propice à l'alluvionnement ou au creusement et d'un déphasage amont-aval dans les grands bassins hydrographiques ;

et pourtant, cette impression d'unanimité n'est qu'apparente, car chacun reste parfaitement libre d'attribuer l'amplitude ou l'intensité qu'il souhaite aux différents événements. Aussi, la controverse se répercute ou plutôt naît précisément ici, entre ceux qui conservent leur fidélité à une certaine repétitivité des processus sédimentogénétiques, morphogénétiques et pédogénétiques, c'est-à-dire à la notion d'un optimum (catapluvial), ou d'optima climatiques (préglaciation-déglaciation) pour expliquer l'amorce d'épisodes carbonatés et

ceux qui penchent pour une linéarité amorcée de longue date en faveur de la pédogenèse, c'est-à-dire qui rejettent catégoriquement toute valeur paléoclimatique des accumulations calcaires, en étant apparemment servis par des résultats expérimentaux très différents. Mais actuellement, de faibles différences dans la pluviométrie (quantité ou répartition) et/ou dans la moyenne des minima du mois le plus froid (± 2 degrés) ne suffisent-elles pas à caractériser les étages bioclimatiques méditerranéens (cf. 5.1.1.) et de ce fait, ne peut-on valablement envisager qu'un même ensemble paysagique ait chronologiquement enregistré de pareilles variations ?

Corrélativement, l'échelle chronostratigraphique du Quaternaire continental est tantôt ressentie (Algérie), comme une proposition commode dans ses grandes lignes et bien connue par tous pour désigner des positions relatives dans un étagement, tantôt critiquée (Maroc) pour ses confusions éponymiques et ses interprétations morphogénétiques discutables (BEAUDET, 1969) ; pendant que dans les faits, la situation se traduit par des descriptions qui laissent perplexes ou par des subdivisions anarchiques du Soltanien (terminal, fini, post-Würm) et du Rharbien (ancien, récent, historique, actuel). De sorte que les arguments de la datation absolue et de la palynologie semblent séduisants et prometteurs dans ce domaine des reconstitutions paléogéographiques en même temps qu'il apparaît clairement que le choix parcimonieux des échantillons dans l'environnement oblige à un raisonnement plus étoffé.

Enfin, il n'est pas surprenant, dans ce contexte, que GAUCHER (1960, 1974 a) ait jugé utile de rédiger plusieurs plaidoyers pour la pédologie agricole afin de courcircuiter la recherche obsessionnelle d'un modèle théorique qui empêche nombre de chercheurs d'exprimer simplement les véritables éléments d'intérêt pratique et sinon de concevoir du moins d'appliquer une méthodologie qui intègre les différents niveaux de perception ; de même que TRICART (cf. 6.1.) ait préconisé le concept du bilan morphopédologique, bien compris dans le cadre de l'aménagement mais diversement traduit en termes pédogénétiques par RAUNET et THIBOUT.

CHAPITRE 4

L'appel à la pluridisciplinarité du colloque de Strasbourg (1975-1983)

CHAPITRE 4 :

L'APPEL A LA PLURIDISCIPLINARITE DU COLLOQUE DE STRASBOURG (1975 - 1983)

4.1. GENERALITÉS SUR LA CONNAISSANCE DU QUATERNAIRE CONTINENTAL (1)

4.1.1. DE NOMBREUSES REMISES EN QUESTION, UNE COUPE CLASSIQUE

Au cours de ses travaux de géomorphologie dans les Aurès (280 km SE du plateau de la Taourga), BALLAIS (1981, 1982) estime ou observe que :

- la phase de tectogenèse du Plio-Quaternaire, de par sa non instantanéité, a probablement porté jusqu'au Quaternaire moyen,

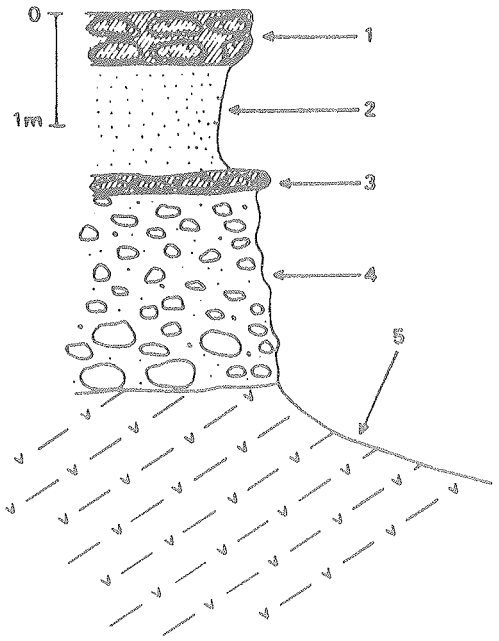
- une différenciation climatique importante s'est accusée entre les piedmonts Nord et Sud du massif depuis le Quaternaire moyen ; ce qui confirme les observations de COQUE et JAUZEIN (cf. 3.1.2.) sur la répartition géographique des croûtes calcaires ou gypseuses et sur le développement des phénomènes éoliens marquant la tendance générale à l'aridification,

- sur le piedmont Sud, contrairement à ce qui est admis, les sables comme les poussières, au cours du Quaternaire supérieur, se sont toujours déplacés du Nord vers le Sud, c'est-à-dire de la zone subdésertique du Hodna vers le Sahara ; *tendance qui remet en question le sens à donner à la désertification et au "barrage vert"*,

(1) le lecteur peut consulter utilement la synthèse de HERVIEU (1975)

- sur le piedmont Nord, les glacis (au nombre de cinq) sont dominés par le plus ancien (à couverture complexe et nettement déformé à proximité des reliefs) suivi de très loin par le III et sont, pour certains, recouverts de croûtes calcaires bien caractérisées (encroûtement saumon d'origine palu-lacustre sur le niveau VI, croûte feuilletée sur le niveau III et croûte zonée d'origine éolienne sur les niveaux VI, V, IV).

A cette occasion d'ailleurs, il lève une coupe (Fig. 9 a) représentative des paysages d'Afrique du Nord et plus spécialement du faciès classique de la croûte saumon à Hélicidés du Moulouyen dont il transmet des échantillons au pétrographe ; technique et exemple sur lesquels nous reviendrons (Fig. 9 b).



1 = dalle de croûte saumon formée de miches cassées et ressoudées par des pellicules de croûte zonée

2 = limons rouges (7.5 YR 7/6) à Hélicidés, tuffeux, à feuillets de calcaire au sommet

3 = croûte type saumon

4 = couverture du glacis formée de galets roulés et de gros blocs à la base, dans une matrice jaune, épaisseur : 2 à 4 m.

5 = argiles gypseuses miocènes

Fig. 9 a : Formations qui sous-tendent le glacis moulouyen des auteurs dans la coupe de la Draa Tamoudjret (piedmont Nord des Aurès) d'après BALLAIS (1981)

Etude d'ensemble qui lui fait conclure que :

- l'évolution morphodynamique quaternaire a été régie par trois facteurs que sont les variations climatiques, la néotectonique et les sociétés humaines,

- les arguments géomorphologiques, sédimentologiques ou climatiques paraissent discutables, pris isolément mais constituent, une fois regroupés, *un ensemble cohérent*,

- les problèmes chronologiques du Quaternaire s'articulent, en l'état actuel des choses, autour de trois types de référence : la chronologie marocaine, la chronologie préhistorique (très intéressante étude sur l'altération - cacholong, cortex d'oxydes métalliques et encroûtements - l'action du gel et l'éolisation des outils) et la chronologie absolue ; les paléoflores et surtout les paléofaunes restant trop réduites pour être utilisables,

- sur des bases géodynamiques, préhistoriques et paléontologiques, *il n'y aurait plus lieu d'utiliser le terme du Villafranchien dans le sens défini au Congrès de Londres* de 1948 (cf. 2.1.2. - infra et 5.6.3.2°) (1),

- le *schéma marocain, après avoir été très fructueux, est devenu sclérosant* (2) car il inhibe les études précises, privilégie abusivement les faciès dans le domaine continental où *les conditions régionales prédominent* et ne permet pas de nommer les dépôts des phases arides,

- les croûtes ne constituent pas un bon matériau pour les datations au ^{14}C, tout spécialement quand elles affleurent c'est-à-dire quand elles sont soumises à des dissolutions et recristallisations,

- un climat plus humide ne signifie pas obligatoirement un total pluviométrique annuel très supérieur mais une répartition saisonnière plus équilibrée des précipitations.

---

(1) cet avis est partagé par SUC (1982) qui y ajoute l'argument palynologique.

(2) c'est aussi l'avis de COQUE (1979) qui, de plus, fait allusion aux acquisitions récentes sur la dynamique actuelle du climat saharien pour souligner l'importance de la circulation méridienne dans la différenciation de la géomorphogenèse depuis la côte atlantique.

4.1.2. DES PROPOSITIONS DE REVISIONS CHRONOSTRATIGRAPHIQUES APPLIQUEES AU QUATERNAIRE RECENT

1° POUR LE SOLTANIEN ET LE RHARBIEN

De l'étude stratigraphique d'une falaise située au Nord d'Agadir, SABELBERG (1977) rejette catégoriquement ce qu'il appelle *"l'hypothèse pluviale classique"* et décompose le Quaternaire récent en quatre sous-cycles soltaniens et deux sous-cycles rharbiens qui ont théoriquement en commun de commencer par une phase de pédogenèse, pour suivre par une phase de remaniement ou de transport fluviatile et de s'achever par une phase éolienne. Ainsi, en opposition avec l'attribution soltanienne des auteurs, *il associe le limon rouge supérieur au Rharbien inférieur* en estimant le début de sa formation à 12.500 B.P.

2° POUR L'HOLOCENE

Toujours pour les Aurès, BALLAIS (1976, 1981) propose *"le principe très discutable mais prudent"* de substituer le terme "Chérien" (emprunté à la description d'une coupe type caractérisée par quatre faciès successifs à Cheria-Nementchas) à celui de Rharbien (jugé inapte à différencier suffisamment les diverses séquences de l'Holocène) pour reconstituer la chronologie récente de la façon suivante :

- *limite Pléistocène - Holocène* (11.640 ± 350 ans B.P. ? sur travertins enfouis) [1],
- *pré-Chérien = Préboréal* (9.500 B.P.) = entaille du glacis II (Soltanien) = climat relativement sec,
- *Chérien I* = dépôt grossier inférieur = installation des industries capsiennes,

(1) ces références semblent bien reprises dans la figure (Fig. 10) proposée par ROGNON sous la rubrique des travaux de BALLAIS, MARRE et ROGNON, LUBELL, HASSAN, GAUTIER et BALLAIS et encore WILLIAMS.

- *Chérien II = Boréal* (6.500 B.P.) = dépôt fin majeur suivi, au Néolithique, de pédogenèse (brunification, sols vertiques de terrasses) et de dépôts palustres hydromorphes à moyenne altitude = climat plus arrosé ("pluvial"),

- *Chérien III = Atlantique* (4.500 B.P.) = entaille du dépôt fin et dépôt grossier supérieur = destruction de certaines escargotières = climat plus sec,

- p.m. = *Subboréal*

- *Chérien IV = Subatlantique* (2.270 B.P.) = dépôt fin supérieur (limono-argileux à gastéropodes) et pédogenèse, déforestation (colonisation romaine), ablation des sols (fin de la colonisation romaine), entaille des oueds (invasions à Actuel) = climat sec avec au moins une phase humide.

Propositions de 1981 qui, sous une forme un peu différente, avait suscité, en 1976, un certain nombre d'interventions dont notamment celles de :

- BEAUDET qui estimait la proposition judicieuse, car le Rharbien correspond à un faciès beaucoup plus fin, plus uniforme, plus récent et probablement plus anthropique que climatique,

- RAYNAL qui rappelait l'existence d'un Rharbien l.s. englobant toutes les phases de sédimentation post-soltanienne à partir d'une crise climatique vraie, postérieure à l'Optimum néolithique (3.500 ans B.P.),

- SARY qui s'interrogeait sur l'intérêt de proposer une nouvelle chronologie stratigraphique.

4.1.3. ORIGINE CLIMATIQUE ET/OU ANTHROPIQUE DE L'EROSION ACTUELLE

Dans le bassin versant de l'oued Djelfa-Malah (150 km S du plateau de la Taourga), TRAYSSAC (1980) considère que la crise d'érosion actuel-

le commencée après le Soltanien 1 s'inscrit dans le cadre d'une évolution du climat vers un interpluvial, brièvement interrompue par les pulsations du Soltanien 2 et du Rharbien, mais accélérée par la destruction anthropique parfois très récente (moins d'un siècle) des couvertures végétales ; le recul de l'arbre étant attesté dans sa position limite de l'aride supérieur ou dans les groupements ripicoles[1] de l'aride moyen. Cependant, il conclut qu'en dehors des bad lands, la situation n'est pas irréversible pour autant que les populations pastorales soient associées à l'effort de reboisement.

Le ton est plus catégorique chez BALLAIS (1981) dont les recherches semblent indiquer que, même si les variations climatiques depuis le Néolithique sont indéniables, c'est l'activité agricole et pastorale des groupes humains qui constitue, depuis plus de 2.000 ans, le moteur décisif de la morphogenèse et de citer de nombreux auteurs qui incriminent *la colonisation agraire romaine et non son abandon, la colonisation française et la récente augmentation démographique*.

Mais, de l'autre côté de la Méditerranée, JORDA et VAUDOUR (1980) attirent l'attention sur le fait que les comportements humains ont souvent été marqués par des conditions naturelles et que, dans certains cas, *un type de gestion économique a permis de contrôler efficacement l'évolution morphodynamique de l'espace occupé* ; pour donner l'exemple de la gestion conservatrice des Romains qui a ralenti ou atténué les processus érosifs sur les versants.

4.1.4. LES ARGUMENTS DU ^{14}C ET DE L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE

1° UN INVENTAIRE RECENT

En une figure (Fig. 10) et quelques pages, ROGNON (1979) dresse un inventaire presque complet des datations disponibles en Afrique du Nord et brosse, à titre d'hypothèse, *un essai paléomorphoclimatique des 40 derniers*

(1) ripicole : qui vit sur les rives des cours d'eau.

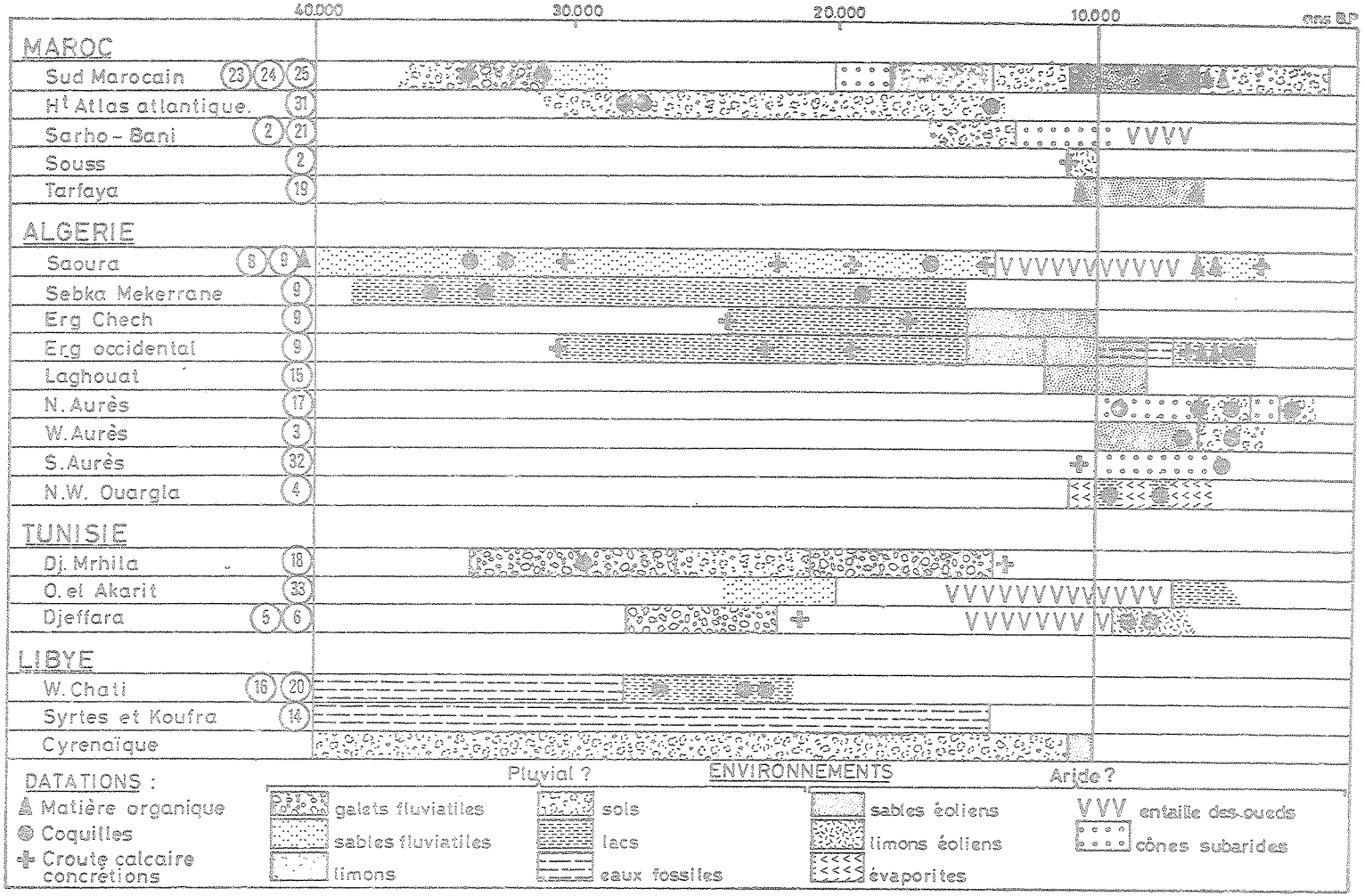


FIG. 10 : Datations radiométriques et données sur les environnements d'après ROGNON (1979) :

3 = données de BALLAIS, MARRE et ROGNON

5, 6 et 18 = données de MOLLE et BROSCHE

9 = données de CONRAD

17 = données de LUBELL, HASSAN, GAUTIER et BALLAIS

19 = données de ORTLIEB

23, 24 et 25 = données de ROHDENBURG et SABELBERG

31 = données de WEISROCK et ROGNON

32 = données de WILLIAMS

millénaires en s'appuyant sur les données de la bibliographie dont il faut retenir que :

- CONRAD (1969) a insisté, pour la Saoura (Algérie) sur le *caractère pluvial* de la période comprise entre 34.000 et 14.000 ans B.P.,

- WEISROCK et ROGNON interprètent comme *l'indice d'une phase de biostasie* sous un climat humide et moins agressif, les alluvions et les colluvions limoneuses roses qui se sont déposées sur la façade atlantique du Haut Atlas, entre 28.000 et 14.000 ans B.P.,

- ROHDENBURG et SABELBERG, toujours au Maroc atlantique, voient plutôt une phase de pédogenèse vers 34.000 ans B.P. suivie d'une *phase d'érosion des sols jusqu'à 15.000 ans B.P.* où la pédogenèse a pu reprendre,

- MOLLE et BROSCHE suggèrent, dans la Dorsale tunisienne, *une importante activité géomorphologique* autour de 30.000 ans B.P. et de 21.000 à 14.000 ans B.P. *interrompue par une période de stabilisation* de 26.000 à 21.000 ans B.P.,

- plusieurs auteurs, dont ORTLIEB, signalent *une évolution vers l'aridité* et une forte activité éolienne au Tardiglaciaire - Holocène inférieur,

- LUBELL, HASSAN, GAUTIER et BALLAIS précisent la chronologie de la courte période humide dite "néolithique" qui semble s'affirmer vers 6.000 ans B.P. (revoir la proposition chronologique de BALLAIS) (1)

Et ROGNON conclut que : *"les travaux récents montrent de plus en plus nettement la complexité de cette période würmienne ; variations dans l'intensité de ce pluvial à la fois dans le temps et probablement selon les régions mais aussi*

(1) il est intéressant de noter, pour situer nos mesures personnelles (cf. 9.2) le contexte dans lequel BALLAIS, avec le concours de FONTES, a obtenu une datation de 4.830 ± 120 ans B.P. sur Helix : un sol noir fossilisé par 1 à 2 m de limons bruns ruisselés, puis par une pellicule superficielle de 20 cm de cailloux descendus des versants et tronquant plus ou moins les paléosols.

diversités des réponses et des environnements. Mais aucune conclusion valable ne pourra être obtenue sans une étude approfondie, à l'aide de dizaines de datations ^{14}C, sur deux ou trois secteurs clés de ce piedmont" (bordure Nord du Sahara).

Toutefois, complétons cette synthèse en rappelant les travaux ou réflexions de :

- DELIBRIAS, ROGNON et WEISROCK (1976) qui, outre la phase de biostasie précitée (28.000 - 14.000 ans B.P.), avaient reconnu des *limons rubéfiés diversement encroûtés du Soltanien 1* (⩾ 40.000 ans sur coquilles de bivalves) et des *limons rubéfiés par héritage mais non encroûtés du Rharbien classique* (4.950 ± 120 ans B.P. sur Helix),

- ALIMEN (1976) qui, reprenant aussi les données de CONRAD, résume les périodes de dépôts fluviatiles de la Saoura (> 40.000 à 15.000 ans B.P., ± 8.500 à ± 4.000 ans B.P.) et de *dépôts lacustres = maximum du pluvial* (30.000 à 19.800 ans B.P., 6.310 à 4.170 ans B.P.),

- POUGET (1980) qui, en se référant aux données de DELIBRIAS et DUTIL (1966), pour y inscrire une datation (8.595 ± 165 ans B.P. sur petits mollusques proches des Melania) estime confirmer, sur les Hauts Plateaux algériens, l'existence quelque peu contradictoire *d'une grande période lacustre soltano-rharbienne* qui aurait précédé la récurrence humide du Rharbien ; la genèse des sols hydromorphes ne correspondant plus à la situation topographique actuelle.

2° L'HISTOIRE HOLOCENE DE LA VEGETATION DU RIF

De l'étude pollinique, étayée par dix datations, de huit sites tourbeux situés dans quatre massifs montagneux du Maroc septentrional, REILLE (s.d. mais post 1975) note que :

- *au Boréal*, la cédraie règne en maître, les Quercus à feuillage caduc sont rares,

- *à l'Atlantique*, un réchauffement du climat inverse ces rapports,

- *au Subboréal*, une péjoration climatique est à l'origine d'une nouvelle extension de la cédraie alors qu'apparaissent *les premiers signes d'une activité agricole* (céréales accompagnées de plantes rudérales) et le début de l'extension des Quercus à feuillage persistant,

- *au Subatlantique*, la cédraie est réduite par l'exploitation phénicienne et romaine qui favorise le Quercus à feuillage persistant mais avec une reprise des Quercus à feuillage caduc dès que la pression anthropique cesse entre la période romaine et la période arabe ; ensuite, les déforestations marquées par l'explosion d'Erica arborea et *le regain de la culture d'Oléa* n'ont cessé de s'accentuer au point d'effacer toute idée actuelle du climax forestier de ces montagnes quelques siècles auparavant.

4.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES (1)

4.2.1. L'APPROCHE GEOMORPHOLOGIQUE

Dans deux coupes situées sur le piedmont subaride des Monts anticlinaux du Hodna, pour lesquelles nous relevons l'éventualité d'un phénomène de blocage de nappe par barrage naturel et la description d'une croûte qui cimente des blocs délités en 2 ou 3 éléments dont la forme originelle est conservée (gélifraction in situ ?), CAPOLINI et SARY (1975) remettent à l'honneur les hypothèses de GAUCHER (cf. 1.2.2.) et de DURAND (cf. 2.2.3.1°) en considérant que les accumulations massives de calcaires sont certainement liées à la présence de nappes d'eau surchargées en sels solubles (présents dans le substratum) qui ont trouvé un lieu de prédilection sur le piedmont pour déposer leur charge chimique (milieu détritique poreux, pente faible, climat plus sec et localement blocage du flux phréatique) ; on aurait ainsi *un dépôt cumulatif sédimentaire chimique qui*, par la suite, *évoluerait soit par pédogenèse* (gradient calcaire ou gypseux avec concentration en granules et nodules), *soit par ruissellement hypodermique ou de surface* (recristallisation en croûte zonée, scoriacée, feuilletée, friable).

(1) le lecteur peut aussi consulter utilement les synthèses de GOUDIE (1975) et VAN ZUIDAM (1975).

Mais VOGT (1977), en analysant la thèse de SARY (1976), y voit davantage un milieu palustre qu'hydrogéologique.

4.2.2. L'APPROCHE PEDOLOGIQUE

1° HORIZON LAMINAIRE ET CALCITE EN BATONNETS

Par le biais d'une étude sur les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algériennes, POUGET (1980) aborde la formation et l'évolution de *l'horizon laminaire* qu'il définit comme la partie centrale de l'horizon K21m de GILE (cf. 3.2.2.1°). D'emblée, constatant que *l'absence ou la présence de cet horizon conditionne le développement des racines mais aussi le régime hydrique du profil* et par là, les processus de décalcification des horizons supérieurs, il distingue deux types de profils :

- le premier à dynamique verticale et profonde caractérisé par le contact diffus avec la croûte,

- le second à dynamique latérale et sub-superficielle caractérisé précisément par le contraste brutal de l'horizon laminaire qui n'empêche cependant pas la pénétration des racines par les fissures.

De plus, observant que cet horizon :

- est d'autant plus développé que l'étage bioclimatique est de type aride supérieur ou moyen, car il se retrouve, certes différent, sur toutes les surfaces encroûtées du Quaternaire ; alors que dans l'aride inférieur, il ne caractérise pratiquement plus que le Quaternaire ancien et dans le semi-aride, le Quaternaire moyen,

- s'individualise peu à peu dans les matorrals steppisés et dans les steppes à Alfa, puis dans celles à Chamaephytes où il est favorisé par le ruissel-

lement aux ruptures de pente,

- présente, quand il est récent, de la *calcite cristallisée en bâtonnets* associables à l'activité du système racinaire,

- limite l'évolution des profils quand il apparaît sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien,

il conclut que l'évolution morphologique des sols à croûte calcaire se poursuit principalement sur les surfaces du Quaternaire moyen à récent dans les zones où la pluviosité dépasse 200 mm/an et propose le schéma (Fig. 11) *de l'enfoncement du profil par un renouvellement permanent de l'horizon A érodé aux dépens des feuillets supérieurs de la croûte qui paraît se reformer en profondeur par le processus d'épigénie* tel qu'il est présenté plus loin. Et de considérer, dès lors, que la dégradation du couvert végétal, plus particulièrement la destruction des espèces steppiques vivaces, provoque un arrêt de l'activité du système racinaire et vraisemblablement un ralentissement important de l'évolution de la croûte qui tend à devenir davantage un support pour le sol dont l'épaisseur diminue sans que le système racinaire puisse participer à l'approfondissement du profil ; autrement exprimé, *la mise en culture a rompu un système bio-géodynamique*.

2° MACROMORPHOLOGIE, MICROMORPHOLOGIE ET NANOMORPHOLOGIE

Sous climat tropical semi-aride du Brésil et par des changements d'échelles d'observation (terrain, lames minces et MEB) illustrés par de très belles photographies, RICHE, RAMBAUD et RIERA (1982) mettent en évidence différents types d'organisation et de faciès de la calcite dans un milieu "encroûté carbonaté", c'est-à-dire :

- calcaire sain R, *micrite*[1] [2] en rhomboèdres et veines de *microsparites*

(1) (micro)micrite, (micro)sparite, lublinite : termes de pétrographes qui désignent respectivement de la calcite en petits cristaux équigranulaires de quelques microns, en plus grands cristaux et en aiguilles.

(2) expression d'essence sédimentologique à laquelle WIEDER et YAALON (1982) préfèrent celle de microcalcite pour les sols, dans un ouvrage essentiellement destiné à la nodulisation

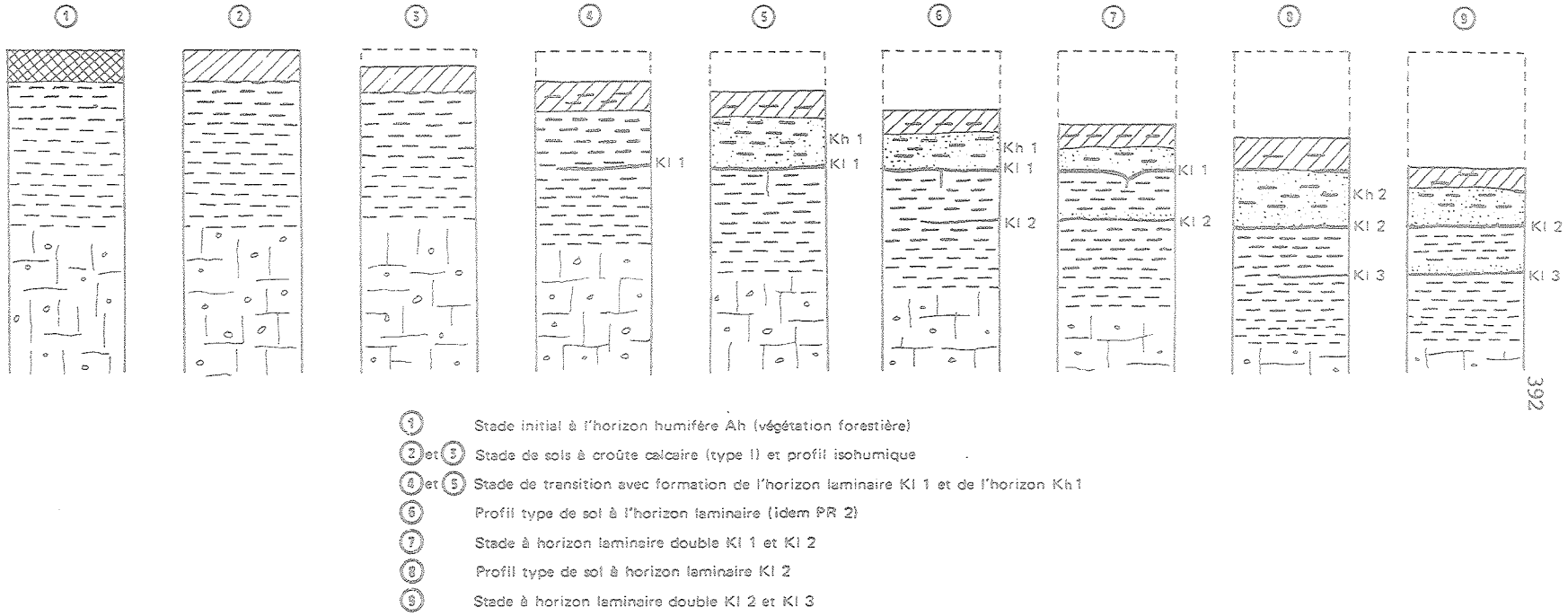


Fig. 11 : Schématisation de la formation et de l'évolution dans le temps des sols à croûte calcaire à horizon laminaire (Quaternaire moyen) sur un matériau homogène (argiles sableuses rouges du Tertiaire continental) et sous une végétation de steppe, d'après POUGET (1980)

- *altération isovolume* (fragilisation sans modification notable du volume initial)
  - friable Cca_2 : même aspect que R mais rhomboèdres disjoints et porosité de dissolution à l'interface micrite-microsparite,
  - pulvérulente Cca_1 : organisation micritique de fonte de la calcite primaire avec cristaux non jointifs,

- encroûtement calcaire :
  - massif friable Bca_3 : cristallisplasma de micromicrite rhomboédrique (0,3 à 0,8 μ) secondaire sans orientation visible englobant de la microsparite primaire, faible porosité de fissures, taches diffuses de couleur brun rouge,
  - massif peu friable Bca_2 : même aspect que Bca_3, orientation un peu plus visible, cristaux de microsparite moins nombreux,
  - rubané Bca_1 : cristallisplasma micromicritique secondaire englobant de rares cristaux de micrite primaire, forte porosité partiellement ou totalement occupée par de la *lublinite* (L = 40 à 150 μ, l = 0,5 μ) d'agradation linéraire nette sans orientation par rapport à l'environnement poral (parfois variété flexueuse) ; de quasi-cutans bien marqués autour des pores de même que les teintes brun rouge dans les pellicules rubanées,

- sol : pseudomycélium de lublinite dans la microporosité inter-agrégats de l'horizon B,

auxquels ils ajoutent encore la reconnaissance de :

- la calcite en bâtonnets (1 μ) (déjà reconnue par POUGET) qui tapisse la microporosité et la partie externe des éléments de croûte en dissolution,

- *dalle siliceuse très dure à la partie supérieure de la croûte au contact avec le sol*.

Montrant par là qu'il peut y avoir jusqu'à *trois générations de cristaux*, ces chercheurs émettent un certain nombre d'hypothèses sur l'évolution de la séquence, à savoir que :

- les faciès cristallographiques de l'altération isovolume soulignent une zone de dissolution (au niveau des veines et des pores) et de départ de carbonates sous de faibles variations annuelles des conditions hydriques ; la libération de smectite y jouant le rôle de "lubrifiant" et induisant la consistance pulvérulente au stade le plus avancé de son altération (Cca_1),

- ceux de l'encroûtement témoignent d'une réorganisation du calcaire vers une cristallisation plus fine,

- ceux de la croûte rubanée attestent d'une dissolution intense de la micrite secondaire due aux alternances dessication-humectation (saison des pluies - températures élevées) ; il s'y ajouterait, pour la calcite en bâtonnets, l'influence des composés humiques abondant au contact sol-croûte pendant la saison humide.

4.2.3. L'APPROCHE MIXTE MORPHOPEDOLOGIQUE

Après huit années de terrain dans la province de Taza et autant de laboratoire, MATHIEU (1976 et 1977 a, b) *réfute l'explication pédogénétique et l'utilisation du symbole* B_{Ca} pour interpréter et désigner les accumulations calcaires, car les propositions de RUELLAN ne s'accordent pas avec *le cadre temporospatial de l'évolution parallèle du modelé et des sols quaternaires* tel que des *études intégrées pluridisciplinaires* permettent de le faire. A son avis, il faut davantage tenir compte de la logique interne des phénomènes qui existent dans la nature et qui imposent une adaptation des méthodologies ainsi qu'une hiérarchie taxonomique des sciences (et des techniques) pour mettre en évidence leurs interférences comme l'a préconisé TRICART.
En même temps, il considère que la plupart des controverses au sujet des formations corrélatives (sols-dépôts, horizons-couches) trouvent leur origine dans les *différences de conception "à priori"* au niveau des définitions de base et dans les *nomenclatures interprétatives*. C'est pourquoi, il précise que sa démarche est celle de la *conception édaphique* qui, d'après MANIL (1959), consiste à définir la morphologie et la nature des formations superficielles constituant (plus généralement que le sol décrit par certains pédologues) les substrats des végétaux.

De ce fait, il décide d'utiliser le terme de "*formations géopédologiques*" pour les désigner sans trancher nécessairement entre les notions de sol et de dépôt, et d'employer aussi bien des critères pédologiques que sédimentologiques pour les définir puisqu'en définitive, c'est l'évolution du sol sur la croûte et l'encroûtement ainsi que les propriétés et *la dynamique récente du solum qui intéressent le pédologue agricole*. Par contre, il considère que l'étude de la genèse des accumulations calcaires relève du domaine de la "paléo-pédologie" et doit s'appuyer sur les travaux des géomorphologues, des sédimentologues et des pétrographes (avec le concours de pédologues plus soucieux de génétique ou adoptant cet état d'esprit pour la circonstance), car *la présence de croûtes zonaires ou feuilletées atteste que ces accumulations ne sont plus fonctionnelles* depuis que la forme a cessé d'être active. Il les définit donc comme des *paléosols de types azonaux* (sur les versants) *ou tout au plus intrazonaux*, à hydromorphie généralisée ou simplement profonde, permanente ou encore temporaire selon les types de formes, mais certainement pas comme des sols évolués avec des horizons humifères semblables à ceux qui surmontent actuellement ces accumulations ; la croûte servirait ainsi, soit de substrat à des dépôts d'apports latéraux postérieurs, soit de roche-mère subissant la dissolution.

Comme exemple, il étudie avec THOREZ et EK (1975) deux secteurs géomorphologiques très contrastés du point de vue climatique au Maroc et après avoir bien cadré les sites échantillonnés, il fait respectivement la part de la *pédogenèse cumulée de surface et surimposée* aux croûtes en suivant le *plan directeur d'une sorte de chromatographie très détaillée* pour ne plus seulement considérer les profils levés comme de simples superpositions d'horizons. Par ce cheminement, il montre que :

- les milieux pédogénétiques (actuels de plateau et enfouis) se marquent par :
  - la rubéfaction, la brunification, le jaunissement,
  - des enrichissements en Fe, Al, K et Mg,
  - un rapport Fe libre sur Fe total indiquant une "ferrification" associée à une aluminisation qui se traduisent au niveau des illites par exemple,
  - la mauvaise cristallinité acquise par les smectites au cours de l'histoire pédogénétique,

. la présence et le développement de la vermiculitisation dans les limons de couverture issus des produits de remaniement et de l'altération des encroûtements,

- les milieux sédimentaires, notamment de faciès régressif, se caractérisent par des illites et des smectites bien cristallisées, par un peu de chlorites, par l'absence d'attapulgites,

- les encroûtements calcaires, nés essentiellement à son avis, au cours de la sédimentation s.l., sont propices aux néoformations (attapulgite) et aux agradations (chlorite, 14C-14M, peut être 10-14M), en particulier au niveau des dalles conglomératiques ;

et de rappeler les idées de TRICART et RAYNAL en précisant qu'il lui est difficile de suivre celles de MILLOT, PAQUET et RUELLAN qui élargissent la néoformation de l'attapulgite au domaine de la pédogenèse s.s. (supposant une activité biologique interne). Ainsi, il arrive à la conclusion que *les minéraux argileux sont de bons "marqueurs"* qui réagissent de manière sensible à toutes les nuances imposées par la succession ou l'interférence des processus morphogénétiques, pédogénétiques, géochimiques et sédimentaires, à l'échelle du temps et de l'espace, comme l'influence du climat mais qu'ils doivent être intégrés dans un cadre plus étoffé d'analyses.

Dans son essai de synthèse sur le passage entre le Pléistocène supérieur (Tensiftien et Soltanien) et l'Holocène (Rharbien), MATHIEU (1979) fait le bilan entre les phases de stabilité (biostasie) et d'instabilité (rhexistasie) en pratiquant par étapes :

- *action de la morphogenèse* : ablation, troncature, accumulation, enfouissement, fossilisation suite à l'érosion,

- *altération et pédogenèse primaire* : décarbonatation relative de surface avec redistribution verticale des carbonates qui s'individualisent en profondeur sous la forme de taches ou de petits nodules, enrichissement en Fe_2O_3, K_2O et MgO totaux de même qu'en fer et alumine libres, liaison du phosphore avec le calcium ou partiellement avec le fer dans des formations plus anciennes,

- *pédogenèse s.s. induite par la végétation* : activités biologiques, incorporation de matière organique et pression de CO_2 qui favorisent la production, selon les cas, de complexes organo-minéraux, la genèse de pseudo-mycéliums, de taches ou de nodules disposés en chapelets verticaux ainsi que la stabilisation de la structure qui est grumeleuse à granulaire en surface, polyédrique en profondeur,

- *action combinée de la morphogenèse et de la pédogenèse* : accueil dans les sites, sédimentation fine, confinement (richesse en Ca et Mg), complexation de la matière organique avec les minéraux gonflants. A cette occasion, il souligne qu'il faut distinguer la matière organique incorporée in situ, de celle déjà complexée avec les argiles qui a pu être apportée latéralement dans les micro-agrégats arrachés aux horizons humifères des versants surplombant le site ; de ce fait, il pense qu'il faut distinguer les matériaux moyennement calcaires non rubéfiés des "tirs gris" et les matériaux prérubéfiés peu calcaires (moins de 10 %) des "tirs à fond rouge homogène" qui proviennent du remaniement de "sols" ou mieux d'altérites rouges formées antérieurement en amont,

- *l'influence du facteur temps et de la lithologie.*

Toutes ces observations lui permettent de proposer la reconstitution évolutive suivante :

- *une dernière phase d'encroûtement attribuée au Tensiftien*

- *une phase de stabilité* favorable à l'altération rubéfiante et à la structuration des sols (Soltanien 1 a),

- *une phase de remaniement* de matériaux, d'abord rubéfiés, puis non rubéfiés et plus carbonatés (Soltanien 1 b),

- *une phase d'alluvionnement fin* qui a subi une décarbonatation relative et une pédogenèse très noircissante (humogenèse et tirsification) supposant une nouvelle stabilité des versants (Rharbien α 1),

- *une dernière phase d'érosion*, qui a accumulé dans la plus basse terrasse, des sédiments limoneux, plus sableux, brun gris, plus carbonatés, peu modifiés par la pédogenèse (Rharbien récent α 0) dont la mise en place pourrait être attribuée à une *rupture d'équilibre naturel que l'homme n'aurait qu'accentuée au cours des périodes protohistoriques et historiques*.

4.2.4. L'APPROCHE GEOCHIMIQUE

1° LA NOTION D'EPIGENIE

A partir d'une toposéquence sur marne à attapulgite au Sénégal, NAHON, PAQUET, RUELLAN et MILLOT (1975) décrivent avec des arguments macromorphologiques, micromorphologiques (au microscope polarisant et au MEB) et minéralogiques ($CaCO_3$, attapulgite, montmorillonite), le fonctionnement de deux milieux différents :

- le premier est un *milieu de décalcitisation* avec néoformation d'attapulgite, de quartz aux formes incomplètement hexagonales et de kaolinite,

- le second est *un milieu de calcitisation* (microcristaux de calcite, cristalliplasma) intense avec disparition, par épigénie, de la majeure partie des minéraux néoformés précités.

Selon eux, ces deux milieux sont symétriques et forment un système bio-géodynamique, car :

- le premier, développé à l'amont et à la base de chaque niveau, livre au second, plus à l'aval, le calcium nécessaire aux encroûtements qui réalisent une accumulation relative croissante dans le haut des profils,

- le second livre au premier, à la verticale et vers l'aval, des solutions pauvres en calcium, mais assez riches en silice et en magnésie pour assurer les épigénies favorables à l'attapulgite, au quartz et à la dolomite ;

c'est-à-dire que *ce que le premier détruit et construit, constitue ce que le second construit et détruit*. A ce propos, ils observent que dans la zone de calcitisation, la diminution absolue de l'argile est accompagnée d'une néoformation de montmorillonite qui apparaîtrait donc comme une étape intermédiaire dans l'hydrolyse de l'attapulgite bien que vers la surface, dans la croûte calcaire, l'attapulgite domine à nouveau la montmorillonite. Reconnaissant qu'ils n'ont aucun argument pour supposer qu'il y a néoformation à ce niveau comme cela a été "démontré" ailleurs (cf. 3.2.4.1°), les auteurs considèrent qu'il est plus vraisemblable que, dans cet horizon supérieur fortement calcitisé, la montmorillonite se trouve à son tour plus instable que l'attapulgite qui retrouve des conditions de relative stabilité.

Parallèlement, NAHON et RUELLAN (1975) ajoutent une nuance en subdivisant le domaine de la décalcitisation en deux parties : celle d'une simple dissolution de la calcite en amont et celle de l'épigénie à la base des profils ; sans doute parce qu'il faut que le processus puisse s'amorcer !

2° PHYLLITISATION ET CALCITISATION

Les mêmes quatre auteurs avec TARDY (MILLOT, NAHON, PAQUET, RUELLAN et TARDY, 1977) étudient l'épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride marocain et de leurs observations, ils tirent les enseignements suivants :

- *l'attapulgite* dans les sols à encroûtements calcaires, *est un produit direct d'altération météorique*, situé entre les silicates originels et la calcitisation ; elle ne serait donc pas vraiment une paragenèse de la calcite mais naîtrait avant pour être peu à peu épigénisée en carbonates,

- la montmorillonitisation, la sériciticisation et l'attapulgitisation (pour des teneurs en silice plus fortes) sont trois modes de phyllitisation des minéraux des roches-mères et appartiennent au phénomène commun de l'altération des silicates en argiles à la surface (argilitisation ou pédogenèse commençante),

- *la calcitisation* qui s'effectue probablement à pH élevé pour pouvoir expliquer en même temps la solubilisation de l'aluminium et la silice dans le contexte étudié, *est postérieure à la phyllitisation* quand celle-ci existe, mais, après ou pendant l'attaque des domaines phyllitisés, cette calcitisation attaque directement les roches-mères pour être discordante sur l'ensemble "roche saine - roche argilisée" (altérite) tout en étant plus avancée dans les domaines phyllitisés que dans les minéraux intacts et voisins des roches-mères ; ainsi, les encroûtements calcaires tendent vers le statut monominéral,

- les règles du développement des encroûtements calcaires dans les horizons argileux du profil pédologique mises en évidence par RUELLAN (cf. 3.2.2.4°) sont généralisables mais en fonction du climat, les processus d'argilisation et de calcitisation peuvent prendre des proportions variables,

- *les encroûtements calcaires* détruits à leur sommet par une nouvelle pédogenèse, reconstruits à leur base par l'épigénie calcaire, attaquent les altérites et les roches-mères sous-jacentes et *s'enfoncent dans les paysages en constituant un outil d'ameublissement des roches* tel que POUGET l'a appliqué ; c'est seulement alors que le ruissellement façonnerait la surface des glacis en travaillant sur le matériau issu de la dissolution de l'encroûtement calcaire, c'est-à-dire sur le sol (RUELLAN, BEAUDET, NAHON, PAQUET, ROGNON et MILLOT, 1979).

Mais ils doivent admettre que si l'évidence des épigénies calcaires frappe les yeux, ils ne disposent ici ni d'observations, ni de raisonnements cohérents pour rendre compte du sort des produits d'hydrolyse.

3° UNE ANTITHESE RENOUVELEE , UNE ADAPTATION DANS LE TEMPS

Sur les Hautes Plaines du Texas qui sont caractérisées par une superposition de dépôts alluviaux pliocènes, d'une accumulation calcaire supposée d'origine pédologique et d'un sédiment éolien pléistocène de couverture, BIGHAM, JAYNES et ALLEN (1980) étudient la stabilité de la sépiolite et de la palygorskite dans les sols qui se développent sous les conditions semi-arides actuelles et qui peuvent avoir (au hasard des dépôts et de l'érosion) n'importe

quelles des formations précitées comme roche-mère. Sans vouloir discréditer les publications sur la néoformation pédologique de ces minéraux, ces auteurs aboutissent à la conclusion que, dans leur exemple, ce sont *des constituants authigènes des dépôts alluviaux et lacustres* et que, s'ils font conséquemment partie intégrante de la minéralogie des sols qui s'y sont formés, ils s'y dégradent en un produit amorphe aux rayons X et sont finalement détruits pour engendrer une smectite "discrète" quand la pédogenèse est suffisamment intense ; ce qui s'inscrit dans la philosophie de CONRAD (cf. 3.2.4.3°).

Mais ELLOY et THOMAS (1981) raniment le modèle géochimique proposé par MILLOT, PAQUET et RUELLAN (cf. 3.2.4.1°) en l'estimant applicable en Algérie Nord occidentale (oranais) à condition d'envisager une évolution non plus dans l'espace mais dans le temps, c'est-à-dire d'intégrer les phases de sédimentation. Aussi, selon eux, au départ de sédiments d'argiles remaniées et héritées de pédogenèses antérieures (illites, kaolinites), il y eut *des phases de néoformation d'attapulgite* par confinement en même temps que d'accumulations calcaires sous forme d'amas et des *phases de transformations ménagées* ne dépassant pas le stade illite-montmorillonite par évacuation d'ions. Parallèlement, ils dosent les éléments traces (Pb, Zn, Ba, Cr, V, Cu, B, Ni, Ti, Sr, Mn, U) et ils arrivent à la conclusion que la mise en place des sédiments, les évolutions des minéraux argileux et du spectre géochimique conduisent à l'élaboration d'un cadre climatique cohérent qui s'organise selon la séquence : aride, semi-aride, début de l'aride.

Par contre, s'il leur semble que le phénomène d'épigénie peut expliquer le passage progressif à un horizon sus-jacent d'accumulation continue, ils estiment aussi qu'il faut invoquer d'autres mécanismes pour passer aux niveaux indurés. Dès lors, ils proposent une très belle synthèse des principales caractéristiques, tant macroscopiques que microscopiques de ces derniers en l'illustrant d'excellentes photographies et en différenciant notamment :

- *les fragments endogènes* (formés aux dépens d'un encroûtement antérieur) *de ceux exogènes* (étrangers aux processus et au milieu de formation de l'encroûtement),

- *les nodules à nucléus allochtone et cortex autochtone de ceux entièrement allochtones*, complémentairement aux propositions de WIEDER et YAALON (cf. 3.2.2.5°)

et ils suggèrent un modèle de genèse de la croûte en dalle qui combine les phénomènes sédimentaires (apport par transport superficiel lié à l'épandage de boues ou au ruissellement de solutions et sédimentation dans des chenaux ou dépressions peu profondes plus ou moins reliées entre elles) et pédologiques au sens large (activité de microrganismes, circulations hydriques, dessication, évolution des minéraux argileux).

4.2.5. L'APPROCHE SEDIMENTOLOGIQUE

1° UN SCHEMA DE SYNTHESE TRES EXPLICITE

A l'occasion d'une mise au point, FREYTET (1975 a) présente, après dix années d'études, une séquence théorique ("virtuelle") d'un bassin à comblement fluvio-lacustre dont chaque terme, qui correspond à un milieu de dépôt différent et donc à un paysage différent, est déterminé en prenant les phénomènes pédologiques en considération *(cyclothèmes sédimento-pédogénétiques)*. Parallèlement (1975 b), il suggère de subdiviser le domaine de la biostasie en *séquence ortho-biostasique* ou véritablement pédologique et en *séquence para-biostasique* aux caractères sédimentaires plus marqués dans un schéma assez explicite dont nous nous inspirerons pour les conclusions.

Ensuite, cet auteur perfectionne son idée des cyclothèmes avec PLAZIAT (1978) par une figure (Fig. 12) *hautement synthétique* qui récapitule leurs interprétations effectuées tant dans l'Actuel que dans le Quaternaire et l'Ancien au départ de leurs observations et de la littérature.
Pour ce faire, ils distinguent les différents domaines où s'accumulent les carbonates et opposent ce qu'ils appellent de façon générale "les redistributions carbonatées" des milieux bien drainés, qui seules méritent le nom de "calcrete", à celles qui se produisent en milieu hydromorphe, fluviatile, palustre voire supralittoral (p.m.) ; c'est-à-dire à nappe aquifère oscillante se déplaçant saisonnièrement à l'intérieur du profil pédologique :

- *dans les milieux bien drainés que sont les glacis*, ils résument les théories en cours : nappe aquifère plus ou moins profonde (7), imprégnation de roches carbonatées (2) ou non carbonatées (1), croûte zonaire dont l'origine contro-

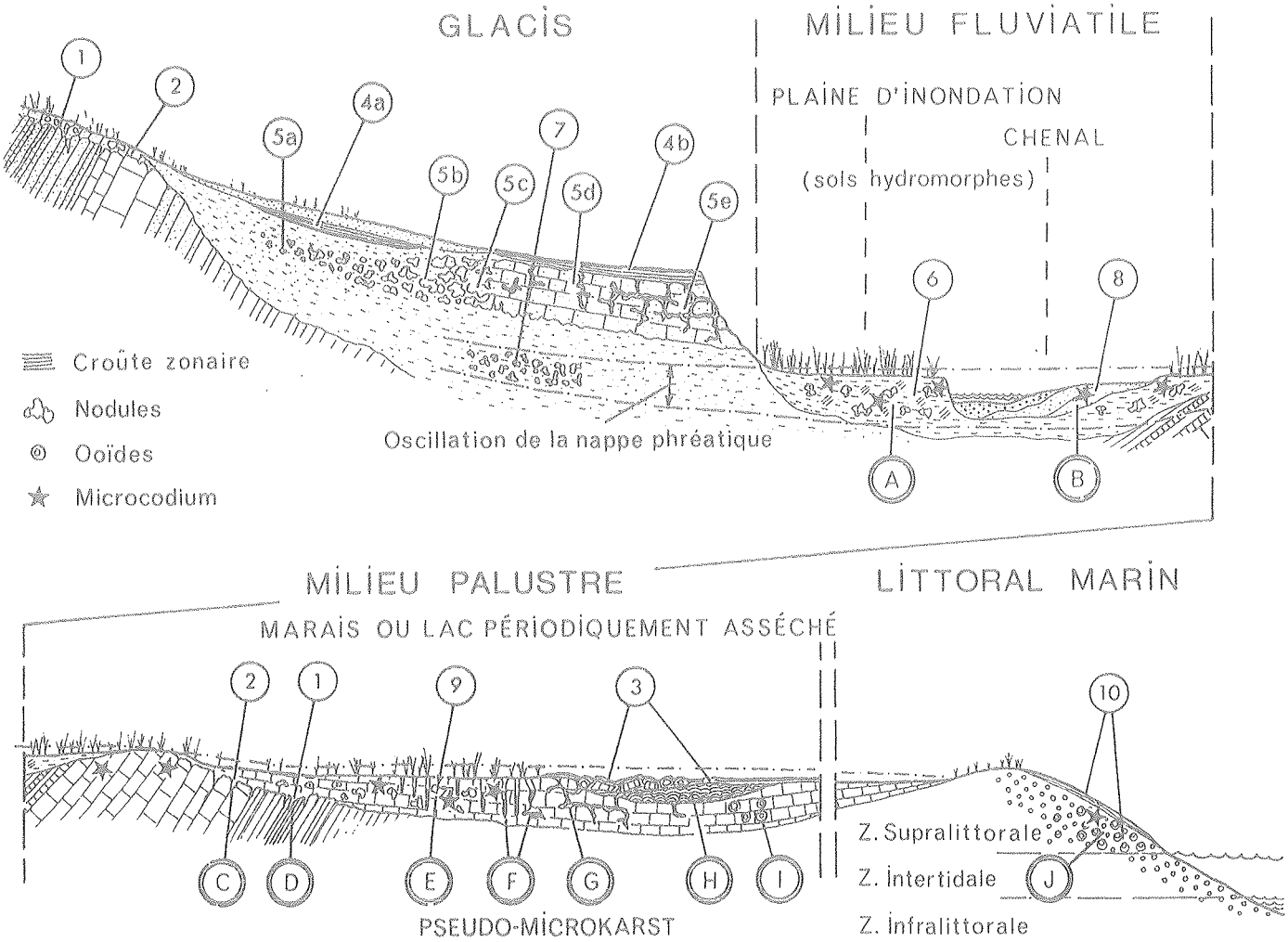


FIG. 12 : Répartition des divers types de redistributions carbonatées d'après FREYTET et PLAZIAT (1978) ; 1 à 10, cas décrits dans la littérature, A à J, cas observés et étudiés par les auteurs eux-mêmes.

versée peut être à l'air libre (4 b) ou dans le profil pédologique (4 a), nodules isolés (5 a), abondants (5 b), coalescents (5 c), croûtes de divers types, y compris à ooïdes (5 d) [1] ou altérées (5 e),

- *dans les milieux hydromorphes fluviatiles*, d'où ils excluent les calcifi-

(1) ooïde (ELLOY et THOMAS, 1981) : terme utilisé en microscopie pour désigner tous les éléments sphériques ou ellipsoïdaux à encroûtement concentrique fait de microfibres de calcite disposées tangentiellement dont la taille communément comprise entre 150 et 200 μ varie de l'oolithe à celle du pisolithe ; le stade initial semble celui d'une mésoglée suivi du développement d'un cortex et d'un éventuel nucléus.

cations d'origine biologique telles que les "stromatolithes"(1) et les cimentations diagénétiques dans les dépôts de chenaux, ils reconnaissent les dépôts de plaine d'inondation (A) qui portent des sols alluviaux hydromorphes dans lesquels, la redistribution des carbonates est plus ou moins intense (du nodule microscopique à la dalle continue) et plus rarement, des profils pédologiques à redistributions carbonatées qui affectent d'anciens sédiments de chenaux (B) ; ils considèrent également comme pédologique, la corrosion des galets calcaires par les "microcodiums"(2) ainsi que leur prolifération dans les dépôts limoneux de la plaine d'inondation fluviatile,

- *sur les dépôts lacustres immergés et dans la zone amphibie périlacustre* (sols hypercalcimorphes = calcaires palustres), ils constatent que les redistributions sont beaucoup plus diverses et complexes : horizon laminaire de filaments algaires (H) qui peuvent revêtir des fissures (G), ooïdes pédologiques par nodulisation, fissuration courbe et revêtement des éléments subsphériques isolés à partir d'un matériel lacustre émergé (I), fentes de dessication et intense nodulisation des calcaires palustres (E), faciès de pseudo-microkarst (F), discordance sur un substratum calcaire (C) ou schisteux (D).

2° PSEUDO-MICROKARST ET RHIZOCRETION

Parallèlement, ces deux mêmes auteurs (PLAZIAT et FREYTET, 1978) définissent le *"pseudo-microkarst"* (Fig. 13) comme un phénomène pédologique diagénétique très précoce qui, précédant la lithification, résulte de la fossilisation, *dans les vases lacustres calcaires*, des canaux subcylindriques

(1) stromatolithe (MENILLET, 1974) : terme de sédimentologiste qui désigne des constructions complexes liées principalement au développement de biocénoses.

(2) microcodium (BODERGAT, 1974) : terme pour désigner un système qui assure à lui seul un couple biocorrosion - biosynthèse nécessitant vraisemblablement une association d'au moins deux organismes dont les actinomycètes et qui sont en liaison étroite avec les paléosols hydromorphes et les encroûtements calcaires.

verticaux béants laissés par *la disparition des racines d'une végétation de marécage*, élargis par une circulation brutale d'eau et comblés par des particules de tailles variées ; phénomène qu'ils considèrent, sur le plan paléopédologique, comme un excellent critère d'identification des calcaires palustres correspondant à *la zone de fluctuation périphérique des lacs très peu profonds sous climat à forte évaporation*.

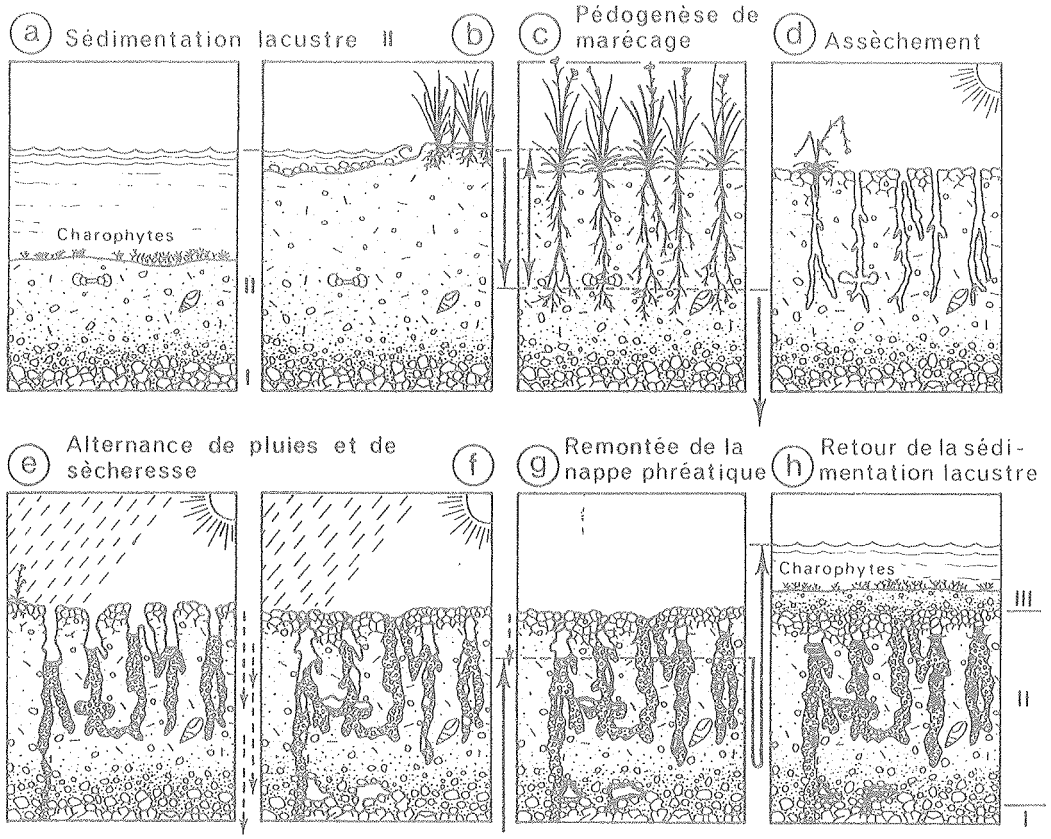


Fig. 13 : Interprétation génétique du pseudo-microkarst d'après PLAZIAT et FREYTET (1978) - flèches pleines = mouvement de la nappe aquifère ; flèches en pointillés = déplacement des grains arrachés dans la zone vadose ; I, II et III = séquences sédimento-pédogénétiques.

Pseudo-microkarst dont la structure doit correspondre aux *rhizocrétions* décrites par CALVET, POMAR et ESTEBAN (1975) qui y reconnaissent trois étapes de formation :

- pénétration mécanique de la racine,

- formation d'une enveloppe calcaire par l'interaction de plusieurs facteurs dont les principaux sont l'activité des microrganismes, les effets des acides organiques et l'évapotranspiration de la plante,

- l'infiltration minérale centripète des racines mortes,

et notent que de remarquables similitudes lithologiques et génétiques existent entre le profil vertical d'un caliche et la section horizontale des rhizocrétions.

3° L'OUTIL PETROGRAPHIQUE

Dans l'état d'esprit d'une note que VOGT et MAROCKE (1973) avaient ainsi conclue : *"dans le domaine des croûtes calcaires, les dix dernières années ont été marquées par des interprétations un peu trop exclusivement pédologiques et géochimiques dues peut-être, en partie, au développement des techniques d'analyses chimiques et minéralogiques ; une étude systématique des croûtes calcaires, du point de vue pétrographique et tenant compte du contexte géomorphologique, semble pouvoir apporter de nouveaux éléments et remettre en question, du moins partiellement, un certain nombre d'hypothèses"*, MERCIER et VOGT (1974), VOGT (1974, 1975) décrivent, dans les environs de Narbonne, des encroûtements en lames minces et constatent que :

- le code classique de BREWER, logique et formalisé qui s'applique essentiellement à un objet physique soumis à des contraintes physico-chimiques et de gravité, est inapte à décrire l'encroûtement calcaire à structure horizontale qui a plutôt les caractères d'un calcaire détritique et biogénique[1], mais il leur semble que cette ressemblance n'est pas suffisante non plus pour justifier l'utilisation du lexique pétrographique[2],

- une observation et une description non formelle permettent de différencier quatre formes microscopiques de précipitation du calcaire génétiquement distinctes : *cryogénique* (revêtements calcitiques), *biologique* (algaire),

(1) notons que AGAFONOFF (1936) avait déjà fait de nombreuses observations d'ordre biologique en lames minces sans les interpréter.

(2) il existe cependant des tentatives de mise au point de vocabulaire "adapté" (FEDOROFF, 1975), mais ici aussi, les concepts ont leur importance.

diagénétique (recristallisation) et *pédologique* (calcitans) qui se succèdent dans le temps, tout en s'interpénétrant et en engendrant trois types macroscopiques d'encroûtement calcaire.

Aussi, ils décomposent les processus en faisant souvent appel aux travaux expérimentaux :

- pour commencer, le froid intervient dans la précipitation des carbonates,

- pendant des périodes moins froides et/ou plus humides, *des colonies d'algues se développent et construisent l'encroûtement*,

- la végétation et la pédogenèse interviennent ensuite pour achever de cimenter le dépôt (décarbonatation des horizons du sol et précipitation au niveau de l'encroûtement),

- finalement, le déplacement vertical du sol par épaississement du B_{2t} vient s'attaquer à *l'encroûtement calcaire "cryo-algo-pédologique"* dont la dissolution engendre de minces revêtements calcaires dans le sédiment sous-jacent.

Dès lors, ils estiment que le schéma devenu classique de l'horizon B_{ca} qui évolue en croûte feuilletée par blocage des solutions à la suite de l'imperméabilisation de l'horizon d'illuviation n'est pas généralisable, car dans ce cas présent, l'encroûtement est synsédimentaire, d'origine physico-chimique et/ou biologique, et sert de roche-mère au sol.

Ensuite, VOGT étend son étude à des échantillons d'Afrique dont notamment ceux proposés par TIHAY (1981) qui travaille dans la vallée de la Soummam (70 km ENE du plateau de la Taourga)[1] et par BALLAIS (1981) pour les Aurès. De ces comparaisons, ce spécialiste de la lame mince relève (1981) évidemment des différences liées aux contextes géologiques, géomorphologiques et paléoclimatiques qui ont présidé à la mise en place de ces formations mais découvre aussi des ressemblances exprimées sous cette forme :

---

(1) le même TIHAY (1973) a mis aussi en évidence quelques paléoformes périglaciaires en Algérie orientale.

"Ces croûtes sont des sédiments calcaires mis en place par les eaux courantes ; le calcaire, transporté en suspension (limons) et en solution, peut avoir des origines diverses, depuis la fragmentation périglaciaire jusqu'aux apports éoliens en région aride,

elles se situent en fin de séquence sédimentaire, lorsque le régime torrentiel à apports grossiers fait place à des écoulements moins chargés et plus lents,

la sédimentation du calcaire se fait par décantation et par précipitation des solutions, favorisées par la présence d'une végétation qui demande à être mieux connue, mais où semble dominer la microflore ; la calcitisation est très largement synsédimentaire,

la structure d'ensemble est due à une diagenèse précoce ; la dessication, avec la compaction et la perte de porosité qu'elle entraîne, jouant un très grand rôle,

les transferts de matière à l'intérieur de ces formations sont extrêmement limités et se font sur des distances minimes ; la précocité de la lithification, due aux conditions de mise en place subaériennes en milieu aride ou semi-aride, explique la grande ressemblance, malgré les différences d'âges, entre ces croûtes quaternaires et certains calcaires tertiaires,

la pédogenèse, au sens d'ensemble de processus aboutissant à la différenciation d'horizons est un fait ultérieur, pouvant s'exercer aux dépens de ces sédiments calcaires, encore faut-il que le climat le permette."

Réponse sur la composante organique qui ne se fait pas attendre puisque VOGT (1982) extrait d'une croûte calcaire tuffeuse des Aurès et obtient la détermination de Cyanophycées des genres Schizothrix (filamenteuses) et Gloeocapsa (unicellulaires), de champignons pour la plupart saprophytes, des tissus en décomposition (cuticules de feuille) et des ferrobactéries filamenteuses des genres Leptothrix ou Crenothrix ; ceci sans observer aucun reste de racine ou de tige, mais en posant l'hypothèse d'une origine également algaire des ooïdes.

Enfin, VOGT (1983 a, b), pour bien préciser les limites de sa thèse, définit les croûtes calcaires, conformément au fruit d'une réflexion commune présentée quelques pages ci-après, en rapportant qu'il s'agit de formations à caractère zonal (semi-aride à subaride), c'est-à-dire en excluant :

- *les formations carbonatées pour lesquelles des termes bien définis sont en usage et dont la genèse est bien connue : tufs et travertins, grès de plage, dunes grésifiées (éolianites), calcaires lacustres, ciments de nappe phréatique ou vadoses ; que souvent ces formations passent latéralement ou verticalement aux croûtes calcaires est un fait qui peut éventuellement éclairer la genèse de ces dernières, mais qui ne justifie pas l'amalgame.*

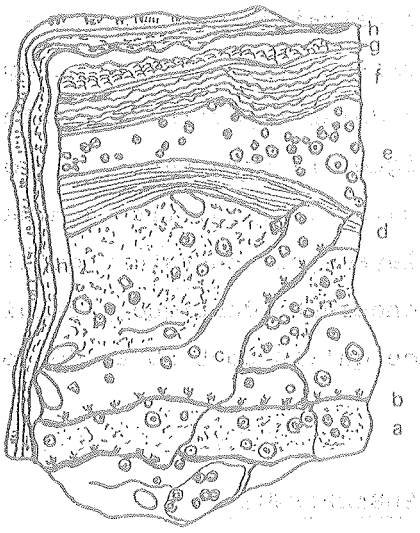
- *les accumulations calcaires discontinues (pseudomycéliums, amas, nodules, concrétions, poupées) dont la répartition géographique est largement azonale ; ici aussi, l'association fréquente, mais non systématique avec les croûtes calcaires apporte des éléments d'explication, mais n'autorise pas l'affirmation d'un lien génétique entre les deux types de formations,*

A cette nouvelle occasion qui résume l'acquis du Colloque de Strasbourg, cet auteur n'hésite pas à démystifier certaines idées reçues et à rendre justice aux véritables initiateurs de théories puisqu'il apparaît, à la lecture de nombreuses citations reprises dans le texte, que la plupart des considérations pédologiques sur les accumulations calcaires avaient déjà été émises par HAWKER en 1927 et PRICE en 1933 ; de même que BOURCART suggérait, en 1938, la possibilité d'une activité microbienne pour expliquer la genèse des croûtes Nord-africaines. De ce bilan récent au cours duquel l'épigénie n'est pas reconnue, retenons que :

- *les croûtes tuffeuses et les croûtes en dalle* bien qu'apparaissant macroscopiquement différentes, *sont génétiquement similaires* et constituent les variations locales de faciès d'un même ensemble qui prend une signification géomorphologique de *topographie d'accueil* ; les premières sont caractéristiques de milieux à tendance marécageuse, les secondes de milieux mieux drainés et de remaniement,

- *la croûte zonaire* est indépendante du relief et a plutôt *une signification paléoclimatique*, en tant qu'indicateur d'aridité,

et résumons la technique en reproduisant le schéma descriptif (Fig. 9 b) obtenu pour la partie supérieure de la dalle moulouyenne transmise par BALLAIS.



a. croûte perlitique dont certains plus gros ooïdes sont remaniés
b. surface de discontinuité à filaments en amas de matière organique
c. remplissage d'une fente de dessication
d. croûte zonaire (coussinets) à phase détritique d'origine éolienne
e. récurrence de croûte perlitique
f. croûte zonaire de faciès complexe (ruissellement laminaire à la base, origine éolienne à la partie supérieure) avec filaments
g. croûte zonaire (5 mm) à plages de calcédoine, grains de quartz en voie de digestion par la calcite
h. croûte zonaire à formes algales en coussinets et à silicifications généralisées

FIG. 9 b : Schéma pétrographique, d'après VOGT (1983), de la dalle sommitale prélevée dans la coupe de Tamcudjret (Fig. 9 a) - grandeur naturelle.

4° STRUCTURE STROMATOLITHIQUE ET MICROBIENNE

A partir de son étude sur le Pléistocène du Levant espagnol où les lithofaciès élémentaires des croûtes calcaires présentent la succession type suivante, de bas en haut :

- l'encroûtement, caractérisé par un enrichissement en calcaire (micrite) à l'intérieur d'un limon préexistant et par la néoformation d'attapulgite,
- la croûte perlitique[(1)], parfois qualifiée de "pseudoolithique" ou graveleuse,
- la croûte zonaire,

MONTENAT avec ECHALLIER (1977), après avoir rappelé qu'à la différence de l'encroûtement qui est surtout le résultat de processus physico-chimiques, *les croûtes perlitiques et zonaires procèdent essentiellement de phénomènes biochimiques* intervenant dans le sol (au niveau de la rhizosphère) ou à la surface de celui-ci, s'attachent aux processus d'élaboration de la croûte zonaire et ob-

(1) MONTENAT (1981) précise qu'il emprunte le terme de structure perlitique à de LAPPARENT

servent que celle-ci est constituée de fines couches calcaires ondulées, alternativement claires et sombres ; couches qui apparaissent, au microscope optique, comme le résultat de la coalescence de petits dômes répartis en strates successives et qui réalisent, à l'échelle millimétrique, *la structure "en colonnettes" des édifices stromatolithiques*. Après décalcification, ils examinent le résidu insoluble au microscope électronique à balayage et constatent qu'il est constitué de tubes fibroradiés présentant un agencement identique à celui des *microcodiums* dit "en épi de maïs" à la différence qu'ils sont 50 à 100 fois plus petits.

5° PROTOSOLS PELLICULAIRES DE DISCONTINUITES SUBAERIENNES

A la suite de travaux dans les régions côtières de l'Ouest méditerranéen, KLAPPA (1979 a) considère que le résultat de la désintégration biophysique, de la décomposition biochimique et de la biosynthèse des composants minéraux engendre la formation de *protosols pelliculaires* dont l'induration et la colonisation par des lichens saxicoles[1] conduisent à des constructions stromatolithiques *qui marquent, de ce fait, les surfaces subaériennes de discontinuité* indiquant des conditions terrestres (c'est-à-dire la fin des processus sédimentaires et le début de l'altération météorique). A son avis, dès lors, il ne fait aucun doute que la reconnaissance correcte de stromatolithes lichéniques permet de différencier les "calcretes" superficiels de ceux sub-superficiels, car ceux qui en contiennent ont dû être exposés directement à la surface des processus organiques à un moment donné de leur évolution ; argument qui n'a pas manqué d'attirer l'attention de LACROIX[2] et MATHIEU (1981) pour rappeler leur opposition aux conceptions de RUELLAN.

Mais cet auteur précise aussi (1979 b) que la reconnaissance, dans les "calcretes", de filaments calcifiés qui peuvent être attribués à des moisissures, algues, actinomycètes ou à des radicelles de plantes vasculaires indique non seulement la présence d'une activité organique ancienne, mais aussi le fait que ces dépôts fonctionnaient comme des sols biologiquement actifs.

---

(1) saxicole : se dit des plantes qui croissent sur les sols pierreux ou dans les creux de rochers.

(2) coauteur de l'identification des minéraux denses présentée en 9.2.

4.2.6. L'APPROCHE EXPERIMENTALE

1° LA VOIE MICROBIOLOGIQUE

Ayant réalisé une biosynthèse de calcite par association bactérienne (ADOLPHE et BILLY, 1974) dont BILLY isole les constituants (1975), ADOLPHE (1975) fait l'état des connaissances sur le rôle des microrganismes dans les concrétionnements calcaires continentaux et rapporte que ceux-ci (bactéries, algues, champignons) participent plus souvent qu'on ne le pensait à la genèse des roches carbonatées continentales et limniques[1] en s'associant fréquemment pour constituer *de véritables biocénoses dont le métabolisme précipite les carbonates* ; ainsi, les algues des nodules et stromatolithes d'eau douce ont une croissance et un *encroûtement saisonnier calqués sur l'assimilation chlorophyllienne*, c'est-à-dire maximum à la belle saison où la photosynthèse est importante. Il ajoute qu'en plus de cette participation directe, surtout évidente quand la production carbonatée se situe au niveau des organites cellulaires, l'activité végétale apporte, par des modifications souvent ponctuelles du milieu, un changement (par exemple du pH) entraînant une précipitation indirecte ; à ces modifications se rattacherait l'absorption préférentielle non seulement du calcium, mais aussi du fer et du magnésium en surface de microrganismes variés.

Avec MARECHAL (1977), il observe que le *travail bio-cristallogénétique* de microbes extraits de roches encore actives et regroupés sur un milieu électif produit des aspects pétrographiques connus dans les sédiments carbonatés de tout âge tels que les amas bactériens de "pellets"[2] où des concrétions pédologiques et que de façon générale, avec le temps, les minéralisations se sédimentent et subissent un début de diagenèse constituant de véritables roches biogènes comparables à bien des roches sédimentaires actuelles et fossiles.

---

(1) limnique (GAUCHER, 1981) : de marécage

(2) pellet (FAHRAEUS, SLATT et NOWLAN, 1974) : terme de pétrographe qui désigne les agrégats micritiques dans les calcaires anciens et récents, de 30 à 100 microns, plus ou moins ellipsoïdaux à sphériques, d'origine organique ; il existe d'autres termes pour désigner l'origine inconnue (peloïd), la recristallisation de particules (pelletoïd) et l'origine inorganique démontrable (pseudo-pellet).

2° LA VOIE MECANIQUE

Dans le cadre de travaux entrepris par un groupe de recherches à Mérida (Espagne) depuis 1966, ELBERSEN (1982) [1], probablement inspiré par les conclusions de BLOCKHUIS, PAPE et SLAGER (1968) et de SCHLICHTING (1978) [2], recourt à des essais de laboratoire pour étudier le comportement réciproque des matériaux argileux et calcaires dans des circonstances analogues à celles du terrain. Dès lors, constatant, par stéréo-radiographie, que tous les objets (nodules d'argile, pierres et fragments de croûtes en dalle) déposés dans un lit de chaux friable montent sous l'effet de l'humidification et descendent sous l'effet du séchage, il explique la genèse des nodules argileux et des accumulations calcaires friables (discontinues à continues) de la sorte :

- création d'un relief gilgaï souterrain dû au gonflement et à la contraction des argiles (par exemple miocènes) dont les cracks sont ensuite comblés par du calcaire de percolation,

- isolement de piliers d'argile qui forment des protubérances dans la masse du calcaire friable sus-jacent, avant de se fragmenter,

- détachement, phénomène de montée tel que recréé dans l'essai, affinement des nodules et expulsion dans le sol (vertisolique en l'occurence).

Ainsi, le processus de remplacement mécanique, qui approche les dernières propositions de RUELLAN sur le façonnement du paysage, serait à l'origine de l'approfondissement des formations calcaires friables (discontinues à continues) dans le profil et de sa résistance toujours actuelle, en condition d'équilibre, à l'érosion ; équilibre qui peut cependant être rompu par des ruptures topographiques ou des matériaux difficilement météorisables et dès lors, conduire au décapage, mise en surface, durcissement et fossilisation du système entier par imperméabilisation.

---

(1) dans le chapitre des caractérisations générales, l'auteur fait référence aux recherches sur les isotopes stables (^{13}C et ^{18}O) appliqués aux accumulations calcaires

(2) BLOCKHUIS, PAPE et SLAGER (1968) étaient déjà arrivés à la conclusion que les nodules indurés des vertisols provenaient de la partie sous-jacente par brassage mécanique et SCHLICHTING (1978) a rapporté la possibilité d'une expulsion ascendante des sables dans les vertisols.

Au passage, l'auteur résume l'influence des accumulations calcaires sur la qualité des terres en termes de disponibilité des éléments nutritifs (volatilisation de NH_3, insolubilisation de P, déficiences en Fe, Mn, B, Cu et Zn), d'humidité (stagnation d'eau, ruissellement, évaporation sur les formations pétrocalciques avec impossibilité pour les racines d'atteindre les couches plus humides) et d'oxygène, de travail du sol (difficulté dans la préparation du lit de semences, sous-solage), de résistance à l'érosion, de volume et de germination (pertes de semences entre les fragments de croûtes) ; ceci outre le fait que des dépôts de caliches australiens se sont révélés commercialement uranifères[1].

4.2.7. LE FRUIT D'UNE REFLEXION COMMUNE

Après le Colloque de Strasbourg, DURAND, GAUCHER, LACROIX, MATHIEU, MERCIER, VOGT et WILBERT (1979) jugent utile de constituer un groupe de travail pour dégager une méthodologie dans l'approche des accumulations calcaires et proposer un langage descriptif commun, exempt de termes équivoques ou tendant à situer les faits dans un processus génétique défini. De ces nombreuses discussions, examens de documents (publications, photos) et d'échantillons, ils aboutissent à la *nécessité de réaliser un historique complet des idées émises jusqu'à ce jour*, de distinguer les observations de terrain de celles de laboratoire et de définir une nomenclature - classification descriptive que voici présentée avec ses définitions :

1° PROPOSITION DE NOMENCLATURE - CLASSIFICATION

a) Accumulations calcaires continues

- croûte en dalle :
  - . zonaire
  - . non zonaire — litée — pélitique ou gréseuse
  - non litée — ou conglomératique

(1) notons que QUINIF (1980) fait précisément appel à l'activité isotopique des familles radioactives de l'uranium pour dater des formations karstiques (calcite stalagmitique).

- croûte friable :
  . feuilletée
  . non feuilletée
  . calcaire pulvérulent

  présence éventuelle de :
  concrétions > 50 % : croûte concrétionnée
  éléments clastiques > 50 % : croûte conglomératique

b) Accumulations calcaires discontinues

- lithiques :
  . concrétionnées
  . non concrétionnées

  suivant la forme, la taille, on parlera de granules, de nodules, de poupées ou de rognons dont on définira la couleur

- non lithiques :
  . amas friables
  . nodules farineux
  . pseudomycelium

2° DEFINITIONS

a) Accumulations calcaires continues

- *croûte* : accumulation calcaire à couches individualisées continues, située dans ou sur des formations superficielles, disposée suivant le relief actuel ou ancien, de consistance, texture et épaisseur variables et pouvant se présenter sous forme de plusieurs niveaux superposés,

- *croûte en dalle* : accumulation de calcaire dur à très dur, ne pouvant être débitée qu'au marteau,

- *croûte zonaire* : accumulation de calcaire très dur, peu épaisse (décimétrique) d'aspect sublithographique et présentant, en coupe verticale, une zonation formée par la superposition de minces couches millimétriques alternativement claires et colorées, soulignées par des "impuretés" (matière organique, manganèse, argile).

Localisation : elle recouvre des formations diverses, calcarifères ou non, qu'elle masque.

- *croûte non zonaire* : accumulation de calcaire dur à très dur, cimentant un matériel détritique hétérométrique ou non, de granulométrie variée (faciès pélitique, gréseux ou conglomératique), parfois formée de lits centimétriques superposés. Variété : croûte en dalle massive.

- *croûte friable* : accumulation calcaire pouvant être débitée au couteau.

- *croûte feuilletée* : ensemble de feuillets discontinus se différenciant de la matrice par la cohérence et éventuellement par la couleur. L'épaisseur maximum du feuillet est de l'ordre du centimètre.

b) Accumulations calcaires discontinues

- *concrétion* : induration au sein de la matrice, de forme généralement globulaire ou allongée.

- *nodule concrétionné* : concrétion arrondie.

- *poupée de loess* : concrétion globulaire, pouvant atteindre un diamètre supérieur à 10 cm et dont la partie corticale dure, plus ou moins zonaire, contient un matériau beige ou marron clair, craquelé comme le serait un limon argileux sous l'effet de la dessication. Ces "fentes de retrait" forment un réseau orthogonal délimitant des prismes à section rectangulaire, de 5 mm environ de côté.

- *concrétion racinaire* : formation calcaire verticale empâtant la roche encaissante, d'aspect scoriacé, formée par des grains du sédiment agglutinés par le calcaire : elle apparaît comme un accident dans des roches aquifères. Elle se sépare facilement du milieu encaissant et casse en tige de grès à peu près cylindrique. Vers la partie inférieure de la racine, la tige s'amincit et se termine

en pointe émoussée. En coupe transversale, ces concrétions présentent une lumière centrale partiellement occupée par une racine desséchée, limitée par des couches minces, concentriques, de calcaire très finement cristallisé.

- *amas friables* : amas de calcaire pur et pulvérulent, à la limite diffuse ou nette, se rencontrant généralement dans des formations limoneuses et des marnes.

- *nodules pulvérulents* : amas friables arrondis

- *pseudomycelium* : feutrage plus ou moins dense assumant la forme de filaments mycéliens.

- *niveau concrétionné* : niveau contenant plus de 50 % en volume de concrétions.

- *niveau conglomératique* : niveau contenant plus de 50 % en volume d'éléments détritiques supérieurs à 2 mm.

4.3. LES FORMATIONS MEUBLES COLOREES

4.3.1. CONCEPTS GENERAUX

Récemment, DUCHAUFOUR (1977) a proposé un schéma très explicite (Fig. 14) pour illustrer les principales définitions qu'il donne aux sols de cycle long et que nous résumons ainsi :

- *paléosols* : terme général qui ne présume pas d'un devenir ultérieur et qui désigne des sols anciens formés dans des conditions écologiques différentes (en particulier climat et végétation) des conditions actuelles,

- *sols fossiles* : terme de plus en plus restreint aux paléosols enterrés profondément,

- *sols anciens* : sols du type fersiallitique du Midi de la France, qui ont évolué pendant plus de 10.000 ans suivant le même processus fondamental parfois accéléré ou ralenti,

- *sols polycycliques* (ou polygénétiques) : sols ayant deux cycles d'évolution avec une phase d'interruption intermédiaire (glaciation ou rhexistasie) plus ou moins longue de la pédogenèse.

- *sols composés* : sols marqués par deux pédogenèses non interférentes (ou sur sol fossile peu enterré),

- *sols complexes* : sols dans lesquels la pédogenèse récente affecte un paléosol profond.

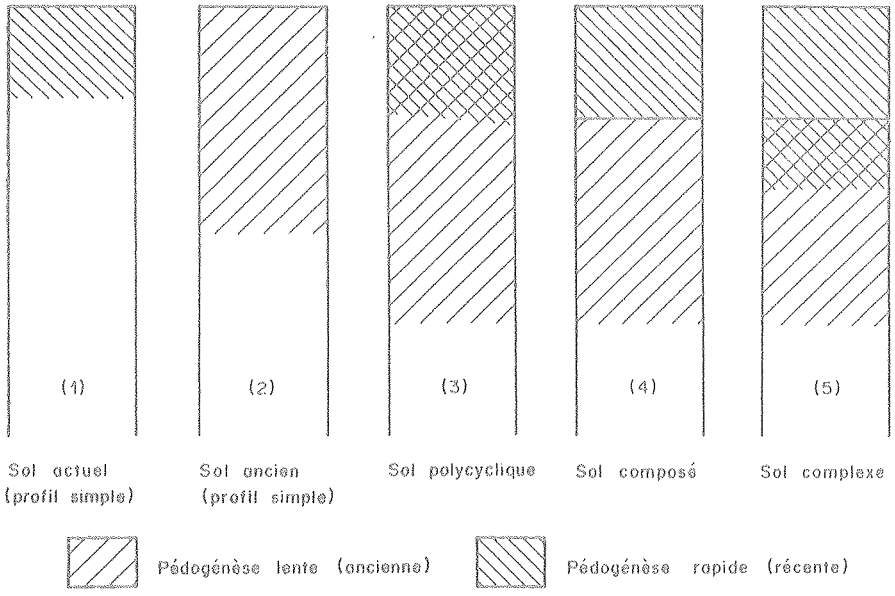


FIG. 14 : Schéma des cinq types d'évolution des sols en fonction du facteur temps, d'après DUCHAUFOUR (1977) qui s'est partiellement inspiré de BOS et SEVINK.

4.3.2. TERRES ROUGES (1)

1° HEMATITE ET SOL FERSIALLITIQUE

Jugeant que les techniques habituelles de laboratoire permettent de connaître le support minéral des sesquioxydes de fer, mais pas la détermination qualitative et/ou quantitative du fer, LAMOUROUX, LOYER, BOULEAU et JANOT (1977) ont récemment utilisé la spectrométrie MOESSBAUER comme technique de base pour apprécier la nature, la localisation, la taille et le degré de substitution des sesquioxydes de fer, et préciser que la couleur rouge des sols fersiallitiques est due à des oxydes de fer très fins ; *cristallites d'hématite* (fins granules) qui, partiellement substitués par Al et recouvrant les minéraux argileux, peuvent se transformer, dans un milieu mal drainé, en cristaux de goethites (fuseaux) de couleur jaune.

2° SUSPENSIONS SOLIDES ET SOL FERSIALLITIQUE

D'un autre côté, LAMOUROUX, PINTA et BOULEAU (1978), après une expérimentation en tubes de percolation et comparaison avec les données de terrain de DACHARY et de ARAUJO, arrivent à la constatation que dans les sols rouges formés sur schistes du Portugal, les alternances humectation-dessication favorisent *la microdivision de fines particules argileuses* en même temps qu'une dissolution de la silice et que les entraînements sous forme de suspensions solides, contrairement à ce qui avait été observé au Liban (cf. 3.3.2.3°), se font essentiellement par *les ruissellements de surface* (appauvrissement) et non par lessivage vertical ou oblique.

---

(1) le lecteur peut aussi consulter utilement les travaux de :
- TEJEDOR SALGUERO, QUANTIN et FERNANDEZ CALDAS (1979, 1981) qui situent les Iles Canaries aux confins des domaines méditerranéens et tropicaux arbitrairement séparés par le Sahara, et suggèrent une filiation zonale entre les sols bruns et les sols fersiallitiques ;
- BERTHELIN et TOUTAIN (1979) qui font allusion aux mécanismes d'insolubilisation microbienne des éléments minéraux dont notamment des oxydes et hydroxydes de fer ;
- BECH BORRAS, FEDOROFF, QUANTIN et SEGALEN (1982) qui, dans l'interprétation de sols fersiallitiques lessivés sur des arènes granitiques d'Espagne, distinguent les notions de remaniement, d'altération des minéraux primaires (plasmation), de fersiallitisation (rubéfaction), de lessivage (transferts sous forme particulaire), de dégradation des minéraux argileux, d'hydromorphie, d'accumulation carbonatée et de chronologie.

3° UNE NOUVELLE ETIQUETTE DE SOL A PROFIL CALCAIRE

Vingt ans après son premier essai (cf. 2.3.2.2°), BOULAINE (1978 a) suggère à titre provisoire et expérimental de regrouper, sous l'étiquette des *sols calfersiques*, les unités suivantes :

- les "cinnamonic-brown" (= sols marron) des russes (GERASSIMOV) ;
- les "chromic luvisols" (F.A.O.) ;
- les sols marron de la classification française (3ème sous-classe de la classe des isohumiques) ;
- les "red and yellow soils of mediterranean climate" (BRUIN) ;
- les sols châtains, châtain rouge brun et brun rouge de l'ancienne classification française et de certains auteurs australiens ;
- les terra rossa et sols rouges méditerranéens ;
- les sols fersiallitiques (1ère sous-classe des sols à sesquioxydes de la classification française) ;
- les xerolls et xeralfs de la Soil Taxonomy,

sols qu'il définit par des horizons "calcaires"(1) et des horizons chromiques (B)(2).

A cette occasion, il rappelle certains "bilans" qui auraient prouvé que, dans la plaine du Chélif (cf. 2.2.2.1°), les carbonates des horizons profonds pro-

---

(1) BOULAINE distingue les horizons calcaires (carbonatés sans origine préjugée) des horizons carbonatés (carbonatés secondairement) et des horizons calciques (saturés avec une proportion élevée de calcium).

(2) horizon chromique (B) : expression de la légende FAO qui désigne un horizon B parfois en surface, dont la nature de l'argile et ses liaisons avec le fer sont particulières.

viennent en gros de la décarbonatation des horizons de surface et il défend l'usage du K horizon de GILLE (cf. 3.2.2.1°) qui traduit, selon lui, un bilan général en rapport avec la perméabilité ou le climat. Cette fois-ci cependant, il conclut plus prudemment (cf. 2.3.2.2°) que si la tenue en compte des horizons "carbonatés" est essentiel dans la classification, leur signification génétique paraît moindre que celle du développement plus ou moins grand de l'horizon B. De ses réflexions, il propose cette coupe schématique (Fig. 15)) en notant par ailleurs que *l'orthotype d'une zone sèche peut être le juvétype d'une zone humide*, mais que des sols ayant des caractères hérités d'une période plus humide peuvent exister à l'intérieur d'une zone actuellement plus sèche ; zone plus sèche qui peut éventuellement connaître, une année sur cinq au plus, un régime hydrique favorable à une évolution calfersique.

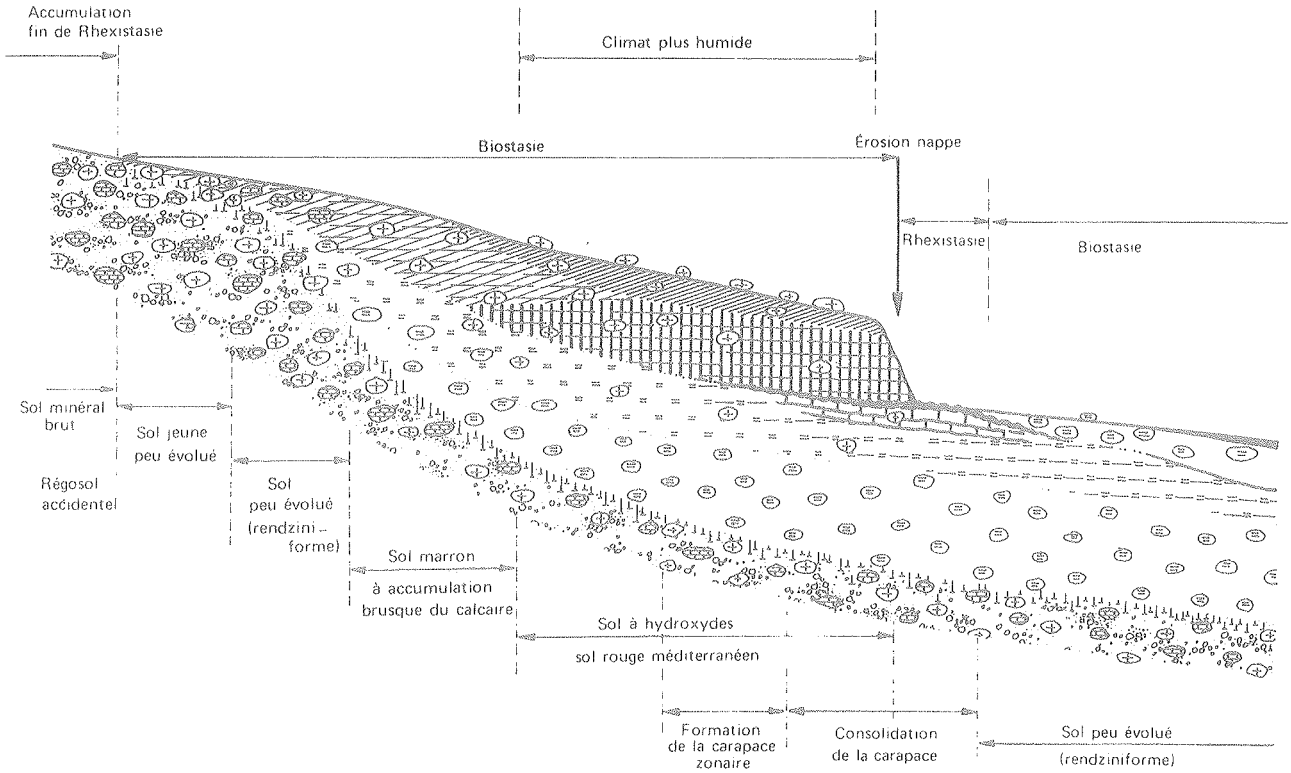


FIG. 15 : Chronoséquence des sols calfersiques à horizon K_{2m} du Chélif d'après BOULAINE (1978).

Enfin, résumant les théories sur la genèse des sols calcaires, BOULAINE conclut que les *acquis de la pédologie sont dominants* et que *le problème le plus discuté reste uniquement la nature de l'argument de la mise en place des carbonates*.

4° PAYSAGE ET SOL FERSIALLITIQUE

Dans la présentation de sa carte morphopédologique au 1/100.000 des environs de Madrid, VAUDOUR (1979 a)[1] fait la distinction entre :

- *une mosaïque de sols* qui, à la suite de plusieurs épisodes d'ablation et de sédimentation, résulte de l'association ou de la juxtaposition, dans le paysage, de vieux sols à des sols plus récents dont exemple : sol rouge fersiallitique modal, terra rossa et rendzine rouge colluviale,

- *une catena* qui est fonction du drainage et donc de la pente dont exemple du passage progressif sur une même terrasse alluviale : sol rouge fersiallitique à (ou sur) croûte calcaire épaisse indurée à un sol noir vertique à encroûtement nodulaire en passant par un sol brun fersiallitique à (ou sur) croûte calcaire moins épaisse et moins dure,

- *une chronoséquence de sols* qui répond à l'étagement des niveaux dont exemple, du bas vers le haut, des sols rouges fersiallitiques encroûtés sur terrasses alluviales : sol brut alluvial carbonaté, sol brun à profil calcaire différencié, sol brun rouge à croûte embryonnaire, sol rouge fersiallitique modal sur croûtes superposées, sols rouge fersiallitique sur croûtes superposées partiellement dissoutes,

pour conclure, après une démarche empirique et la reconnaissance d'un courant de recherche, qu'il est parfaitement possible, dans une région où les niveaux

(1) citons aussi la thèse de cet auteur (1979 b) qui comporte une synthèse d'actualité très complète sur les sols rouges fersiallitiques rappelant que la rubéfaction et l'évolution des argiles peuvent suivre chacune deux voies : acide avec héritage et dégradation, calcaire avec agradation et néoformation.

quaternaires ont conservé généralement leurs vieux sols, de *rassembler dans un même document synthétique les informations fournies par une carte géomorphologique et une carte pédologique.*

4.3.3. TERRES NOIRES

BOULAINE (1978 a) rapproche, sans les y intégrer, les sols calciques mélanisés, avec ou sans encroûtement, au domaine calfersique dont certains sols peuvent acquérir en partie une couleur foncée ; couleur qui est due à des liaisons particulières humus-argile et à une rétrogradation du fer par une séquestration dans les argiles comme dans la matière organique. Et l'auteur de profiter de considérations sur les limites de classes pour souligner qu'il a toujours soutenu la théorie d'une classification non exhaustive constituant *un simple référentiel* et qu'il invite à désigner les unités cartographiques par des termes spéciaux comme ceux de "l'unité d'apparentement ou d'unité intergrade" définis autrement que les taxons de la classification, mais par référence à ces taxons idéalisés.

4.4. COMMENTAIRES

Le caractère exclusif de l'explication pédogénétique des accumulations calcaires exprimée par le symbole BCa ne pouvait qu'engendrer la réaction de ceux qui abordent l'étude du milieu par une autre voie disciplinaire. Dans ce sens, le Colloque de Strasbourg a permis de montrer que :

- ces formations continentales, voire supralittorales, ne sont spécifiques ni du contexte méditerranéen, ni du Quaternaire quoi qu'elles y soient bien représentées,

- les points de vue sont loin de faire l'unanimité sur une origine puisque

bien au contraire, les conceptions se multiplient et détiennent probablement chacune une part de vérité ; depuis celles qui rappellent la conception hydrologique jusqu'aux dernières nées qui font appel à l'activité biologique et microbiologique dans des protosols palustres.

Aussi, est-il surprenant d'entendre PAQUET (1979) commencer un exposé en affirmant péremptoirement que l'origine pédologique de la croûte calcaire, au sens défini par RUELLAN, ne faisait plus aucun doute et que de ce fait, contenant et contenu peuvent être confondus. Comme il l'est tout autant de constater que POUGET (1980) ait pu aborder le sujet sans faire aucune référence, dans son analyse bibliographique, à cette réunion multidirectionnelle sinon pluridisciplinaire de 1975. Cloisonnement qui, doublé du fossé linguistique, conduit ARAKEL (1952) à traiter le sujet, en Australie, en ne citant aucun ouvrage de la recherche francophone !

Dès lors, on comprend mieux qu'aux lendemains du colloque, certains auteurs aient éprouvé la nécessité de rédiger des articles de synthèse particulièrement virulents à l'égard de la pédologie tel que celui où VOGT (s.d) condamne les *"pédologues pédologistes"* ou celui de VAUDOUR et CLAUZON (1976) qui incriminent *"la prépondérance coercitive de l'interprétation pédologique parce que privant d'expression certaines conceptions contradictoires"* ; malheureusement, la réaction n'est pas toujours plus objective et a parfois tendance à conclure de façon tout aussi exclusive.

En quelque sorte, la querelle divise ceux des chercheurs qui définissent la pédologie comme la science de l'altération continentale, voire même marine (LE RIBAULT, 1975) et ceux qui n'y reconnaissent qu'une étape d'investigation parmi d'autres ; les seconds reprochant aux premiers le peu de valeur explicative de leur définition qu'ils voudraient voir davantage limitée à l'activité biologique actuelle et surtout d'avoir permis, sous ce prétexte, de créer des liens de causes à effets insuffisamment établis entre l'action d'une végétation supérieure, la reconnaissance de l'horizon Bca, la présence d'attapulgite dans les accumulations calcaires et tout récemment, le phénomène d'épigénie qui permet de boucler le cercle vicieux.

Cependant, quelles que soient les techniques utilisées, le contexte étudié ou le processus de formation retenu, de plus en plus d'auteurs

s'accordent pour reconnaître que, dans les conditions d'évolution actuelle où l'anthropisme joue un rôle à définir, les accumulations calcaires ou plus exactement les croûtes en dalle constituent des matériaux parentaux soumis à la fragmentation et à la dissolution ; ainsi dans l'application pratique, le concept de l'horizon Bca semble avoir vécu.

Parallèlement, si le schéma de la répartion des formations meubles colorées se voit confirmer en optima extrêmes de lixiviation pour le sol rouge fersiallitique et de confinement pour le vertisol, il est intéressant de noter qu'on hésite moins à formuler des commentaires simples (microdivision, suspension, ruissellement), à concevoir la différenciation de profils en pointillés sous des conditions parfois plus conservatoires qu'évolutives, à invoquer l'activité microbienne et à concrétiser, tant sur le plan pratique que théorique, les principes de l'approche morphopédologique. Mais apparemment, cela n'enlève rien au malaise qui subsiste à propos des sols à/sur accumulations calcaires ; en effet, ceux-ci sont toujours (DUCHAUFOUR, 1977) étiquettés sous le vocable des sols marron à profil calcaire, rangés dans la classe des sols isohumiques et considérés comme des intergrades remaniés entre les sols châtains (de climat subboréal de transition semi-aride) et les sols fersiallitiques (de climat subtropical subhumide à humide). Malheureusement, nous ne pensons pas que la proposition des sols calfersiques de BOULAINE soit de nature à le dissiper, car elle ne fait que repousser la difficulté d'un niveau de classification tout en forçant l'interprétation classique de l'horizon K ; ceci compte tenu de ce que cet auteur (1978 b) tente, par ailleurs, de faire passer la notion de génon comme unité de cartographie évolutive. De plus, cette proposition estropie l'expression fersiallitique qui semble pourtant bien acquise en région subtropicale et nous reporte peut-être tout simplement à celle des "red, brown, black terracals" de STACE (cf. 2.3.1.1°).

Ainsi, tout en progressant dans la connaissance des accumulations calcaires et des formations meubles colorées prises individuellement, la synthèse dans les milieux de glacis reste tout aussi difficile qu'il y a trente cinq ans, car malgré les nombreux appels à la pluridisciplinarité, le maintien de référentiels chronospatiaux diversement favorables à l'une ou l'autre approche a entretenu la confusion sur l'âge des formations et sur l'usage de certains arguments ; l'exemple de l'interprétation pédologique, sédimentolo-

gique et finalement pédosédimentologique de l'attapulgite est particulièrement explicite à ce sujet et montre qu'il s'agit davantage d'un problème d'intégration chronologique que d'observation proprement dite.

De ce fait, cette notion d'âge, comme l'a exprimé BECKMANN (1971), peut revêtir différentes significations en relation avec ce qu'"on cherche à établir" ; c'est-à-dire qu'en résumé de ce qui a déjà été diversement perçu, la question reste toujours de savoir s'il faut exprimer l'âge d'une formation en termes préalables d'altérite, de dépôt (couches en milieu ouvert ou fermé) ou encore d'une différenciation interne de profil (horizons en milieu lixivié, lessivant ou confiné) par l'apparition de traits particuliers dits de cycle (évolution serait préférable) rapide ou lent. Ce qui, corrélativement, revient à se demander quand il y a lieu de parler de roche-mère, de paléosol ou de paléotrait et d'employer un symbolisme de discontinuité lithologique (chiffre arabe en préfixe), de discontinuité pédologique (b en surface), de séquence (B') ou de simple continuité. Dans le sens de cette réflexion, les schémas de DUCHAUFOUR gagneraient à être un peu plus figuratifs de situations concrètes, notamment de la charge grossière, et les preuves de lessivage mériteraient d'être un peu mieux estimées avant d'être préférentiellement interprétées ; ceci d'autant plus que, récemment, McKEAGUE, GUERTIN, VALENTINE, BELISLE, BOURBEAU, HOWELL, MICHALYNA, HOPKINS, PAGE et BRESSON (1980) ont montré qu'il y avait une très grande variation (39 à 64 %) dans l'appréciation quantitative (critère 1 % de l'USDA, 1975) de l'argile illuviale en lames minces par des opérateurs différents.

C'est pourquoi, comme nous l'avions annoncé, cette étude s'inscrit logiquement dans le cadre de la géologie du Quaternaire qui, tout en offrant de plus en plus de recoupements à propos des événements récents (deux périodes humides séparées par un tardiglaciaire aride à dépôts éoliens) et en suggérant que l'Actuel porte sur un peu plus de deux mille ans d'interaction anthropoclimatique, fait également l'objet de vives controverses. Celles-ci outre la tendance à supprimer la définition de l'étage villafranchien parce que jugée trop large (Col. LILLE, 1982), opposent les partisans de stratigraphies locales (emploi du locus typicus) qui craignent les confusions de faciès, aux défenseurs de l'échelle marocaine qui continuent à estimer, jusqu'à preuve

du contraire, que ce modèle de chronologie relative est régionalement perfectible sans créer une pléthore de terminologies. Néanmoins, il faut bien admettre qu'entre le Moulouyen et le Soltanien des auteurs, l'inconnue reste grande, et que la tendance est à rajeunir les limons rouges les plus superficiels tout en limitant assez étroitement la pédogenèse noircissante à l'Optimum néolithique.

Enfin, par cet historique et son résumé synoptique (Tableau 2), nous espérons avoir utilement répondu aux voeux formulés à la suite du Colloque de Strasbourg et exploité la porte ouverte laissée par VOGT (1983) qui évita l'entreprise spécifique à l'Afrique du Nord tout en la supposant fastidieuse et confuse. C'est-à-dire par le fond, avoir répertorié et rendu à qui de droit, le plus souvent possible, tous les arguments, techniques et idées qui ont fait progresser les connaissances sur les accumulations calcaires ; et par la forme, avoir dégagé progressivement que la méthodologie la plus apte à hiérarchiser, sans hiatus, les différentes étapes et outils reconnus, consiste à réaliser la combinaison des bilans morphopédologiques et géochimiques. Bilans que nous avons déjà partiellement discutés (BOCK, CALEMBERT et MATHIEU, 1981 ; BOCK et MATHIEU, 1982) et que nous allons développer dans les deux parties suivantes avec le souhait de reconstituer la succession des événements à la façon de MATHIEU et la distribution spatiale des milieux à la façon de FREYTET. Donc, nous essaierons, sur le terrain comme au laboratoire, de ne banaliser aucun moyen d'investigation, et nous éviterons l'emploi à priori de nomenclatures ou symbolismes interprétatifs ; ceci contrairement à ceux qui, par exemple, font immédiatement appel au microscope électronique en ignorant pratiquement tout des niveaux supérieurs d'organisation que sont la face polie et la lame mince à grossissements croissants ou qui travaillent sur des échantillonnages trop ponctuels. Mais nous croyons prudent de rappeler que les accumulations calcaires, point de rencontre privilégié de la pédologie avec l'amont des sciences de la terre, ne représentent qu'un passage obligé de notre étude dynamique et interdisciplinaire du complexe sol/terre dans le paysage et que, de ce fait, nous nous attarderons plus spécialement, tout comme VOGT, sur les formes continues qui soulignent la limite la plus âprement discutée. Notre question principale étant de rechercher s'il y a eu simultanéité d'action entre le développement des formations meubles colorées et celui des accumulations calcaires, juxtaposition dans l'espace ou succession dans le

temps, ou encore plus simplement exprimé, de trancher entre les notions de Bca et de Cca.

A cela, ajoutons que nous avons encore consulté les travaux de BECKMANN, SCHARPENSEEL et STEPHAN (1972), NETTERBERG (1969 a, b), RHODENBURG (1977), STEPHAN (1972), SCHOLZ (1971) et WERNER (1971) qui, certes fort intéressants dans leur inventaire, n'apportent guère plus d'informations nouvelles ou correspondent à des contextes géographiques très différents du nôtre.

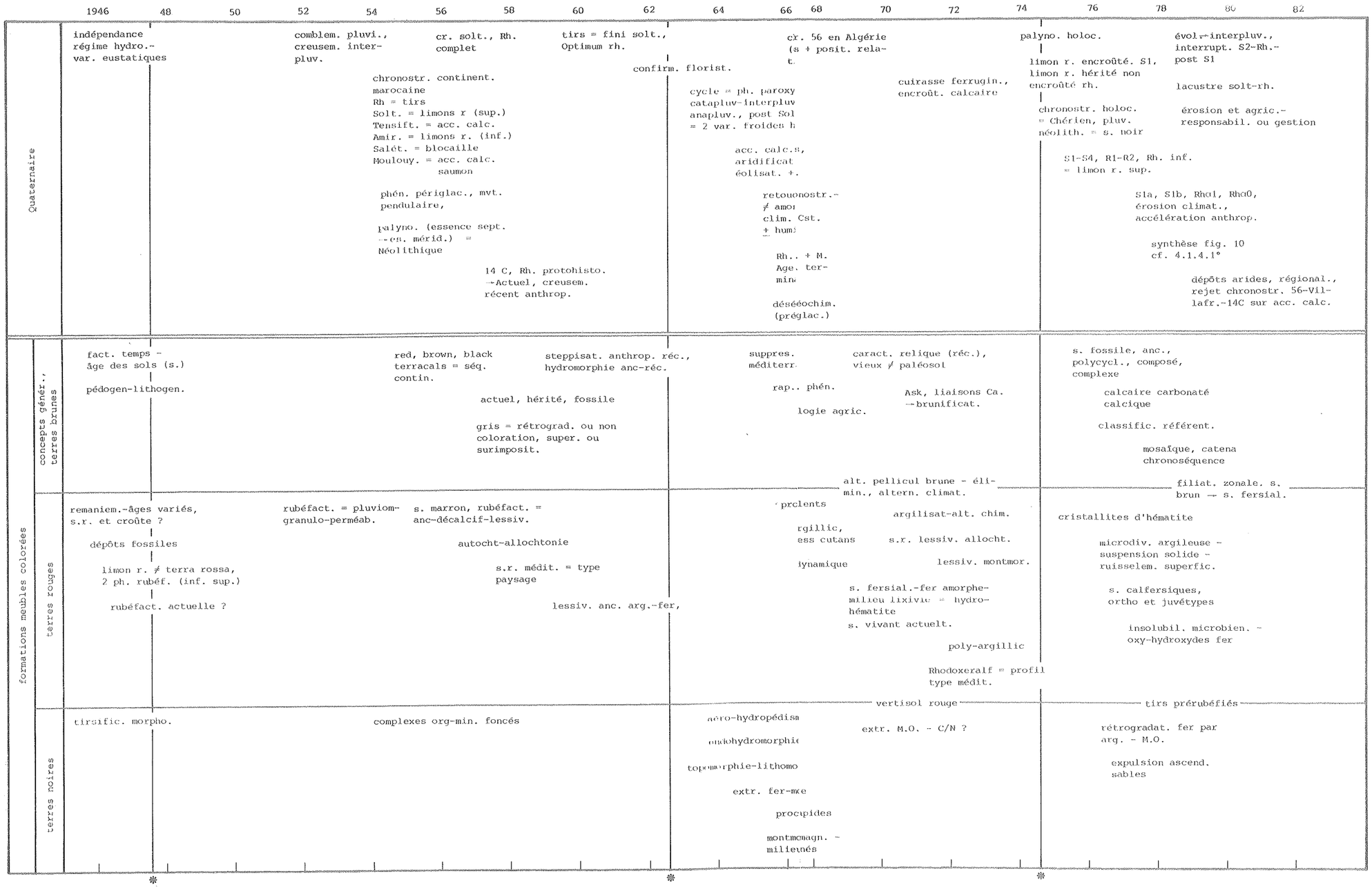


TABLEAU 2 : Résumé synoptique de la bibliographique pour le Quaternaire et les formatmeubles colorées - (*) bases périodiques des chapitres

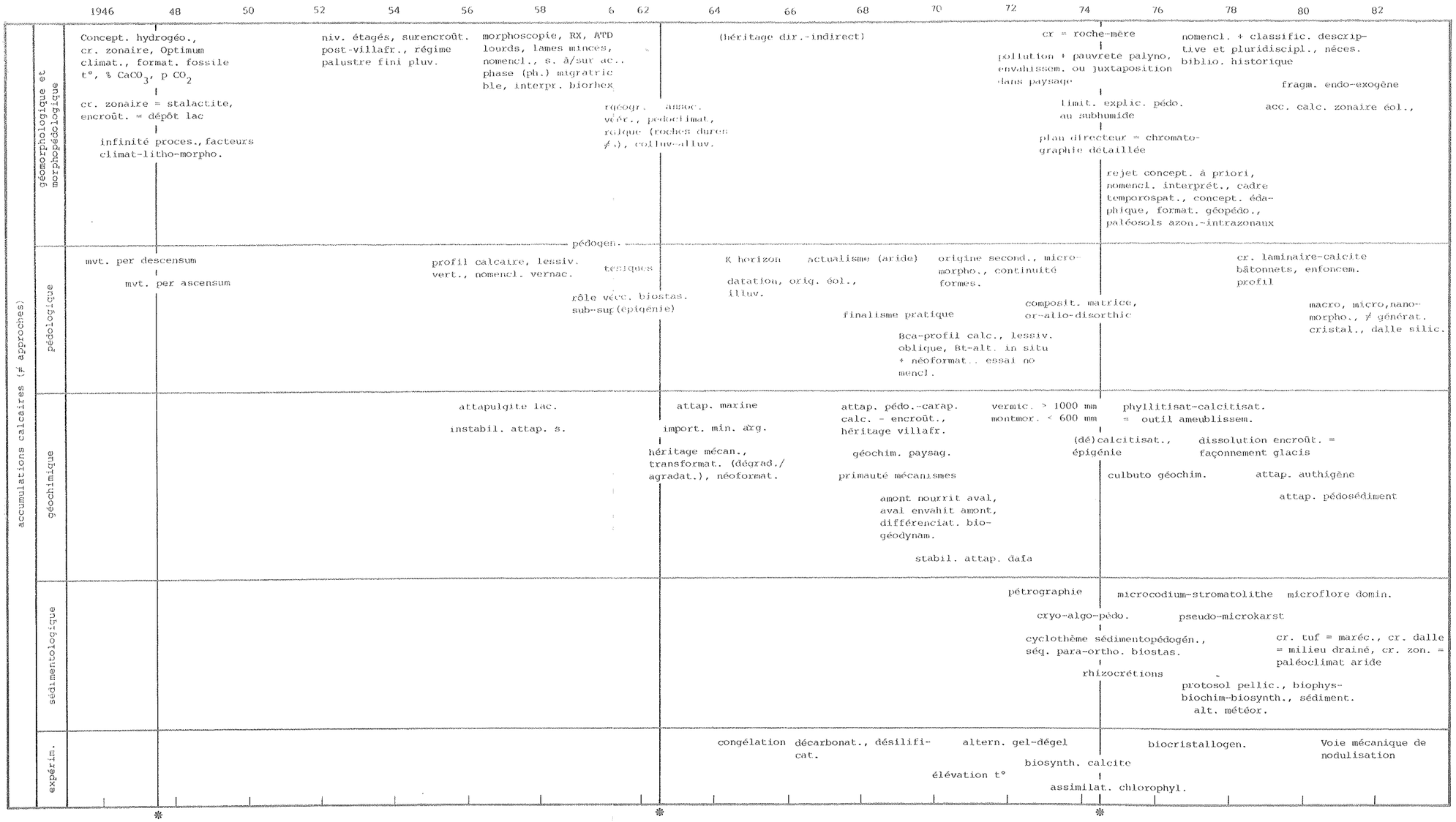


TABLEAU 2 bis : Résumé synoptique de la bibliographie pour les accumulations calcaires - (❋) bases périodiques des chapitres.

DEUXIÈME PARTIE

Travail de terrain

CHAPITRE 5

Le cadre général de l'étude

REMARQUES PRELIMINAIRES

Comme nous l'avons fait ressortir dans la première partie, la question de savoir si les accumulations calcaires constituent des repères de diagnostic (paléo)morphoclimatique ou pédogénétique est complexe et doit être abordée dans un esprit de synthèse pluridisciplinaire à défaut de pouvoir réellement créer une équipe effective de terrain. Dans ce contexte, il faut :

- réaliser un programme logique de prospection en abordant la région dans le concept de la classification taxonomique des unités géomorphologiques de CAILLEUX et TRICART (1956, cité par TRICART, 1965) afin de ne manquer aucune étape de l'intégration depuis les manifestations macroscopiques des géostructures ... jusque (par extension) la détermination et l'interprétation bien comprise de l'attapulgite au microscope électronique,

- dégager, conformément à l'expérience de GAUCHER, les interactions additives, négatives ou synergiques qui existent entre les facteurs du milieu, pour mettre en évidence (par les techniques appropriées et les paramètres explicites de leur essence disciplinaire) les faits dominants ou dominés de chaque niveau d'investigation et hiérarchiser les arguments de la reconstitution,

- respecter, le plus souvent possible, les subdivisions naturelles en évitant, grâce à la géomorphologie dont l'utilité en science du sol n'est plus à démontrer (MATHIEU, 1962, 1971, 1977 a), de sacrifier l'observation à la mesure et de fractionner inutilement l'espace en unités de filiation commune,

- adapter les moyens aux besoins en employant la photointerprétation à bon escient tout en gardant à l'esprit les normes de la cartographie pédologique (INRA, 1972), car il ne s'agit pas tant de substituer une technique à une autre en abusant l'utilisateur sur la valeur d'un document que d'éviter un niveau de précision et d'investissements inutiles dans des régions marginales à faible capacité de paiement,

- confronter les résultats obtenus par des voies différentes dont notamment celles de la micromorphologie/pétrographie, du ^{14}C et du pollen en prévoyant des prélèvements d'échantillons adaptés,

- tirer les enseignements théoriques et pratiques.

C'est pourquoi, cette deuxième partie comporte trois chapitres, à savoir :

- chapitre 5 : le cadre général de l'étude qui est présenté en multipliant progressivement les informations documentaires depuis le niveau de perception de l'image satellite jusqu'au contact avec les responsables de projets et la population locale d'après le schéma suivant de focalisation :

  . l'Afrique du Nord,
  . l'arrière-pays d'Alger,
  . l'Atlas tellien,
  . la dépression des Beni Slimane (niveau régional),
  . le terroir d'El Omaria (niveau sous-régional),
  . le plateau de la Taourga et ses bordures immédiates (niveau de projet),
  . les programmes d'aménagement ;

  façon de procéder qui permet aussi de limiter plus sûrement la validité de nos sources d'informations (disparates) à leur cadre d'origine,

- chapitre 6 : l'approche morphopédologique qui comprend la présentation du concept, l'analyse des études existantes et notre application personnelle avec ses trois étapes : de reconnaissance lithologique, de photointerprétation et de retour au terrain ; dernière étape au cours de laquelle une collection spatiale d'accumulations calcaires continues (croûtes en dalle) a été constituée et caractérisée en adoptant la nomenclature de DURAND et de ses nombreux coauteurs (cf. 4.2.7.).

- chapitre 7 : la description des profils à travers l'analyse de toposéquences après que leur choix et la méthode de description (fiches destinées au traitement informatique) aient été arrêtés

Chacun de ces chapitres se termine par un résumé et de nombreuses discussions animent le texte en favorisant l'enchaînement logique des idées dans le concept de l'approche précitée.

CHAPITRE 5 :

LE CADRE GENERAL DE L'ETUDE

5.1. L'AFRIQUE DU NORD

Physiquement, l'Afrique du Nord se comprend davantage comme la marge septentrionale du Sahara que comme l'ensemble administratif plus vaste de trois pays auxquels le nom de Maghreb (= couchant) ou d'Afrique du Nord Ouest convient mieux ; volonté de restriction qui est due non seulement aux contrastes climatiques mais aussi géologiques.

5.1.1. LE CLIMAT

Le climat, qui est déterminé par la situation de la Méditerranée à moyenne latitude, se caractérise par des pluies concentrées sur la saison hivernale à jours courts et par une saison estivale chaude, longue et sèche ; saison sèche qui s'allonge et s'intensifie en direction du Tropique du Cancer.

Cependant, s'il existe d'autres régions à climat identique de type subtropical, tant dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère Sud, nombre d'auteurs (1971) estiment que, pour des raisons (proto) historiques, ce pourtour (maritime) mérite son identité ... admettons cette proposition sous la réserve des influences atlantiques et continentales.

Mais étant donné que :

- les informations météorologiques, dont nous disposons, sont trop fragmentaires pour justifier une étude comparative d'indices climatiques (indice d'aridité et de DE MARTONNE, indice xérothermique de GAUSSEN, ...),

- nous faisons nôtres ces considérations empruntées à DESPOIS et RAYNAL (1975) dans leur ouvrage sur la géographie de l'Afrique du Nord Ouest :
  . *"les formules des botanistes sont particulièrement intéressantes parce qu'elles ont été conçues pour délimiter du mieux possible les étages végétaux qui représentent eux-mêmes la résultante synthétique de données diverses et correspondent donc à de véritables milieux géographiques,*
  . *le comportement météorologique d'une saison donnée varie considérablement d'une année à l'autre de sorte que les moyennes sont ici plus qu'ailleurs un moyen conventionnel et théorique d'évaluer une réalité capricieuse",*

nous ne retiendrons dans la suite du texte que la seule proposition de LE HOUEROU (1971) qui, s'inspirant de l'expression empirique du Quotient pluviothermique d'EMBERGER créé en 1930 (EMBERGER, 1952), ne retient plus que la pluviométrie moyenne annuelle (P) pour classer, sur base d'appréciations phytogéographiques et agronomiques, les climats méditerranéens en étages bioclimatiques, à savoir :

climat méditerranéen saharien (S)	:	$P \leq 100$
climat méditerranéen aride (A)	:	$100 < P < 400$ exactement subdivisé en inférieur (AI), moyen (AM) et supérieur (AS)
climat méditerranéen semi-aride (SA)	:	$400 < P < 600$
climat méditerranéen subhumide (SH)	:	$600 < P < 800$
climat méditerranéen humide (H)	:	$800 < P < 1.200$
climat méditerranéen perhumide (PH)	:	$1.200 < P$

étages dans lesquels la température moyenne des minima (m) du mois le plus froid permet de définir les variantes suivantes qui tiennent compte de la rigueur hivernale :

hivers froids	:	$m < 1$
hivers frais	:	$1 < m < 3$
hivers tempérés	:	$3 < m < 5$

hivers doux : $5 < m < 7$

hivers chauds : $7 < m$

5.1.2. LA GEOLOGIE

Dans une vue d'ensemble, CAIRE (1971) décrit cette région comme la bordure orogénique alpine du Continent africain que l'accident Sud-atlasique long de 2.000 km, d'Agadir (Maroc) à Gabès (Tunisie) sépare de la plate-forme saharienne précambrienne. Somme toute, pour DESPOIS et RAYNAL (1975), l'histoire géologique de l'Afrique du Nord est celle de l'édification progressive d'une frange continentale ajoutée et accolée à la masse africaine au détriment d'une "Méditerranée" qui, reculant vers le Nord et communiquant de moins en moins facilement avec l'océan, a permis l'individualisation de différents domaines au cours de l'évolution géologique, c'est-à-dire du Nord au Sud (Photo 1) :

- les affleurements primaires des noyaux rifo-kabyles dans le bourrelet sub-méditerranéen,
- les formations rifo-telliennes délimitées au Sud par le front d'érosion des nappes d'Afrique du Nord,
- la zone présaharienne ou Atlas présaharien.

5.2. L'ARRIÈRE-PAYS D'ALGER

Cette expression, qui correspond peut-être plus à une réalité économique que physique, est certes arbitraire dans ce propos, mais permet de visualiser assez simplement cette bande méridienne et centrale de l'Algérie bordée à l'Est par celle de Constantine et à l'Ouest par celle d'Oran.

5.2.1. LE CLIMAT

Du Nord au Sud, partant du subhumide d'Alger et de l'humide des montagnes septentrionales, l'évolution du climat montre une presque parfaite zonation jusqu'au climat saharien (Fig. 16), car la continentalité va de pair avec la latitude et l'altitude va globalement en décroissant.

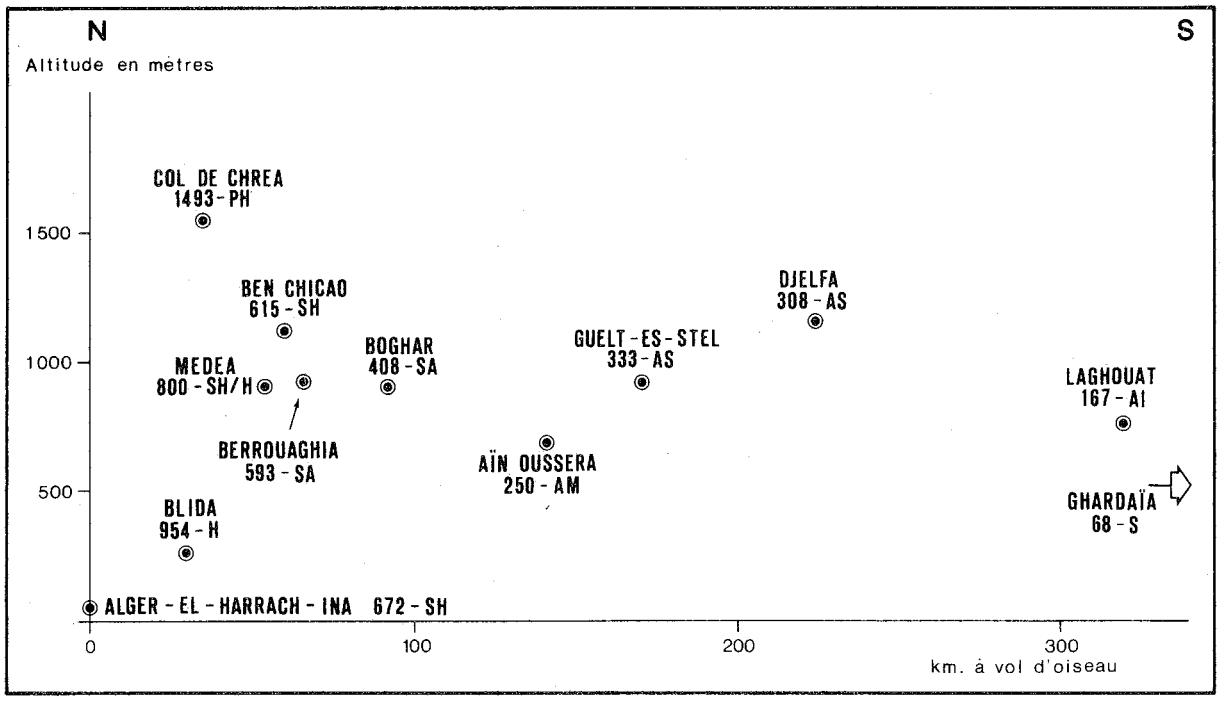


FIG. 16 : Relevés pluviométriques en mm de quelques stations météorologiques (SELTZER, 1946) suivant l'axe d'Alger (Nord) - Laghouat (Sud)

5.2.2. LA GEOLOGIE

Un montage photographique réalisé par agrandissement deux fois et découpage de trois images prises par satellite Landsat (Eros data Center, 1980) permet de présenter, au 1/1.684.500, les grands ensembles structu-

raux de cette région et d'y situer l'Atlas tellien en suivant une coupe Nord-Sud de 300 km (photo 1), pratiquement identique à la précédente[1] :

- A. la Méditerranée et le pointement primaire du Cap Matifou,

- B. l'extension Est de la plaine de la Mitidja (banlieue d'Alger), plaine alluviale subsidente qui s'est affaissée entre le bombement du Sahel et les montagnes de l'Atlas,

- C. l'extension Est du Sahel, bourrelet anticlinal de marnes et de grès du Pliocène formant un cordon littoral de molles collines,

- D. la Grande Kabylie (Tell septentrional de KIEKEN, Fig. 17) dont le centre (D1), constitué par un massif primaire de gneiss et de micaschiste, est dominé par les écailles du calcaire jurassique et éocène du Djurdjura (D2) qui culmine à 2.308 m ; ces écailles chevauchent, au Sud, le flysch[2] schisto-gréseux du Crétacé inférieur de la dépression de la Soummam (D3),

- E. l'Atlas tellien (Tell méridional de KIEKEN) qui se subdivise en deux massifs parallèles, l'Atlas mitidjien au Nord (E1 ou Atlas de Blida-Tablat) et la chaîne des Biban (Bab = porte) au Sud (E2), qui sont séparés par la dépression des Beni Slimane (E3, partie du sillon intratellien Chélif-Soummam) dans laquelle se situe le plateau de la Taourga (X).

---

(1) les enregistrements des satellites Landsat (partim NASA in HECQ, GOMBEER et GASPAR, 1980) sont reproduits sur films positifs, noir et blanc et correspondent à des scènes de forme pratiquement carrée de 55,8 mm de côté qui, précisons-le, à l'échelle du 1/3.369.000 couvrent 34.225 km^2 (185 km x 185 km) soit un peu plus que la surface de la Belgique ; chaque scène est enregistrée simultanément par un système de balayage multispectral sur quatre clichés (images) et dans quatre canaux parfaitement congruents. L'intervalle des prises de vue d'une même scène est de 18 jours ; néanmoins, les enregistrements disponibles sont relativement fragmentaires en fonction de la date, du lieu, de la qualité des différents canaux, ou de la couverture nuageuse.

(2) flysch : mot dialectal de Suisse alémanique (BELLAIR et POMEROL, 1968) qui désigne (FOUCAULT et RAOULT, 1980) une formation sédimentaire détritique souvent épaisse, composée essentiellement d'un empilement de turbidites (gravier, sable, silt, argile - matériel quartzeux et argileux) typiquement en concordance avec les couches sous-jacentes et déposée dans une zone orogénique aujourd'hui tectonisée.

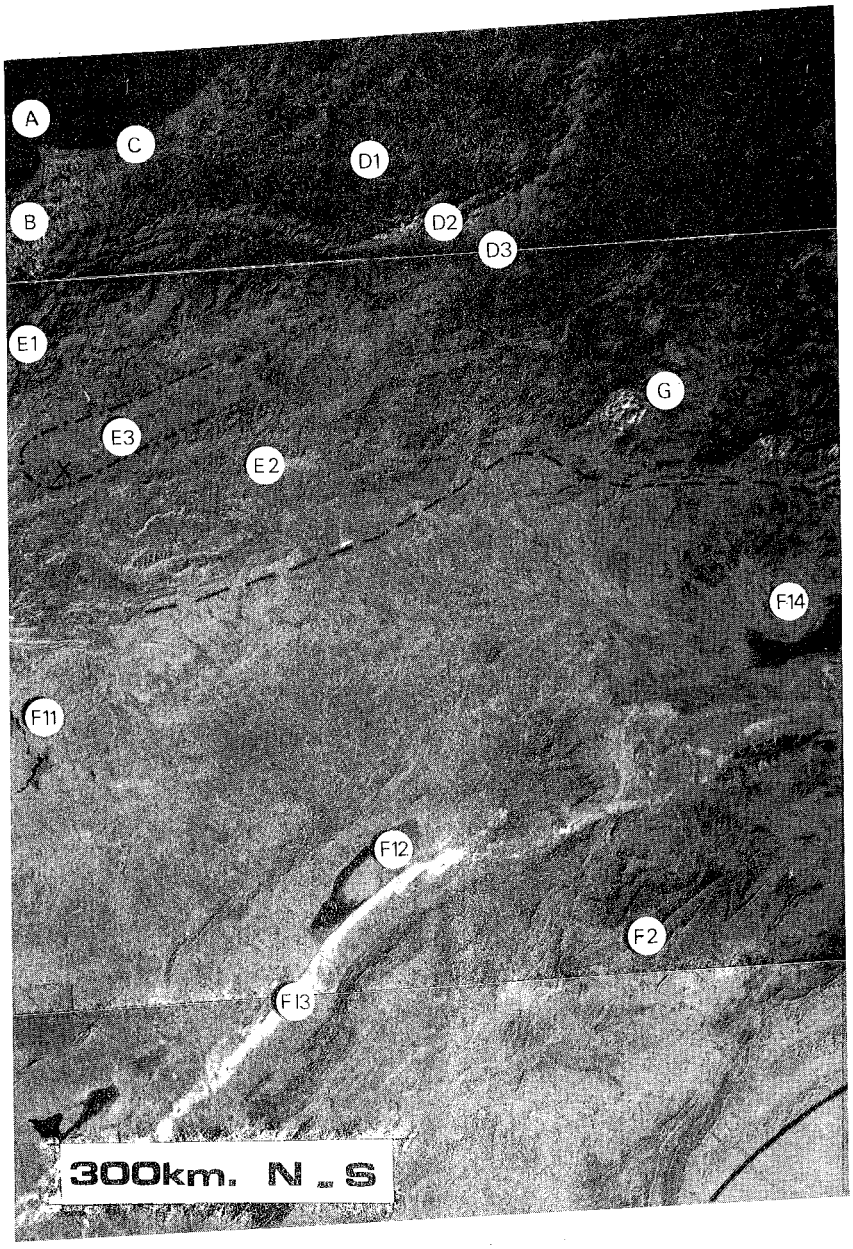


PHOTO 1 : Présentation de l'arrière-pays d'Alger au 1/1.684.500 réalisée à partir d'images satellite (Eros data center, 1980)

- F. la zone présaharienne avec les Hauts Plateaux (F1) et l'Atlas saharien (F2) qui voisine 1.600 m dans les Monts des Ouled Naïl ; sur les plateaux, il est facile de repérer la retenue du barrage de Bougzoul (F11), le

Zarhrez (sebkha)[1] Chergui (Chergui = de l'Est) (F12) à 756 m d'altitude qui est bordé au Sud par un cordon dunaire (F13) et l'extension Ouest de la dépression du Chott[1] el Hodna (F14) qui s'enfonce à 400 m avec un beau réseau endoréique,

- G. formations nuageuses,

- en tireté de 3 mm, le bourrelet sub-méditerranéen,

- en trait de chaînette, les limites de la dépression des Beni Slimane,

- en tireté de 5 mm, le front d'érosion des nappes d'Afrique du Nord,

- en trait continu, l'accident Sud-atlasique.

5.3. L'ATLAS TELLIEN (dans son acception précédente)

L'Atlas tellien est d'une géostructure tellement compliquée qu'il est impossible de vouloir en isoler un secteur sans au moins en avoir compris les fondements de la terminologie.

5.3.1. LE CLIMAT

Comme dans presque toutes les régions montagneuses, l'Atlas tellien, à vocation forestière, est caractérisé par une juxtaposition de climats locaux ; toutefois, à l'exception de quelques sommets perhumides (Chréa),

---

(1) sebkha et chott (POUGET, 1980) : repris par l'usage scientifique, ces termes vernaculaires désignent des dépressions salées ; les premières restent sous la dépendance d'apports d'eaux de crue, les secondes seraient alimentées non seulement par des apports superficiels de ruissellement, mais aussi par des sources ou des suitements de nappes artésiennes.

ceux-ci peuvent être utilement regroupés en régimes pluviométriques humide (Médéa) à subhumide (Ben Chicao) dans le massif Nord et semi-aride dès la dépression.

5.3.2. LA GEOLOGIE

Pour expliquer le schéma structural du Tell (Fig. 17), il faut suivre CAIRE (1971) et décomposer l'évolution alpine de la région, qui du Trias au Quaternaire (récent), présente trois grandes périodes :

- une période pré-tectonique, du Trias à l'Eocène moyen, pendant laquelle les processus sédimentaires dominent ; des zones de faciès allongés dans une direction sensiblement Ouest-Est, donc grossièrement parallèles au bord de la plate-forme saharienne, se différencient progressivement grâce à des mouvements oscillatoires de type épirogénique[1], parfois même à l'occasion de dislocations tectoniques,

- une période tectogénique pendant laquelle les phénomènes tectoniques prennent la prépondérance avec deux grandes phases de diastrophisme[2], accompagnées ou suivies de dépôts à la phase éogène et miocène. C'est-à-dire que de minces pellicules de terrains sédimentaires (de faciès flysch) se sont décollées au Miocène inférieur des zones hautes septentrionales d'un géosynclinal et ont glissé par gravité vers le Sud pour s'empiler sur un substratum constitué par divers termes du Crétacé ou du Miocène en place[3],

- une période post-tectonique proprement orogénique pendant laquelle les

---

(1) épirogenèse (FOUCAULT et RAOULT, 1980) : lents mouvements de montée ou de descente des domaines continentaux, à large rayon de courbure.

(2) diastrophisme (FOUCAULT et RAOULT, 1980) : terme utilisé pour désigner tout phénomène de déformation de l'écorce terrestre, quelle que soit son échelle.

(3) sans compter les lambeaux précurseurs, KIEKEN (1962) répartit ces minces pellicules en cinq nappes telliennes d'écoulement ou de charriage et déplore qu'elles soient qualifiées différemment selon les auteurs et les régions étudiées ; précision qui explique la différence de symbolisme employé dans les figures 17 et 19 pour numéroter ces nappes et leurs différentes unités.

déformations et les dépôts réalisent le relief d'une continentalisation progressive ; cette période intermédiaire entre le régime géosynclinal et le régime plate-forme, voit une destruction progressive de la zonalité linéaire, le remplacement des bombements et sillons par des cuvettes, des coupoles et des fossés.

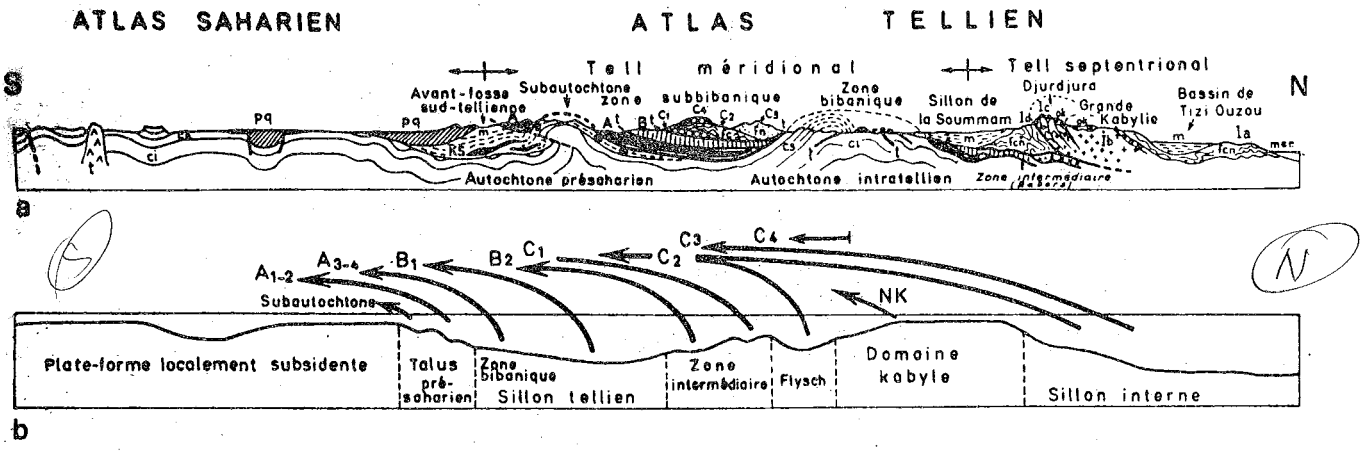


Fig. 17 : Coupe composite schématique Sud-Nord des Atlas tellien et saharien le long du méridien de la Grande Kabylie d'après CAIRE (1971)

Légende : structure et évolution du Tell algérien (in extenso de l'auteur)

a) t, dôme de sel triasique ; ci, crétacé inférieur ; cs, crétacé supérieur ; pq, fosse d'effondrement plio-quaternaire (caractéristique de l'Atlas tunisien) et zone subsidente plio-quaternaire sur le bord nord de l'Atlas saharien ; m, miocène inférieur de l'avant-fosse sud-tellienne, avec klippes[1] sédimentaires KS ; A, unité A ; t, lames triasiques supportant les unités B et C ; B, unité B ; C_1, lame C_1 (sénonien conglomératique venant de la zone intermédiaire, type Babor) ; C_2, flysch crétacé (fc) ; C_3, oligocène (flysch numidien (fn) ou série molassique de Medjana) ; C_4, miocène inférieur, cs, ci, crétacé de la zone bibanique ; t, trias injecté dans la zone bibanique ; m, miocène inférieur et supérieur (série post-nappes du sillon Chéliff-Soummam) ; fcn, flysch crétacé à nummulitique ; t, trias;

(1) klippe (FOUCAULT et RAOULT, 1980) : portion d'une unité tectonique allochtone isolé du corps principal de celle-ci (lambeau de charriage).

lames Id, Ic, Ib et Ia (flysch sud-kabyle, chaîne calcaire, bâti ancien des Kabylies, et flysch nord-kabyle) ; ec, écailles de la chaîne calcaire ; ok, "oligocène kabyle" ; m, miocène post-nappes du bassin de Tizi Ouzou,

b) Paléogéographie sénonienne. Un dépôt de flysch externe nord-tellien est signalé entre la zone intermédiaire et le domaine kabyle. Les flèches indiquent l'origine, le sens de déplacement et l'ordre de superposition des nappes et unités chevauchantes.

Dès lors, il ne fait aucun doute que la tectonique est complexe, le relief tourmenté, les massifs mal délimités, la nomenclature imprécise ; et c'est pourquoi, bien que les distinctions ne soient pas toujours faciles à faire du fait de la ressemblance des matériaux, l'étude géologique de l'Atlas consiste d'abord à distinguer les formations autochtones des formations allochtones et donc le Néogène anté-nappes du Néogène post-nappes.

5.4. LA DÉPRESSION DES BENI SLIMANE (NIVEAU RÉGIONAL)

Beni Slimane est à la fois le nom d'un village administrativement délimité, d'une dépression topographiquement marquée et d'un programme spécial de rénovation rurale englobant tout le haut bassin hydrographique de l'oued Isser

5.4.1. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE

Ce sillon intratellien, orienté Ouest Sud Ouest-Est Nord Est, s'ouvre à l'Est de Berrouaghia sur une dizaine de kilomètres de large et s'étend à 500-700 m d'altitude, jusqu'à Aïn Bessem situé 65 km plus à l'Est, à la limite du haut bassin de la Soummam. Un certain nombre de seuils y individualisent des compartiments qui constituent des sous-bassins hydrographiques de l'oued Isser.

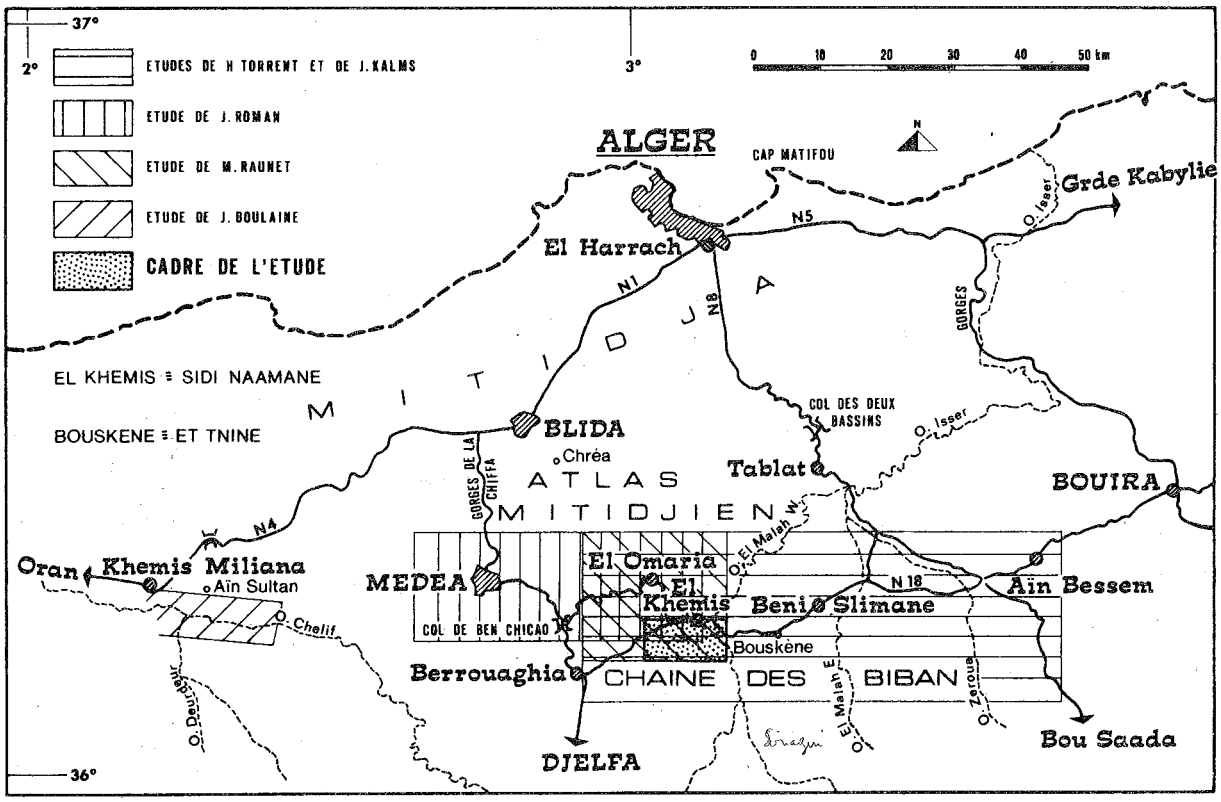


Fig. 18 : Schéma de situation de la dépression des Beni Slimane réalisé à partir de la carte routière de l'Algérie au 1/1.000.000 (Société Nationale Algérienne des Hydrocarbures ou SONATRACH, 1976) (1)

5.4.2. LE CLIMAT

De l'ouvrage classique de SELTZER (1946) et pour la partie Ouest de la dépression qui nous intéresse plus spécialement, les seules stations météorologiques de Berrouaghia (928 m, L = 36°8' N, l = 2°55' E) et de Beni Slimane (600 m, L = 36°14' N, l = 3°18' E) fournissent respectivement les données suivantes :

- répartition pluviométrique saisonnière de 24,3 et 25,3 % en automne (S, O, N) ; 44,6 et 41,3 % en hiver (D, J, F) ; 27,0 et 26,6 % au printemps (M, A, M) ; 4,1 et 6,8 % en été (J, J, A) (Tableau 3)

(1) à la carte géologique de ROMAN, on peut superposer la carte géomorphologique de BELLATREUCH en cours de levé.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T
Berrouaghia	21	43	80	92	97	76	69	45	46	19	1	4	593 mm
	3	6	7	8	8	7	8	6	6	2	1	1	63 jours
Beni Slimane	21	35	56	61	77	45	44	36	38	29	3	3	448 mm
	3	7	8	9	9	8	10	7	7	5	1	1	75 jours

TABLEAU 3 : Hauteur en mm et nombre de jours de pluie - moyennes mensuelles et annuelles (valeurs lacunaires ramenées à la période de 1913-1938)

- nombre moyen de jours d'orage : 16,3 (maximum en septembre) et 25,1 (maximum en juin),

- nombre moyen de jours de grêle : 5,3 (maximum en décembre) et 3,4 (maxi- en mars),

de plus et seulement pour Berrouaghia (valeurs lacunaires également ramenées à 25 ans pour les températures) :

- température moyenne annuelle : 14,2° C

- températures moyennes mensuelles de janvier et de juillet : 5,0 et 24,7° C

- température moyenne des minima du mois le plus froid (m) : 0,6° C (janvier) avec un minimum absolu de - 13° C,

- température moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) : 34,2° C (juillet) avec un maximum absolu de 42,3° C

- nombre moyen de jours d'enneigement : 10,2

enfin, et seulement pour Beni Slimane :

- nombre moyen de jours de Sirocco : 25,8 (maximum en août),

- nombre moyen de jours de gelée blanche : 39,7 (maximum en janvier)

Ces données caractérisent un climat semi-aride assez rigoureux (grande amplitude thermique) dont l'impression de continentalité est encore renforcée par la comparaison (Fig. 16) des relevés pluviométriques de Beni Slimane avec ceux de Chréa, de Médéa et de Ben Chicao puisque cette dernière montre la nette atténuation des influences maritimes par l'Atlas mitidjien. De plus, à en juger par les résultats obtenus au cours d'un programme de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 1972), à Si Lakhdar (10 km ESE de Berrouaghia) durant la période 1967/71, la variabilité est (effectivement) très importante d'une année à l'autre : exemple de 441, 547, 777 et 408 mm de précipitations successivement recueillies soit de la limite de l'aride à la limite de l'humide. Programme qui nous rappelle quelques grandes limites bioclimatiques d'intérêt pratique : 400 mm < céréaliculture productive < 800 mm ; 600 mm < culture d'été sans irrigation ; végétation steppique < 400 mm ; 100 mm < cultures non irriguées ; m = 1,5° C < olivier ; m = 3° C < oranger ; m = 6° C < culture des primeurs. Mais dans ce lot d'informations inégales, rien ne concerne le régime des vents (desséchants).

5.4.3. LA GEOLOGIE

Sur les figures 17 et 19, la dépression apparaît comme un anticlinal évidé dans les marnes du Crétacé autochtone des Biban, mais en fait, KIEKEN (1962) croit savoir, au point où en sont les levés, que les Biban ressortent en fenêtre tectonique, au milieu d'un empilement de lames de charriage et qu'ils dessinent un demi-anticlinal à l'intérieur de cette vaste boutonnière ; c'est-à-dire que les strates autochtones forment le flanc Sud d'une vaste structure dont on ignore où se trouve le flanc Nord.

Mais quoi qu'il en soit exactement, cette structure est comblée par des dépôts continentaux post-nappes qui, d'après RAUNET (1974), sont soulignés, en piedmont Nord des Beni Slimane, par la rectitude d'un contact morpholithologique de lambeaux encroûtés sur des argiles ou cailloutis ; et cet auteur de l'expliquer par une faille qui attribuable à des mouvements tectoniques

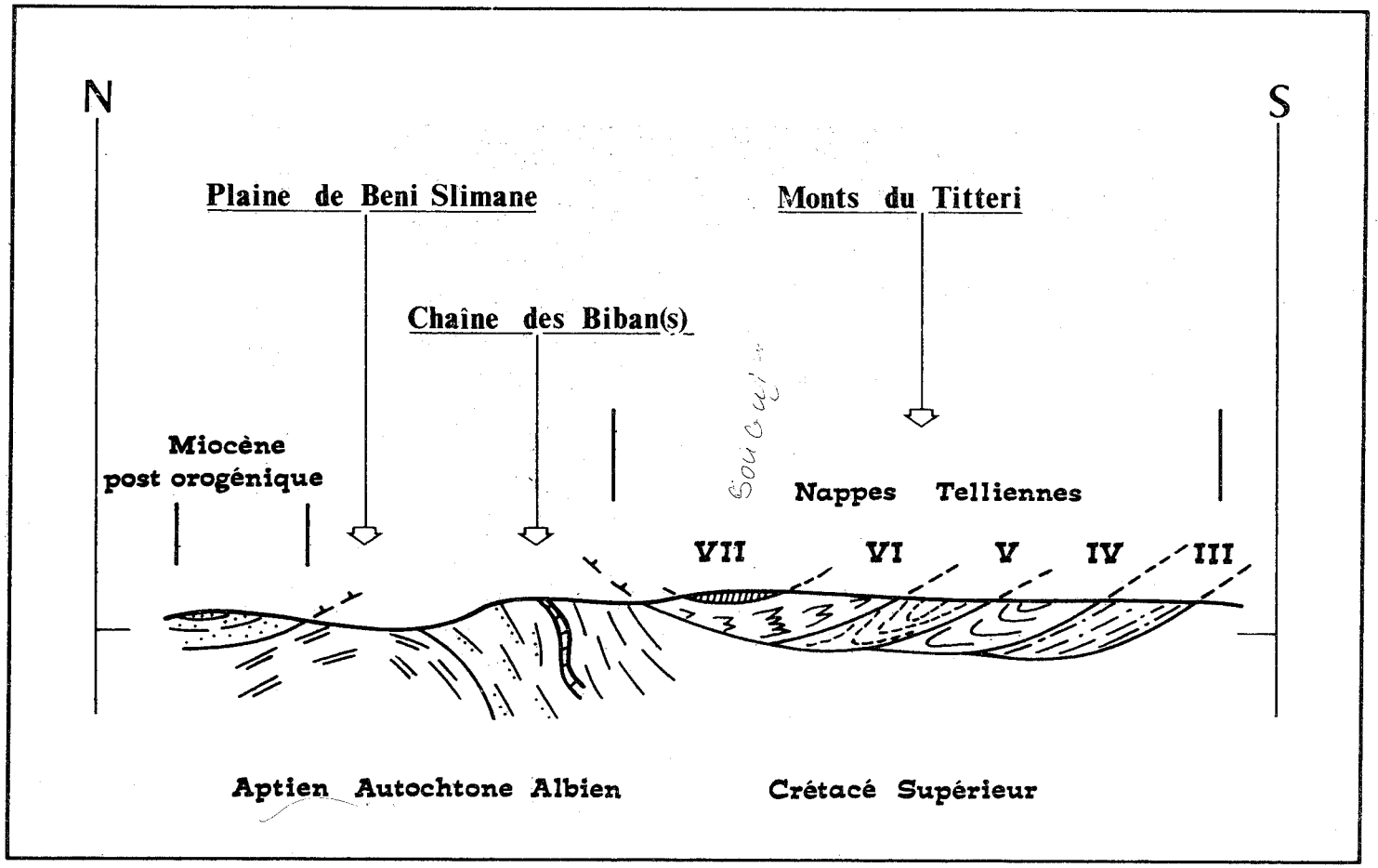


FIG. 19 : Schéma tectonique de la zone des Beni Slimane accompagnant la carte géologique au 1/200.000 de TORRENT (1973) partiellement présentée à la figure 20.

quaternaires (moulouyens ?) aurait également permis à l'érosion de dégager le Crétacé et qui, sauf méprise, apparaît fort bien sur la photographie présentée ci-dessous (trait continu épais).

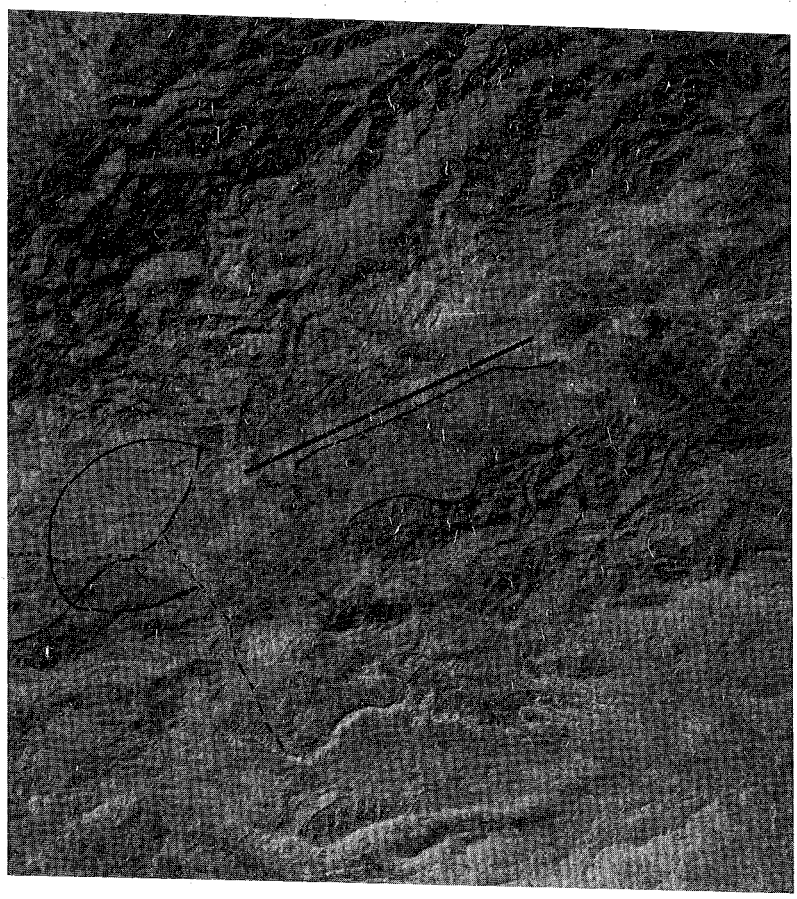


PHOTO 2 : Présentation de la dépression des Beni Slimane au 1/673.000 (agrandissement 5 X) réalisée à partir d'une image satellite (Eros data Center, 1980)

Légende :

trait continu fin : limite de la dépression

X : plateau de la Taourga

les autres figurés sont expliqués dans le texte.

5.5. LE TERROIR D'EL OMARIA (NIVEAU SOUS-REGIONAL)

Le terroir d'El Omaria constitue la plus petite unité géographique dans laquelle le plateau de la Taourga s'intègre tectoniquement, lithologiquement et morphologiquement.

5.5.1. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le terroir d'El Omaria (Fig. 20) se situe à l'extrême Ouest de la dépression des Beni Slimane, à 55 km au Sud d'Alger à vol d'oiseau, et constitue à son tour un sous-bassin de l'oued Malah (malah = salé) Ouest qui, venant de la zone "Sud-tellienne" où certaines de ses sources naissent dans le Trias, coule vers le Nord Est en étant accolé par la rive droite à un relief (cote 770) qui isole ce compartiment de celui du sous-bassin de l'oued Malah Est.

5.5.2. LE CLIMAT

Ce terroir, malgré les lacunes d'information, peut être situé à la limite d'un climat subhumide à hiver froid sur les versants à semi-aride à hiver frais dans la plaine ; la végétation, en fonction de l'exposition, y souffrirait donc de froids tardifs au printemps et de sécheresse l'été.

5.5.3. LA GEOLOGIE

Dans ce secteur (Fig. 20), les dépôts de comblement continentaux post-nappes sont décrits par RAUNET (1974) comme une alternance de bancs lités subhorizontalement, de cailloutis, de conglomérats et d'argiles calcaires de couleur jaune dont l'épaisseur totale pourrait atteindre plusieurs

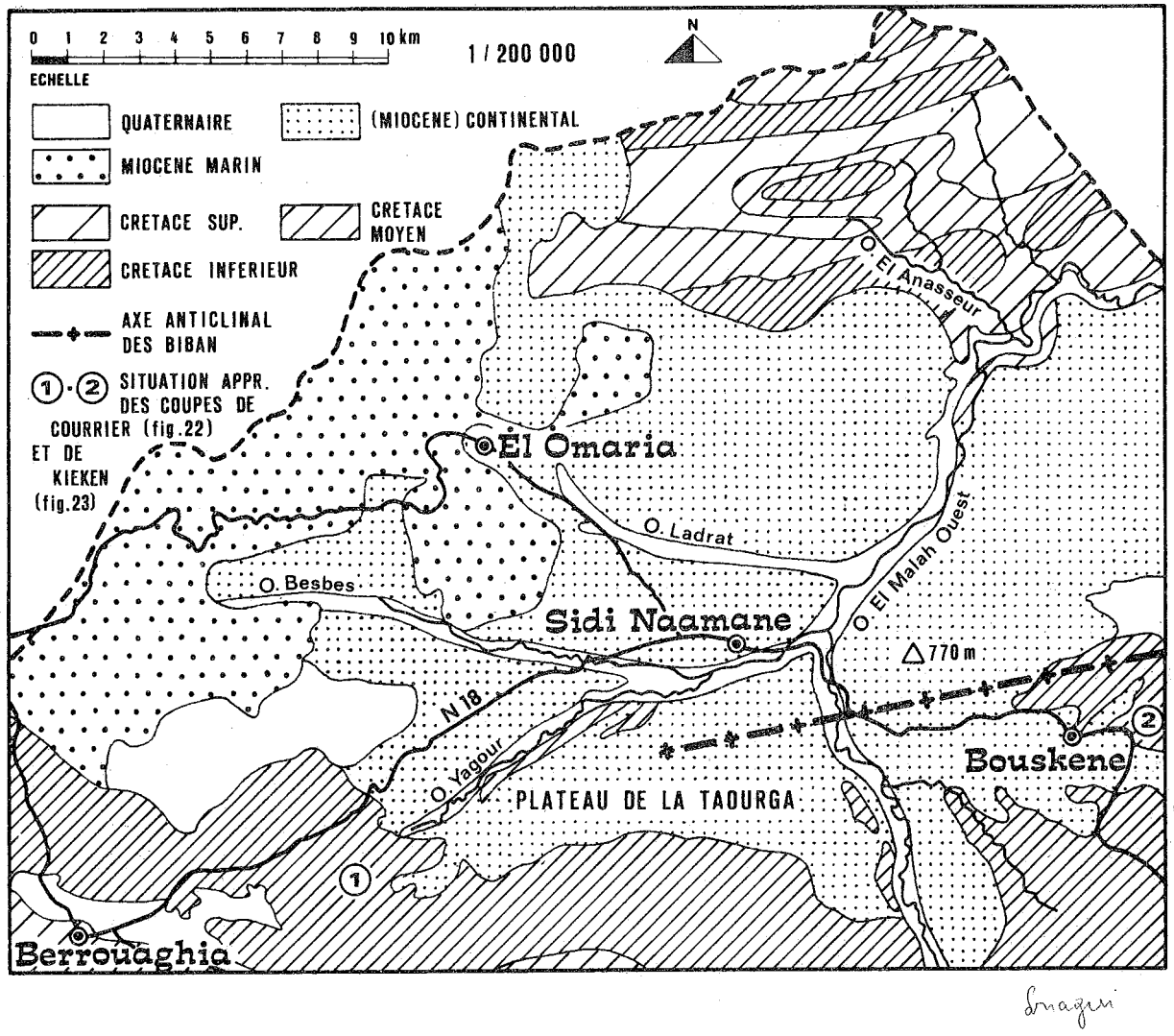


FIG. 20 : Carte géologique et hydrographique schématique du terroir d'El Omaria réalisée à partir du découpage, du tramage et de l'adaptation de la carte géologique coloriée au 1/200.000 de la zone de rénovation rurale des Beni Slimane de TORRENT (1973) pour le compte du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

centaines de mètres (cuvette de subsidence ?) ; mais alors qu'il leur attribue une position stratigraphique inférieure à celle du Miocène marin des versants, ROMAN (1975) les date du Continental supérieur (contemporain ou postérieur) en précisant que les passages mio-pliocène et plio-pléistocène ne sont généralement pas visibles. Toujours, d'après RAUNET et comme cela a déjà été partiellement rapporté (cf. 3.2.3.1°), ces dépôts ont été façonnés en glacis et terrasses dont l'exemple peut être résumé ainsi :

- les terrasses récentes (rharbiennes) offrent les meilleurs sols contrairement aux plus anciennes (soltaniennes) qui se situent plusieurs mètres au-dessus des précédentes en lambeaux irréguliers très caillouteux raccordés le plus souvent aux glacis,

- les glacis dont les plus anciens (plio-villafranchiens à tensiftiens) montrent les empreintes paléoclimatiques de l'encroûtement calcaire et de la rubéfaction.

La confrontation de ces deux auteurs permet aussi de faire l'inventaire stratigraphique (Secondaire ou Tertiaire) des reliefs qui environnent la plaine :

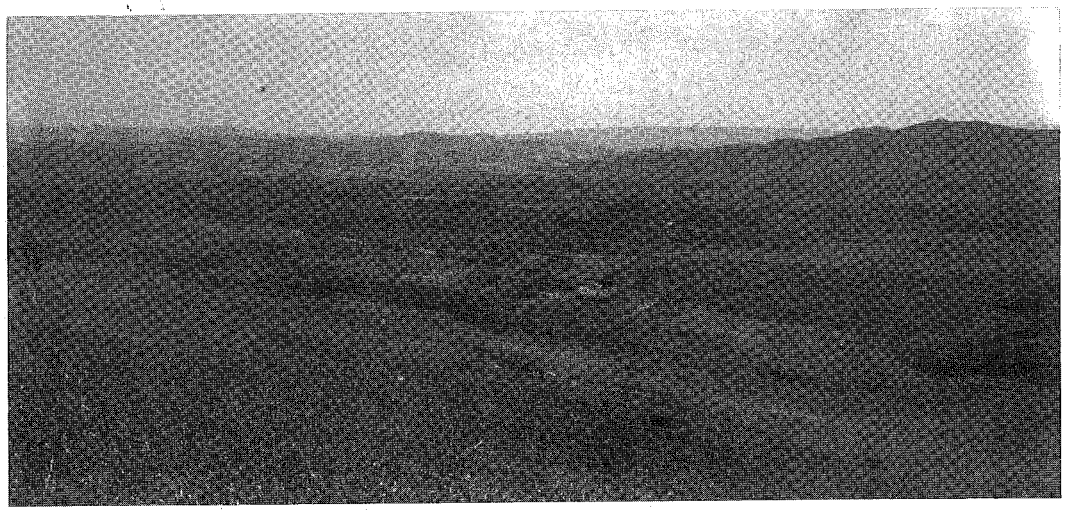


PHOTO 3 : Vue panoramique du terroir d'El Omaria qui, prise vers le Sud Est à partir des affleurements du Miocène marin, donne une idée du modelé général avec les glacis entaillés par les oueds et le massif des Biban au fond à droite.

- à l'Ouest et au Nord Ouest :
  . les formations post-nappes du Miocène marin du bassin de Médéa qui, plissées en un vaste synclinal, présentent des faciès de grès calcaires parfois conglomératiques et de marnes parfois sableuses ; ces dépôts, marquant l'extension vers l'Est de la mer du Chélif, placent cette région au contact littoral de séries marines (affleurant donc à l'Ouest)

avec les séries continentales développées plus à l'Est et dès lors, il nous semble que le "Sillon Chélif-Soummam" est loin de constituer cet axe post-orogénique homogène que cette appelation laisse supposer,

. les formations bréchiques et marneuses du Miocène continental post-nappes d'un cycle antérieur à celui du Continental supérieur et en position stratigraphique inférieure au Miocène marin,

- au Nord, les formations autochtones et allochtones du Crétacé de l'Atlas mitidjien,

- au Sud, les formations autochtones du Crétacé de la chaîne des Biban.

5.5.4. LE RESEAU HYDROGRAPHIE ET LA TECTONIQUE

Le réseau hydrographique (Fig. 20) est dissymétrique puisqu'uniquement développé sur la rive gauche de l'oued Malah Ouest avec trois affluents principaux ; les oueds Besbès et Ladrat qui coulent d'Ouest en Est depuis les versants du Miocène marin et l'oued el Anasseur qui descend du Nord. A ceux-ci, il faut ajouter l'oued Yagour, affluent de l'oued Besbès, qui, prenant sa source près de Berrouaghia sous le nom d'oued Hammam (hammam = bain), coule dans le Crétacé des Biban à la faveur d'une faille (Fig. 22) avant de déboucher dans la dépression par le Sud Ouest.

Mais de l'avis de ROMAN (1975), cette situation n'existerait que depuis la phase tectonique paroxysmale fini-pliocène qui peut avoir provoqué l'effondrement de la plaine des Beni Slimane et/ou la remontée du bassin de Médéa parce qu'avant cela, les oueds devaient couler du Sud Est vers le Nord Ouest, des Biban vers le bassin du Miocène marin.

De plus, il est intéressant de noter (Photo 2) que l'axe constitué par les oueds Yagour et Malah aval (tireté de 5 mm) est bien marqué et orienté Sud Ouest - Nord Est dans l'alignement de certains plis de l'Atlas mitidjien alors que le cours de l'oued Besbès (ponctué) marque une inflexion dans la dépression et que celui de l'oued Malah amont (tireté de 3 mm) est à peine visible.

De ces faits, et étant donné que :

- THOMAS (1974) fait allusion au grand nombre d'auteurs qui ont déjà souligné les conséquences de certains mouvements tectoniques par l'étude des réseaux hydrographiques (capture, surimposition, tracé des cours d'eau, endoréisme),

- ROMAN (1975) signale que le substratum apparaît en quatre endroits aux environs d'El Omaria sous l'effet conjugué de la tectonique et de la diminution d'épaisseur des séries néogènes,

- DELTEIL (cité par ROMAN, 1975) considère les nombreuses structures affectant le Pliocène comme héritées de la phase atlasique et de celle du Miocène moyen,

il apparaît fort probable qu'en plus de variations lithologiques ou de compétences variables des cours d'eau, ce réseau hydrographique soit partiellement le résultat d'un ou de plusieurs mouvements superposés qui auraient isolé, par jeu ou par rejeu de failles d'orientations différentes, le terroir d'El Omaria en une sorte de caisson marginal à la charnière de plusieurs domaines.

Enfin, les affluents de ce réseau principal ont entaillé, au cours du Quaternaire, les glacis et les ont découpés en lanières (draa = bras) au point que, dans certains secteurs ce ne sont plus que des lambeaux étroits.

5.6. LE PLATEAU DE LA TAOURGA ET SES BORDURES IMMÉDIATES (NIVEAU DE PROJET)

5.6.1. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le plateau d'une superficie de 4.555 ha (SODETEG, 1973), situé au Sud de la route Nationale 18 Berrouaghia-Bouira à la hauteur du village d'El Khemis-Sidi Naamane suivant les coordonnées Lambert x : 530-541 (l = ± 3°5' E), y : 317-324 (L = ± 36°10' N) constitue (Fig. 21) l'interfluve de l'oued Malah Ouest et de l'oued Besbès qui le limitent respectivement à l'Est et au Nord Est. Il est individualisé au Nord et à l'Ouest par l'oued Yagour, au Sud Ouest par les affleurements de marnes de Draa el Abiod et au Sud par les Djebels Daïa et Maamar (1.012 m) (1) en première ligne, les Djebels Soebbah Rharbi (1.251 m Rahrbi = d'Ouest), Msaïdine (1.113 m) et Sebah Chergui (1.173 m) en seconde ligne. Ces tranchées d'oueds fortement incisées confèrent au plateau l'aspect d'un relief tabulaire suspendu qui s'inscrit approximativement dans un triangle rectangle dont la confluence constitue l'angle droit (579 m d'altitude) et la montagne, l'hypothénuse longue de 14 km. Une piste médiane vient récemment d'être tracée et empierrée ; celle-ci, orientée Nord Est-Sud Ouest, après le passage à gué (608 m) des oueds Yagour et Besbès confluents, grimpe sur le rebord du plateau (658 m) et joint en une ligne droite de 6 km le domaine de Merachda (750 m). Un réseau intérieur est organisé sur cet axe dont certaines pistes sont difficilement carrossables par temps de pluie du fait de la "lourdeur" des terres. Deux autres accès sont possibles de la route nationale, à partir d'un passage à gué sur l'oued Yagour et du pont sur l'oued Malah.

---

(1) les altitudes sont celles des cartes topographiques au 1/50.000 pour les versants et celles d'un levé topographique au 1/5.000 pour le plateau (COTEZOR, s.d.).

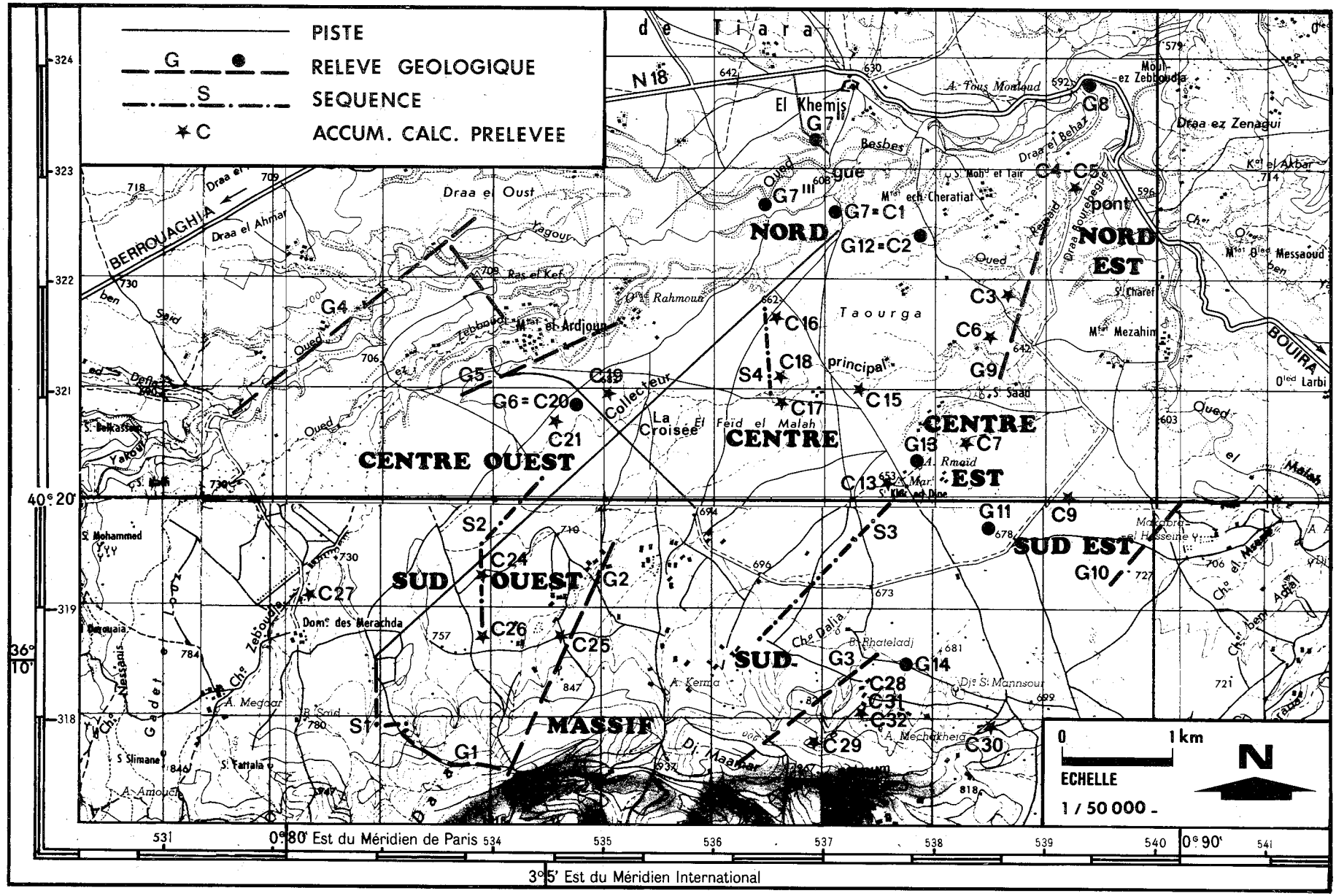


FIG. 21 : Montage topographique du plateau de la Taourga réalisé à partir du découpage des 4 cartes topographiques au 1/50.000 de Médéa (86), Beni Slimane (87), Berrouaghia (110) et Souagui (111). (Institut Géographique National ou I.G.N.)

5.6.2. L'HYDROCLIMATOLOGIE

Les données du recueil hydroclimatologique (COTEZOR, 1976) pour la campagne 1975-1976 sont les seules dont nous disposons ; elles correspondent aux relevés pluviométriques et aux mesures de débit d'oueds, de transport solide et de débit de sources qui ne sont pas toujours complets. Ainsi, pour une période de douze mois (mars 1975 à février 1976), il est tombé 466 mm à Ouled Rahmoun et 416 mm à Sidi Naamane avec une interruption (apparemment) totale pendant quatre mois. Les débits des oueds Besbès et Yagour sont permanents avec toutefois de grandes variations au cours de l'année ; l'exemple du Besbès est démonstratif avec un débit total de 26.438 m^3 en septembre 1975 et de 7.240.738 m^3 en février 1976. Pour ce même oued, le débit solide passait de 11,073 kg/m^3 pendant une crue en mars 1975 à 0,023 kg/m^3 par beau temps ; phénomène qui prend généralement des allures catastrophiques et rend les mesures très difficiles.

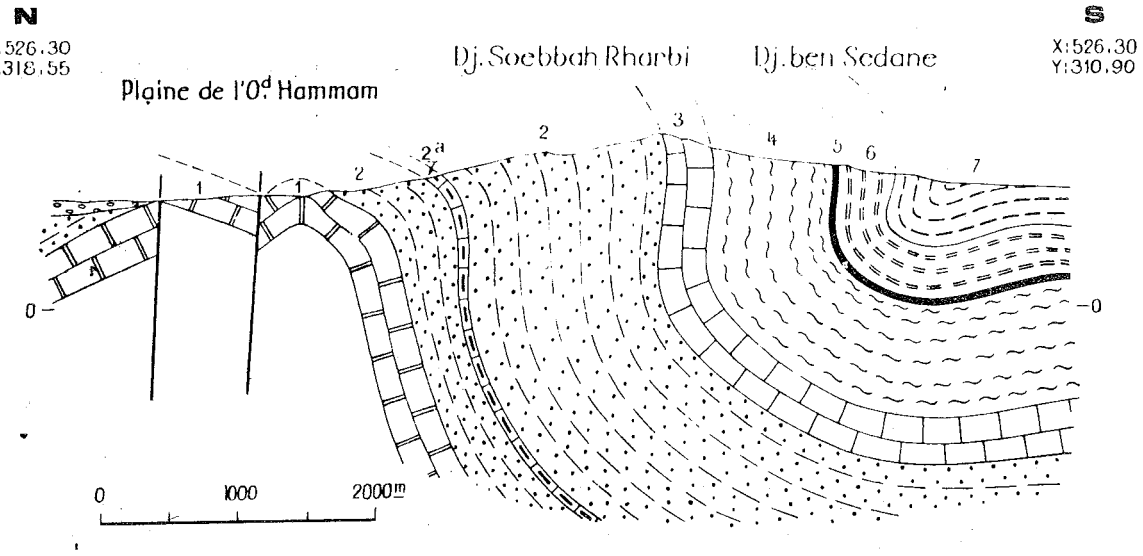
5.6.3. LA GEOLOGIE

1° LES SERIES AUTOCHTONES DU MASSIF DES BIBAN (Crétacé inférieur)

Parmi les rares études récentes sur la géologie profonde du Massif des Biban, KIEKEN (1975) présente deux coupes (Fig. 22 et 23 repérées sur la Fig. 20) qui cadrent le plateau ; la première de COURRIER (reprise par KIEKEN, 1975), levée à la hauteur du Djebel Soebbah Rharbi et de l'oued Hammam, la seconde, plus à l'Est, qu'il a personnellement réalisée à l'occasion d'un sondage à Bouskène.

a) Coupe de COURRIER :

- la base y est constituée par une formation aptienne de marno-calcaires feuilletés gris ou gris noir, de marnes gris clair à petits bivalves et de calcaire gris en bancs décimétriques,



1 *Aptien* _ 2 *Flysch Albien (2ª calcaire)* _ 3 *Calcaires Albien supᵉ* _ 4 *Cénomanien* _ 5 *Turonien*
6 *Coniacien* _ 7 *Coniacien supᵉ et Santonien* _

FIG. 22 : Coupe du flanc Sud des Biban d'après les levés de COURRIER repris par KIEKEN (1975)

- celle-ci est surmontée sans transition par une épaisse série de flysch albien où alternent les argiles et les grès sur 1.000 à 1.500 m d'épaisseur avec un niveau de calcaire lenticulaire interstratifié à quelque 500 m de la base, ainsi :
  . les argiles qui, faisant très faiblement effervescence à l'acide dilué entrent dans la catégorie des argilites calcaires, y sont le plus souvent lamelleuses ou feuilletées, de teinte gris noir en sections fraîches, mais à patine brune ou ocre sur les surfaces altérées,
  . elles alternent, à un rythme rapide, avec de minces bancs centimétriques de grès très fins, quartzitiques ou argileux ; succession qui évoque une sédimentation rapide en milieu calme,
  . dans cet ensemble, des bancs plus épais de grès de 1 à 5 m sont dispersés ; ces grès à patine rousse y sont également fins à très fins, fréquemment quartzitiques mais présentent, en cassure, une surface lisse, brillante, blanche ou très légèrement verdâtre, mouchetée de points rouges ou verts d'oxydes ferriques ou ferreux,

- l'Albien se termine par des formations calcaires.

Les couches sont redressées et un système de failles emprunté par l'oued affecte l'Aptien de la retombée Nord.

b) Coupe de KIEKEN

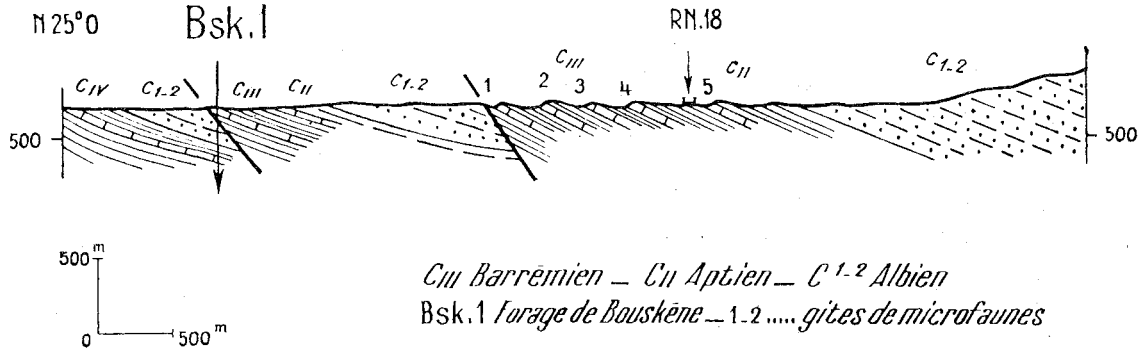


FIG. 23 : Coupe du Barrémo-Aptien de Bouskène d'après KIEKEN (1975) Légende de l'auteur.

Les bancs carbonatés durs disparaissent vers l'Est et sous le flysch repose une série épaisse d'environ 200 m constituée de marnes noires ou brunes, très indurées, à débit aciculaire, puis de marnes tendres associées à des bancs de 10 à 20 cm de calcaires argileux noirs à patine grise ; cette série a fourni une microfaune relativement abondante : les gîtes 1 à 4 caractérisent le Barrémien et le gîte 5 serait aptien. Les pendages y sont nettement moins forts et ne semblent pas affectés par les failles ; aussi peut-on passer d'une série barrémienne à une série albienne sans transition.

2° LES SERIES POST-NAPPES DU CONTINENTAL

Ce point est pratiquement repris pour mémoire, car il n'existe guère plus de données sur le plateau que celles déjà fournies par RAUNET et par ROMAN pour le terroir d'El Omaria. Toutefois, en prévision de notre inven-

taire personnel, nous pensons qu'il est utile de se référer aux principales études touchant au Continental, en Algérie, pour faire ressortir le difficile problème, déjà occasionnellement soulevé, des corrélations stratigraphiques et tectoniques.

Ainsi, plus au Sud, sur le plateau du Sersou, KIEKEN (1975) présente le Pliocène comme une superposition de 20 à 30 m de conglomérats et de 30 à 50 m de marnes crayeuses et sableuses, en ajoutant qu'on attribue erronément au Pliocène des formations détritiques non plissées de hautes terrasses qui appartiennent au seul Villafranchien.

De son côté (bassin versant de l'oued Djelfa-Malah), TRAYSSAC (1980) rapporte que les formations détritiques du Continental terminal ont valeur de molasses et qu'elles constituent deux séquences sédimentologiques, l'une néogène, de loin la plus épaisse, l'autre villafranchienne qui commencent chacune par des conglomérats très grossiers et s'achèvent sur une sédimentation évaporitique ou chimique ; et d'ajouter que l'ambiance climatique s'est vraisemblablement modifiée lors du passage de l'une à l'autre, car les dépôts rubéfiés du Néogène suggèrent une mise en place sous climat tropical sec, aride ou désertique, tandis que la série terminale avec ses dépôts lacustres témoigne d'un climat villafranchien plus humide, probablement de type méditerranéen. Dans ce contexte, il reconnaît notamment une phase tectonique terminale tardi-néogène et villafranchienne qui, par rejeu vertical, a rétabli partiellement les volumes montagneux, déformé la haute surface et servi de point de départ à l'érosion du Villafranchien supérieur et du Quaternaire.

Pour leur part, GLACON et GUIRAUD (1970) dans le Hodna, confirment les observations de GUIRAUD (cf. 3.1.3.) en attribuant au Villafranchien des formations qui, détritiques et grossières à la base ou à proximité des zones dont elles traduisent une nouvelle et importante surrection, montrent rapidement des faciès plus fins vers le centre des bassins ; formations qui auraient été déformées, plissées, voire même faillées à la suite de la phase fini-villafranchienne "terminant le Pliocène".

Par contre, en Oranie, DELFAUD et THOMAS (1972), trouvant des traces de Pebble Culture dans une puissante formation limoneuse, rubéfiée à son sommet, concordante à discordante sur le Pliocène et recouverte par une croûte à ciment rosé, rattachent tout ce complexe, qui peut être souvent plissé en de véritables anticlinaux, au Villafranchien des anciens auteurs.

Enfin, BALLAIS (1982), toujours plus convaincu (cf. 4.1.1.) que le Villafranchien du Maghreb oriental, s'il existe, est mal défini et beaucoup trop long dans son acception ancienne, qualifie de plio-quaternaire la dernière phase de tectogenèse et suggère, de par sa non instantanéité, de la faire porter jusqu'au Quaternaire moyen.

De ces descriptions, il ressort nettement que la diversité des faciès et des manifestations néotectoniques doivent résulter, dans certains cas, de l'incertitude sur l'âge des formations et sur la définition exacte à accorder au Villafranchien mais aussi, dans d'autres cas, d'une véritable régionalisation des événements à ne pas minimiser. Dans ces conditions, il est difficile de saisir les transitions et dès lors, on comprend mieux la prudence manifestée par ROMAN (1975) dans sa dénomination des formations continentales supérieures pour désigner un complexe mio-plio-villafranchien et l'importance donnée à la définition du Moulouyen par GIGOUT et RAYNAL (cf. 2.1.2-infra) comme référence stratigraphique pour le Quaternaire ancien ; différenciation qui suffira à étiqueter le cadre lithologique de notre étude, du moins comme hypothèse de départ.

5.6.4. L'HYDROGEOLOGIE

Un forage de 119 m (x = 535,0, y = 320,7 et z = 685,0) signale ("Technoexportstroy", 1974) la présence de grès quartzitiques intercalcaires dans la masse des marnes ; les essais de débit ont fourni 4,5 l/sec avec un rabattement de 20 m qui serait dû aux fissures tectoniques dans les marnes surtout en-dessous du 44ème mètre.

5.6.5. LA VEGETATION

La végétation (Photo 4) traduit bien la transition climatique :

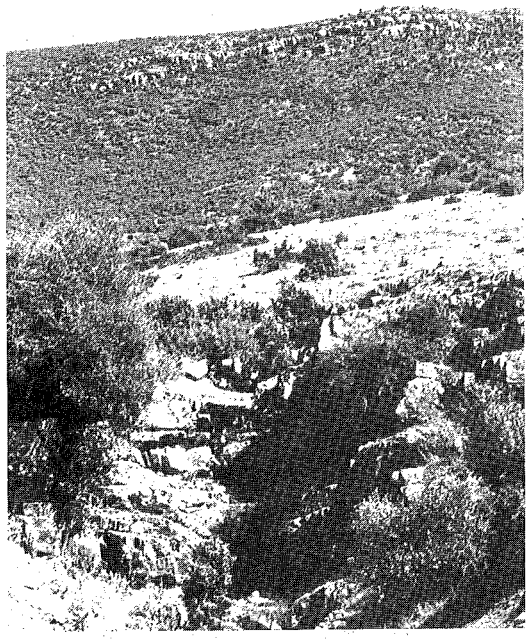


PHOTO 4 : Matorral sur le versant Nord du Djebel Daïa (massif des Biban, à 800 m d'altitude)

- la zone montagneuse, au-delà de 850 m, est caractérisée par un ensemble arbustif du type matorral qui sert de bois de chauffage à la population du plateau. Quercus ilex, Juniperus oxycedrus, Olea oleaster, Pistacea lentiscum et Calycotome spinosa sont représentatifs du Quercetum ilicis des étages subhumides et humides en moyenne altitude (MAIRE, 1926, LEDANT, 1976) ; mais il faut pondérer les observations par le fait que Quercus ilex est peu représenté,

- le plateau bien qu'entièrement cultivé présente quelques reliques de végétation encore moins nombreuses que sur la photographie aérienne de 1960. Olea europea greffé sur Olea oleaster, Pistacea atlantica près des chenaux et un seul Juniperus oxycedrus indiquent, du moins pour les

deux premiers, le faciès plus aride de l'Oleolentiscetum où Ziziphus lotus sous forme d'arbustes annonce une texture d'autant plus argileuse que la pluviométrie diminue (compensation édaphoclimatique, GAUCHER, 1981).

5.6.6. L'ASPECT HUMAIN

La population, d'une densité de 50 habitants au km^2 est répartie dans une dizaine de douars (douar = village) dont la situation dépend de l'alimentation en eau ; ce qui explique que sept d'entre eux sont en périphérie, soit en bordure des oueds, soit en piedmont (Photo 5), pour profiter des sources qui naissent au contact lithologique des marnes ; çà et là il y a quelques ruines mais aussi de nouvelles constructions dont au moins deux écoles.

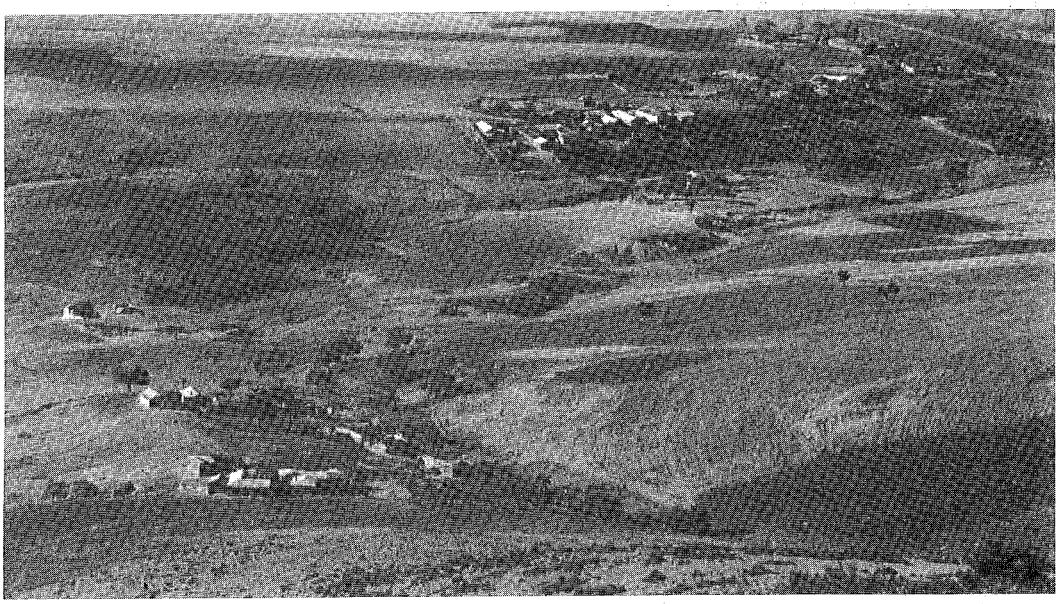


PHOTO 5 : Mechtas (maisons ou hameau), jardins et cultures, à 700 m d'altitude, sur les glacis de piedmont que borde le matorral ; les marnes du Crétacé affleurent dans les chenaux.

L'ensemble du plateau, cultivé en sec par des exploitants privés selon un assolement biennal traditionnel (céréales-jachères), procure les maigres rendements de 4 à 6 quintaux/ha avec cependant des pointes de production possibles de 12 Qx/ha en années favorables ; mais encore faut-il tenir compte du système biennal, donc d'une production moyenne par hectare et par an de 2 à 3 Qx de blé dur ou autres céréales (SODETEG, s.d.). Le semis se fait à la volée avec enfouissement à l'araire et les récoltes se font à la main au printemps ; d'une conversation tenue avec un fellah (paysan), il paraît qu'un tracteur à chenilles passe tous les deux ans avec une charrue. Les cultures fourragères sont peu étendues et l'élevage (bovin, ovin, caprin) n'y est pratiqué que sous la forme rudimentaire de parcours sur les jachères nues. De petits jardins entourent les maisons avec quelques arbres fruitiers et des cordons de figuiers de Barbarie. A 500 m au Sud du marabout de Si Khir ed Dine, un verger est irrigué par pompage dans la nappe et semble souffrir de la nature vertique du sol. Quelques tracteurs travaillent la partie Nord du plateau aux pentes et à la charge grossière moins fortes.

5.7. LES PROGRAMMES D'AMÉNAGEMENT

5.7.1. LE RAPPORT DE TERMINAISON FAO-ALGERIE 16

Dans le cadre du programme précité, mais au thème plus précis d'une complémentarité agriculture/élevage entre le Tell méridional et les Hauts Plateaux, la FAO (1972) avait complété l'installation de son Centre d'Etudes Nord au domaine autogéré de Si Lakhdar (précédemment bénéficiaire d'un projet suédois) par deux antennes, dont celle de Si Rahmoune dans le terroir qui nous concerne. Le but était de conduire des actions qui permettent de passer d'une agriculture extensive (monoculture céréalière) à une agriculture intensive plus élaborée comportant des productions fourragères diversifiées. En conséquence, le projet avait préconisé, dans un premier temps, de passer de la rotation biennale traditionnelle précitée à la rotation quadriennale suivante ; céréales (blé dur et/ou tendre), fourrage (vesce, avoine), céréales

secondaires (orge et/ou avoine), légumineuses à grand écartement (engrais vert ou culture sarclée). Mais, face aux difficultés matérielles rencontrées et partiellement dues aux courtes périodes climatiquement favorables pour effectuer les façons culturales, il est apparu préférable de limiter la proposition à une rotation triennale du type blé dur et/ou tendre, céréales secondiares ou blé rustique, légumineuses à graines ou fourrage mixte (graminées + légumineuses). Dans cet axe, différentes recommandations ont été exprimées pour une agriculture en sec et nous y épinglons que les fourchettes des rendements moyens en blé tendre étaient de 15 à 20 Qx/ha en 3 ans d'essais sur les sols rouges argilo-limoneux du domaine de Merachda !

5.7.2. LE RAPPORT GENERAL ET L'ESPRIT DE TRAVAIL SUR LA ZONE DE RENOVATION DES BENI SLIMANE

Concomittement, un programme spécial de rénovation des Beni Slimane était décidé, en 1970, pour tout le bassin amont de l'oued Isser (270.000 ha), délimitation qui permet de gérer les ressources en eau de façon rationnelle. Ce programme (NAMECHE, s.d., probablement 1975) donna lieu à de nombreuses études du milieu à savoir : socio-économique (rapport INRA), hydroclimatologique (installation de 12 stations météorologiques principales et de 7 stations secondaires, de 8 + 4 limnigraphes), photographique (avec, semble-t-il, une couverture aérienne au 1/20.000 de 1972 dont nous n'avons jamais disposé), morphopédologique (esquisse et carte morphopédologiques au 1/200.000 et 1/50.000, cartes pédologiques au 1/20.000, 1/10.000 et 1/5.000 pour les zones irrigables ou les petits périmètres d'irrigation), géotechnique (choix de sites de barrages sur les oueds Ladrat, Besbès et Anasseur) et topographique (cartes au 1/200.000 et au 1/50.000, plans au 1/10.000, 1/5.000 et 1/2.000 suivant les cas). A la suite de quoi, il y eut des études de projets et des réalisations, c'est-à-dire : aménagement des eaux (notamment la comparaison de l'irrigation à la raie, à l'aspersion et au goutte à goutte), améliorations foncières en opérations pré-intégrées exigeant peu d'études de base, définition des vocations culturales, action de reforestation, intensification fourragère et maraîchère (installation de champs de comportement, car le manque de données locales est souvent souligné), parcours sylvo-pastoraux et dé-

veloppement de l'arboriculture rustique (choix adéquats des espèces, variétés, porte-greffes).

Une partie importante de ces réalisations fut confiée par la Wilaya (département) du Titteri (EL MOUDJAHID, 1977) à la Société d'Etudes Techniques et d'Entreprises Générales (SODETEG) qui a repris les travaux au point où ils avaient été, apparemment, laissés à une époque antérieure, en adoptant la définition de la rénovation rurale donnée par MONJAUZE (SODETEG, 1972), à savoir : *"un ensemble de doctrines et de mesures qui tend à réaliser une amélioration stable de la production agricole et qui a pour objectif la production maximum autorisée par les éléments mis en jeu : le climat, le sol, les êtres vivants, l'homme enfin dont la promotion sociale est le but de l'opération"*.
Pour l'étude pédologique, la SODETEG collabora avec l'Institut de Recherches en Agronomie Tropicale (IRAT) qui a appliqué la méthodologie de l'approche morphopédologique déjà tant invoquée et développée au chapitre suivant.

En 1975, la Wilaya reprit la direction des opérations et créa le Comité Technique de la Zone de Rénovation (COTEZOR) ; malheureusement, à la suite de profondes restructurations administratives, le programme péréclita et la construction des ouvrages hydrauliques, sur lesquels tout le programme est articulé, n'était toujours pas entreprise en 1977.

5.7.3. LES FICHES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT DU PLATEAU DE LA TAOURGA

Conséquemment à la réalisation des documents morphopédologiques, la SODETEG (1972, 1973) proposa et réalisa, du moins partiellement, le plan d'aménagement suivant :

- rootage intégral croisé sur 2.500 ha (reste à préciser pour quel type de surface et pour quel type de spéculation, car le sous-solage des croûtes calcaires, même à faible profondeur, reste aussi un sujet de controverse : augmentation du volume, recarbonatation, érosion, ...),

le fruit, atlantica et terebinthus pour le bois), le développement de réserves fourragères sur pied (cactus inermes ou mieux Atriplex nummularia), la distribution du gaz en bouteilles, le contrôle des troupeaux avec une spécialisation à l'embouche des ovins (CALEMBERT, com. or.), le développement du petit élevage (volaille, lapin) et de la petite irrigation à partir des sources. Mais, précisons encore que les projets pour 1985/90 (NAMECHE, s.d.) prévoient encore l'irrigation de 1.888 ha par pompage dans l'oued Malah Ouest (salé !) ; prévisions qui, compte tenu des priorités régionales, de la très faible productivité actuelle et de certaines contraintes qui seront mises en évidence, ne nous semblent pas judicieuses.

5.8. RÉSUMÉ

Le terroir d'El Omaria, sous bassin de l'oued Malah Ouest, qui se situe,

- à 55 km au Sud d'Alger à vol d'oiseau,
- à la limite Ouest de la dépression intratellienne des Beni Slimane,
- à la transition des climats subhumide et semi-aride marquée par le passage du Quercetum ilicis à l'Oleolentiscetum,
- au contact des formations du Miocène marin de Médéa,

est caractérisé par des dépôts continentaux post-nappes, supérieurs ou terminaux, qui reposent en discordance sur les formations autochtones du substratum crétacé énergiquement plissé, au Miocène inférieur, en un vaste anticlinorium ; expression vague pour ces dépôts azoïques qui sert à cacher notre ignorance des transitions mio-plio-pléistocènes. Les bordures structurales décrites par les auteurs, les fortes dénivelées et les alignements repérés sur documents nous conduisent à supposer, même si d'autres causes sont en jeu, que le relief et le réseau hydrographique ont été influencés par des mouvements tectoniques de

- épierrage avec confection de cordons de pierres anti-érosifs en suivant des alignements prévus et piquetés par un lever topographique,

- réfection et plantation des buttes Monjauze[1] existantes sans entreprendre de nouvelles levées, car leur utilité est loin d'être démontrée, leur coût est élevé, la perte de terrain est importante et leur présence entrave peut-être d'autres formes d'aménagement,

- plantation de brise-vents à raison de 75 plants/ha (dont la réussite n'est guère assurée s'il faut en juger par l'aspect généralement chétif de ce qui a déjà été planté),

- (re)boisement des ravins et des chenaux, en multipliant les essences mellifères (apiculture), pour éviter l'envasement des barrages à construire : Eucalyptus vinimalis, Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus meliodora, Casuarina tenuissima et Cupressus arizonica,

- amélioration du travail du sol et introduction progressive d'assolements plus longs en supprimant la jachère : blé-médics sur 2.825 ha, blé-luzerne sur 1.200 ha avec programme engrais (à préciser),

- intensification de l'élevage ovin-viande-laine à raison de 1,5 tête/ha pour le premier assolement et de 2 têtes/ha pour le second, en comptant sur l'agnelage des premières années pour atteindre le troupeau optimum,

- jumelage du plateau avec des zones irriguées à production fourragère continue pour tenter l'élevage bovin,

- vulgarisation, remembrement et création de coopératives.

A cela, nous ajouterons la gestion forestière du massif, la plantation d'oliviers (en contrôlant m) et de pistachiers (Pistacia vera pour

---

(1) les buttes Monjauze sont de grandes levées de terre hautes de 3 à 4 m qui serpentent sur plusieurs centaines de mètres et font partie d'un ancien système anti-érosif très largement dimensionné qui devait à la fois répondre de la technique et de l'esthétique dans le cadre d'un précédent programme de rénovation rurale au sens défini par son promoteur.

directions et d'âges variés fini-pliocènes et/ou post-villafranchiens (voire actuels s'il faut en juger par les récents et fréquents tremblements de terre à El Asnam 1954, 1980, M'Sila 1965, ...). Les plateaux ainsi dominés et dominants, ont été tantôt (re)façonnés, tantôt disséqués, au cours du Quaternaire, pour aboutir à la composition actuelle d'un paysage de versants, de glacis et de terrasses.

Dans ce contexte, le plateau de la Taourga apparaît comme une scène continentale stratigraphiquement et lithologiquement mal définie au piedmont d'une bande monoclinale à pendage Sud de marnes, d'argilites (calcaires), de grès et de calcaires de l'Apto-Albien et peut-être du Barrémien des Biban. Imprécisions stratigraphiques et lithologiques qui posent la nécessité de réaliser l'inventaire des faciès et des positions relatives en restant attentif à tout ce qui peut provoquer l'inversion des niveaux. Cet inventaire, toile de fond de l'approche morphopédologique est présenté au chapitre suivant avec l'analyse des cartes existantes et la présentation des résultats d'une approche personnelle.

De plus, ce plateau a déjà fait l'objet ou partie d'objet de plusieurs documents techniques d'aménagement qui, souvent très confidentiels, le destinent à une agriculture en sec améliorée (rainfed agriculture) en soulevant le difficile problème de l'intervention dans les zones rurales démunies mais pourtant fort peuplées. La révision du programme FAO vers une simplification et les propositions de la SODETEG montrent, en effet, qu'il faut essayer d'obtenir un maximum d'amélioration pour un minimum d'intrants, c'est-à-dire de concevoir une série d'actions simples qui améliorent les conditions d'auto-subsistance dans un premier temps tout en ouvrant la voie à la complémentarité régionale. Dans ces conditions, le contrôle strict des troupeaux, l'introduction de cultures fourragères bi-annuelles (apport presqu'uniquement de P, moindres exigences matérielles, étalement des récoltes et moindres risques d'érosion) et l'implantation d'une arboriculture rustique constituent le meilleur espoir de réussite[1].

(1) le lecteur peut aussi consulter utilement : les publications de la FAO sur les sols calcaires (1973) et sur l'agriculture pluviale (1980 a), l'ouvrage de HALL, CANNELL et LAWTON sur l'agriculture en milieu semi-aride (1979), les travaux de l'Institut International de la Potasse sur les sols de climats de type méditerranéen et leur potentiel de production (1979), le volume de "Plant and Soil" sur l'eau du sol et l'azote dans les milieux du type méditerranéen (1981), ...

En conséquence, il faut :

- proportionnaliser l'action aux potentialités,

- avoir rapidement une idée des principales contraintes,

- évaluer ce qui est transférable,

tout en essayant d'apprécier les coûts en termes de productions et en ayant à l'esprit, comme l'écrit YOUNG (1977), que les contraintes de gestion sont parfois plus importantes que celles du milieu !

Mais il ne nous est pas possible de clôturer cette réflexion agricole succincte sans attirer l'attention sur l'intérêt toujours actuel de consulter le Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux publié à l'occasion de la Semaine sur les problèmes méditerranéens (1971) et sur celui de l'expérience acquise à la ferme modèle belgo-tunisienne de Fretissa où le Professeur ANTOINE et son équipe (ANTOINE, SKOURI, RONDIA, MATHLOUTHI, RONDIA-DEKER et DACHET, 1976) ont particulièrement mis en évidence :

- la nécessité de réaliser l'enchaînement complet des opérations sans défaillance aucune,

- le rôle considérable du fumier (contribution à la structure, action chélatante),

- l'importance primordiale du désherbage et de la protection antifongique,

- l'intérêt de marquer les cultures au moment du semis ;

observations utilement complétées par celle du Professeur COMPERE (1971) qui y détecta certaines carences (P, Cu, Mn et Zn) dans l'alimentation minérale des bovins.

CHAPITRE 6

L'approche morphopédologique

CHAPITRE 6 :

L'APPROCHE MORPHOPEDOLOGIQUE

6.1. LA DÉFINITION DU CONCEPT

L'approche morphopédologique existe, du moins dans son aspect physiographique, depuis que les Australiens ont constitué, dans les années quarante, des équipes interdisciplinaires qui inventoriaient rapidement le paysage en se basant sur les unités géomorphologiques plus facilement repérables en photointerprétation que les unités pédologiques.

Aussi, la véritable originalité de TRICART (1974) est d'avoir dépassé cette technique plus descriptive qu'explicative en proposant une méthodologie par laquelle le problème de l'interférence entre les processus est posé en termes de dynamique, c'est-à-dire de bilan des interactions morphogenèse-pédogenèse (TRICART, 1965 ; TRICART et MICHEL, 1965) ou bilan des interactions progressives et/ou régressives qui permet d'intégrer les milieux pénéstables et modérément instables avec une vision plus complète et plus nuancée des phénomènes que dans les cas extrêmes de la biostasie ou de la rhexistasie. Méthodologie qu'il a ensuite approfondie en développant le concept de l'écographie intégrée pour étudier les rapports entre les différents facteurs (physiques, biologiques, humains) de l'écosystème pris au sens évolutif tel que le définit l'Association Internationale d'Informatique et Biosphère ; ceci dans le but pratique d'apprécier la migration particulièrement nette en morphogenèse, de matières qui doivent être étudiées sous leurs diverses formes et leurs divers cheminements au lieu d'être fractionnées et réparties artificiellement entre deux (voire plusieurs) disciplines[1].

(1) les Australiens semblent s'y aligner en pratiquant l'étude pédomorpholithique (VAN DIJK et MUELLER, 1978).

En fait, on s'aperçoit qu'il s'agit de la synthèse et de la vulgarisation d'un certain nombre d'idées qui ont été très tôt à l'honneur dans notre Faculté puisque, dès les années cinquante, MANIL défendait les principes de l'analyse systémique, CALEMBERT (1951) reconnaissait l'importance de l'inventaire lithologique et HANOTIAUX avec MANIL (1963) faisait usage de l'expression morphopédologique.

Parallèlement, les pédologues de l'IRAT (KILIAN, 1974) se sont rendus compte que le bouleversement d'un milieu provoqué par un aménagement ne pouvait être suffisamment estimé par les seules voies de la pédologie ; c'est pourquoi, tout en reconnaissant l'importance du facteur sol comme support de la production, ils ont décidé de ne plus en faire qu'un élément du milieu physique parmi d'autres.

6.2. L'ANALYSE DES DOCUMENTS EXISTANTS

Cette analyse répond au double désir de ne pas refaire ce qui a déjà été fait, pour peu qu'il résiste à la critique, et de concrétiser les principes de la méthodologie adoptée.

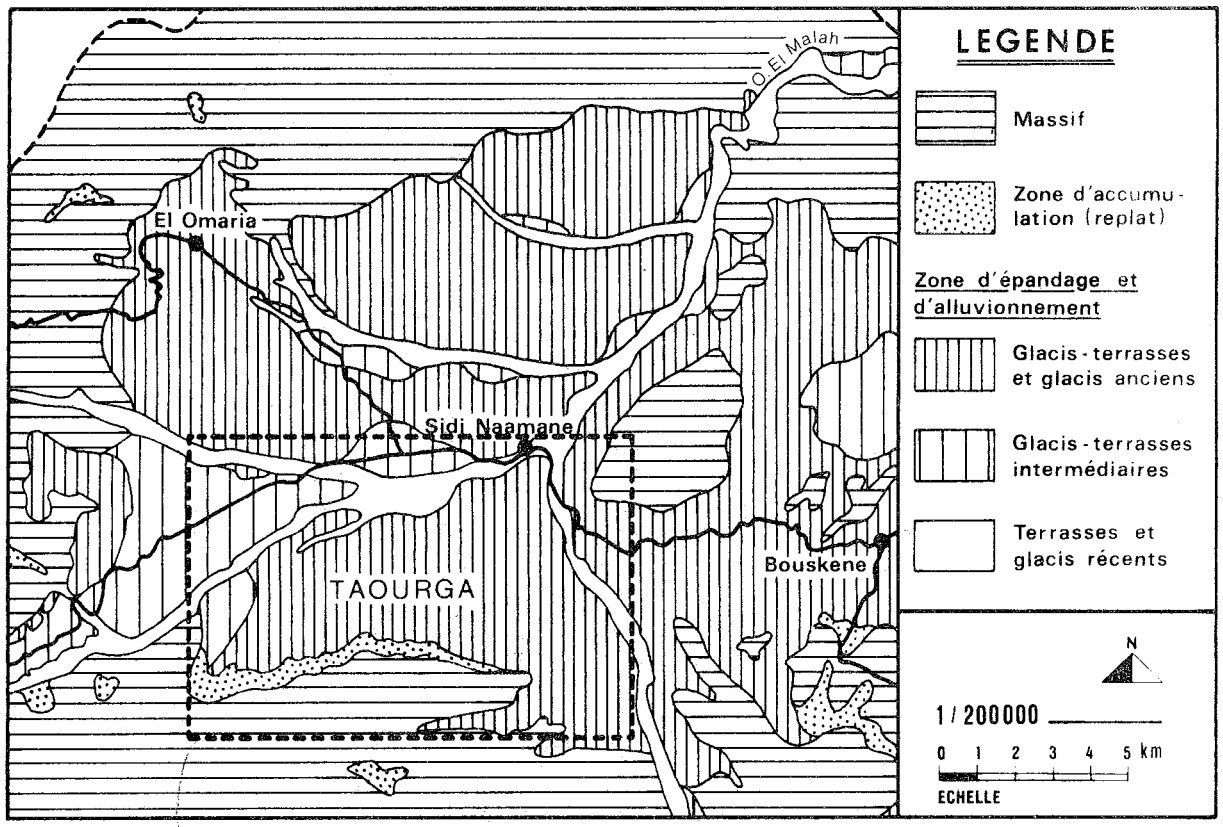
6.2.1. L'ESQUISSE MORPHOPEDOLOGIQUE DES BENI SLIMANE AU 1/200.000 (Fig. 24) de KALMS (1972)

1° JUSTIFICATION, LEGENDE ET APPLICATION AU PLATEAU DE LA TAOURGA

- Le but de l'esquisse, d'après KILIAN (1974), est de comprendre le contexte général et de formuler les premières impressions, les premiers ordres de grandeurs qui orientent, hiérarchisent et pondèrent le nombre, l'ordre et la précision des études ultérieures ; dans le cas précis des Beni Slimane, cette esquisse a permis de faire un premier tri et de retenir trois régions spécialement intéressantes dont le terroir d'El Omaria.

- la légende fait ressortir :
  . les unités morphopédologiques et cartographiques (en couleurs sur le document) qui combinent les données du schéma géologique avec une rapide reconnaissance de la région ; ce qui revient à proposer la lithologie des versants et les âges relatifs des zones d'épandage ou d'alluvionnement quaternaires,
  . la prédominance d'un processus de morphogenèse ou de pédogenèse par le jeu de flèches horizontales et/ou verticales dont on déduit aisément la résultante,
  . les grands types de sols dominants, les facteurs limitants de la mise en valeur et les formes d'érosion actives par la surcharge de lettres,
  . les classes d'orientations culturales en toutes lettres,

- l'application montre que :
  . le massif est composé d'argile et de quartzite où la morphogenèse est quasi le seul processus existant ; de ce fait, les pentes sont fortes, l'érosion vive et les sols, de type brun méditerranéen (B) ou brun calcique (C) sont rares. Bien que ce soit à préciser, ce domaine est à réserver à l'arboriculture, au fourrage ou à la forêt,
  . le piedmont est marqué par une zone d'accumulation en replat où la morphogenèse domine la pédogenèse ; les facteurs limitants son très variables et les sols sont du type brun calcique. Cette zone peut convenir pour les cultures en sec (céréales et fourrages) et l'arboriculture,
  . le plateau proprement dit est un glacis ou glacis-terrasse de niveau ancien, (3) où deux domaines distincts s'individualisent. Le premier où la pédogenèse domine avec des sols du type rouge méditerranéen ou marron rubéfié (R) et une croûte calcaire qui peut affleurer (Ca) ou se situer à plus ou moins grande profondeur (Cp, 70-90 cm) ; le second, moins étendu, où la morphogenèse reste dominante avec une croûte calcaire en surface et des sols du type rendzine (rz). L'ensemble convient pour toutes cultures en sec ou en irrigué selon la profondeur de la croûte calcaire,
  . les terrasses et les glacis des niveaux récents et moyens (0-1-2) sont d'autant plus marqués par la pédogenèse que le niveau est ancien ; dans le même sens, les sols vont du type lithosolique au sol rouge méditerranéen mais sont principalement de type brun calcaire (C). A part le niveau le plus récent qui est inondable, il n'y a pas de restriction dans



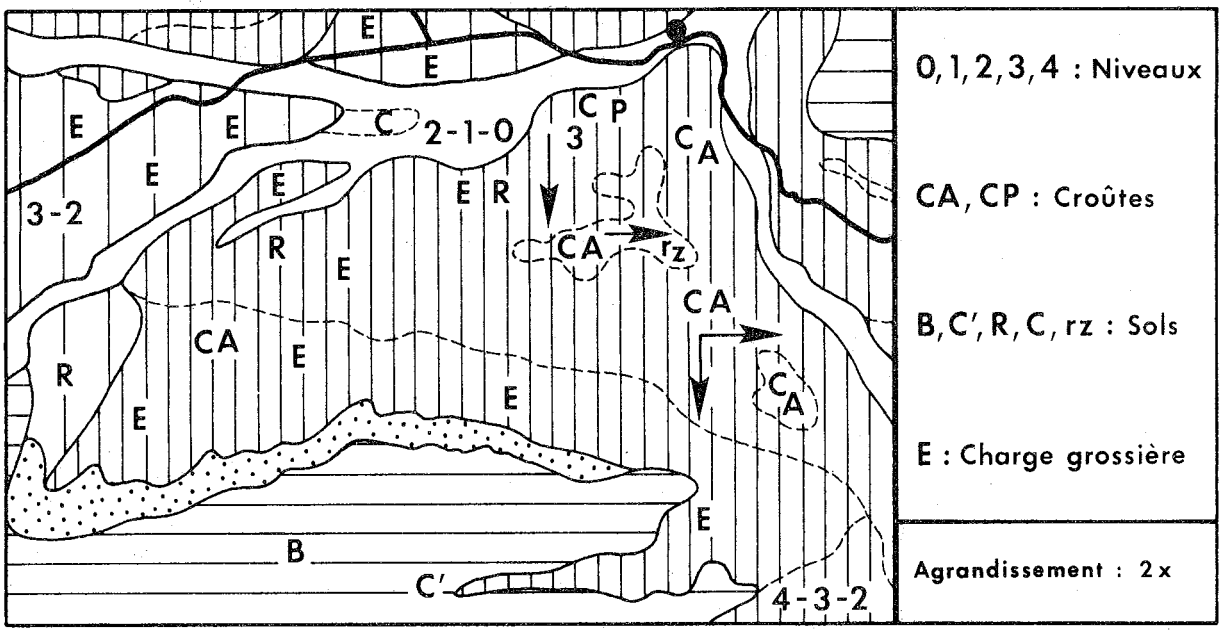


FIG. 24 : Présentation morphopédologique du plateau de la Taourga réalisée à partir du découpage et du tramage de l'esquisse en couleurs au 1/200.000 de KALMS (1972)

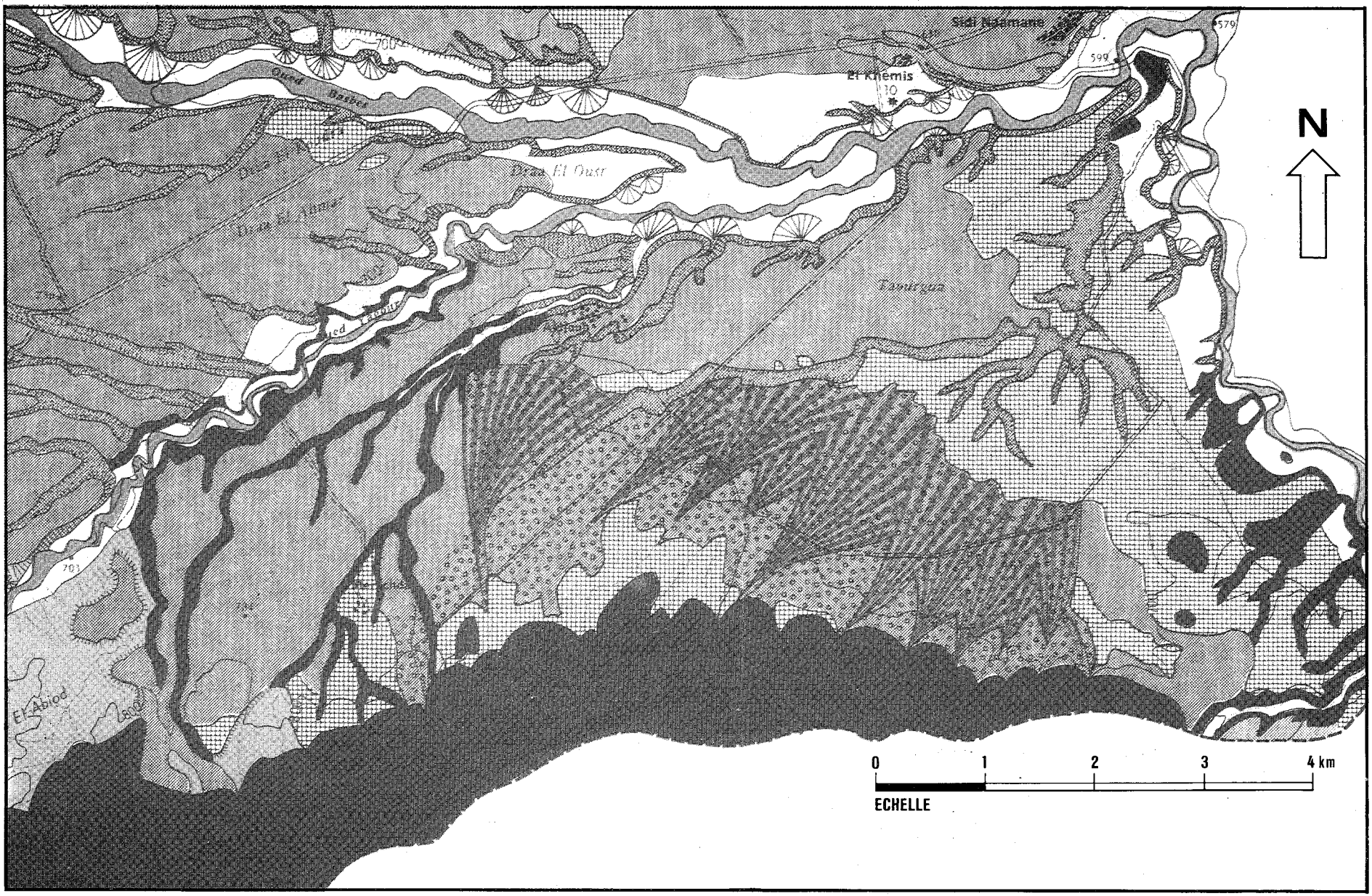


FIG. 25 : Présentation morphopédologique semi-détaillée du plateau de la Taourga d'après le découpage de la carte en couleurs du terroir d'El Omaria au 1/50.000 de RAUNET (1973, 1974).

l'orientation culturale.

. l'ensemble du paysage peut-être fortement empierré (E) et mis à part le versant, l'érosion est en nappe bien que localement ravinante.

2° APPRECIATION

La qualité d'un document cartographique est toujours difficile à apprécier quand on ne connaît pas les termes exacts du cahier de charges qui ont présidé à sa réalisation ; tout au plus, peut-on en critiquer la conception. Ce n'est cependant pas le cas présent bien que KILIAN (1972) lui-même reconnaisse que le temps a manqué pour le réaliser avec la précision souhaitable ; seules, peut-être, les orientations culturales sont-elles exprimées avec un optimisme excessif pour le plateau. Il s'agit donc bien d'une esquisse qui a pour objectif d'attirer l'attention du planificateur sur les zones les plus intéressantes (perception relative) et non d'en garantir les potentialités exactes (perception absolue).

6.2.2. LA CARTE MORPHOPEDOLOGIQUE SEMI-DETAILLEE DU TERROIR D'EL OMARIA AU 1/50.000 (Fig. 25 - TABLEAU 4) DE RAUNET (1973)

1° JUSTIFICATION, LEGENDE ET APPLICATION AU PLATEAU DE LA TAOURGA

- Le but de ce document consiste donc maintenant à faire ressortir avec plus de précision, dans une région jugée intéressante, les contraintes d'ordre pédologique, géomorphologique et éventuellement hydrologique en mettant l'accent sur les possibilités d'irrigation, d'arboriculture fruitière, de reforestation et de lutte contre l'érosion ; mais, conséquence immédiate de l'esquisse, l'auteur y accorde une part égale à la géomorphologie et à la pédologie en raison de l'agressivité érosive dans certaines zones cartographiées,

- la légende de la carte, sur la base des considérations de KILIAN (1974) et RAUNET (1974), doit résumer en différentes colonnes, l'essentiel des

LEGENDE

SYMBOLES		UNITES MORPHOPEDOLOGIQUES	CARACTERES DE LA MORPHOGENESE	CARACTERES DE LA PEDOGENESE	CONTRAINTES POUR LA MISE EN VALEUR
	VERSANTS – INFLUENCE DE LA LITHOLOGIE – MODELE DE DISSECTION ACTUELLE – MORPHOGENESE INTENSE	CAILLOUTIS, CONGLOMERATS ET ARGILES	MODELE : versants convexes, passant à des glacis à leur piémont. PROCESSUS ACTUELS : ruissellement diffus concentrant les cailloutis en surface. Glissements en planches, fréquents sur les bas de versants, où les pentes sont les plus fortes.	Sols peu évolués d'apport colluvial hydromorphes caillouteux, non calcaires, légèrement hydromorphes ou vertiques à partir de 50 cm de profondeur.	•Sols de mauvaise qualité caillouteux ; compacts et hydromorphes en profondeur (mauvais drainage interne).
		QUARTZITES ET ARGILES SCHISTEUSES DE L'ALBO-APTIEN	MODELE : faciès "flysch". Pentes fortes, versants concaves, modelé de type "appalachien" : les barres de quartzites très redressées arment le massif (direction Est-Ouest). Les blocs de quartzite tapissent les versants. PROCESSUS ACTUELS : ruissellement diffus, relenti par le couvert végétal assez dense (maquis). Petits bassins versants à pentes fortes avec dynamique torentielle (cônes dans la plaine).	Sols fersiallitiques bruns hydromorphes ou vertiques. Lithosols ou sols peu évolués d'érosion sur les bancs de quartzite. Sols colluviaux, cailloteux, non calcaires, argileux, parfois vertiques en profondeur. Présence d'une croûte calcaire discontinue	•Pentes élevées. •Sols cailloteux (blocs) à profondeur utile souvent faible, argileux et souvent vertiques.
		MARNES ET MARNO-CALCAIRES	MODELE : dissection active. Pentes élevées. Crêtes étroites sans orientation dominante ; versants rectilignes ravinés. PROCESSUS ACTUELS : ruissellement diffus, provoquant un décapage généralisé des sols. Lorsque le maquis disparaît, on observe un ravinement en "bad-lands".	Sols bruts d'érosion (régosols) Sols peu évolués d'érosion. Roche tendre (schisteuse ou altérée) permettant l'enracinement des arbres.	•Relief accidenté. •Erosion très vive, accélérée par la dégradation du couvert végétal. •Absence de sols.
	GLACIS – INFLUENCE DES HERITAGES PALEOCLIMATIQUES – PEDOGENESE PLUS RAPIDE QUE MORPHOGENESE OU STABILISEE	GLACIS A MATERIEL SUPERFICIEL RUBEFIE	Formes héritées du quaternaire moyen (Tensiftien-amirien). Glacis de dénudation appuyés sur argiles et cailloutis (miocène continental) ou argiles schisteuses et quartzites (crétacé). Matériel superficiel rubéfié (50 à 200 cm). Le contact est marqué par une croûte ou un encroûtement calcaire. Faible évolution actuelle : légère érosion en nappe remaniant la partie supérieure du sol.	Sols isohumiques marrons rubéfiés, argillifiés en profondeur, à caractères vertiques fréquents. Croûte calcaire (si elle existe) à plus de 50 cm). Horizon très argileux (70 % d'argile) compact, prismatique ou vertique à partir de 40-50 cm. Absence de calcaire actif. Localement, cailloux abondants en surface.	•Sols extrêmement argileux à partir de 40 cm de profondeur, difficiles à pénétrer par les racines. •Parfois cailloux et blocs superficiels.
		GLACIS ENCROUTES DEGRADES	Formes héritées et dégradées, du quaternaire ancien (Soltien-moulouyen) ou glacis amirien décapé. Croûte calcaire feuilletée à moins de 50 cm de la surface passant à un encroûtement friable dans l'argile du substratum. Ruissellement en nappe faiblement actif.	Sols bruns calcaires ou rendzines anthropiques. L'action anthropique a remonté des débris de croûte, nombreux en surface et dans le sol. Calcaire actif très abondant.	•Sols peu profonds, très calcaires, cailloteux, sensibles à la sécheresse.
		GLACIS-CONE	Epandages récents ou actuels s'emboîtant dans des cônes plus anciens, rubéfiés. Dynamique torrentielle périodique en provenance du chaînon des BIBAN. Dépôt d'environ 60 cm d'épaisseur. Surface très caillouteuse (blocs pouvant atteindre 50 cm de large).	Sols peu évolués d'apport colluvial de 50 cm d'épaisseur en moyenne reposant sur un sol rouge très argileux. Pas de calcaire. Très nombreux cailloux et blocs surtout à la surface.	•Dynamique torrentielle (fréquence à étudier). Engravement périodique. •Sols à horizon très argileux et compact en profondeur.
	TERRASSES	LIT ACTUEL	Dépôts actuels caillouteux et sableux. Zones inondées tous les ans par les crues. Dynamique torrentielle fluviale, de courte durée, pluriannuelle.	Sols bruts d'apport caillouteux et sableux.	•Inondations. •Pas de sols.
		TERRASSE RECENTE	Dépôts charbiens limoneux épais de plusieurs mètres, se dédoublant en 2 niveaux dont le plus bas peut être inondé. Dynamique : sapement de berges, engravement par de petits cônes latéraux, recouvrements latéraux par effondrement des falaises limitant les glacis supérieurs.	Sols bruns calcaires, épais, limoneux, riches en calcaire actif (10 à 15 %), sans éléments grossiers (sauf en cas d'engravement latéral)	•Sols très favorables (profondeur, propriétés physiques), mais attention au calcaire actif.
		TERRASSE SUPERIEURE	Lambeaux de terrasse d'âge soltanien (10 à 20 mètres au-dessus du charbien). Dédoublement en plusieurs niveaux. Ceux-ci sont localisés sur les rives gauches des oueds. Ils reposent sur une "semelle" caillouteuse. Au-dessus le dépôt est remanié, généralement caillouteux.	Sols isohumiques marrons modaux, parfois vertiques en profondeur généralement très cailloutreux, surtout en surface. Absence de calcaire. Exception pour les terrasses situées au Nord de SIDI-NAAMANE, plus favorables, non cailloteux et avec calcaire actif.	•Pierrosité des sols (sauf au Nord SIDI-NAAMANE).
		ENTAILLES DES GLACIS	Erosion linéaire découpant les glacis quaternaires en lanières. Ces talwegs drainent le ruissellement diffus des glacis et progressent vers l'amont. L'entaille profonde à l'aval (profil en V), plus estompée à l'amont ; le substratum entaillé est généralement peu apparent (colluvions).	Sols peu évolués d'apport colluvial, très cailloteux, non calcaires. En dessous (profondeur variable) : argile miocène ou crétacé (pouvant être légèrement encroûté).	•Forte pierrosité. •Pente.

SIGNES PARTICULIERS

* 8 Profil décrit et analysé

Cailloux ou blocs abondants en surface

Principaux bancs de quartzite (BIRAN)

Petits cônes de déjection

TABLEAU 4 : Légende de la figure 25 pour la partie qui concerne le plateau de la Taourga (RAUNET, 1973, 1974)

interférences entre la lithologie, la morphogenèse et la pédogenèse de façon à mettre en lumière une structure et une dynamique qui fassent finalement apparaître les contraintes, à savoir :

. 1ère colonne : la lithologie du matériau qui, conditionnant les vitesses et les modes d'altération, nécessite (TRICART, cité par KILIAN, 1974) de porter une attention particulière à la granulométrie, la consistance, la porosité et les diaclases ; données descriptives qui fournissent le fond de la carte sur lequel sont ensuite figurés les éléments dynamiques. Vue sous cet angle, la lithologie englobe les roches en place et tous les matériaux, autres que les roches, sur lesquels s'exerce la pédogenèse ; ainsi, de l'appréciation des couleurs sur le document original de la carte, les grands domaines se dégagent immédiatement en versants (couleurs vives) où les unités morphopédologiques coïncident avec les faciès lithologiques, les glacis (couleurs tendres) caractérisés par les formes quaternaires et les formations superficielles héritées et, finalement, les terrasses (en bleu) distinguées par leurs âges relatifs,

. 2ème colonne : la morphogenèse qui ne représente pas toutes les données de la géomorphologie, car ce n'est pas le but, mais uniquement les formes vraiment explicatives ou dominantes qui constituent les points de repères et donnent une certaine plastique à la carte, c'est-à-dire le modelé. Par contre, l'étude de la morphodynamique ou des processus actuels est essentielle avec comme données principales le degré de stabilité du milieu (stable, pénéstable, instable), la nature des processus et leur intensité ; des signes particuliers permettant d'exprimer cette dynamique,

. 3ème colonne : la pédogenèse ou plutôt le milieu de pédogenèse dont le but est de saisir l'état de dégradation du sol et/ou sa tendance évolutive par la présentation des principales caractéristiques sans entrer dans trop de détails numériques,

. 4ème colonne : les contraintes pour la mise en valeur qui résument les facteurs limitants des colonnes précédentes et doivent permettre d'orienter à nouveau la suite des travaux.

- l'application revient à consulter les colonnes du tableau 4 qui, étant suffisamment explicites, nous dispensent de tout commentaire supplémentaire.

2° APPRECIATION

Ce travail est une réussite personnelle dans la mesure où la documentation de départ était fragmentaire et le temps imparti semblait assez court, mais en anticipant sur la démonstration, il apparaît malheureusement que la photointerprétation soit intervenue pour une trop large part dans l'élaboration de cette carte qui couvre 38.000 ha. Malheureusement, écrivons-nous, car la réticence de certains pédologues à l'égard de la méthode morphopédologique est née précisément de ce qu'elle sert trop souvent dans les situations où le temps fait défaut. Certes, dans l'idée de ses promoteurs, ce document ne constitue qu'une phase intermédiaire vers une échelle plus grande encore puisque les terrasses et certains glacis-terrasses comme les plateaux de Baata et de Tiara, destinés à l'irrigation, ont fait l'objet d'une cartographie au 1/20.000 (CADILLON, 1973) ; mais cela signifie aussi que certains domaines moins intéressants ne sont plus repris tout en n'ayant pas été caractérisés au mieux. C'est le cas du plateau de la Taourga que la confrontation des potentialités homme-eau-terre destine principalement à l'agriculture en sec, même si des illusions plus ambitieuses ont été bercées par certains ; et pour lequel, un seul profil a été décrit.

Nous posons donc, ici, tout le problème de la précision à apporter dans une étude, c'est-à-dire dans la définition des unités morphopédologiques en pensant que les échelles doivent être choisies de telle sorte qu'on puisse :

- disposer de l'inventaire le plus complet possible dans les secteurs qui ne feront plus l'objet d'une nouvelle investigation,

- éviter le recoupement abusif des documents mais bien au contraire réussir leur strict enchaînement.

C'est pourquoi, du point de vue technique, il nous semble que la carte au 1/50.000 ne se démarque pas suffisamment de l'esquisse et que celles au 1/20.000 des autres plateaux ne sont vraisemblablement pas suffisantes pour un projet d'irrigation qui exige généralement la précision au niveau de la parcelle.

Aussi, il eût peut-être mieux valu, après l'esquisse, ne lever qu'un seul document à moyenne échelle en globalisant le temps disponible et en utilisant davantage la souplesse de la méthode qui permet, à la fois, de recourir à la géomorphologie dans les secteurs où la morphogenèse est active et à la pédologie dans ceux plus stables, avant d'envisager une grande échelle pour les surfaces les plus certainement appropriées à l'irrigation.

Ces critiques mises à part, le symbolisme ordonné et le graphisme très explicite qui est utilisé pour dessiner la carte donnent une excellente image de la morphodynamique et des relations entre les différentes unités cartographiques assorties de leurs facteurs limitants. Cette conception explicative est pleinement évidente quand on compare ce document avec la carte pédologique au 1/50.000 du Haut Chélif (Fig. 26), dressée par BOULAINE (1956, 1957)

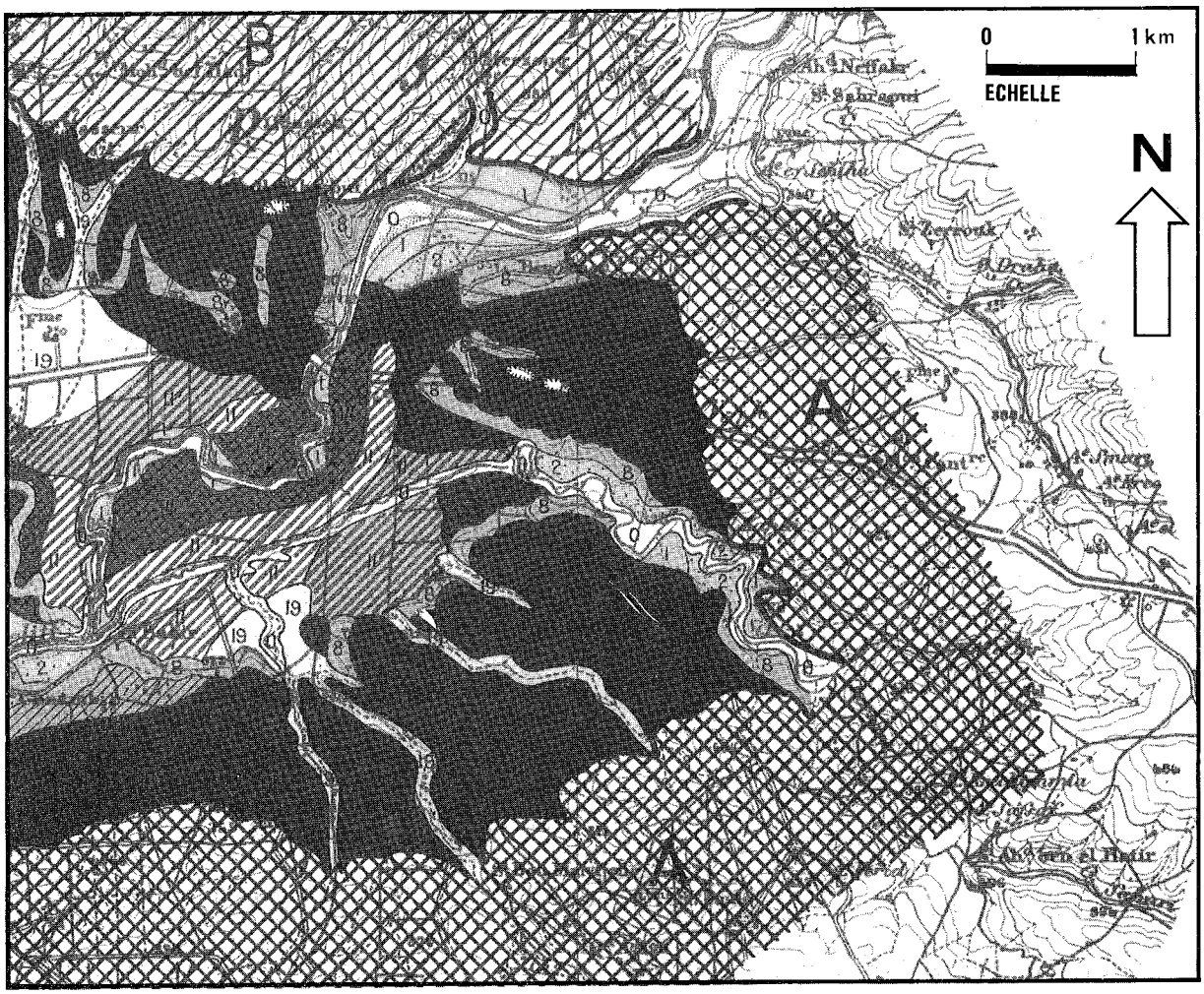


FIG. 26 : La région de Djendel (ex Lavigerie) d'après la carte pédologique en couleurs de la plaine d'El Khemis Miliana (ex Affreville) au 1/50.000 de BOULAINE (1956, 1957)

dans un contexte paysagique à peu près semblable et de laquelle émane un contraste statique qui, par la juxtaposition classique des unités pédologiques et l'exclusion des versants, n'éclaire pas les conclusions scientifiques qui en sont tirées (cf. 2.2.2.1°). Toutefois, si RAUNET aboutit par là à une meilleure perception de l'Actuel ou du Récent, il n'apporte guère d'observations nouvelles sur l'origine des accumulations calcaires et on peut dès lors, regretter qu'il se soit précipitamment aligné sur une interprétation classique sans arguments précis (cf. 3.2.3.1°) dans un travail dont ce n'était pas le but.

6.3. APPLICATION PERSONNELLE

C'est donc pour réaliser le souhait d'une intégration morphopédologique plus complète des formations superficielles et apporter une contribution à la connaissance des accumulations calcaires continues que nous reprenons les différentes étapes de l'approche en conservant l'échelle du 1/50.000 des documents de base (photographies aériennes, carte topographique, carte morphopédologique) parce qu'elle permet une vision synthétique et que nous désirons améliorer la qualité de l'inventaire pédologique en parcourant davantage le terrain sans recourir vraiment à un investissement plus lourd que le devenir économique du plateau ne justifie pas.

6.3.1. LA RECONNAISSANCE LITHOLOGIQUE

1° JUSTIFICATION

Cette première reconnaissance exécutée partiellement en compagnie de nos amis géologues LALAURIE et ROMAN, nous a permis de vérifier, de préciser ou d'adapter au terrain étudié les données bibliographiques recueillies sur la lithologie régionale ; c'est-à-dire d'inventorier les différentes sources possibles d'héritages pétrographiques et minéralogiques. Nos

observations sont répertoriées sous la lettre G (géologique), pointées sur la carte topographique au 1/50.000 (cf. 5.6.1., Fig. 21), intégrées dans une coupe présentée en fin de chapitre (Fig. 29), portées en correction sur la photographie aérienne (Photo 9, Fig. 28) et résumées pour l'essentiel ci-dessous, en pratiquant stratigraphiquement de bas en haut, du plus vieux vers le plus jeune.

2° OBSERVATIONS

a) Le massif des Biban

- Dans le secteur Sud Ouest (reconnaissance G1 et G2) (Photo 6)

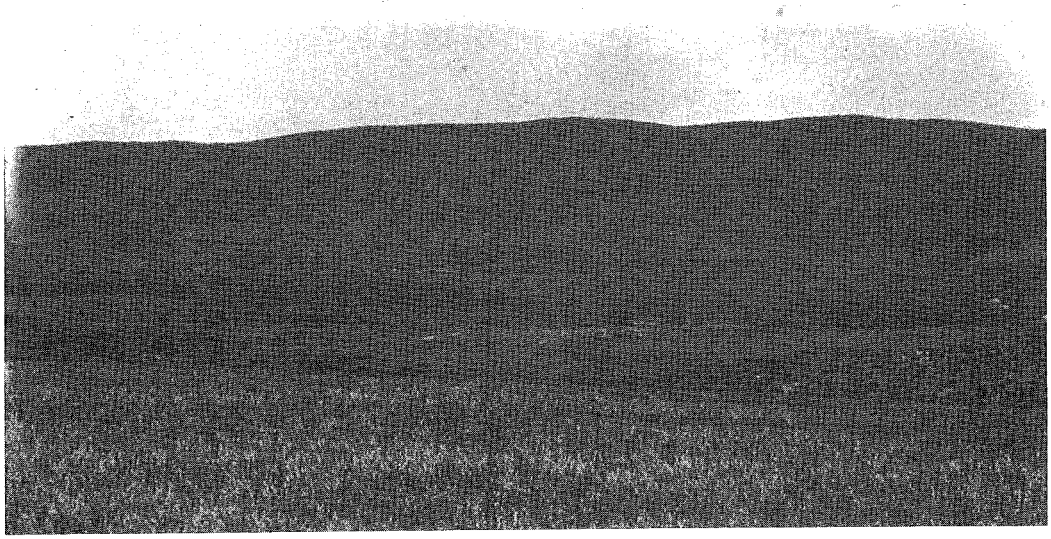


Photo 6 : Le massif des Biban avec le raccordement du haut glacis de piedmont et les affleurements de marnes du Crétacé qui forment un bad land à la base.

. des marnes gris bleu (échantillons G1 et G2) affleurent avec un pendage de 35° S à la faveur du ravinement entre 730 et 770 m d'altitude et un banc de calcaire dur y est intercalé à la cote 750 (puits des mechtats) ; le niveau présente des accumulations calcaires et forme le haut glacis de piedmont.

. de 770 m à 1.000 m, des argilites gris vert, par endroits encroûtées[1], al-

(1) terme employé sans aucune valeur génétique.

ternent de façon monotone avec des bancs décimétriques à métriques de grès quartzitiques (non calcaires) ; deux bancs de calcaire dur interrompent cette série dont l'ensemble est affecté par un pendage de 30° SSE,

. le versant est fortement empierré par des blocs de grès et de calcaire en mélange,

- dans le secteur Sud (reconnaissance G3)

. des argilites (G3.1) à bancs centimétriques et décimétriques de grès quartzitiques (G3.2) sont quasi-affleurantes à 720 m d'altitude, puisque sous 20 cm seulement de formation meuble colorée,

. à la même altitude, à quelque 100 m de là, en position symétrique par rapport au chenal, elles apparaissent en profondeur dans un puits (x = 537,2 - y = 318,5) qui offre la superposition de plus ou moins 1,0 m de formation meuble colorée comparable à celle du profil M 19 à venir, 1,5 m d'argile jaune et 4,0 m de blocs de grès quartzitiques ; ces deux dernières couches étant encroûtées,

. ensuite, cette alternance d'argilites et de bancs de grès parfois plus épais se poursuit jusqu'à 960 m d'altitude avec trois bancs au moins de calcaire intercalaire (G3.3) dont le supérieur forme la crête (érosion en lapiez).

b) Les tranchées d'oueds et de chenaux

- Dans la tranchée de l'oued Yagour (reconnaissance G4) :

. du passage à gué jusqu'à Draa el Oust, des affleurements de marno-calcaires gris bleu à gris jaune, fortement diaclasés, alternent avec des bancs métriques de calcaires gréseux à pendage de 20° SE à 10° S et des ensembles de bancs décimétriques de grès quartzitiques et d'argilites,

. à 2 km à l'aval, dans une coupe de la rive droite, des marnes gris bleu à la base passent à des marnes gris jaune vers le haut ; celles-ci sont recouvertes par une argile calcaire jaune, de plusieurs mètres d'épaisseur, qui est scellée par un banc métrique (1 à 2 m) d'éléments grossiers gréso-quartzitiques, émoussés, hétérométriques et encroûtés en surface,

. des observations similaires ont été effectuées dans la tranchée de l'oued ez Zebboudj.

- dans la tranchée de l'oued Rahmoum (reconnaissance G5) et dans le secteur Centre Ouest du plateau (reconnaissance G6) :
  . en tête de vallon de l'oued Rahmoum, une argile barriolée de vert et de brun, apparemment non effervescente à l'acide chlorhydrique mais riche en amas friables, affleure sous une formation meuble colorée et une croûte friable d'une trentaine de cm d'épaisseur,
  . au pied des mechtats d'El Ardjoun, des marnes gris bleu diaclasées affleurent,
  . plus à l'aval, avant les mechtats d'Ouled Rahmoum, cette argile barriolée, riche en patines de Fe-Mn, affleure sous un conglomérat chapeauté par une croûte en dalle de 30 à 40 cm d'épaisseur,
  . sur le plateau, elle pointe en relief "relictuel" (cote 691), mais aux environs, malgré l'importance du sous-solage, quelques surfaces de croûtes en dalle subsistent et présentent le faciès complexe d'une structure perlitique prise en sandwich entre deux ensembles zonaires et rosés (G6-C20 - photo 11),
  . en contrebas de ce pointement, la pente est jonchée de débris d'accumulations calcaires dont notamment ceux d'une croûte en dalle saumonée (C19)

- sur la rive droite de la confluence des oueds Yagour et Besbès (reconnaissance G7), le bord Nord du plateau (Photos 7 et 8, Fig. 27) présente, à la hauteur du gué (réglage de l'altimètre à 608 m), une dénivellation abrupte de 50 m qui permet de reconnaître le Continental post-nappes, terminal ou supérieur :
  . à la base, un conglomérat à ciment calcaire (1) composé d'éléments non classés, hétérométriques de grès, de calcaire marneux, d'argilite, de radiolarite du Crétacé ; ces bancs de plusieurs mètres d'épaisseur alternent sur une vingtaine de mètres avec des passées décimétriques de limon riche en patines de Fe-Mn (2) et ce, en un litage subhorizontal,
  . à partir de 630 m d'altitude et sur 20 m, alternance de bancs d'argile (sableuse - impression tactile de terrain) calcaire ocre jaune (3-G7.7), de grès calcaires (surtout à la base) de faible épaisseur (4) et de lits de graviers plus fins et mieux classés (surtout au sommet),
  . à 650 m, un conglomérat de 1 à 2 m d'épaisseur composé d'éléments gréso-quartzitiques, hétéométriques, encroûtés (5-G7.6),
  . une argile rubéfiée riche en nodules formant une accumulation calcaire

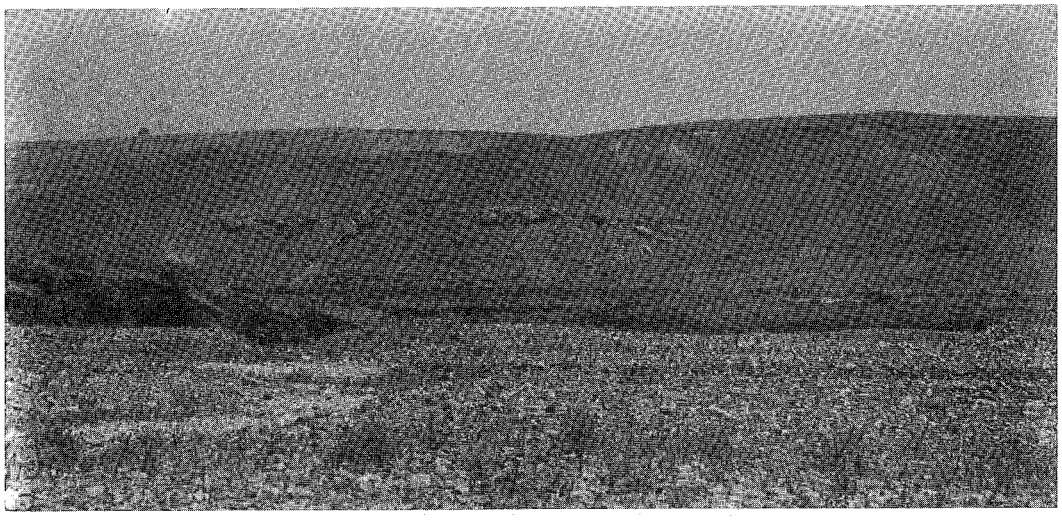


PHOTO 7 : Affleurement du Continental post-nappes, terminal ou supérieur à la confluence des oueds Besbès et Yagour ; la séquence inférieure, la plus épaisse, est composée d'un conglomérat et d'une argile (sableuse) calcaire, la séquence supérieure est soulignée par une dalle calcaire saumonée.

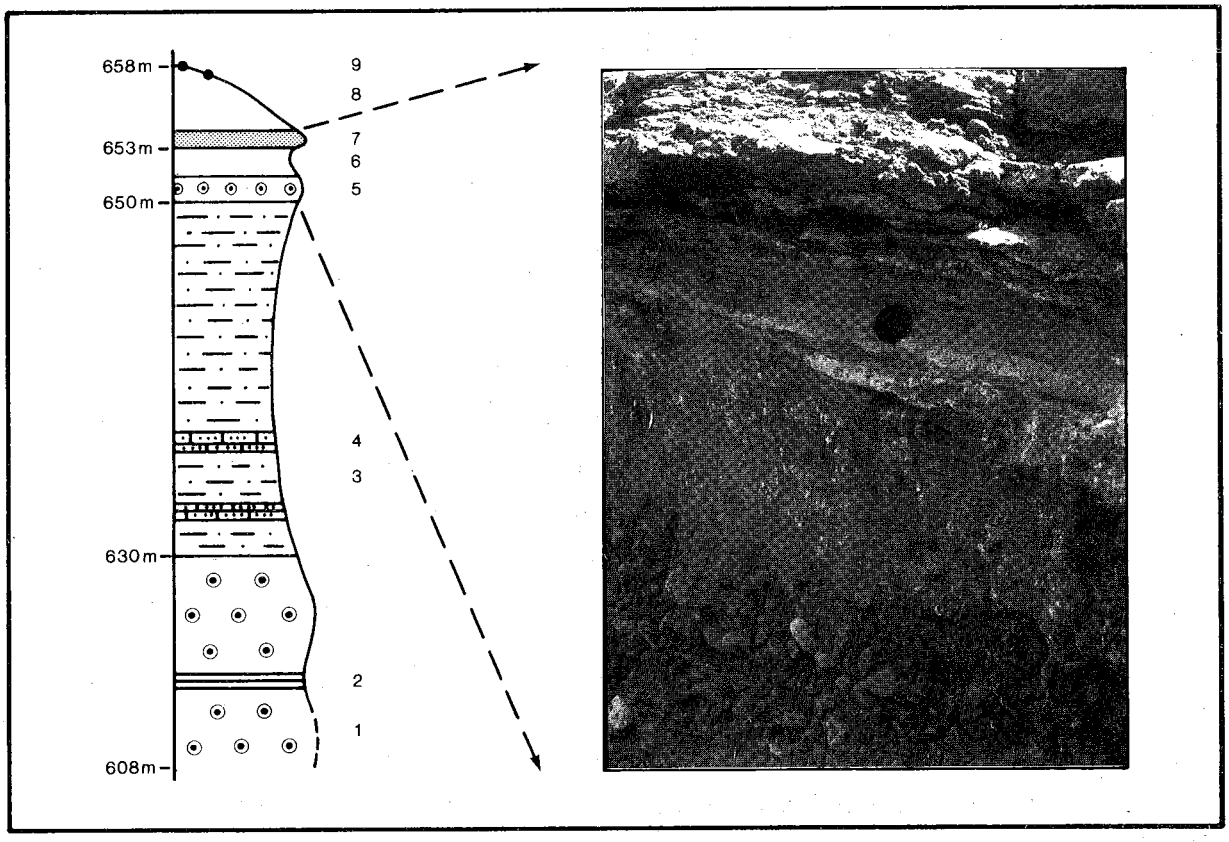


FIG. 27 : Coupe du Continental, le figuré des éléments grossiers est le même que celui de la figure 29 ; les chiffres renvoient au texte

PHOTO 8 : Séquence supérieure avec dalle calcaire saumonée.

discontinue (6) dont le concrétionnement augmente de la partie inférieure (G7.5) à la partie supérieure (G7.4),

. à 653 m ± 1 m, une croûte friable et feuilletée de 40 cm environ (G7.3 f) surmontée par une croûte en dalle saumonée peu épaisse de 10 à 20 cm (G7.3 d) formant surplomb (7)

. un manteau meuble superficiel encroûté (8) d'argile rubéfiée (G7.2) à la partie inférieure et brune (G7.1) à la partie supérieure,

. pavement d'éléments gréso-quartzitiques de surface (9) et amas d'origine anthropique (débris osseux, nombreuses coquilles de physes, barre de fer scellée dans un bloc de béton ...).

Mais, en regardant vers l'amont, jusqu'à la confluence des oueds Zebboudj et Yagour, le conglomérat à ciment calcaire disparaît sous le niveau des oueds et le talus moins dénivelé n'est plus formé que dans le matériau meuble susjacent qui est ponctuellement sujet à l'érosion en griffes ; toujours plus à l'amont et compte tenu d'observations précédentes, il semble que le conglomérat se biseaute et que l'argile calcaire jaune repose directement en discordance sur le Crétacé.

- sur la rive gauche de cette confluence (reconnaissance G7') le bord du plateau de Tiara est nettement moins élevé (630 m) et le conglomérat à ciment calcaire affleure à peine :

  . dès 615 m d'altitude, soit 7 m au-dessus du gué, l'argile calcaire jaune est entaillée par le banc alluvial d'éléments grossiers d'une terrasse moyenne,

  . par endroits d'ailleurs, rien n'est visible car la coupe est constituée uniquement de dépôts alluviaux, voire colluviaux, d'une quinzaine de mètres d'épaisseur présentant une alternance de bancs de matériaux fins ou d'éléments grossiers,

- les terrasses (reconnaissance G7") n'ont pas fait l'objet d'une attention particulière, mais seulement d'une observation très générale ; à savoir :

  . les bras d'oued à sec du lit de crue sont tapissés d'une argile jaune,

  . un premier niveau à 50 cm au-dessus du cours actuel est très disséqué,

  . un deuxième niveau, haut de 1 à 2 m est cultivé,

  . les niveaux déjà cités à 7 et 15 m qui, pour le plus élevé, forme un glacis-terrasse,

- à la confluence des oueds Malah et Besbès (reconnaissance G8) un puissant affleurement de grès quartzitiques forme un éperon dominant l'interfluve,

- dans la tranchée de l'oued Rmaïd (reconnaissance G9) :
  . le conglomérat cimenté du Continental affleure jusqu'au lieu-dit Si Saad aux environs de 635-640 m d'altitude,
  . à partir d'où, le réseau hydrographique intérieur du plateau marque vraisemblablement, par son tracé ramifié, le passage au matériau sus-jacent plus tendre,

- sur les bordures Sud Est (reconnaissance G10), au lieu dit Makabra el Hasseine, les pentes se relèvent sur des affleurements de grès quartzitiques (cote 727) qui sont dans la prolongation des couches du versant,

- au centre du plateau :
  . la présence de quelques blocs cyclopéens de calcaire du Crétacé jonchant la surface est insolite (reconnaissance G11),

- l'argile calcaire jaune a encore été prélevée en G12 (reconnaissance et échantillon G12) et à Aïn Rmaïd (Aïn = source) (reconnaissance et échantillon G13),

- enfin, un matériau meuble rubéfié et encroûté a été prélevé sous une croûte calcaire en G14.

3° DISCUSSION

On constate donc que :

- pour le Crétacé, les descriptions lithologiques s'accordent valablement avec celles de COURRIER (cf. 5.6.3.1°) ; les marnes qui affleurent avec un banc de calcaire intercalcaire à la base de la série Sud Ouest semblent effectivement correspondre à ce qu'il a défini comme étant l'Aptien et dès lors, le versant proprement dit se développerait dans les flyschs de l'Albien malgré qu'il y ait été reconnu plus d'un banc calcaire. Par contre, les pendages s'apparentent mieux à ceux représentés par KIEKEN ;

de sorte que l'orientation de la dépression des Beni Slimane coïncide exactement avec la direction des couches Ouest Sud Ouest - Est Nord Est ; c'est-à-dire qu'elle s'oriente parallèlement à l'axe anticlinal qui traverse le plateau de la Taourga en son milieu (cf. 5.5.3., Fig. 20). Mais les affleurements du substratum dans la tranchée de l'oued Yagour ne trouvent pas de réelle comparaison et ceux de grès quartzitiques à l'Est du plateau, sorte d'arête à chicots, accentuent la configuration en arc de cercle du Crétacé en isolant d'autant plus le plateau,

- pour le Continental, la coupe décrite à la confluence des oueds corrobore partiellement les conclusions de TRAYSSAC (cf. 5.6.3.2°) en montrant que la série comporte deux séquences à deux termes chacunes et que, la première étant plus épaisse que la seconde, elles commencent toutes les deux par un faciès détrique fluvio-torrentiel avec des conglomérats pour s'achever par un faciès de confinement avec l'argile calcaire jaune ou la dalle saumonée. Par contre, dans cette position de bas-fond où l'épaisseur des dépôts, les conglomérats et la position suspendue du plateau de la Taourga semblent confirmer les influences de la tectonique, il est difficile d'interpréter les seuls changements de couleurs en termes de changements climatiques importants. Tout juste peut-on supposer, ici, que la base tire son origine d'un "endoréisme" de subsidence qui, pour rappeler une idée de CAPOLINI et SARY (cf. 4.2.1.), aurait provoqué l'encombrement des cluses que doivent toujours franchir les oueds pour couler par antécédence vers le Nord Est et que la séquence supérieure correspond à un régime de surface où les traits marquants d'une pédogenèse relativement chaude se seraient conservés. Malheureusement, nous ne disposons d'aucun argument paléontologique ou archéologique, contrairement à DELFAUD et THOMAS (cf. 5.6.3.2°) pour dater ces formations non plissées mais peut être flexurées (?) et comme hypothèse de travail, nous ne pouvons que relever une certaine similitude de faciès entre la seconde séquence et le Moulouyen décrit par GUIRAUD (cf. 3.1.3.) ou encore par BALLAIS (cf. 4.1.1.) quand il fait allusion à l'encroûtement saumon à Helicidés".

- pour l'ensemble des observations, il est à retenir que l'inventaire lithologique de la carte de RAUNET néglige un affleurement de marnes au profit uniquement des accumulations calcaires (Photo 9, Fig. 28 à venir), sous-estime les bancs de calcaire dur dans le massif et surestime la présence de

grès quartzitiques ("quartzites") dans la tranchée de l'oued Yagour au dépens de marnes dont la géostructure générale s'accomoderait cependant mieux.

6.3.2. L'ANALYSE DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES

1° JUSTIFICATION

Avec la reconnaissance lithologique, les photographies aériennes (Photo 9)[1] sont déjà plus familières, il est donc normal, dans une deuxième phase du travail, de les observer plus attentivement et de soulever le problème de l'interprétation des grisés pour repérer en un minimum de temps les grands traits du modelé et les sites d'accumulations calcaires, tout en suggérant l'organisation et le choix des itinéraires.

2° DESCRIPTION DU MODELE (NIVEAU ORO-HYDROGRAPHIQUE)[2]

- le massif (d'après le terrain), dont les pentes dépassent 15 %, présente deux grands ensembles qui lui confèrent un relief "pseudo-appalachien" :
  . le premier constitue le front montagneux proprement dit dans lequel les bancs de grès quartzitiques et de calcaires durs sont bien marqués alors que les zones plus tendres d'argilites sont affouillées par des têtes de chenaux, au régime éphémère (chabet) s'il en est, qui créent des micro-bassins versants et isolent une série de replats,
  . le second, armé par des bancs de grès quartzitiques, est précisément constitué par ces replats qui se détachent en avancées (mamelons) sur le plateau aux environs de 850 m,

- le réseau hydrographique se distingue nettement par un contraste amont-aval et par une dissymétrie Ouest-Est :
  . dans le secteur Sud Ouest d'amont, il résulte de l'érosion ravinante du massif par les chenaux qui, au débouché sur le plateau, gardent momentané-

(1) malheureusement, nous ne disposions pas de la couverture du massif.
(2) visions normale et stéréoscopique.

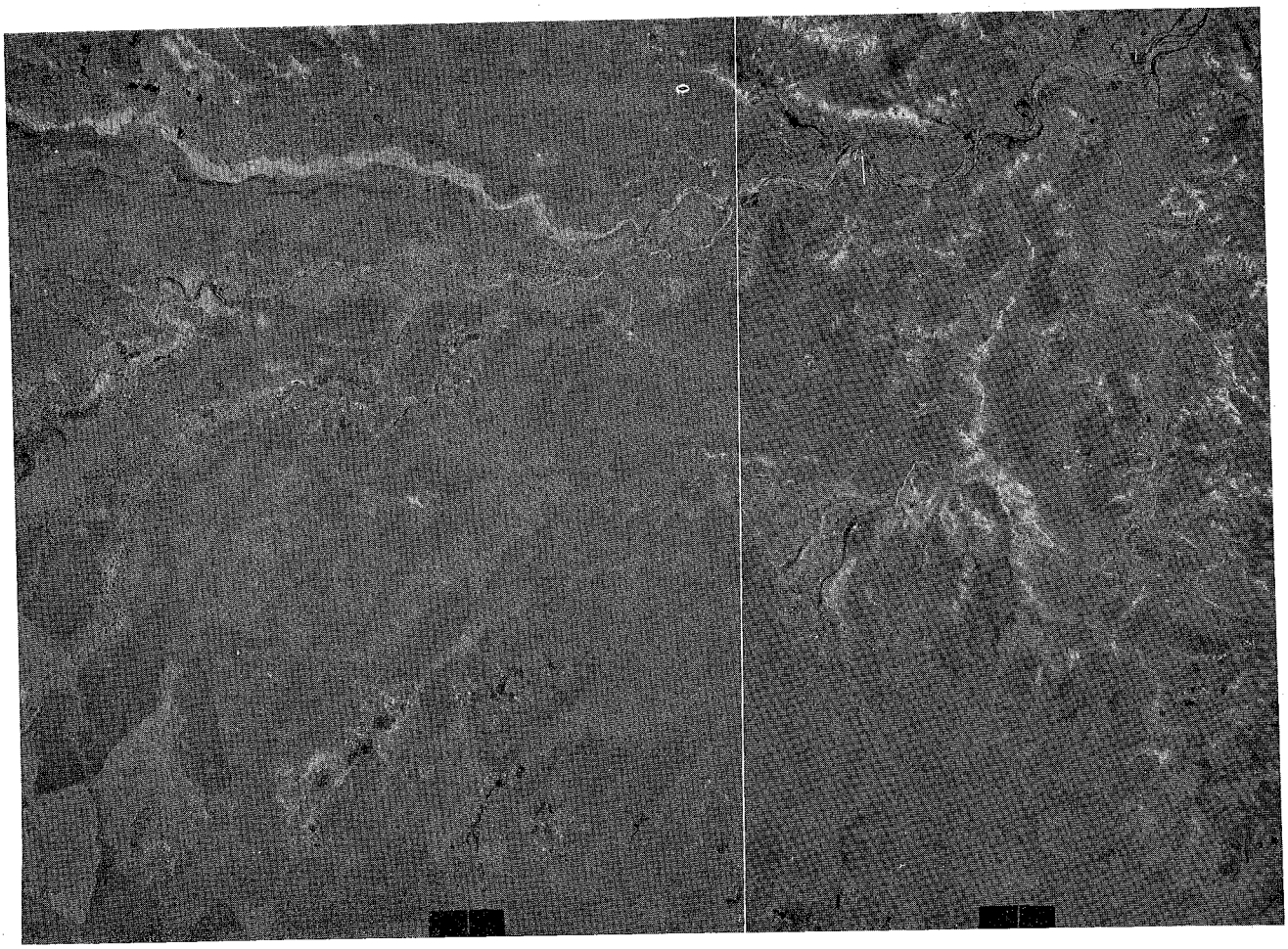


PHOTO 9 : Couverture aérienne du plateau de la Taourga obtenue à partir de la mosaïque non contrôlée des clichés 226 et 227 au 1/50.000 (IGN, 1960)

FIG. 28 : Exemples de corrections à apporter à la carte de RAUNET (1974)[1] et localisation des accumulations calcaires les plus complètement étudiées (C)

ment leur tracé avant de se ramifier, de s'entrecroiser et d'abandonner leur charge sous la forme de glacis-cônes, c'est-à-dire de se répandre en éventail sur les formations préexistantes de glacis plus anciens à pente longue ; les formes paraissent boursoufflées ;

. dans les secteurs Sud Ouest d'aval, Centre Ouest et Centre, certains chenaux conservent vaguement leur tracé et l'un d'entre eux forme bientôt un "collecteur principal" qui reçoit quelques "vassaux" sur le côté droit ; c'est une sorte de gouttière centrale, de charnière orientée

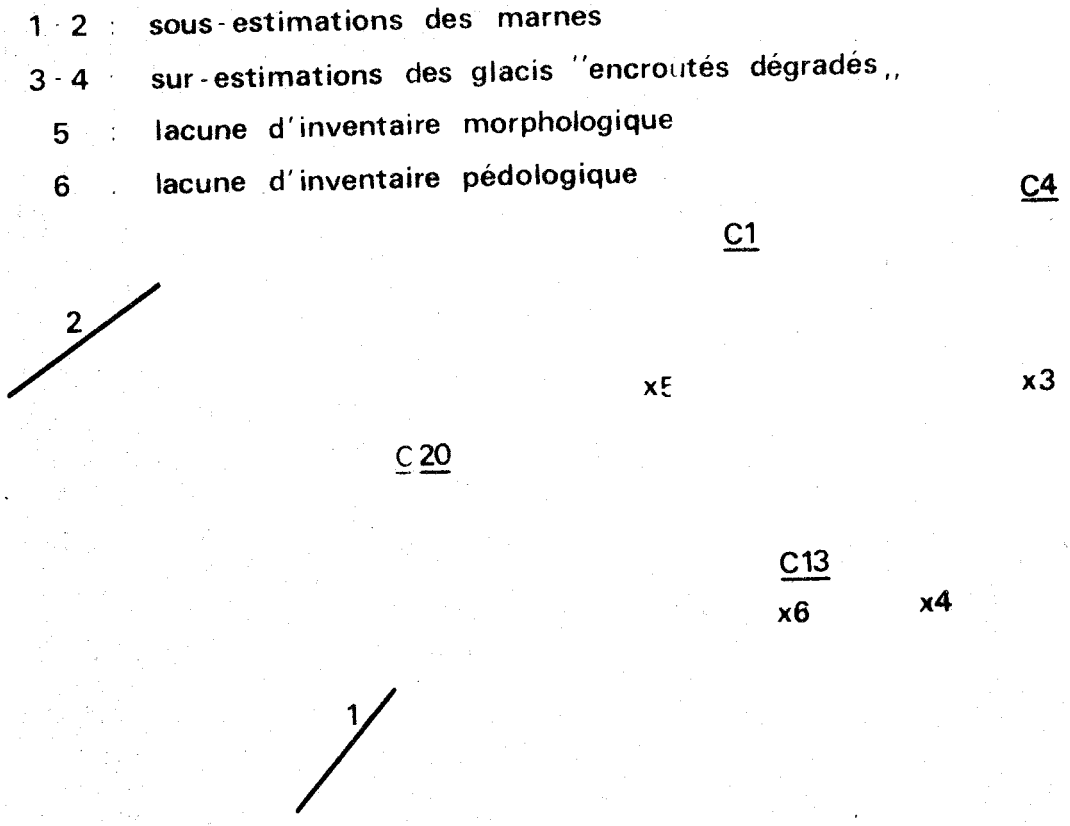
(1) notre but n'étant effectivement pas de plagier cet auteur dans un travail de cartographie.

1 - 2 : sous-estimations des marnes

3 - 4 : sur-estimations des glacis ''encroûtés dégradés,,

5 : lacune d'inventaire morphologique

6 : lacune d'inventaire pédologique



Ouest Sud Ouest - Est Nord Est de deux surfaces inclinées dont celle du Nord est caractérisée par une contre-pente faible d'exposition Sud apparemment stable,

. dans le secteur Sud d'amont, les chenaux entaillent des glacis plus redressés et plus courts et convergent vers la dépression ou cuvette centrée sur le Marabout de Si Khir ed Dine en s'anastomosant dès que la pente devient négligeable,

. dans le secteur Centre Est d'aval, la dynamique paraît davantage au creusement ; les chenaux s'enfoncent pour former l'oued Rmaïd, seul exutoire du plateau qui isole au Nord Est la longue avancée de Draa Bourbègue,

mais sur quinze mois de parcours assez fréquents, nous n'avons jamais vu fonctionner ces systèmes qui sont encombrés d'éléments gréso-quartzitiques de dimensions variables et en certaines places, de débris de croûtes calcaires

- les ruptures de pentes favorisent les affleurements d'accumulations calcaires comme l'analyse suivante va permettre de le concrétiser.

3° INTERPRETATION DE L'ECHELLE DES GRISES AVEC UN ANALYSEUR D'IMAGES (1)

En relation avec le service du Génie Rural et grâce à l'amabilité du Professeur GASPAR-DAUTREBANDE et de notre confrère HECQ, un essai d'interprétation des grisés sur une photographie aérienne couvrant la partie centrale du plateau a été réalisée avec un analyseur d'images ("Quantimet 720" - Cambridge Instruments, 1979) ; ainsi, par le biais d'une caméra, le cliché est visualisé sur un écran de télévision contrôlé par une série de modules interactifs, dont un densitomètre qui permet de distinguer soixante deux variantes de gris entre le noir et le blanc absolus. Dès lors, le principe du travail a consisté à balayer cette échelle en partant d'une de ses extrémités, en l'occu-

(1) en fait, cette technique que nous présentons à sa place idéale dans la chronologie des moyens d'investigation, fut employée postérieurement à l'étude pour une simple raison d'opportunité matérielle à propos de laquelle, le lecteur peut consulter utilement la publication de XANTHOULIS, HECQ et GASPAR (1981)

rence le noir, jusqu'au moment où, pour un niveau de gris atteint, l'ensemble des points vidéo qui représente un intervalle de densité, a signifié un fait interprétable sur le terrain. A ce moment, le moyen de sortie et d'exploitation le plus rapide nous a paru de photographier l'image produite sur l'écran qui regroupe, en blanc, les variantes déjà exploitées, et en noir, celles à exploiter. Ensuite, le balayage a été poursuivi jusqu'au stade d'interprétation suivant au niveau duquel il est toujours possible de rappeler l'image du regroupement précédent en gris intermédiaire. En pratiquant de cette façon jusqu'à l'autre extrémité de l'échelle, cette analyse nous a conduit à retenir trois niveaux d'interprétation (Photo 10) :

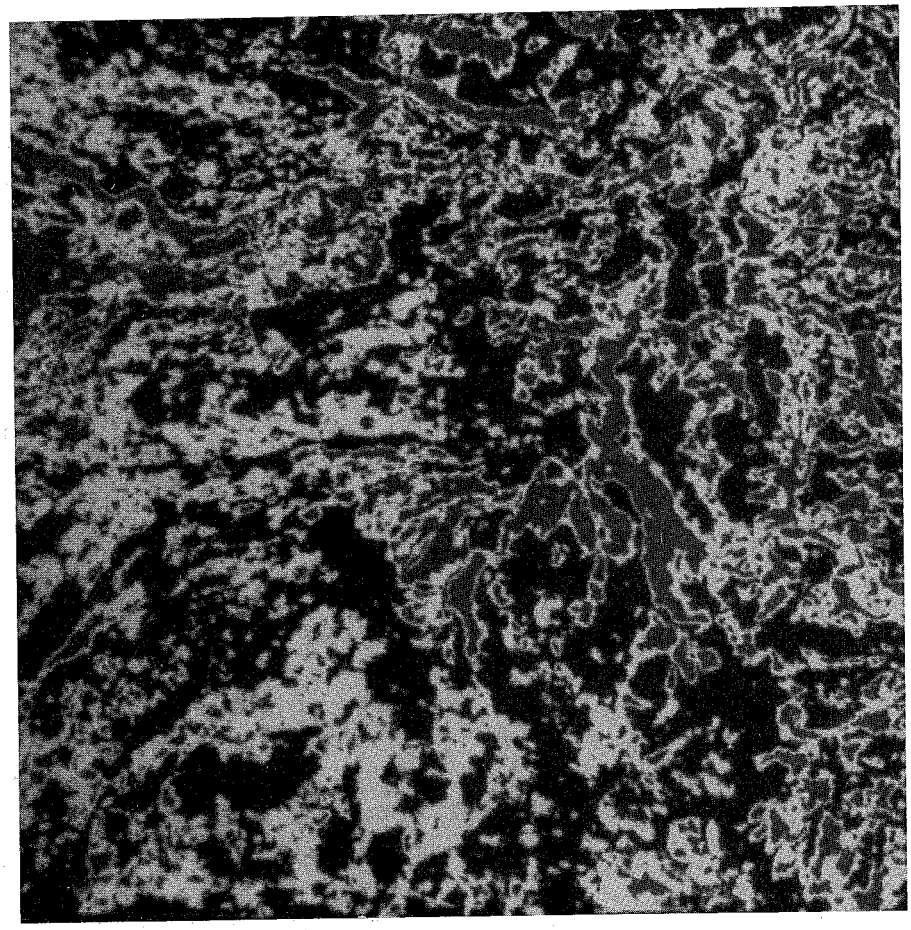


PHOTO 10 : Interprétation de l'échelle des grisés avec un analyseur d'images

- en gris (premier niveau), les zones où les accumulations calcaires sont affleurantes à sub-affleurantes : la tranchée de l'oued Rmaïd avec ses principales ramifications dont les têtes de vallons de la cuvette centra-

6.3.3. LE RETOUR AU TERRAIN

1° JUSTIFICATION

Ce retour au terrain constitue la troisième phase indispensable pour confirmer ou infirmer les résultats de la photointerprétation et finalement reconnaître les principaux critères d'une prospection pédologique complète (sorte de série cartographique) à l'aide de quelques sondages et profils préliminaires. C'est à cette occasion et avec mon ami DELAUNOIS qu'un grand nombre de croûtes calcaires ont été collectées dans le but de faire l'inventaire spatial de leurs différents faciès et de suivre leurs relations avec les formations meubles colorées ; c'est-à-dire d'en retenir l'explication génétique la plus probable et d'y rechercher l'éventualité de repères. Ces échantillons ont été prélevés, le plus souvent possible, dans des coupes naturelles ou dans des profils creusés mais aussi, malheureusement, dans des affleurements sous-solés dont il faut s'accomoder avec discernement dans ce milieu fort marqué par l'occupation agricole ; ensuite, ils ont été répertoriés sous la lettre C (calcaire), pointés sur la carte topographique au 1/50.000 (cf. 5.6.1. Fig. 21) et décrits, sommairement ici, avec la distinction des plus caractéristiques par représentation photographique en face polie (Photo 11), soulignement et repérage sur la photographie aérienne (Photo 9, Fig. 28). C'est donc postérieurement à la sélection des faciès et des gisements que quelques unes de ces croûtes ont été étudiées plus finement à différents niveaux de perception pour saisir les conditions de milieu qui ont présidé à leur formation

2° DESCRIPTION DU MICRO-MODELE (NIVEAU MORPHOPEDOLOGIQUE)

- Dans le massif, compte tenu de ce qui a déjà été rapporté à l'occasion de la reconnaissance lithologique et de ce que les argilites se délitent facilement et en abondance, les sols se développent dans les meilleurs cas, sur des colluvions lourdes, brun rouge, apparemment non calcaires et chargées d'éléments grossiers principalement gréso-quartzitiques. Trois croûtes calcaires friables y ont été prélevées en place et sont difficiles à décrire parce que peu épaisses dans leur extension limitée ; il s'agit de : C29 brune et fortement terrigène, C30 et C32 très blanches

le, les bordures hydrographiques du plateau et le piedmont (partiellement hors cadre) qui réalise le plus haut niveau fortement encroûté ; pour autant qu'on y ait soustrait les interférences créées par les plans d'eau des oueds Besbès et Yagour,

- en blanc (deuxième niveau), le tracé des chenaux et des glacis-cônes,

- en noir (troisième niveau), les glacis très morcelés et la bordure amont de la cuvette centrale.

4° DISCUSSION

Le plateau de la Taourga apparaît comme une surface de stabilité très relative entre deux domaines où la morphogenèse domine : le massif qui le charge à l'amont et l'oued Rmaïd qui le soutire ou le draine à l'aval ; c'est-à-dire que les zones les plus favorables à une éventuelle pédogenèse sont à rechercher entre les glacis-cônes et les chenaux qui isolent des lambeaux de glacis plus anciens. Mais, le fait de constater que le tracé du "collecteur" principal coïncide exactement avec celui proposé par TORRENT pour l'axe anticlinal des Biban constitue une présomption de plus pour penser que la tectonique a réellement influencé le façonnement du paysage et a vraisemblablement déformé cette surface jusqu'assez récemment dans le Quaternaire.

A cette occasion, l'interprétation automatique de l'échelle des grisés montre clairement que cette technique favorise l'organisation de l'approche morphopédologique en permettant de modéliser picturalement les étapes de l'interprétation ; de ce fait, elle incite à poser très tôt le problème des vrais contrastes ou similitudes à résoudre telle que l'apparition de plages claires non imputables aux accumulations calcaires ou le maintien d'une plage sombre aux environ de Si Khir et Dine en même temps que sur les glacis. De plus, il ressort encore de cette analyse que les surfaces marquées par les affleurements d'accumulations calcaires ont été apparemment exagérées et que les glacis-cônes ont été quelque peu stylisés sur la carte de RAUNET.

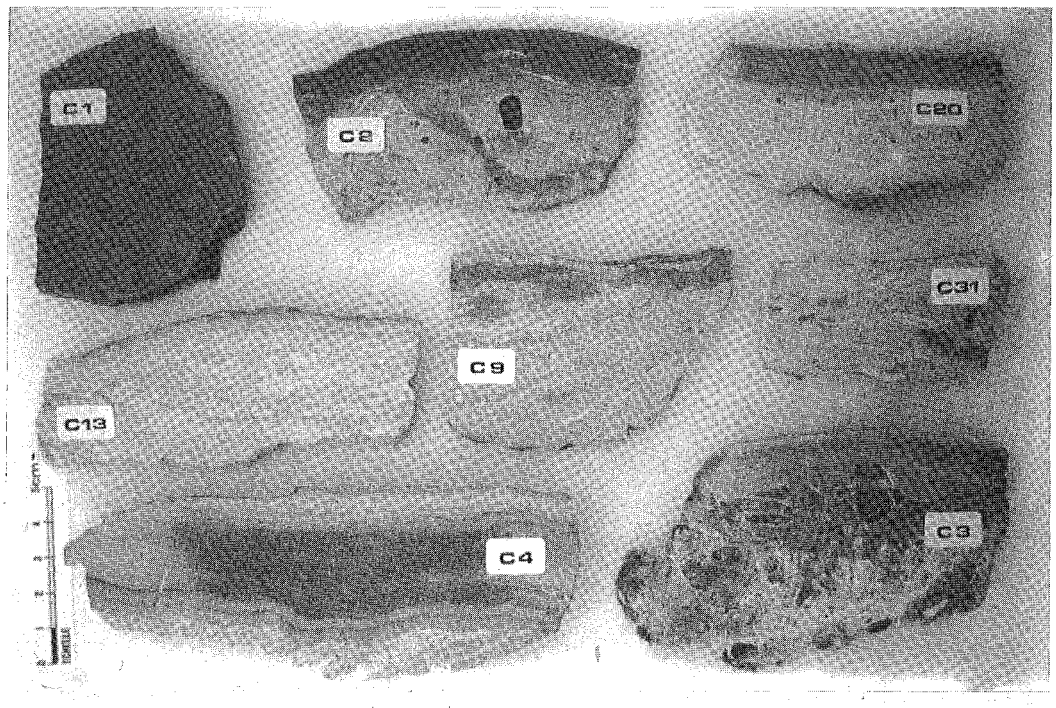


PHOTO 11 : Quelques exemples d'accumulations calcaires continues (croûtes) en face polie

qui y reposent respectivement sur une argile et sur un banc de calcaire dur en place,

- du secteur Sud Ouest au secteur Sud (glacis de piedmont - Photo 12 et de pente - Photo 13)[1] et conformément à l'analyse des photographies aériennes, les glacis sont de plus en plus courts et de plus en plus pentus ; aussi, la dynamique y passe du ruissellement épars à des mouvements de nappes. D'une façon générale, la surface y est fortement pavée de blocs gréso-quartzitiques et les formations meubles colorées, restées sombres à l'interprétation automatique des grisés, y apparaissent le plus souvent brun rouge foncé en surface (5YR 3/4) à brun rouge en profondeur (2,5YR 4/6), lourdes et non calcaires ; la présence de

(1) la dénomination pléonastique d'un glacis de pente n'a pour but que de différencier physiographiquement toutes les formes tendues qui ne sont ni strictement de piedmont, ni subhorizontales.

cette composante ne se marquant vraiment que dans les franges de contact des passages latéraux et verticaux avec les accumulations calcaires. Quelques échantillons de croûtes y ont été prélevés dont notamment C24 (profil M24), C25, C26 (profil M26) et C27 qui correspondent à des faciès de transition souvent peu épais vers ceux d'échantillons plus complètement décrits à l'aval.

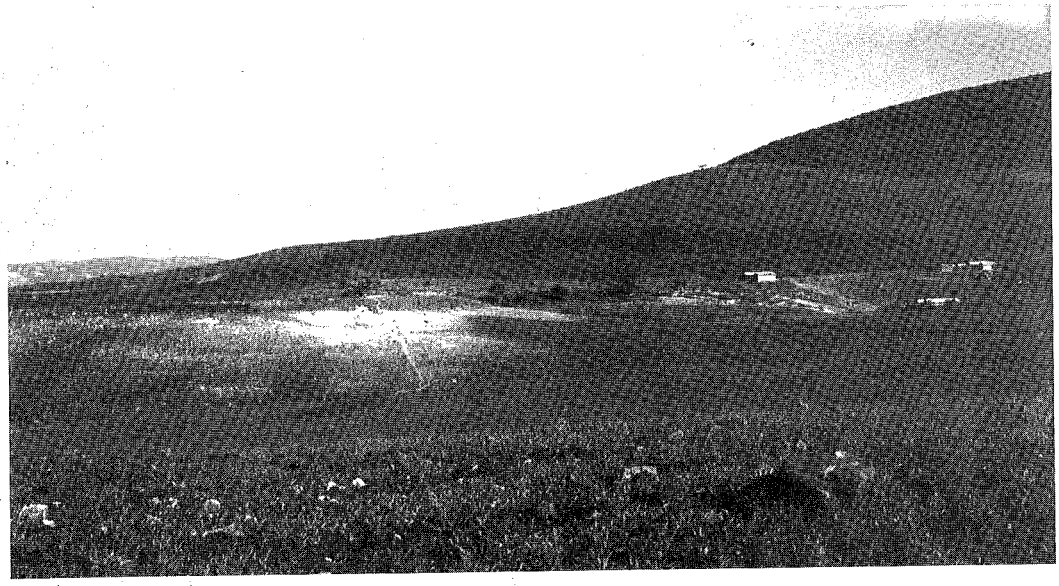


PHOTO 12 : Raccordement du glacis du piedmont avec le massif dans le secteur Sud Ouest, les marnes du Crétacé affleurent aux mechtas et le niveau encroûté présente, par plages, des formations meubles rubéfiées riches en éléments grossiers à traces d'enrobage calcaire.

Par contre, dans les chenaux et sur les glacis-cônes qui sont apparus plus clairs à l'interprétation des grisés, les formations sont plus variées, brunes à brun rouge foncé, plus légères, calcaires par endroits et les croûtes, comme C28 et C31, y sont nettement plus détritiques.

- dans les secteurs Nord Est (Draa Bourbègue) et Sud Est (glacis de pente et de plateau) les affleurements d'accumulations calcaires sont très nombreux. Aussi est-il logique d'observer que les murets d'épierrage ont une composition variée qui reflète bien la nature pétrographique de la



PHOTO 13 : Les glacis de pente vus du massif apparaissent déchiquetés par les oueds et entaillés par des chenaux qui se colmatent.

charge grossière environnante ; depuis ceux qui sont presqu'uniquement constitués de croûtes calcaires jusqu'à ceux qui le sont exclusivement de blocs gréso-quartzitiques (héritage du dôme de la cote 727 au lieu-dit Makabra El Hasseine) en passant par tous les intermédiaires. Mais cette observation permet également d'isoler, de cette vaste mosaïque repérable sur photographie aérienne, quelques belles surfaces dont l'épaisseur des formations meubles colorées (semblables à celles précédemment décrites sur les glacis de piedmont et de pente) est supérieure aux 50 cm supposés de la carte morphologique au 1/50.000 (Fig. 25, Tableau 4) et qui, dès lors, auraient peut-être mérité leur délimitation. Dans ce contexte, huit échantillons de croûtes calcaires ont été prélevés, parmi ceux-ci :

. *C4* de surface, présente une base friable blanche à rose surmontée par une dalle zonaire très dure de 4,5 cm d'épaisseur dont les zonations millimétriques sont beiges et brunes en alternance, ensuite plus rosées et finalement plus claires,

. C5 (prélevé approximativement au même endroit que la précédente) et C7 s'apparentent respectivement à *C20* (= G6) et à *C1* (= G7.3),

. C9 provenant d'un profil non retenu, correspond à une dalle, brun beige non zonaire ou plutôt à zonations rares et non parallèles,

- dans les secteurs Nord, Centre et Centre Ouest (glacis de plateau - Photo 14) où des buttes MONJAUZE serpentent sur plusieurs centaines de mètres, les formations meubles colorées, tout en étant encore fort semblables à celles des autres glacis, sont moins pavées en éléments grossiers, si pas en quantité du moins en volume, et des accumulations calcaires festonnent les talus ou protègent quelques points hauts (cote 662, 691, ...)

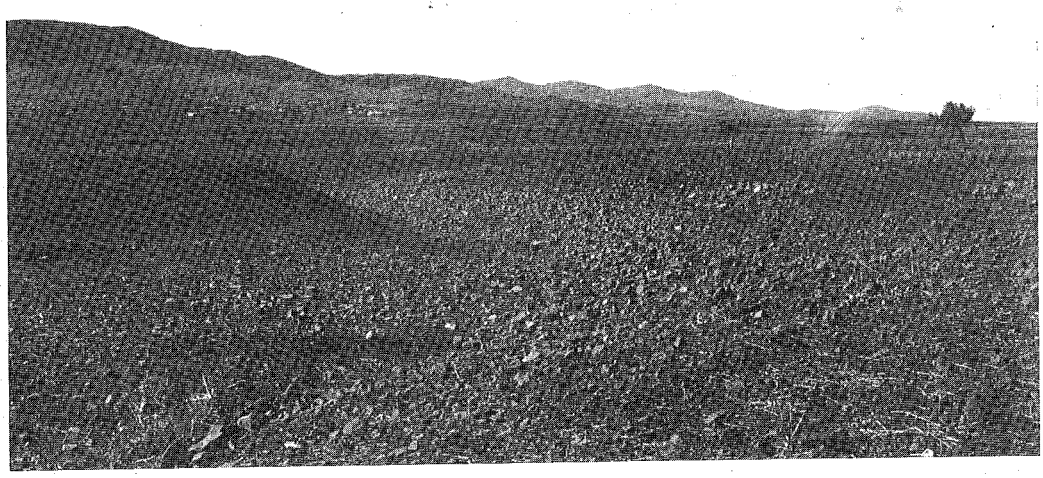


PHOTO 14 : Le glacis de plateau est sillonné par des buttes Monjauze et par le "collecteur principal" que bordent des affleurements d'accumulations calcaires.

Mais en plus d'une hypothèse sur la déflation éolienne, le remaniement est intense à l'approche des buttes et les zones claires de l'interprétation des grisés correspondent à des épandages torrentiels plus récents ou épisodiques, bruns à brun rouge foncé de comblement fortement chargé. Dans ce domaine où les pentes sont généralement inférieures à 3 %, dix échantillons de croûtes ont été prélevés :

. *C1* = G7.3

. C6 et C19 s'y apparentent par la forte pigmentation rouge ; la première dalle située en bordure de la tranchée de l'oued Rmaïd cimente des graviers gréso-quartzitiques complètement éclatés et rappelle ainsi une observation de CAPOLINI et SARY (cf. 4.2.1.) alors que la seconde ne

se retrouve qu'à l'état de débris épars au pied de la cote 691 qui est armée par *C20* = G6,

. C16, C17, C18 et C21, au centre du plateau ou en bordure du "collecteur principal" présentent une similitude avec le dernier échantillon cité,

. C2, qui reposant sur l'argile calcaire jaune (G12), est composé d'une base friable à nette structure en coin et d'une dalle zonaire, saumonée peu épaisse,

. C3, en bordure de la tranchée de l'oued Rmaïd, est caractérisé par une base friable nettement cisaillée par une dalle zonaire plus rose au contact de laquelle les graviers les plus allongés sont couchés et ceux, mieux enchâssés, sont contournés,

- dans le secteur Centre Est du Marabout de Si Khir ed Dine (cuvette), une croûte friable blanche domine, de 3 à 4 m, une étendue parfaitement plane et horizontale où les formations meubles sont noires, calcaires, exemptes d'éléments grossiers, lourdes, vertiques et donc fendillées en surface à la moindre sécheresse ; la piste qui se dirige vers le Nord Nord Ouest renforce cette observation par son tracé ondulé avant de traverser le "collecteur principal" et de remonter sur les glacis du secteur central en recoupant les affleurements de croûtes roses du type C18. Deux à trois cents mètres en aval du marabout, à la hauteur d'Aïn Rmaïd, le jeu de l'érosion dégage une autre séquence intéressante (Photo 15)

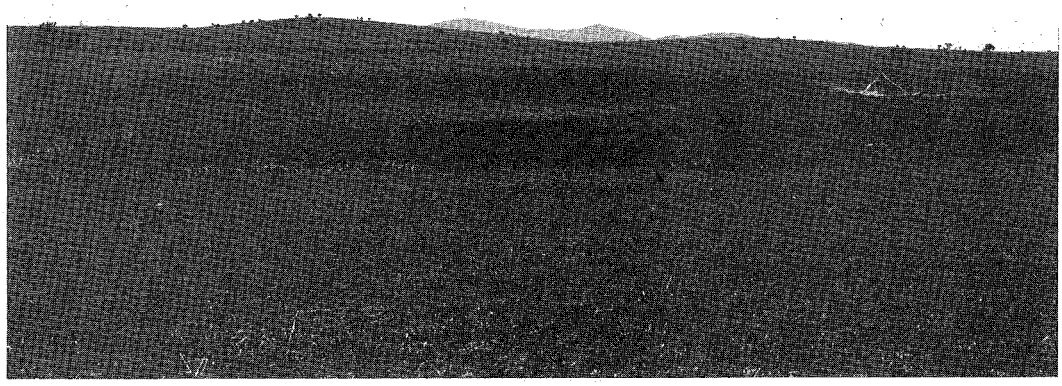


PHOTO 15 : Du point haut vers le point bas, glacis de pente à formation meuble rubéfiée, accumulation calcaire rose (tache claire éloignée) à la rupture de pente, formation meuble noire et argile calcaire jaune du Continental (au centre)

Quatre échantillons d'accumulations calcaires (dont une discontinue) ont été prélevés, tous de couleur blanche à blanc beige et non conglomératiques, dont il faut retenir :

. *C13* composé d'une dalle zonaire peu épaisse sur une basé friable de calcaire presque pur,

. C13fb qui, formé d'amas friables, assure la transition entre C13 et l'argile calcaire jaune du Continental (G13).

3° DISCUSSION

Cette troisième phase de terrain, en suggérant que les grisés résultent de l'interférence assez fortement cumulative entre : la forme, la couleur des formations meubles superficielles, leur texture, la plus ou moins grande profondeur d'une accumulation calcaire et l'occupation du parcellaire, a donc bien valorisé la photointerprétation. En effet, plus une formation est relativement stable, rouge ou noire, lourde et/ou profonde, plus elle apparaît foncée sur le cliché ; plus elle est instable, brune, légère et/ou superficielle, plus elle y apparaît claire. De la sorte, nous en venons à isoler des zones plus stables dans des domaines représentés sur la carte de RAUNET comme étant essentiellement de morphogenèse active telles que les formations meubles noires et à soustraire des zones instables dans des domaines représentés comme étant favorables à la pédogenèse telles que les épandages les plus récents du secteur central. Et par là même, le cadre morphodynamique étant connu, les principaux critères d'intérêt pratique (et facteurs limitants éventuels des terres à cultiver) s'ordonnent : la profondeur du profil (volume utile), la texture et le type d'argile (caractère vertique), la teneur en calcaire et sa forme d'accumulation, la charge en éléments grossiers ... avec le régime hydrique comme corollaire de l'ensemble.

Parallèlement, l'inventaire d'accumulations calcaire principalement en dalle a montré qu'elles peuvent présenter différents faciès qui correspondent, pour les plus contrastés, à des conditions de formation bien spécifiques depuis les croûtes conglomératiques de piedmont ou de bordure de chenal jusqu'aux croûtes presque pures de cuvette en passant par les intermédiaires plus ou moins terrigènes de glacis ; inventaire qui a aussi fait ressortir qu'elles arment souvent des formes relictuelles et que la croûte zonaire, tout en conservant cependant la coloration dominante d'une ambiance

d'accueil, arase les matériaux préexistants même s'ils sont conglomératiques.

Des relations morphopédologiques observées, il semble que trois ensembles de croûtes soient suffisamment différenciés et ubiquistes pour permettre de regrouper certains faciès et d'émettre l'hypothèse de travail d'un étagement chronologique et/ou d'une juxtaposition de milieux différents à croûtes saumonées (faciès *C1*), roses (faciès *C4, C20*) ou blanches (faciès *C13*) qui ne se différencient d'ailleurs pas uniquement par la couleur, mais aussi, dans l'ordre cité et en tenant compte de l'inventaire global, par une dalle de plus en plus mince et un faciès de moins en moins fréquemment conglomératique ; avec l'idée même plus précise d'isoler le premier en lui conservant l'attribution moulouyenne des auteurs (RUELLAN, MATHIEU, com. or.) bien qu'en position relative, RAUNET en ait fait un niveau plus récent (amirien ou tensiftien ?).

6.4. RÉSUMÉ

Par l'étude des documents existants, nous venons de voir combien l'approche morphopédologique, en procédant du principe fort logique des bilans hiérarchisés, suggère de dépasser le stade de la simple reconnaissance territoriale de formations privilégiées et d'intégrer l'étude des sols dans le cadre plus général de la lithologie et de la morphodynamique. Proposition séduisante que nous avons appliquée pour en déduire déjà, à mi-parcours, le diagnostic suivant en neuf points :

- l'adoption des conceptions et des légendes cartographiques proposées par KALMS et RAUNET qui ont largement guidé nos premières observations et nous ont permis de prendre le relais dans de bonnes conditions critiques,

- la perfectibilité de la carte de RAUNET dans l'inventaire lithologique et pédologique en équilibrant un peu mieux les efforts ; encore est-il

préférable, au niveau d'un aménagement intégré, de pêcher par la sous-estimation des potentialités pédologiques que par leur surestimation,

- l'intérêt pratique de recourir à l'analyseur d'images pour discuter l'interprétation de l'échelle des grisés,

- la confirmation d'un contraste lithologique qui n'a pu qu'accentuer les facteurs de la morphogenèse et favoriser le creusement ou le façonnement, en surfaces longues et tendues, des roches tendres, imperméables et sources principales de calcaire,

- l'impression soutenue que la tectonique a largement contribué au relief et peut-être interféré avec les variations climatiques jusqu'à une époque assez récente (scepticisme de TIHAY, com. or.),

- la reconnaissance des trois grands ensembles morphopédologiques suivants :
  . les versants où le critère lithologique est déterminant avec le massif constitué d'argilites, de grès quartzitiques et de calcaires durs, le piedmont marneux et la tranchée de l'oued Rmaïd tapissée d'argile calcaire jaune,
  . les chenaux, glacis-cônes et accumulations calcaires où la morphogenèse domine respectivement par dynamique torrentielle épisodique (pluriannuelle ?), mouvements de masse et ruissellement,
  . les glacis (de piedmont, de pente et de plateau) à formation meuble rubéfiée et la cuvette à formation noire où la part de la pédogenèse est à déterminer et où la dynamique passe du mouvement de masse au ruissellement épars ou diffus,

- le regroupement des accumulations calcaires continues en trois faciès avec l'hypothèse que le plus ancien correspondrait à la haute terrasse moulouyenne et que les deux autres s'en différencieraient écologiquement et/ou chronologiquement,

- l'aspect nettement tranché de la croûte zonaire,

- le choix de quatre séquences de profils telles que présentées au chapitre suivant,

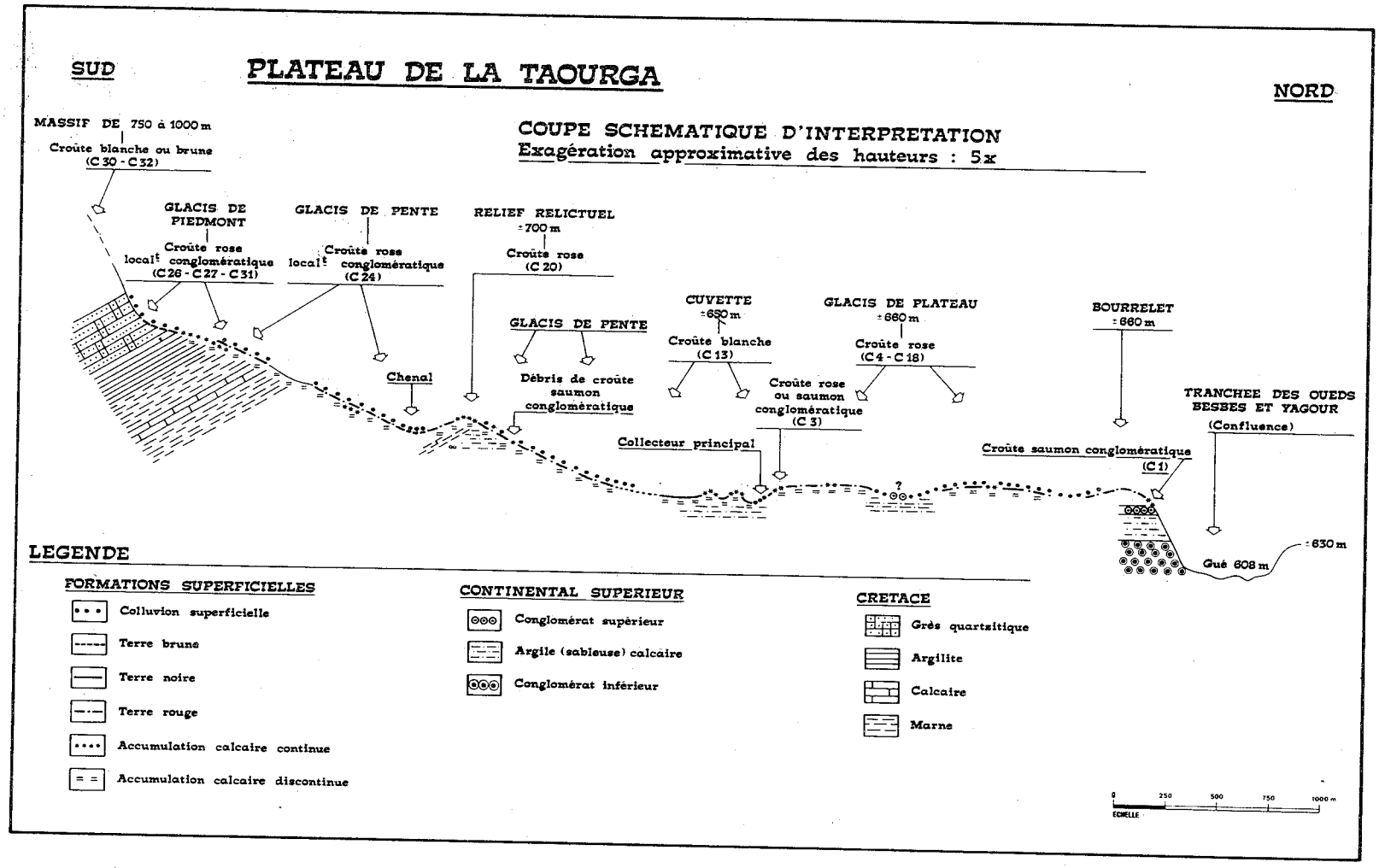


FIG. 29 : Coupe schématique d'interprétation du plateau de la Taourga

et une coupe schématique d'interprétation (Fig. 29) où les glacis-cônes doivent être vus tantôt en section transversale de chenal anastomosé, tantôt en section longitudinale de glacis à terre brune (profils peu différenciés).

CHAPITRE 7

La description des profils

CHAPITRE 7 :

LA DESCRIPTION DES PROFILS

7.1. LE CHOIX DES TOPOSÉQUENCES

En conclusion de l'approche morphopédologique, quatre séquences répertoriées sous la lettre S et repérées sur la carte topographique au 1/50.000 (cf. 5.6.1. - Fig. 21) ont été choisies dans le but de caractériser tantôt des domaines apparemment homogènes, tantôt des domaines contrastés ; vingt-et-un profils sont présentés sur les trente décrits dont certains l'ont été en compagnie de notre confrère aîné PAHAUT qui nous a fait bénéficier de ses trente années d'expérience en cartographie des sols. Mais dès l'instant où nous avons abordé la description des profils, nous avons dû faire un effort pour continuer à concevoir l'étude de l'amont vers l'aval et non l'inverse ; réflexe de pédologue qui, traduit dans la numérotation, consiste à remonter aux sources à partir de situations jugées pédogénétiquement (ou agronomiquement) optimales, plutôt que d'en découler en faisant réellement la différence entre l'allochtonie et l'autochtonie. Conception que nous rectifions de la sorte :

- la séquence n° 1 caractérise le versant du massif avec les profils 30 et 29,

- la séquence n° 2 caractérise le secteur Sud Ouest avec le profil 26 en piedmont et les profils 25 à 20 dans l'axe médian d'un long glacis de pente,

- la séquence n° 3 caractérise les secteurs Sud et Centre Est avec le profil 19 en piedmont, 18 à 16 sur glacis de pente, 15 à 13 de glacis-cônes et chenaux anastomosés, 12 à 11 dans la cuvette de Si Khir ed Dine,

- la séquence n° 4 caractérise le Centre avec les profils 5 à 7 sur glacis de plateau 8 et 9 dans des zones d'épandages plus récents.

7.2. LA MÉTHODE DE DESCRIPTION

Les descriptions de profils ont été réalisées en suivant les directives du manuel de description des sols de DELECOUR et KINDERMANS (1980 pour la dernière édition) ; il s'agit de l'emploi de livrets de description conçus pour le traitement informatique des données pédologiques dans le cadre d'un Réseau International d'Echange de Données des Sols (RIEDS). Chaque livret de terrain ou document de travail, dont un exemplaire est présenté en annexe, comporte quatre volets qui concernent successivement l'identification du profil, la description de l'environnement, la description des horizons et une description synthétique. La description de l'environnement apporte un ensemble de données concernant les grands facteurs pédogénétiques que sont le climat, la géomorphologie au sens physiographique, la roche-mère et les organismes vivants, plus particulièrement, la végétation et les influences humaines. La description des horizons rassemble toute l'information concernant les diverses caractéristiques édaphiques nécessaires aux divers utilisateurs du sol (taxonomistes, agronomes, forestiers, ingénieurs du génie civil, architectes, etc ...) ; les lignes y correspondent aux horizons (10 au maximum) et les colonnes aux variables qui sont groupées en rubriques.

Pratiquement, il suffit de respecter le système de notation qui recourt, selon les cas, soit au langage clair, soit au cochage de variables codées dans la colonne appropriée, soit encore au codage de variables à préciser sur le terrain selon le choix proposé par des tables annexes. Par après, en vue de faciliter le travail de perforation ou d'encodage, l'information est transcrite sur un formulaire intermédiaire, document de base, dont un exemplaire est présenté en annexe, qui reproduit exactement le dessin de la carte perforée. Bien que certaines codifications soient spécialement adaptées à la Belgique francophone, nous n'avons éprouvé aucune difficulté majeure à l'appliquer en

Algérie puisqu'il est toujours possible d'y introduire quelques remarques importantes ; cependant, il eût certainement été préférable de travailler en termes d'éléments figurés Ca-Mg que d'éléments secondarisés ! En résumé, ce système codifié favorise l'objectivité en offrant l'avantage d'être méthodique, clair, précis et non oublieux, tout en créant l'espoir, comme le souhaite GAUCHER (1974), de susciter le raisonnement déductif et une nécessaire interdisciplinarité[1].

Mais comme nous désirons mettre rapidement l'accent sur les points essentiels de ces comparaisons (couleurs, éléments figurés, structures, limites), la présentation des descriptions informatisées est reportée en annexe, en étant d'ailleurs réduite aux seuls profils retenus pour le laboratoire, et présentement, les résultats sont allégés sour la forme de tableaux synthétiques ; tableaux qui sont inspirés des fiches précitées et dans lesquels, les observations sont classées en suivant l'ordre de leur appréciation sur le terrain, à savoir :

- le numéro du profil, répertorié sous la lettre M (Méditerranée), le numéro et la profondeur en cm de chaque horizon,

- la couleur (revised Standard Soil Color Chart, 1970) pour laquelle les caractères alphabétiques de gamme ("hue") sont notés en code : 1 = R, 2 = YR et 3 = Y,

- les taches exprimées en pourcentage et dont la gamme est codée comme ci-dessus,

- les éléments grossiers (squelette) exprimés en pourcentage, en dimension (s) et en nature (s) :
  . les dimensions classées suivant une estimation du volume relatif et codées avec G = gravier (0,2 à 2 cm), C = cailloux (2 à 7,5 cm), P = pierre (7,5 à 25 cm), B = bloc (> 25 cm),

(1) Nous prenons toutefois bonne note des considérations philosophiques de CHATELAIN, RICHARD et LENEUF (1982) qui attirent l'attention sur la fuite en avant des systèmes informatiques et prônent le retour aux modèles verbaux.

. la nature des éléments liée étroitement avec la lithologie et donc codée avec Qu = quartzite (le plus souvent grès quartzitique), GR = grès, AI = argilite, CA = calcaire (à ne pas confondre avec les éléments secondarisés calcaires),

- l'effervescence à l'acide chlorhydrique dans l'ensemble de l'horizon représentée par un symbolisme mnémotechnique qui se complique avec la vivacité de la réaction : / = faible, x = moyenne, * = forte,

- la structure exprimée par le type, la dimension en mm et la netteté : le type est coché d'après les propositions possibles sélectionnées et avec la possibilité d'établir une hiérarchie 1-2 pour laquelle les structures sont intégrées si l'une des deux est prismatique, juxtaposées si l'une des deux est massive et mélangées dans les autres cas ; une structure massive n'a évidemment ni dimension, ni netteté,

- les éléments "secondarisés calcaires" exprimés en pourcentage, en dimension, en dureté et d'après la forme :
  . la dureté est exprimée avec le symbolisme déjà précité : / = friable, x = dur, * = friable et dur en mélange,
  . la forme est exprimée avec une idée de distribution : / = localisé et x = généralisé,

- les éléments secondarisés d'oxydes de fer et de manganèse en pourcentage et d'après la forme qui peut être : / = en taches, x = concrétions, * = en taches et en concrétions,

- les revêtements exprimés en surface avec / = moins de 20 %, x = de 20 à 80 %, * = plus de 80 %,

- la limite inférieure caractérisée par sa régularité et sa netteté à cocher, exception faite de la variable diffuse.

La texture n'est pas retenue à ce niveau de perception, car dans cet ensemble de terres lourdes, les variantes sont trop difficiles à apprécier au toucher ; par contre, une première ligne est réservée à l'appréciation de la charge en éléments grossiers et/ou en éléments secondarisés en surface.

Enfin, signalons que tous les profils ont d'abord été décrits en faces lissées (reconnaissance objective des superpositions) et que pour éviter une réflexion purement théorique, il n'est fait, à ce niveau d'investigation, aucune référence prématurée aux symboles et classifications pédologiques.

7.3. L'ANALYSE DES TOPOSÉQUENCES

7.3.1. SEQUENCE N° 1

1° LES OBSERVATIONS[1]

Figure 30, Tableau 5

2° LES FAITS ESSENTIELS

Les principales différences reposent sur la couleur et sur la charge en éléments grossiers :

- la couleur du profil 30 est brun rouge terne alors que celle du profil 29, à l'exception des vingt premiers centimètres, s'inscrit dans une gamme plus rouge,

- le squelette du profil 30 (Photo 16) constitué d'éléments gréso-quartzitiques est à la fois moins abondant et plus grossier que celui du profil 29 qui, à l'exception des sept premiers centimètres, est uniquement composé d'argilites.

3° DISCUSSION

Le profil 30 est relativement homogène dans son faciès colluvionné, par contre, le profil 29 présente une double discontinuité de charge

(1) la légende des figures (Fig. 40) se trouve à la fin du chapitre

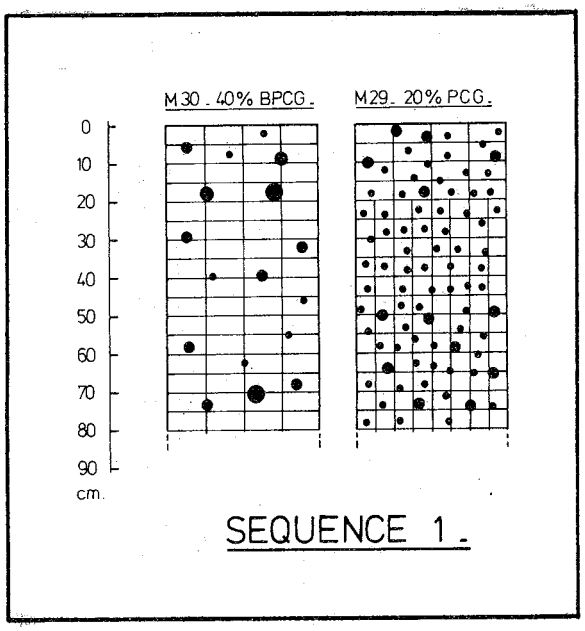


FIG. 30 : Présentation des principales caractéristiques macromorphologiques des profils de la séquence n° 1

Profil n°	Horizon n°	PROF. cm	COULEUR MUNSELL HUE	☆	Value	Chroma	TACHES ABOND. < 2 %	2-20 %	20-50 %	COULEUR HUE	☆	Value	Chroma	ELEMENTS GROSSIERS % Abond.	CLASSES DE DIMENSIONS	NATURE(S) ☆ 1	2	Efferv. HCl ☆	STRUCTURE TYPES Massive	Prismatique	Poly. ang.	Poly. sub.	Grumeleuse	Feuilletée	mm	NET. Peu nette	Nette	Très nette	ELEMENTS SEC. Ca % Abond.	DIMENS. < 5 mm	5-15 mm	> 15 mm	Dureté ☆	FORME Pseudomyc.	Amas	Nodules	Encr. cr.	Fe Mn % Abond. ☆	Forme ☆	Revêtements ☆	LIMITE INF. REGU. Régulière	Ondulée	Irrégulière	Interrompue	NET. Très nette	Nette	Distincte	Graduelle
30	0													40	B P C G	G R	Q U																																
	1	20		5	2	4	4							10	P C B G	G R	Q U			X				15													1	X	/	X								
	2	50		5	2	5	4							10	C G	G R	Q U			X				20													1	X	X	X								
	3	80		5	2	4	3							10	C G	G R	Q U			X				5													1	/	X									
29	0													20	P C G	Q U	A I																																
	1	7		5	2	4	4							5	G C	Q U	A I			1	2																				X					X		
	2	20		5	2	4	6							40	G C	A I				X				10													2	/	/	X					X		
	3	45	2	5	2	4	6							40	G	A I				X				5													2	/	/	X								
	4	80	2	5	2	4	6							40	G C	A I				X				5													3	/										

TABLEAU 5 : Présentation synthétique des profils de la séquence n° 1

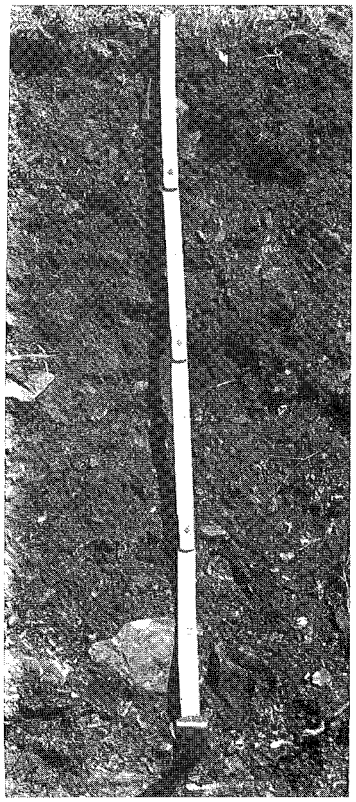


PHOTO 16 : Profil 30 de massif riche en éléments grossiers

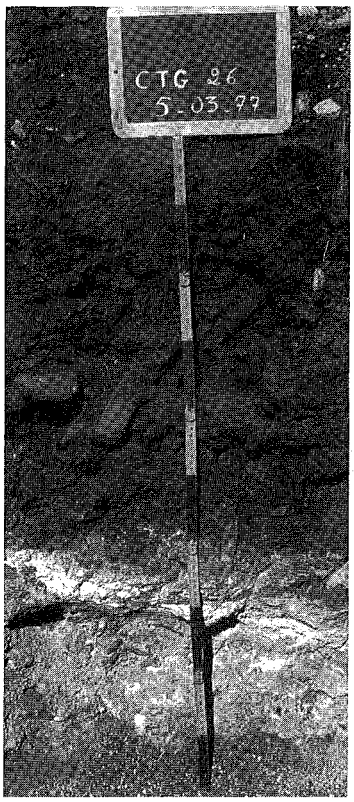


PHOTO 17 : Profil 26 sur/à accumulation calcaire continue (croûte) de piedmont

et de couleur. Dans ce contexte du massif, la gamme du 2,5YR de la terre fine interstitielle aux graviers d'argilites constitue certainement l'observation la plus importante.

7.3.2. SEQUENCE N° 2

1° LES OBSERVATIONS

Figures 31, 32 et 33, Tableau 6

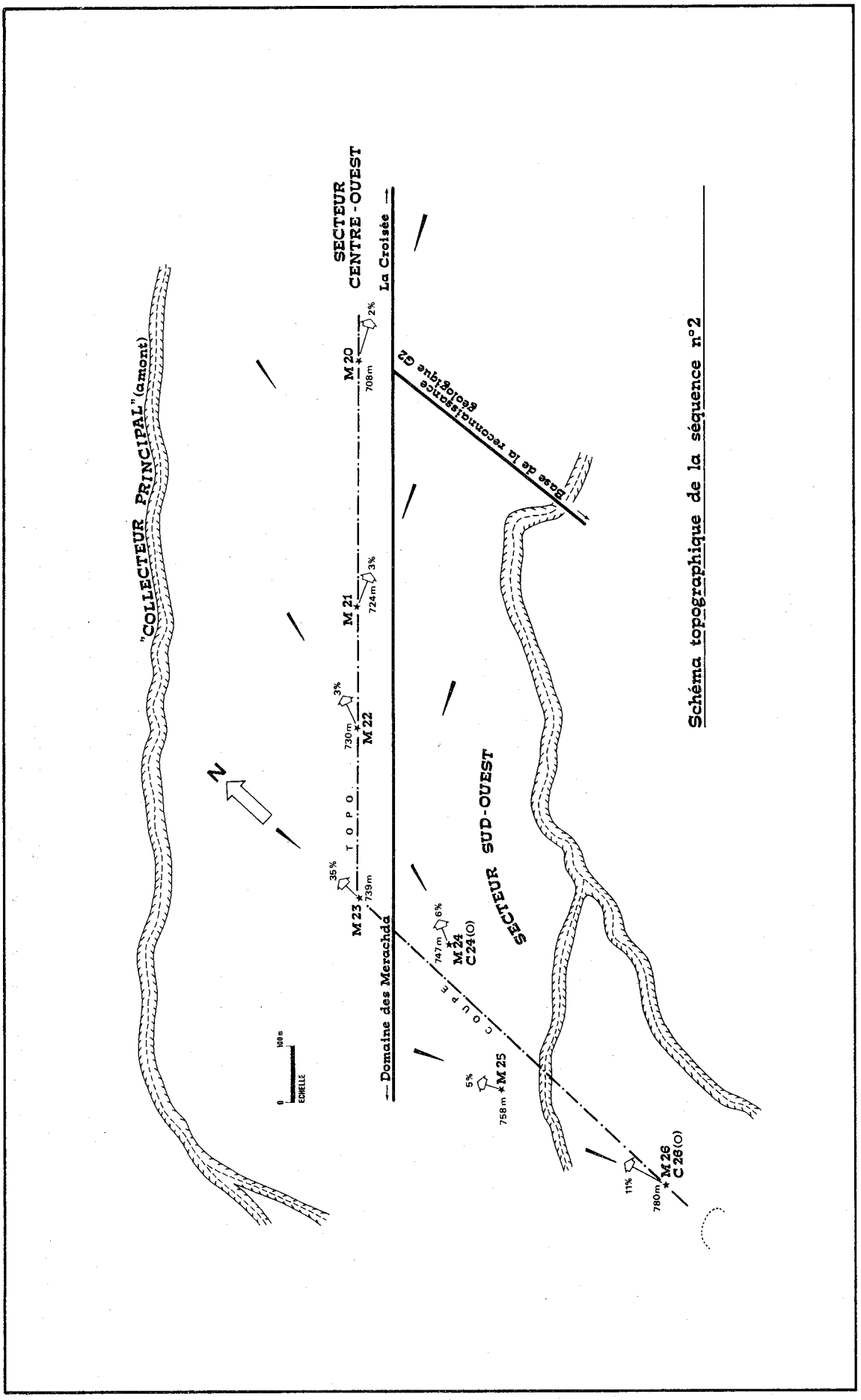
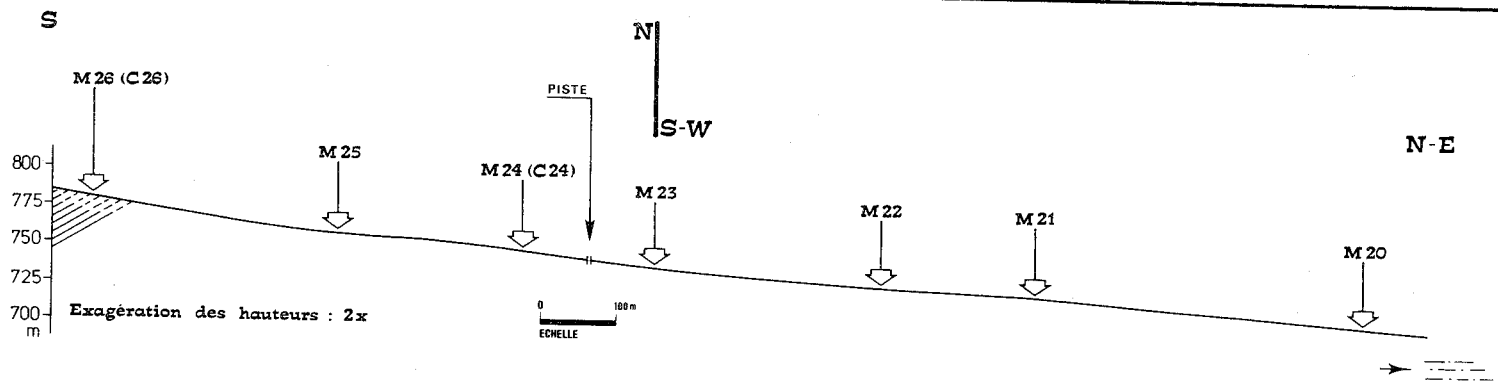
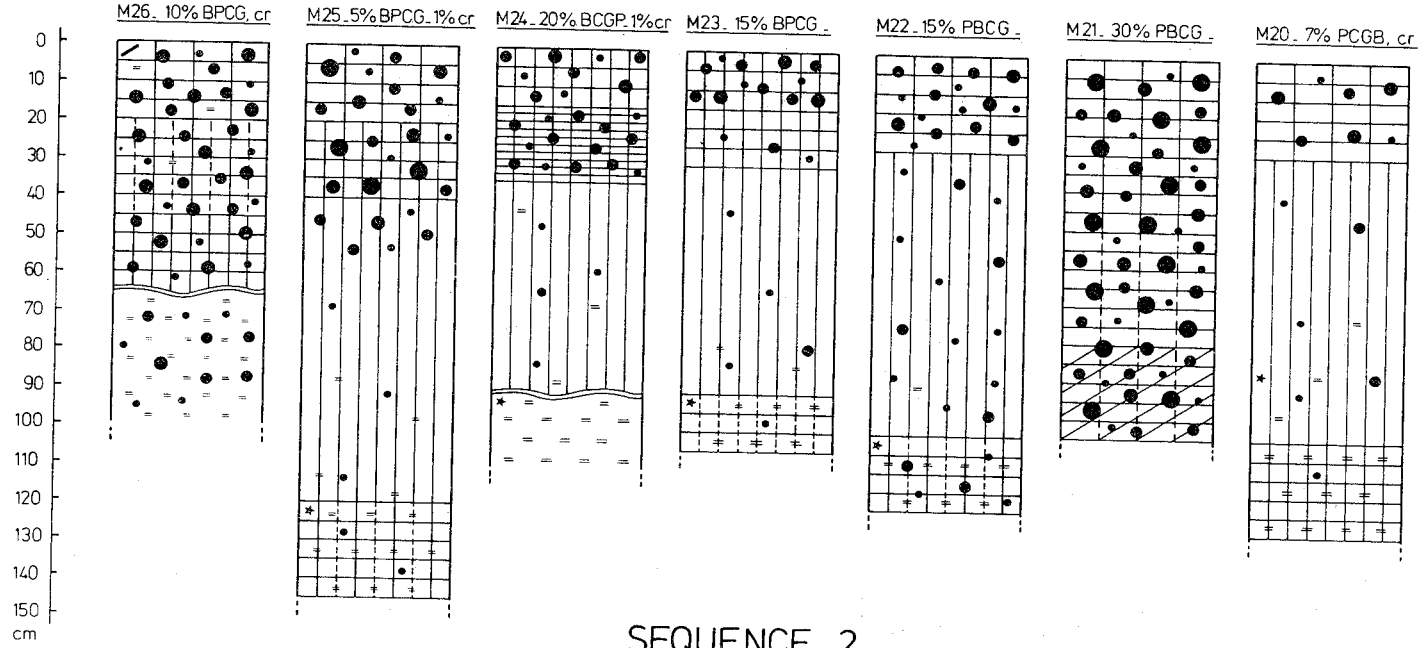


FIG. 31 : Schéma topographique de la séquence n° 2



Coupe topographique de la séquence n°2



SEQUENCE 2.

FIG. 32 et 33 : Coupe topographique et présentation des principales caractéristiques macromorphologiques des profils de la séquence n° 2

Profil n°	Horizon n°	PROF. cm	COULEUR MUNSELL HUE	☆	Value	Chroma	TACHES ABOND.	< 2 %	2-20 %	20-50 %	COULEUR HUE	☆	Value	Chroma	ELEMENTS GROSSIERS % Abond.	CLASSES DE DIMENSIONS	NATURE(S) ☆ 1	2	Efferv. HCl	STRUCTURE TYPES Massive	Prismatique	Poly. ang.	Poly. sub.	Grumeleuse	Feuilletée	NET. mm	Peu nette	Nette	Très nette	ELEMENTS SEC. Ca' % Abond.	DIMENS. < 5 mm	5-15 mm	> 15 mm	Dureté ☆	FORME Pseudomyc.	Amas	Nodules	Encr. cr.	Fe Mn % Abond.	Forme ☆	Revêtements ☆	LIMITE INF. REGU. Régulière	Ondulée	Irrégulière	Interrompue	NET. Très nette	Nette	Distincte	Graduelle
26	0														10	B P C G	G R Q U																																
	1	20	5	2	3	4									20	P C G	G R Q U	/			X			1		X		2		X		X		/				X							X	
	2	45	5	2	3	3			X		2	5	2	4	6	20	P C G	G R Q U	/		X				15		X		2		X		X		/				X							X	
	3	65	2	5	2	4	6	X			5	2	4	3	20	P C G	G R Q U	/			X				25		X									/			X			X					
	4	100	ACCUMULATION CALCAIRE CONTINUE																																												
25	0														5	B P C G	G R Q U												1								/											
	1	20	5	2	4	6									15	C G P B	G R Q U					X		2		X														X			X			
	2	40	2	5	2	3	3								25	B P C G	G R Q U				2	1		30		X											1	X		X			X			
	3	55	2	5	2	4	4								10	C G P	G R Q U			1	2			25		X											1	X	/	X			X			
	4	80	2	5	2	4	4	X			2	5	2	4	2	1	G	G R Q U			1	2			40			X	1	X		X		X		1	X	/	X						X
	5	110	2	5	2	4	4	X			2	5	2	4	1	1	G	G R Q U			1	2			40			X	3		X	X		X			X	X			X			X	
	6	120	2	5	2	4	3	X			2	5	2	4	1	1	G	G R Q U			1	2			40			X	5		X	X		X			X				X			X	
	7	145	2	5	2	4	8		X		5	2	6	4		3	G	G R Q U	★			X			5	X			15		X	X		X	X										
24	0														20	B C G P	G R Q U												1								/										
	1	15	2	5	2	3	4								15	C G P	G R Q U					1	2	5		X														X			X			
	2	35	2	5	2	3	4								25	C G	G R Q U		X																		/	X				X			
	3	55	2	5	2	4	6	X			5	2	3	2	1	G	G R Q U			1	2			30		X		1	X		X		X		1	X	X	X						X
	4	85	2	5	2	4	6		X		2	5	2	3	2	1	G	G R Q U			1	2			30		X		1	X		X		X		1	X	X	X				X		
	5	90	2	5	2	4	8		X		2	5	2	3	2	1	G	G R Q U			1	2			30	X			2	X		X		X		1	X	X		X		X			
	6	100	ACCUMULATION CALCAIRE CONTINUE LENTICULAIRE																																											
23	0														15	B P C G	G R Q U																															
	1	15	2	5	2	3	4								20	C P G	G R Q U					X		1		X														X			X			
	2	30	2	5	2	3	4								2	G C	G R Q U				X			2	X												1	X	/		X		X			
	3	50	2	5	2	3	6	X			5	2	3	2	1	G	G R Q U			1	2			50	X												1	X	X	X					X	
	4	75	2	5	2	4	6	X			5	2	3	2	1	G	G R Q U			1	2			30		X											1	X	X	X					X	
	5	90	2	5	2	4	8	X			5	2	3	4	1	G C	G R Q U			1	2			30		X		3	X	X		X		X		1	X	X	X				X		
	6	105	2	5	2	4	8			X	2	5	2	4	2	1	G	G R Q U	★			X			5	X			20	X	X	X	★	X	X	X										
22	0														15	P B C G	G R Q U																															
	1	25	5	2	4	4									20	C G P	G R Q U					X		1	X															X			X			
	2	40	2	5	2	3	6								3	G C	G R Q U			1	2			40	X												1	X	X	X					X	
	3	65	2	5	2	3	6								3	G C	G R Q U			1	2			30			X										1	X	X	X					X	
	4	80	2	5	2	4	6								3	G C	G R Q U			1	2			30			X										1	X	X	X				X		
	5	100	2	5	2	4	8	X			2	5	2	3	2	5	G C	G R Q U			1	2			30			X	1	X		X		X				X	X				X		
	6	120	2	5	2	7	8			X	5	2	3	4		7	G C	G R Q U	★			X			2		X		15	X	X	X	★	X	X	X				/						
21	0														30	P B C G	G R Q U																															
	1	45	5	2	3	4									40	B P C G	G R Q U					X		1	X															/	X				X	
	2	75	5	2	4	3			X		5	2	4	6	40	B P C G	G R Q U				X			2		X											2	X	X	X				X	
	3	100	7	5	2	5	6		X		5	2	5	8	40	B P C G	G R Q U				X			5		X											2	★	X						
20	0														7	P C G B	G R Q U												1								X										
	1	25	5	2	4	4									5	P C G	G R Q U					2	1	1		X														X			X			
	2	55	2	5	2	4	6								1	G C	G R Q U			1	2			25	X												1	X	X	X					X	
	3	80	2	5	2	4	6	X			5	2	4	3	1	G	G R Q U			1	2			30		X		1	X		X		X		1	X	X	X				X		
	4	100	2	5	2	4	8	X			5	2	4	3	1	G C	G R Q U	★		1	2			20	X			3	X	X		X		X		1	★	X	X				X		
	5	125	2	5	2	4	8		X		2	5	2	6	8	1	G C	G R Q U	★			X			2	X			20	X	X	X	X		X	/	1	★								

TABLEAU 6 : Présentation synthétique des profils de la séquence n° 2

2° LES FAITS ESSENTIELS

- Le profil 26 sur/à accumulation calcaire continue (croûte) de piedmont, caractérise le plus haut niveau de glacis (Photo 17) :
  . la couleur assez sombre en surface s'éclaircit et devient plus rouge au contact de la croûte,
  . les pourcentages et la couleur des taches de même que la charge en éléments grossiers et les limites graduelles indiquent que les horizons sont presque intimement mélangés,
  . l'ensemble du profil réagit faiblement à l'acide chlorhydrique et de petits débris de croûte ponctuent les horizons supérieurs,
  . le contact (la limite ?) avec l'accumulation calcaire est souligné par une fine croûte zonaire à stratifications brunes (C26) reposant sur des accumulations lenticulaires, continues à discontinues et de dureté variable, qui cimentent des éléments grossiers de grès et de roches calcaires du Crétacé,

- à l'exception du profil 21 (Photo 19) qui contraste par sa couleur brune de profondeur et sa charge en éléments grossiers, les autres profils (Photo 18) peuvent être décrits en suivant le même schéma :
  . la couleur est comprise dans la fourchette du brun rouge terne en surface au brun rouge en profondeur à l'exception du profil 22 qui tend vers l'orange ; parfois un film de matériau nettement plus clair recouvre les formations à la fois plus rouges et plus sombres ; mais à l'aval, la tendance est à l'éclaircissement généralisé,
  . les taches se répartissent en deux catégories : celles peu nombreuses à moyennement nombreuses, généralement sombres qui affectent les horizons moyens et celles moyennement nombreuses à nombreuses qui caractérisent l'horizon de profondeur ; les premières, qui sont souvent en association avec les vides, correspondent aux mouvements de migration tels que ceux de la matière organique et les secondes sont dues à l'apparition des accumulations calcaires,
  . le squelette composé d'éléments gréso-quartzitiques (humides) fait ressortir, en abondance et en dimension, une très nette rupture de profil tout en s'amenuisant avec l'éloignement du massif pour devenir toujours plus superficiel (Ask utilisé par BOTTNER, cf. 3.2.2.2°),

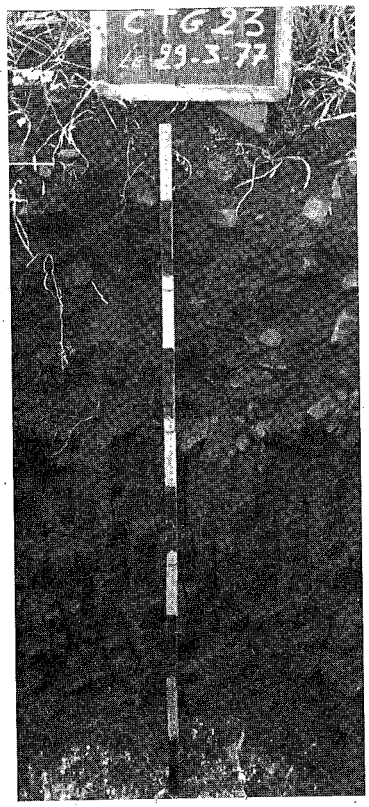


PHOTO 18 : Profil 23 de glacis de pente présentant une nette superposition de matériaux différents et une accumulation calcaire discontinue

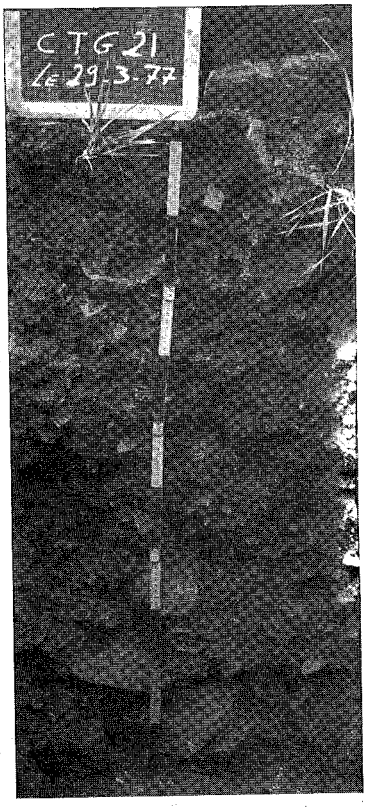


PHOTO 19 : Profil 21 de chenal colmaté et nivelé.

. les accumulations calcaires qui constituent le plancher des profils sont pour la plupart discontinues et constituées de pseudomycélium, d'amas friables et de nodules en mélange sur un fond matriciel apparemment identique à celui des formations meubles sus-jacentes ; dans le profil 24, la surface supérieure de l'accumulation calcaire, qui présente une alternance de lentilles de croûte zonaire et/ou feuilletée de 5 à 10 cm d'épaisseur (C24) et d'amas friables, est affectée d'une pente différente de celle de la surface du profil,

. par contraste, les horizons de contact avec les accumulations calcaires ne réagissent généralement pas à l'acide chlorhydrique, mais de petits nodules concrétionnés y sont souvent associés aux vides et aux galeries ; il n'est même pas rare d'en voir isolés en surface,

. la structure des horizons de surface est grumeleuse et/ou polyédrique, parfois massive ; mais dès que le squelette décroit, une très belle structure prismatique (luisante), qui peut être fauchée, s'individualise dans un matériau concomitamment plus lourd,
. des éléments secondarisés de fer-manganèse marquent les horizons moyens,
. les limites sont régulières distinctes à graduelles dans les formations meubles colorées, régulières distinctes au contact des accumulations calcaires discontinues et ondulées très nettes au contact de celles continues.

3° DISCUSSION

Hormis le profil 21 qui correspond au tracé d'un ancien chenal colmaté et nivelé, tous les autres profils caractérisent bien l'évolution toposéquentielle d'une même unité morphopédologique de glacis de pente longitudinalement uniforme dans ses contrastes verticaux ; ces derniers sont soulignés par l'apparition successive d'un(e) :

- manteau colluvial qui, tout en s'amincissant vers l'aval, a diversément tronqué, enseveli ou remanié le matériau sous-jacent,

- un matériau fin rubéfié à belle structure prismatique et à faible pourcentage d'éléments figurés,

- une accumulation calcaire continue à discontinue de profondeur variable au point que le profil 26 de piedmont subit la (re)carbonatation par le haut à partir d'affleurements périphériques.

De ces faits, il semble que le bilan le plus récent est incontestablement favorable à la morphogenèse (ruissellement, colluvionnement) et que les caractères les plus marqués d'une pédogenèse rubéfiante sont à inscrire au compte du passé, mais sans pour autant exclure la poursuite timide ou la surimposition qualitative d'un quelconque processus en périodes d'accalmie ou encore, préjuger de l'origine des accumulations calcaires.

7.3.3. SEQUENCE N° 3

1° LES OBSERVATIONS

Figures 34, 35 et 36 - Tableau 7

2° LES FAITS ESSENTIELS

- Le profil 19 est représentatif de ce piedmont qui, tout en étant moins élevé, est plus pentu et boursoufflé par des mouvements de masse,
  . la couleur est comprise dans la fourchette des brun rouge à brun foncé et change pratiquement de gammes d'un horizon à l'autre, parfois lenticulaire,
  . le squelette est peu abondant contrairement à l'environnement et à l'impression de surface,
  . la structure massive domine et va de pair avec des caractères vertiques,
  . des éléments secondarisés calcaires et des débris de coquilles ponctuent tout le profil qui est calcaire dans la masse,

- les profils 18 à 16 (Photos 20 et 21) sur le glacis de pente, rappellent certains grands traits de la séquences n° 2 tout en présentant de notables différences :
  . les couleurs sont toujours globalement comprises dans les mêmes gammes mais leur importance relative s'inverse de sorte que les tendances les plus rouges n'apparaissent plus que dans les profils d'amont et ne concernent plus que les horizons de contact avec les accumulations calcaires discontinues,
  . de ce fait, la structure prismatique y est moins fine et des faces lissées obliques suggèrent le caractère vertique ; impression que renforce la structure massive sus-jacente,
  . à l'inverse de ces gradients et en conséquence réciproque, la réaction à l'HCl et l'apparition d'éléments secondarisés calcaires sont de moins en moins profondes de même que les limites avec les accumulations calcaires sont graduelles,

- les profils 15 (Photo 22) et 13 de glacis-cônes ou de chenaux anastomosés,

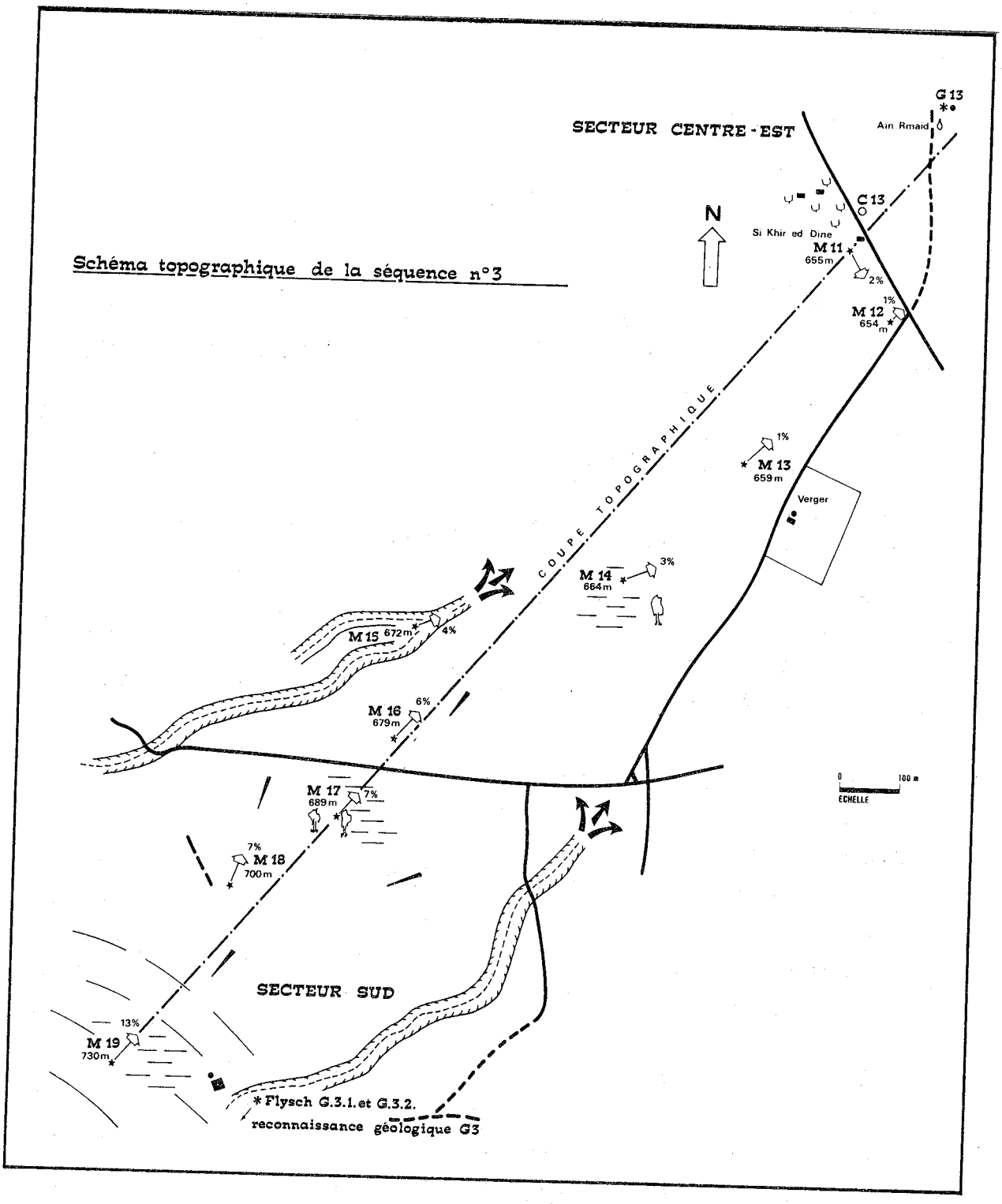
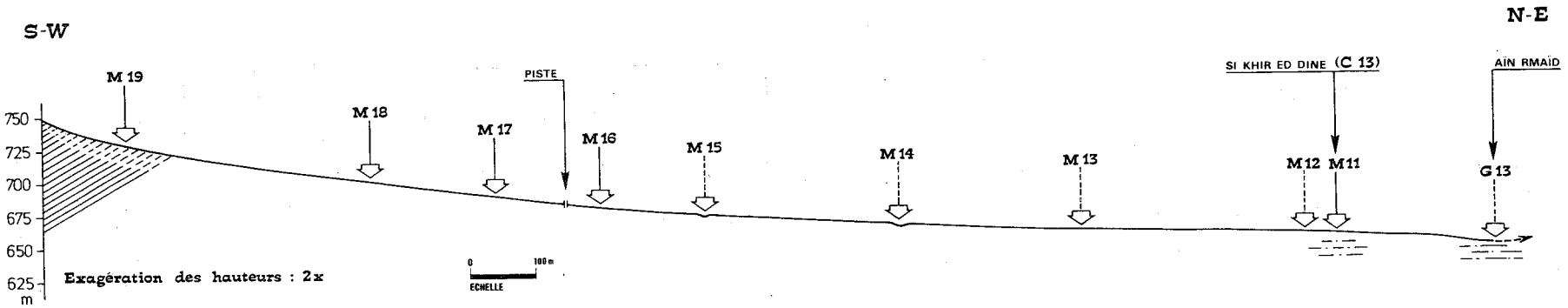
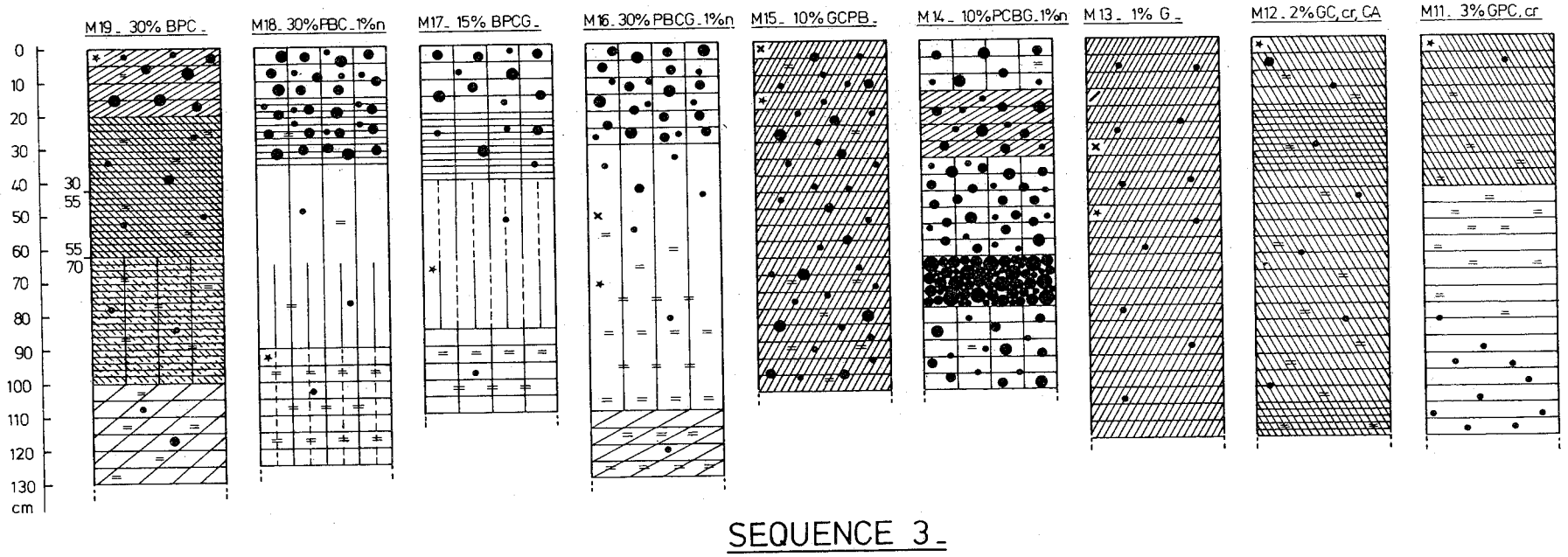


FIG. 34 : Schéma topographique de la séquence n° 3



Coupe topographique de la séquence n°3



SEQUENCE 3.

FIG. 35 et 36 : Coupe topographique et présentation des principales caractéristiques macromorphologiques des profils de la séquence n° 3

Profil n°	Horizon n°	PROF. cm	COULEUR MUNSELL HUE	☆	Value	Chroma	TACHES ABOND.	< 2 %	2-20 %	20-50 %	COULEUR HUE	☆	Value	Chroma	ELEMENTS GROSSIERS % Abond.	CLASSES DE DIMENSIONS	NATURE(S) ☆ 1	2	Efferv. HCl ☆	STRUCTURE TYPES Massive	Prismatique	Poly. ang.	Poly. sub.	Grumeleuse	Feuilletée	NET. mm	Peu nette	Nette	Très nette	ELEMENTS SEC. Ca % Abond.	DIMENS. < 5 mm	5-15 mm	> 15 mm	Dureté ☆	FORME Pseudomyc.	Amas	Nodules	Encr. cr.	Fe Mn % Abond.	☆ Forme	☆ Revêtements	LIMITE INF. REGU. Régulière	Ondulée	Irrégulière	Interrompue	NET. Très nette	Nette	Distincte	Graduelle
19	0																																																
	1	20	7	5	2	4	4								30	B P C	G R Q U	/																																
	2	30 / 55	1	0	2	4	4								7	P C G	G R Q U	★			1	2			2	X		2	X		X		X	1	X		X				X					X		
															3	G C	G R Q U	★	X									5	X		X		X	1	X		X				X					X		
	3	55 / 70	1	0	2	3	3	X			5	2	4	8	2	G	G R Q U	★	X									3	2	1	★		X	1	X	/			X		X					
	4	100		5	2	5	8		X	1	0	2	4	2	2	G	G R Q U	★	X									10	2	1	★		X	1	X	X	X				X					X		
	5	130	7	5	2	5	8	X		1	0	2	4	2	1	G C	G R Q U	★			X				5	X		10	2	1	★		X	1	X	X											
	6	200	SONDAGE																																													
18	0																																															
	1	15	5	2	4	4									30	P B C G	G R Q U											1					X														
	2	35	5	2	3	4									20	C P G	G R Q U				2	1			2	X																						
	3	65	5	2	3	3									20	C P G	G R Q U		X									1	X		X		/			/		X				X					
	4	90	2	5	2	3	6	X			5	2	4	2	1	G	G R Q U			1	2				80	X		1	X		X		/			X			X				X			
	5	125	5	2	6	8			X	2	5	2	5	8	1	G	G R Q U	★		1	2				30	X		1	X		X		/			X		X					X			
	6	165	SONDAGE																		X					3	X		20		X	X	X	X	/											
17	0																																															
	1	20	5	2	4	4									15	B P C G	G R Q U																															
	2	40	5	2	3	4									10	C P G	G R Q U				1	2			2	X																X					
	3	65	5	2	3	6			X	2	5	2	4	8	3	G C P	G R Q U		X									1	X		X		/			/					X				
	4	85	2	5	2	4			X		5	2	3	6	1	G	G R Q U			X					80	X		2	X		X		/			X					X				
	5	110	5	2	5	8									1	G	G R Q U	★		1	2				40	X		5	X		X		X			/					X				
	6	LIT DE PIERRES ET CAILLOUX ENCROUTES																			X					3	X		20		X	★		X											
16	0																																															
	1	30	5	2	3	4									30	P B C G	G R Q U											1					X														
	2	50	5	2	3	3									20	C P G	G R Q U				1	2			2	X																		X				
	3	70	5	2	3	4	X			5	2	5	8		5	G C	G R Q U			1	2				70	X								/			X				X					
	4	110	5	2	4	6	X		7	5	2	3	4		1	G	G R Q U	X		1	2				40		X	3	X		X		X			X				X					
	5	130	7	5	2	6	8	X			5	2	5	8	1	G	G R Q U	★		1	2				40		X	15		X	★		X			/					X				
																		★			X				3		X	20		X	★		X			/									
15	0																																															
	1	15	7	5	2	4	4								10	G C P B	G R Q U	X																														
	2	40	7	5	2	4	4								5	G C	G R Q U	X			1	2			2	X		1	X		X		X								X					
	3	65	7	5	2	4	3								5	G C P	G R Q U	★		X					50	X		1	X		X		X								X					
	4	105	7	5	2	4	3								5	G C	G R Q U	★		X					50		X														X					
															7	G P C	G R Q U	★		X					50		X	10	X		/	X								X					
14	0																																															
	1	15	5	2	4	4									10	P C B G	G R Q U											1					X														
	2	35	7	5	2	3	4								5	C P G	G R Q U					X			1	X		1	X		X		X								X					
	3	65	5	2	3	3									10	C P G	G R Q U			X					50	X															X					
	4	80	LIT D'ELEMENTS GROSSIERS												30	C P G	G R Q U			X					50		X														X					
	5	105	5	2	5	8									15	C P G	G R Q U			X					50	X		1	X		X		X	1	★	/					X					
13	0																																															
	1	15	7	5	2	4	4								1	G	G R Q U																															
	2	30	7	5	2	4	4								1	G	G R Q U																															
	3	50	7	5	2	3	3	X		7	5	2	4	4	1	G	G R Q U	/			1	2			3	X																X					
	4	80	7	5	2	3	2	X		7	5	2	4	4	1	G	G R Q U	X		X	1	2			3	X																X					
	5	120	7	5	2	3	4	X		7	5	2	4	4	1	G	G R Q U	★		X					50	X								/			/					X					
															1	G	G R Q U	★		X					50		X														X					
12	0																																															
	1	20	1	0	2	3	3								2	G C	C R C A	★																														
	2	40	1	0	2	3	2				7	5	2	3	2	1	G R C A	★			1	2			3	X		3	X		X		X								X					
	3	110	1	0	2	3	1				7	5	2	3	2	1	G	★	X									3	X		X		X								X					
	4	120	1	0	2	3	2				7	5	2	3	2	1	G	★		X					50	X		3	X		X		X								X					
															1	G	C A	★	X									3	X		X		X								X					
11	0																																															
	1	30	1	0	2	3	3								3	G P C	G R Q U	★										1																				
	2	45	1	0	2	3	3								1	G	G R Q U	★			1	2			20	X		1		X	X		X								X					
	3	60	2	5	3	3	1											★		X					10	X		5	X		★	X	X								X				
	4	75	2	5	3	5	1	X			1	0	2	5	6			★		X					15		X	13		X	★	X	X								X				
	5	90	2	5	3	7	2	X			1	0	2	6	6	1	G	★		X					20	X		3	X		★	X	X								X				
	6	120	2	5	3	7	3		X		1	0	2	6	6	5	G	G R Q U	★		X					15	X		2	X		★	X	X								X				
																					X					10	X																			

TABLEAU 7 : Présentation synthétique des profils de la séquence n° 3

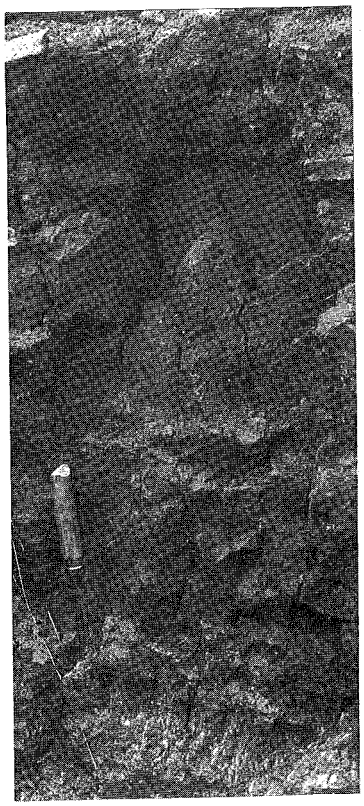


PHOTO 20 : Profil 17 de glacis de pente : structures massive et prismatique.

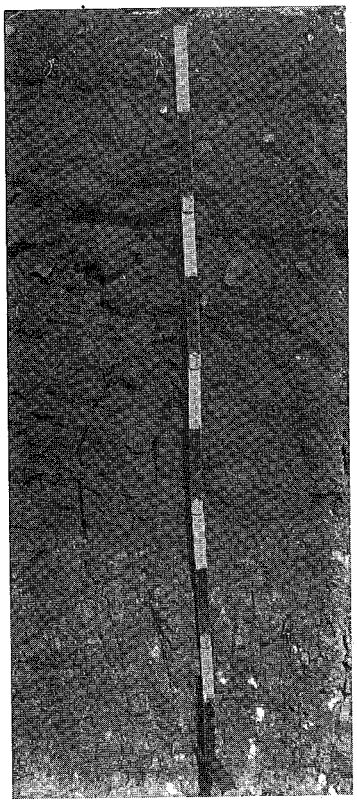


PHOTO 21 : Profil 16 de glacis de pente : limite graduelle avec l'accumulation calcaire discontinue.

bruns, calcaires et à structure polyédrique, apparaissent identiques bien que le premier soit en position de talus entre deux chenaux alors que le second se situe en tête de la longue étendue plane de la cuvette ; dès lors, les seules différences perceptibles sont :

. l'assombrissement en profondeur du profil 13,

. l'atténuation de la charge grossière avec la pente,

. un très beau pseudomycélium calcaire à la base du profil 15,

- le profil 14 de chenal est à rapprocher du profil 21 quoi qu'il soit nettement plus interstratifié avec des couches de comblement empruntées tantôt aux glacis de pente, tantôt aux glacis-cônes,

- les profils 12 et 11 (photo 23) de cuvette contrastent avec tout ce qui a été décrit précédemment sans qu'il y ait de réelle rupture avec les glacis-cônes ou les chenaux anastomosés :

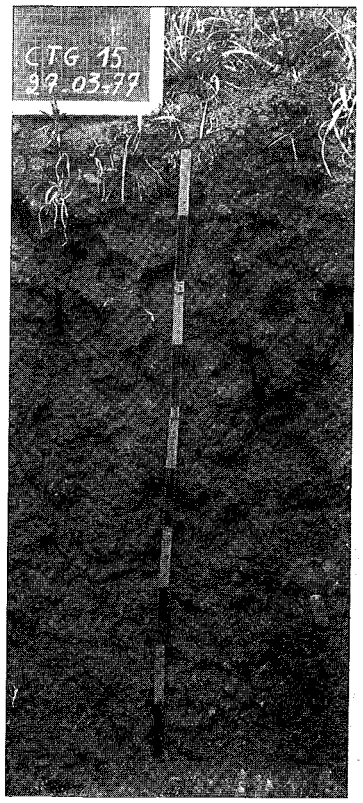


PHOTO 22 : Profil 15 peu chargé de glacis-cône avec pseudo-mycélium calcaire à la base.

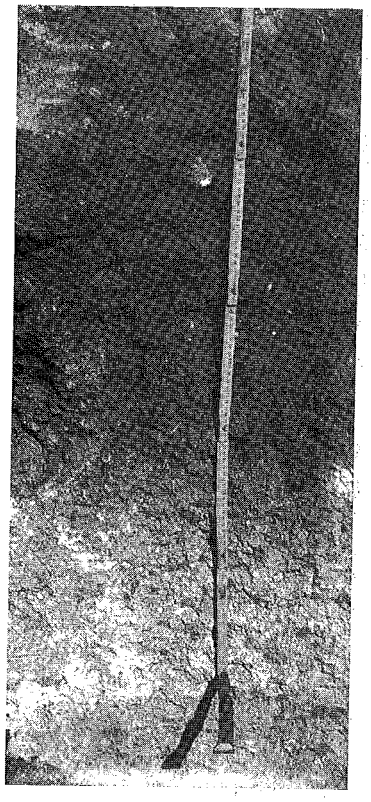


PHOTO 23 : Profil 11 de terre noire sur/à accumulation calcaire friable et argile calcaire du Continental

. les couleurs sont brun foncé à noir brun mais en profondeur, le profil 11 passe progressivement, avec des couleurs gris jaune à jaune clair, à une accumulation calcaire friable puis à l'argile calcaire du Continental supérieur et le profil 12 (polychrome) présente une intensification du caractère vertique,

. la charge grossière est quasi nulle

. la réaction à l'acide chlorhydrique est vive sur toute l'épaisseur des profils mais les éléments secondarisés sont peu nombreux, à l'exception de débris coquilliers (cf. annexe),

. les caractères vertiques sont soulignés dès la surface par des fentes (Photo 24), mais les structures y sont grumeleuses à polyédriques,

3° DISCUSSION

Cette troisième séquence est nettement plus contrastée que la précédente puisqu'elle permet de recouper cinq unités morphopédologiques



PHOTO 24 : Fentes de retrait de 2 cm en surface du profil 12 au mois de mars (!)

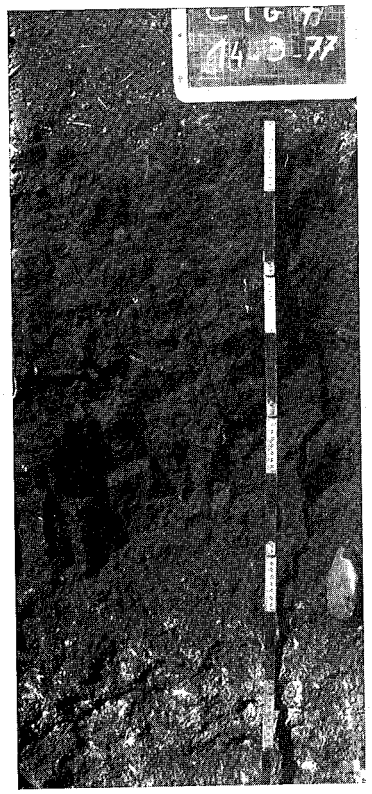


PHOTO 25 : Profil 7 de glacis de plateau montrant la même succession de matériaux que le profil 23 mais avec un manteau colluvial très atténué, voire inexistant

différentes et de constater que :

- le profil de piedmont accuse la solifluxion et développe de la base à la surface, la chromatographie intéressante du brun rouge brillant au brun en passant par le brun noir qui caractérise autant de couches et semble confirmer la tendance évolutive,

- les profils de piedmont, de glacis-cônes et de cuvette présentent un certain continuum calcaire peu chargé où la couleur constitue la différence la plus nette,

- les profils de glacis de pente sont assez semblables bien que :
  . la forme soit moins longue,
  . le matériau rubéfié à belle structure prismatique soit moins épais,
  . la limite ou le contact avec les accumulations calcaires discontinues soit à la fois plus graduel et plus contrasté en couleurs.

Dans ce contexte, il est assez difficile d'apprécier si l'évolution pédogénétique ancienne des glacis de pente a jamais été aussi poussée, dans ce secteur, que davantage rajeunie et si le bilan de la cuvette est exclusivement à la morphogenèse, c'est-à-dire à l'ensevelissement d'amont par les glacis-cônes et à l'érosion d'aval par l'oued Rmaïd ou s'il y a un quelconque processus de maturation actuelle des formations les plus noires.

7.3.4. SEQUENCE N° 4

1° LES OBSERVATIONS

Figures 37, 38 et 39, Tableau 8

2° LES FAITS ESSENTIELS

- Les profils 5, 6 et 7 sur glacis de plateau, proposent un faciès indiscutablement comparable à celui des glacis de pente étudiés, mais il faut cependant noter que :
  . le profil 5 qui est actuellement le plus élevé de la forme est caractérisé par le manteau colluvial le plus épais à l'inverse du profil 7 (Photo 25) qui est plus rouge et moins chargé dès la surface,
  . le même profil 5 montre un net assombrissement du troisième horizon qui concorde avec une diminution importante du squelette,
  . la charge grossière de ce glacis à contre-pente éloigné du massif est effectivement plus faible en dimension,

- les profil 8 et 9 de chenaux et de talus rappellent aussi des observations déjà faites et sont :

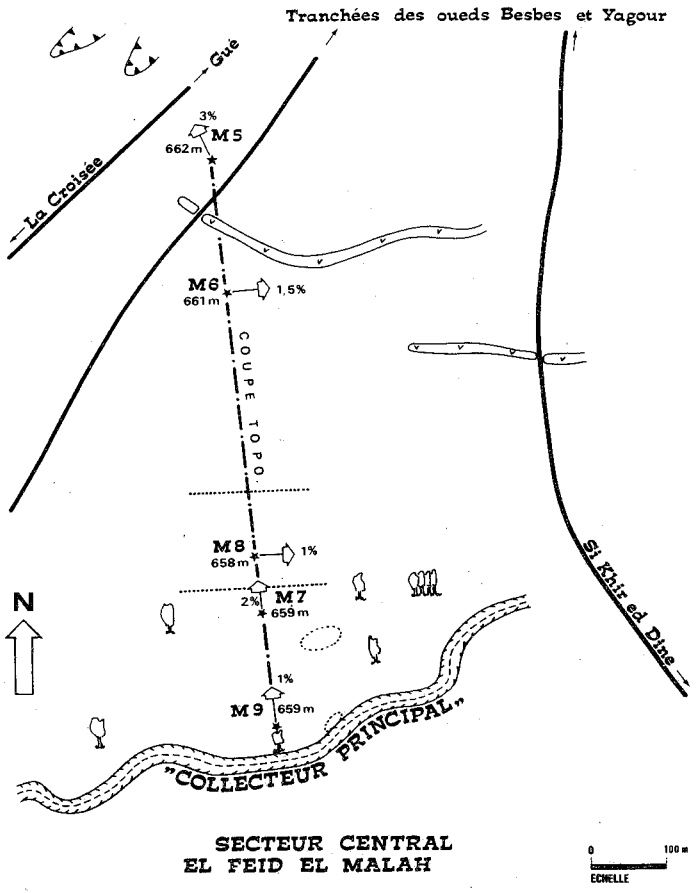
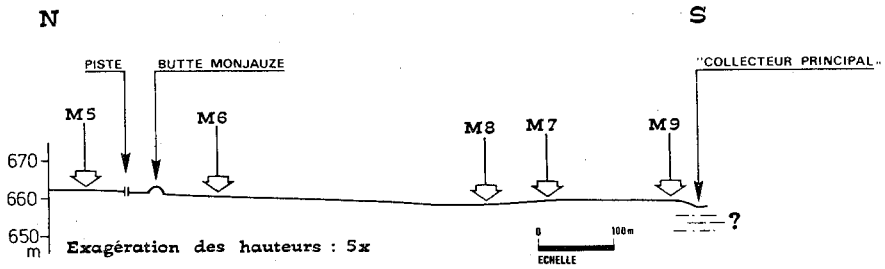
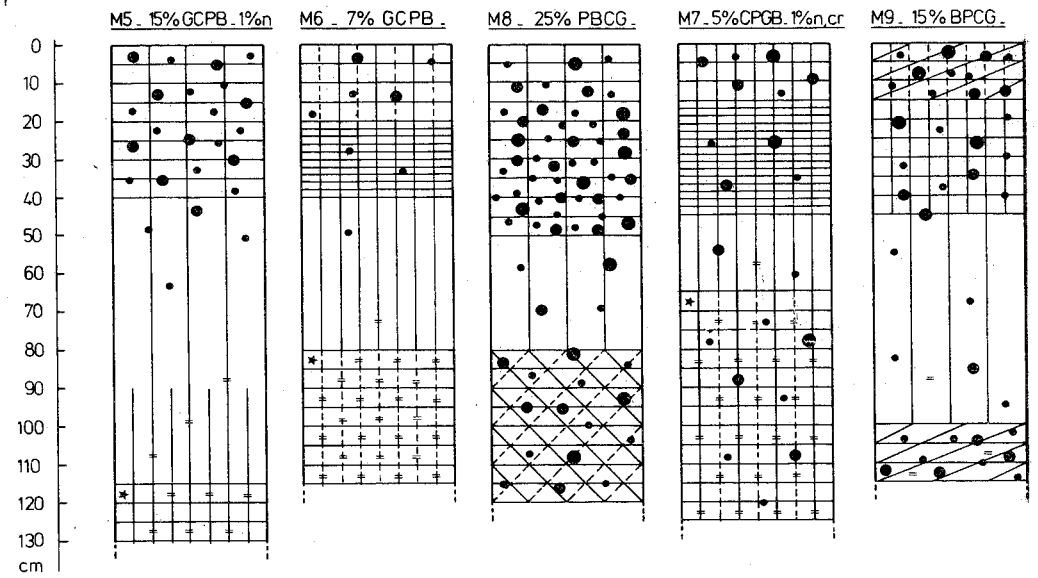


Schéma topographique de la séquence n°4



Coupe topographique de la séquence n°4



SEQUENCE 4 .

FIG. 37, 38 et 39 : Schéma topographique, coupe topographique et présentation des principales caractéristiques macromorphologiques des profils de la séquence n° 4

Profil n°	Horizon n°	PROF. cm	COULEUR MUNSELL HUE	☆	Value	Chroma	TACHES ABOND. < 2 %	2-20 %	20-50 %	COULEUR HUE	☆	Value	Chroma	ELEMENTS GROSSIERS % Abond.	CLASSES DE DIMENSIONS	NATURE(S) 1	2	☆ Effervescence HCl	STRUCTURE TYPES Massive	Prismatique	Poly. ang.	Poly. sub.	Grumeleuse	Feuilletée	mm	NET. Peu nette	Nette	Très nette	ELEMENTS SEC. Ca % Abond.	DIMENS. < 5 mm	5-15 mm	> 15 mm	☆ Dureté	FORME Pseudomyc.	Amas	Nodules	Encr. cr.	Fe Mn % Abond.	☆ Forme	☆ Revêtements	LIMITE INF. REGU. Régulière	Ondulée	Irrégulière	Interrompue	NET. Très nette	Nette	Distincte	Graduelle
5	0																																															
	1	20	5	2	4	6								15	G C P B	Q U G R												1																			
	2	40	5	2	3	6								20	G C	Q U G R					1	2		2	X																					
	3	55	5	2	3	4								20	G C	Q U G R			X					2	X																			X	
	4	70	5	2	3	6								5	G C	Q U G R			1	2				2	X																			X	
	5	90	5	2	3	6	X							1	G	Q U G R			1	2				50	X																			X	
	6	115	2 5	2	4	6	X			5	2	4	4	1	G	Q U G R			1	2				50	X																			X	
	7	120	2 5	2	4	8				5	2	4	4	1	G	Q U G R			1	2				25		X		2	X		X			X		1	X	X	X				X	
														1	G	Q U		★		X				3		X		3	X		X			X		1	X	X				X		
6	0																																													
	1	20	5	2	5	6		X		2	5	2	4	6	7	G C P B	Q U G R											25		★	X	X													
	2	40	2 5	3	4	6								10	G C	Q U G R					X			2	X																				
	3	60	2 5	2	4	6	X							3	G	Q U G R		X										1	X		X		/		1	X	/	X				X	
	4	80	2 5	2	4	6	X			5	2	4	6	1	G	Q U G R			1	2				50	X			1	X		X		/				X	X				X	
	5	115	2 5	2	5	8		X		2	5	2	4	6	1	G	Q U G R			1	2				30	X			1	X		X		X		1	X	X	X				X	
															1	G	Q U G R	★		X					2	X			40		X	X		X				/					X	
8	0																																													
	1	20	5	2	4	4		X		7	5	2	5	6	25	P B C G	Q U G R																												
	2	50	5	2	4	4									20	C G P	Q U G R						X		1	X																			
	3	80	5	2	4	4		X		7	5	2	5	6	70	G C P	Q U G R			X					5	X												1	X		X			X	
	4	120	1 0	2	5	8		X		7	5	2	5	8	7	G C P	Q U G R			1	2				30	X												1	X	/		X		X	
															30	G C P	Q U G R			X					2		X											1	X	X	X			X	
7	0																																					2	X	X					
	1	15	2 5	2	4	6									5	C P G B	Q U G R											1						X	X									
	2	45	2 5	2	4	8	X			5	2	4	6		10	C G P	Q U G R						X		1	X																		
	3	65	2 5	2	4	8									5	G C P	Q U G R	X																					X				X	
	4	125	2 5	2	5	8		X		5	2	6	8		2	G C	Q U G R			1	2				30	X			1	X		X			X			X	X				X	
															15	G C P	Q U G R			X					3	X			25		X	★	3	2	1			X	X					X
9	0																																													
	1	15	7 5	2	5	6		X		2	5	2	4	4	15	B P C G	Q U G R																												
	2	45	2 5	2	4	6									20	G C P	Q U G R						X		1	X																		
	3	75	5	2	5	6									20	G C P	Q U G R			X					2	X																		X	
	4	100	5	2	4	8	X			2	5	2	4	6	2	G	Q U G R			1	2				30	X												1	X	/		X		X	
	5	115	7 5	2	5	6		X			5	2	3	4	5	G C	Q U G R			1	2				30	X			1	X		X			X		1	X	X	X				X	
															20	G C	Q U G R			X					2	X			3		X	X		X			1	X	/					X	

TABLEAU 8 : Présentation synthétique des profils de la séquence n° 4

. tantôt plus homogènes par la couleur de la terre fine que par le squelette, tantôt l'inverse,
. non calcaires,
. à belle structure prismatique dès que la charge en éléments grossiers diminue;

répétitions auxquelles il faut ajouter que la base du profil 8 est caractérisée par une argile lourde (anticipation) brun jaune non calcaire reconnue pour la première fois.

3° DISCUSSION

Que ce soit : les débris de croûtes calcaires qui jonchent la surface en de nombreux endroits, les modestes inversions de relief réalisées à partir de pièges à sédiments, les accumulations calcaires discontinues de profondeur ou l'absence de calcaire dans les points bas relatifs ; tout dans cette quatrième séquence pratiquement plane confirme le très net démantèlement de ce qui est antérieur aux épandages grossiers.

7.4. RÉSUMÉ

La description de profils à l'aide d'un cannevas et d'un vocabulaire rigoureux au sein de toposéquences choisies pour caractériser les formes et les différences entre formes a permis de saisir les caractéristiques macromorphologiques essentielles des unités morphopédologiques précédemment retenues, à savoir :

- dans le massif : rubéfaction parfois très prononcée d'une terre fine non calcaire,

- sur le piedmont : caractère lithomorphique de certains profils par rapport à d'autres rubéfiés sur de hauts niveaux d'accumulations calcaires,

- sur les glacis de pente et de plateau : superposition d'un manteau colluvial d'épaisseur et de charge (quantité et dimension) variables à un matériau fin, rubéfié, non calcaire et à belle structure prismatique que souligne, à la base, une accumulation calcaire le plus souvent discontinue,

- dans les chenaux : interstratification de couches diversément colorées et chargées qui témoignent de périodes d'accalmie et de décharges brutales,

- sur les glacis-cônes et dans la cuvette : profils d'aspect homogène, bruns à noirs, variablement calcaires, peu chargés passant de l'un à l'autre par superposition ou par évolution topomorphique lente (?).

Observations qui, dans l'ensemble, confirment de façon irréfutable l'importance de la morphogenèse qui s'est manifestée ou qui se manifeste encore sous différentes formes d'ennoyage, de ravinement et de ruissellement pour ne laisser qu'une place discrète à l'évolution d'un grand processus pédologique, sauf peut-être dans la cuvette.

Dès lors, et d'un point de vue pratique, le lecteur conviendra avec nous que contrairement :

- aux études existantes, il faut plus d'un profil pour caractériser convenablement le domaine étudié et ce même, en appliquant la méthode morphopédologique semi-détaillée,

- aux schémas théoriques, il est particulièrement expressif de figurer les composantes principales des profils, notamment les éléments grossiers,

- aux habitudes, il est prématuré, au niveau du terrain, d'user de symboles, nomenclatures et classifications à caractère pédogénétique.

En conséquence, les inconnues, qui susbsitent non seulement au niveau des tendances évolutives de la terre fine mais également dans les relations entre les formations meubles colorées et les accumulations calcaires,

incitent à poursuivre le travail par la recherche d'arguments de laboratoire tels que ceux suggérés par les auteurs (pétrographie, minéralogie, chimie) et justifient, de ce fait, la troisième partie.

Mais étant donné que :

- la croûte zonaire apparaît le plus souvent en surface,

- la nette transition de charge entre les glacis de pente et la cuvette ne peut s'expliquer uniquement par la seule chute de compétence dans les apports de versants qui se sont parfois manifestés beaucoup plus loin sur des pentes aussi faibles,

nous pensons que ce travail de terrain permet de poser les trois hypothèses suivantes :

- la description occasionnelle de la croûte zonaire dans un profil, pour le reste comparable aux autres, souligne une discontinuité transposable,

- les principales caractéristiques (texture, isohumisme, ...) des formations meubles sont d'origine colluviale,

- la cuvette a dû fonctionner en milieu fermé, humide voire palustre (confinement calcaire, débris coquilliers).

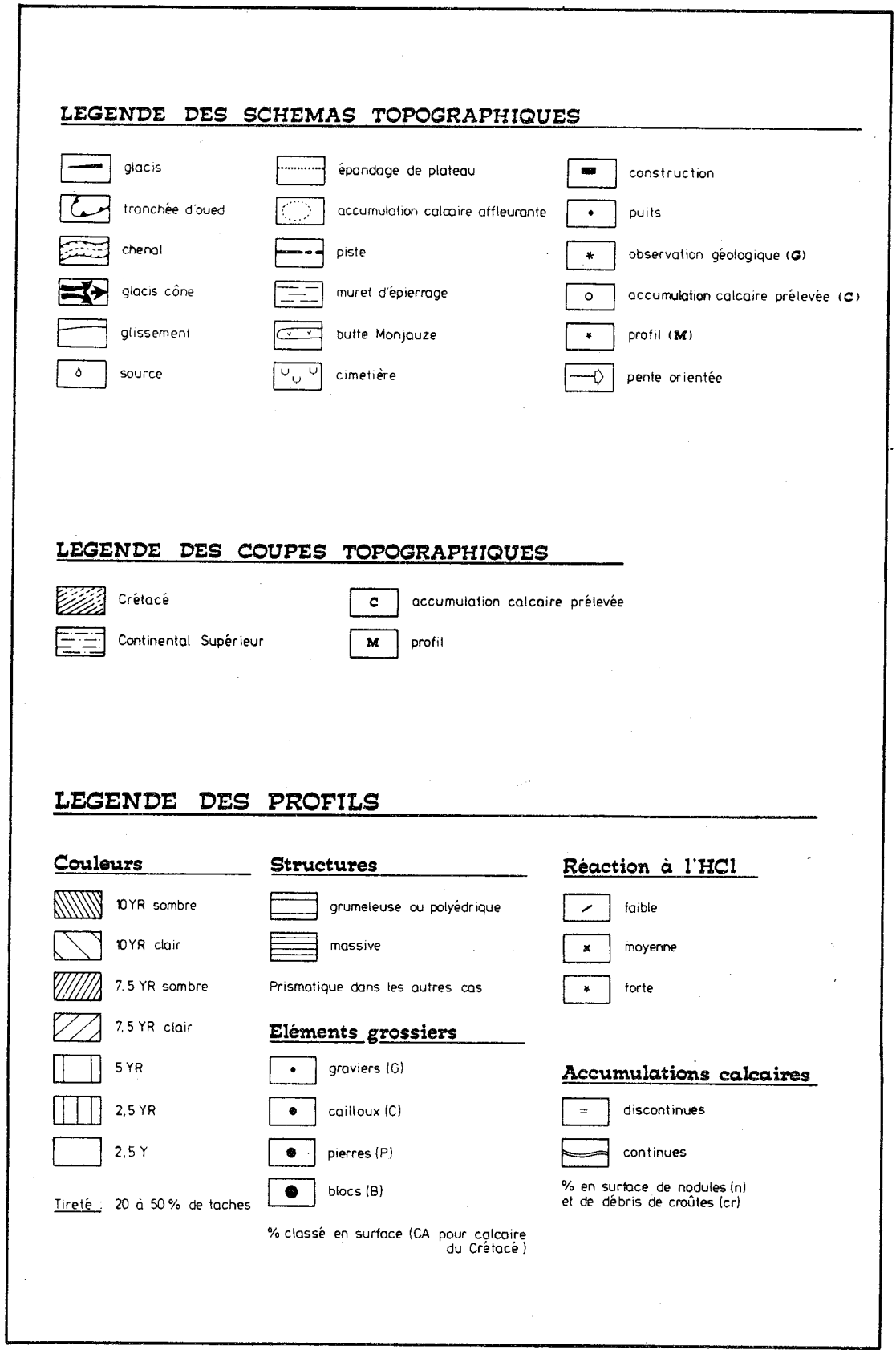


FIG. 40 : Légendes des schémas, coupes topographiques et profils.

TROISIÈME PARTIE

Travail de laboratoire

REMARQUES PRELIMINAIRES

Conformément à la méthodologie adoptée et au résumé précédent, notre volonté fut d'inscrire le travail de laboratoire dans la juste prolongation du terrain, c'est-à-dire de poursuivre la hiérarchisation des arguments et d'opérer le plus logiquement possible les changements d'échelle de perception, en ne perdant jamais de vue ce qui a été acquis au(x) niveau(x) d'investigation (macro)morphologique. Dans ce contexte où l'analyse est conçue comme le moyen de rechercher les arguments de la dialectique et non comme le but de questions particulières, il nous a donc semblé opportun de :

- prélever des échantillons qui permettent non seulement d'apprécier la variabilité entre et au sein des différentes unités reconnues (sélection de profils contrastés et de profils fort semblables) mais aussi de comparer et d'estimer le degré d'altération des matériaux à partir d'indices (prélèvements des roches en présence),

- respecter la spécificité des techniques en tenant compte de leurs exigences et conditionnements propres,

- rester critique à l'égard des manipulations, des réactifs et de leurs adaptations dans la comparaison de milieux différents,

- dégrossir le plus rapidement possible le nombre d'échantillons (surtout quand on est l'artisan de ses propres analyses) pour avoir le temps de multiplier les recoupements horizontaux (pour un même échantillon) par différentes méthodes,

- préférer l'exploitation verticale (entre les échantillons) d'ordres de grandeur, de rapports et de tendances graphiques à celle de valeurs absolues quand le calcaire ou toute autre interférence est prévisible,

- répéter les analyses d'un certain nombre d'échantillons dans et entre les différentes séries à défaut de pouvoir s'offrir le luxe de les dédoubler, tous,

- tempérer toute impression quantitative par l'aspect qualitatif et réciproquement,

- enfin, éviter de sacrifier la réalité de terrain à celle d'un échantillon de terre fine en boîte du fait même de sa définition.

C'est pourquoi, cette troisième partie comporte trois chapitres qui doivent permettre de marquer la différence entre les techniques utilisées (types de matériaux , vocabulaires), à savoir :

- chapitre 8 : les techniques de la pédologie (formations meubles colorées principalement, terre fine) qui sont présentées en suivant le schéma didactique de leur succession presqu'obligée, mais dont les résultats sont commentés en précisant leur intérêt conceptuel, c'est-à-dire : géopédologique (lié à la roche-mère et modifié à des degrés variables par l'histoire morphogénétique et pédogénétique), écopédologique (lié au fonctionnement de l'écosystème et à l'influence de la végétation sur le profil ou réciproquement), ou synthétique ... au sens des paramètres définis par MATHIEU (1977 a) sur une suggestion de MANIL,

- chapitre 9 : les techniques de la minéralogie (minéraux lourds, argiles) et de la pétrographie (échantillons cohérents) qui sont présentés avec force détails pour la fraction argileuse (RX, M.E.T., A.T.D.), mais dont les résultats sont commentés en précisant le type de prélèvement (roche-mère, accumulation calcaire, formation meuble colorée),

- chapitre 10 : les techniques spécialisées de la paléoécologie (essais exploratoires de palynologie et de datation au ^{14}C) qui sont présentées par une recherche sévère de leur valeur d'interprétation, mais dont les résultats permettent néanmoins de confirmer les données paléogéographiques recueillies par les autres voies et de poser quelques jalons relatifs assez précis.

Pour réaliser ce programme, chaque chapitre est, à son tour, subdivisé en trois paragraphes intitulés dans cet ordre répété :

- le choix des analyses et des méthodes : ce qui, dans le cas précis du chapitre 8, est dicté tantôt par l'acception internationale, tantôt par le désir d'assurer la comparaison avec des références régionales existantes et s'appuie, quand les modes opératoires ne sont pas précisés, sur le manuel de laboratoire de HANOTIAUX et MARLIER-GEETS (1975) en application aux services de la Science du Sol de la Faculté,

- le dépouillement des données : rubrique pour laquelle, les tableaux numériques sont constitués de façon à rappeler une vue d'ensemble des positions morphopédologiques respectives :
  . classement des unités d'après leur éloignement du massif conformément à la coupe schématique d'interprétation du plateau de la Taourga (cf. 6.4., Fig. 29) et à la présentation synoptique des échantillons (Tableau 9),
  . trait continu séparant les séquences,
  . symbole qui rappelle sinon la nature exacte de l'échantillon du moins son principal intérêt : avec G pour les relevés géologiques dont principalement les roches-mères, C pour les accumulations calcaires continues et un numéro composé pour les subdivisions de profils ; de plus, l'expression des données pédologiques (formes, unités, nombre de décimales) respecte les directives du RIEDS ;

ou comment, par de nombreuses représentations graphiques, éviter les descriptions complètes et fastidieuses pour ne dégager que des critères de regroupement ou de différenciation des échantillons en maintenant le fil conducteur le plus direct des causes à effets,

- les faits essentiels et leur interprétation, en faisant remarquer que la publication de nombreux indices, pourtant calculés, n'a pas été jugée utile.

Pour être complet, il reste à préciser que les échantillons destinés aux analyses chimiques et minéralogiques ont été prétraités de la façon suivante :

- séchage à l'air et stabilisation dans une étuve à 50° C pour standardiser le travail tout en évitant qu'une élévation trop rapide ou trop forte de

	MASSIF	GLACIS (PIEDMONT, PENTE, PLATEAU, BORDURE)	Gl.-C. CH. CUVETTE
F.M.C.	30.1 29.1 2 2 3 3 4	26.1 24.1 19.3 18.1 5.1 G7.1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 5 6 7	15.1 8.1 12.1 2 2 2 3 3 3 4 4 4
A.C.C.		26.4f 24.8f C4d (C2) G7.3d f f (C27, C20, C18, C9)	C13d, C15 fa fb
A.C.D.		G14..18.5 G7.5	11.5
R.M.-M.A.	G3.3 CA G3.2 GR.QU G3.1 AI 29.4 (éléments grossiers)	G1 MA G12 G7.7 AG. G13 G2 MA CRETACE ⟷ CONTINENTAL SUPERIEUR	

R.M.-M.A. : roches-mères et milieux d'accueil avec MA pour marne, AI pour argilite, GR.QU pour grès quartzitique, CA pour calcaire et AG. pour argile calcaire.

A.C.D. : accumulations calcaires discontinues.

A.C.C. : accumulations calcaires continues avec f pour friable et d pour dalles.

F.M.C. : formations meubles colorées.

Gl.-C. : glacis-cône

·····→ : faciès de transition (?).

CH. : chenal

TABLEAU 9 : Relevé synoptique des principaux échantillons sélectionnés pour le laboratoire

la température ne provoque de quelconque transformation physique, minéralogique ou organique,

- broyage manuel à 2 et 0,5 mm (dimensions précisées pour chaque analyse) dans un mortier pour limiter l'écrasement des éléments grossiers ; du fait même de leur poids, ces derniers n'ont malheureusement pas été collectés dans leur ensemble,

- stockage dans des boîtes en plastique hermétiques.

CHAPITRE 8

Les techniques de la pédologie

CHAPITRE 8 :

LES TECHNIQUES DE LA PEDOLOGIE

8.1. LE CHOIX DES ANALYSES ET DES MÉTHODES

8.1.1. LES ANALYSES DE BASE (Tableau 11, Fig. 44 à 50)

1° LE RAPPEL DU POURCENTAGE DES ELEMENTS GROSSIERS (E.G.)

Conformément aux remarques préliminaires, ce rappel a pour but d'éviter une focalisation abusive sur les résultats obtenus pour un échantillon sorti de son contexte et par là, de ne plus raisonner qu'en termes de terre fine ; l'expression de la texture étant généralement qualifiée de squelettique à partir de 35 % d'éléments grossiers (USDA, 1975).

2° LA DETERMINATION DE L'HUMIDITE RESIDUELLE (Hr)

Cette détermination a été réalisée, et contrôlée dans le temps, par perte de poids à la température de 105 ° C sur les deux dimensions de broyage, de sorte que tous les résultats obtenus au cours des analyses ont été corrigés en tenant compte de cette humidité : température de séchage conventionnelle qui répond à la nécessité d'éliminer l'eau "libre" à une température légèrement supérieure à celle de l'ébullition tout en évitant, entr'autre, l'oxydation de certains composés de la matière organique qui s'amorce déjà à cette valeur (HENIN, 1977).

3° LES MESURES DE pH

La mesure du pH H_2O par la mise en suspension (rapport 2/5) de l'échantillon (2 mm) dans l'eau distillée (acidité actuelle) permet de recueillir rapidement une première impression sur le fonctionnement physico-chimique du milieu, de soupçonner les principales questions ou problèmes qui en découlent et de ce fait, d'organiser judicieusement le travail de laboratoire en sélectionnant les analyses appropriées ou les méthodes les plus adaptées.

La mesure du pH KCl.N (acidité d'échange), effectuée dans le même rapport, constitue un paramètre plus stable et procure généralement une valeur inférieure à celle du pH H_2O, bien qu'il existe des exceptions comme celle des allophanes. Aussi, la différence des valeurs obtenues (ΔpH = pH KCl - pH H_2O) permet-elle d'indiquer le signe et l'importance de la charge de surface (UEHARA et GILLMAN, 1981) ; c'est-à-dire, dans un contexte donné, d'avoir une idée sommaire sur l'état du complexe de sorption (HANOTIAUX, com. or.).

D'emblée, on constate que :

- tous les pH H_2O, en étant compris entre 7,3 et 8,8, caractérisent une même ambiance basique et sont donc principalement réglés par le système CO_2 - H_2O voire $CaCO_3$ - CO_2 - H_2O (BRUCKERT et ROUILLER, 1979),

- ΔpH est toujours négatif et varie de 0,3 à 1,7 unité.

4° LE TEST DE LA CONDUCTIVITE DE L'EXTRAIT AU 1/5, LES ELEMENTS EN SUSPENSION ET LE TEST DU GYPSE A L'ACETONE (p.m.)

Certains échantillons, en présentant un trouble dans l'eau après centrifugation de la mesure précédente, nous ont incité à vérifier rapidement si une quelconque teneur en sels solubles était à craindre pour effectuer par après, si besoin en est, l'extraction à la pâte saturée sur un nombre plus restreint d'échantillons. Le test peut être considéré comme négatif puisque la plupart des conductivités sont inférieures à 0,15 millimhos/cm avec un maximum

de 0,22 pour les formations meubles colorées, de 0,29 pour les accumulations calcaires et de 0,69 pour la marne G1 ; valeurs qui correspondent respectivement à 0,7 - 0,7 à 2 et 2 à 4 méq/100 g de sels totaux d'après le tableau des relations approximatives entre la conductivité et le degré de salinité pour des extraits au 1/5 (HANOTIAUX, s.d.).

De même, le test du gypse a l'acétone, réalisé sur les échantillons qui ont fourni les mesures de conductivité les plus fortes, s'est révélé négatif.

La couleur rouge du trouble nous a aussi incité à tenter un test qui est présenté à la rubrique du fer.

5° LES DOSAGES CALCAIRES[1]

a) Le calcaire total (Ca CO_3t - Tableau 10 également)

Doser le calcaire total, c'est non seulement quantifier le constituant dominant d'une ambiance précise mais aussi essayer de prévoir et pourvoir à ses nombreuses interférences de type pondéral, physico-chimique (floculation) ou chimique (solubilisation, neutralisation de réactifs) qui perturbent la plupart des analyses.

Aussi procède-t-on souvent à des adaptations de méthodes par prétraitement à l'HCl, modification d'extractif, choix de pH ou préconise-t-on encore comme GROSSMAN et MILLET (1961) la très longue préparation d'un échantillon dialysé en présence d'une solution de CH_3COONa (acétate de sodium) tamponnée à pH 5 ; prétraitements et traitements qui nécessitent de garder une attitude particulièrement critique dans l'interprétation des résultats obtenus pour des échantillons calcaires et qui soulèvent le problème de la fiabilité de certaines analyses pédologiques dans ces milieux.

---

(1) bien que les chimistes utilisent fréquemment le terme "carbonate", nous resterons, conformément aux propositions de BOULAINE (cf. 4.3.2.3°, infra), fidèle à celui du "calcaire" afin qu'il n'y ait aucune ambiguité d'interprétation ; toutefois, pour ne pas devoir introduire le néologisme de la "décalcarisation", nous respecterons le principe même de la "décarbonatation" de laboratoire.

Pratiquement, le dosage du calcaire total ne se justifie pleinement que si la réaction à l'HCl s'est révélée positive sur le terrain ; ce qui correspond, dans cette étude, à des valeurs de pH H_2O comprises entre 8,0 et 8,5. Mais comme, d'après BUOL, HOLE et Mc CRACKEN (1980), il peut y avoir des traces de calcaire bien protégées dans les éléments structuraux pour des valeurs de pH égales à 6,5, tous les échantillons (0,5 mm) ont été analysés et la méthode internationale gazovolumétrique (t1) a été comparée à la méthode à l'H_2SO_4.0,5N (t2) dans laquelle les volumes d'acide apportés en excès ont été adaptés aux types d'échantillons.

D'emblée, on constate que la seconde méthode procure, le plus souvent, des résultats légèrement supérieurs à ceux de la première pour les faibles pourcentages et inversément, pour les forts pourcentages ; différences qui sont dues probablement aux caractéristiques morphologiques des échantillons en rapport avec la sensibilité des mesures ou la vivacité des réactions (concentration et temps de contact préconisés).

b) Le calcaire actif ($CaCO_3$ ac)

La méthode d'extraction du calcaire actif par $(NH_4)_2C_2O_4$. 0,2N (oxalate d'ammonium) a été mise au point par DROUINEAU pour doser le calcaire supposé suffisamment fin pour être soluble et physiologiquement actif ; méthode qui a été ensuite adaptée au cas des sols humifères (GEHU, FRANCK, cité par DUPUIS et DUPUIS, 1966) pour éviter que l'oxalate ne solubilise des composés organiques réducteurs et consommateurs de permanganate.

Cette notion est fort utilisée, dans les régions méditerranéennes, pour apprécier le pouvoir chlorosant des sols calcaires et choisir en conséquence les porte-greffes ; JUSTE et POUGET (1980) l'ayant récemment rapportée à celle du fer extractible par le même réactif. Mais parallèlement, CALLOT et DUPUIS (1980) l'ont critiquée après avoir constaté, au microscope électronique à balayage, que l'oxalate limite la réaction d'extraction en provoquant l'agglomération en pelotes des particules inférieures à 20 microns. C'est donc plus la tradition dans les critères d'aptitude que la notion même du calcaire actif qui nous a incité à cette détermination (0,5 mm) d'intérêt, dès lors, purement monographique.

Toutefois, notons encore que MATHIEU (1977 a), dans une étude plus régionale, a proposé le calcul du rapport $CaCO_3$ ac/$CaCO_3$t comme indice d'altération des formations calcaires.

6° L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

La granulométrie, qui permet de définir la texture, de reconnaître un éventuel agent de transport et par là, de reconstituer en partie l'évolution sédimentopédologique de la matière minérale (2 mm), a été effectuée en recourant aux prétraitements classiques (H_2O_2 à 30 volumes - HCl. 0,2N - 1 ml HCl.4N par pourcent de $CaCO_3$ total - polyphosphate de sodium + Na_2CO_3), au fractionnement des sables (fractions supérieures à 50 microns) sur tamis et à la technique densimétrique de l'hydromètre à chaîne pour l'argile et le(s) limon(s). Cependant, ces prétraitements sont loin de faire l'unanimité puisque GUILLET et ROUILLER (1979) signalent que certains auteurs préconisent :

- l'utilisation de NaClO (hypochlorite de sodium) à la place de H_2O_2 dont le pouvoir oxydant peut diviser certains phyllosilicates,

- la décarbonatation progressive par HCl.N sous contrôle au pH mètre (pH supérieur à 3) ou par l'emploi d'un tampon acétique à la place de HCl.4N,

- la dissolution des ciments minéraux amorphes telle qu'elle sera envisagée à la rubrique du fer ;

propositions qui, tout en étant pertinentes, risquent de provoquer une diversification des méthodes dans un domaine où de nombreux résultats ont déjà été collectés en suivant le schéma plus ou moins international, auquel nous préférons nous tenir, et qui soulèvent le problème bibliographique des références incomplètes d'analyses, des comparaisons difficiles et de la standardisation des techniques les plus courantes.

Parallèlement, les échantillons calcaires ont subi un deuxième prétraitement sans décarbonatation en appliquant la méthode DEMOLON et

BASTISSE (H_2O_2.30 volumes - KCl.0,1N - $Na_3C_6H_5O_7$.N, citrate de sodium), qui a été comparée à d'autres en son temps par ROSEAU (1945) et semble toujours d'actualité, dans le but d'apprécier l'effet de ce constituant sur la répartition granulométrique et sur la sensation tactile tentée sur le terrain[1].

De plus, sept échantillons, choisis pour leurs résultats différents à la première méthode, ont été soumis, pour essai et grâce à l'amabilité de Madame MERCIER, chercheur au Centre de Recherche de l'Industrie Belge de la Céramique, à l'enregistrement automatique d'un sédigraphe à rayonnement X (Micromeritics Sedigraph) qui permet de balayer en une heure, par le jeu d'un déplacement de cellule, le domaine compris entre 100 et 0,1 microns pour autant que la concentration approximative soit suffisante dans le volume de plus ou moins 50 ml de suspension nécessaire. C'est précisément pour des raisons de concentration que ces échantillons n'ont pu être étudiés qu'entre 70 et 0,2 microns, car le maintien des prétraitements pose quelques problèmes d'adaptation dans les pesées et les volumes de liquide à utiliser que nous n'avons pas cherchés à résoudre ; dès lors, les résultats ne peuvent être exactement comparés à ceux obtenus avec l'hydromètre bien que les ordres de grandeur soient confirmés. Mais, leur enregistrement donne quelques indications intéressantes pour la fraction argileuse (cf. 9.1.2.4° e) dans la mesure où l'application de la loi de STOKES, sur laquelle repose encore cette technique, soit toujours valable dans ce domaine où les particules sont loin d'être sphériques.

Tous les résultats ont été calculés sur l'ordinateur du Service de Statistique, grâce à l'efficacité du Professeur DAGNELIE et de son personnel, d'après le programme de BARIDEAU (1972) et en tenant compte des facteurs de correction (humidité, matière organique et calcaire total s'il y a lieu) qui font que la composition granulométrique d'un échantillon ne peut être confondue avec la composition de la terre fine (Fig. 44). Toutefois, comme les résultats portant sur les échantillons non décarbonatés n'aboutissent qu'à une inversion entre les fractions 0-2 et 2-10 microns par cimentation de

(1) exemple de l'argile calcaire du Continental qui paraissait sableuse sur le terrain.

l'argile en pseudo-limon, nous ne présentons que ceux obtenus par décarbonatation qui ont une plus grande valeur d'interprétation génétique ; RUELLAN (1971 a), LAMOUROUX (1971 a) et BOTTNER (cf. 3.3.2.2°) ont pratiquement observé le même phénomène en élargissant la seconde fraction à 20 microns.

Enfin, trois modes d'expression ont été sélectionnés :

- les pourcentages obtenus pour chaque classe retenue,

- la courbe cumulative semi-logarithmique (Fig. 45, 46, 47) pour laquelle il est particulièrement intéressant de travailler sur papier calque afin de permettre les comparaisons par transparence et les superpositions complètes ou partielles par glissement,

- le regroupement de ces pourcentages dans les trois classes de base (argile, limon et sable) qui permettent de :
  . situer les échantillons dans le diagramme triangulaire FAO et de les visualiser globalement (Fig. 48),
  . exprimer la classe texturale de chaque échantillon,
  . calculer l'indice d'homogénéité (H) de HONNAY (1963) qui donne rapidement une idée de la répartition des échantillons avec H min = 0 pour ceux à répartition régulière donc les moins homogènes et H max = 2 (n - 1) = 4 (avec le nombre n de classes considérées, soit 3) pour ceux constitués d'une seule fraction ;

c'est-à-dire que nous n'avons pas retenu :

- la proposition de LAMOUROUX (1971 a) d'utiliser le gradient d'argile et le rapport limon/argile parce qu'ils nous semblent forcer l'interprétation monogénétique du profil sans permettre de saisir aussi bien les nuances que les moyens graphiques,

- notre première idée de calculer des indices sédimentologiques simples tels que ceux de taille moyenne de TRASK (Φ 50) et de triage de KRUMBEIN ($Qd\Phi = \frac{\Phi\ 75 - \Phi\ 25}{2}$) qui, d'après FOLK (1966), permettent d'exploiter davantage la courbe cumulative, parce que l'allure même des courbes avec

leur pourcentage élevé en argile (textures presqu'exclusivement argileuses à argileuses lourdes) ne s'y prête bien souvent pas.

7° LA MATIERE ORGANIQUE TOTALE

Le dosage du carbone organique total (0,5 mm) a été effectué par la méthode Springer-Klee modifiée, sans prétraitement particulier pour le calcaire, et celui de l'azote total (0,5 mm) par la méthode macro-Kjeldahl ; pour la première analyse, les résultats ont été obtenus par titrimétries colorimétriques et potentiographiques comparées avec évidemment une nette préférence pour la seconde technique.

Les teneurs en matière organique, dont le rôle physico-chimique n'est plus à souligner, ont été obtenues en multipliant les taux de carbone par deux, conformément à la proposition de DE LEENHEER, VAN HOVE et VAN RUYMBEKE (1957) qui a été confirmée par DELECOUR et EL ATTAR (1964) pour les horizons hémorganiques et minéraux.

Ces analyses trouvent logiquement leur place, ici, comme paramètre écopédologique de base puisque quantitativement, la teneur en matière organique intervient comme facteur de correction dans l'analyse granulométrique et qualitativement, le rapport C/N sert traditionnellement à exprimer la vitesse de minéralisation de cette même matière ; la distribution de ces valeurs ayant une grande importance en termes de variations stationnelles, de lessivage ou d'isohumisme.

D'emblée, on constate qu'en surface, les teneurs en carbone sont de l'ordre de un à deux pourcents avec des C/N avoisinant dix.

8° LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE (T) ET LA SOMME DES BASES ECHANGEABLES (S)

Le but de ces déterminations est évidemment de caractériser l'état du complexe colloïdal qui constitue le paramètre synthétique, par excellence, des analyses de base et d'apprécier traditionnellement la fertilité en

potassium[1]. Mais il est toujours délicat de choisir une méthode d'analyse qui convienne, à la fois, à la capacité d'échange cationique et aux bases échangeables pour une collection d'échantillons (2 mm) aux propriétés différentes, car ce choix porte sur la technique, le pH et la solution saline (cation et anion) d'extraction.

Devant cette difficulté, nombreux sont les auteurs qui séparent ces deux notions et/ou qui recourent à des comparaisons de méthodes ; pour notre part, nous avons choisi la seconde formule en commençant, tout naturellement, par la méthode internationale au CH_3COONH_4.N (acétate d'ammonium) à pH 7 (T1) qui est aussi bien recommandée pour la terre fine que pour la fraction argileuse (cf. 9.1.2.8°) en pratiquant de la sorte :

- saturation fractionnée (3 x 33 ml) par agitation et centrifugation sur 5 g de terre fine,

- dosage des bases échangeables par photométrie de flamme (Na et K) ou absorption atomique (Mg et Ca),

- lavages répétés à l'alcool dénaturé jusqu'à ce que le test au réactif de Nessler soit négatif,

- distillation par entraînement à la vapeur et titrage de l'ammonium comme pour le dosage de l'azote total.

Malheureusement, la solubilisation prévisible du calcaire interfère dans le dosage du calcium en provoquant la sursaturation ; de sorte qu'il serait apparemment séduisant d'apprécier la teneur en cet élément par différence, c'est-à-dire Ca calculé = T - ($Na^+ + K^+ + Mg^{++}$), si, hormis le fait que le calcaire peut être magnésien, l'affirmation d'un complexe de sorption toujours saturé en sol calcaire n'était fausse pour des pH H_2O inférieurs à 8,2 (DEMOLON cité par RUELLAN et DELETANG, 1967). De plus, la solution utilisée

(1) méthode que LOUE et QUEMENER (1980) critiquent cependant et cherchent à remplacer par l'utilisation du tetraphenylboron (NaTPB) ou par l'extraction biologique.

présente apparemment les inconvénients suivants :

- un comportement de l'ammonium identique à celui du potassium vis-à-vis de l'hydratation des argiles du type illites, smectites ou vermiculites et un effet solubilisateur de l'acétate d'ammonium sur une fraction non négligeable de certaines substances humiques (CHAUSSIDON, 1979),

- la rétention importante de l'ion acétate dans les sols riches en sesquioxydes de fer et en kaolinite qui empêche l'élimination correcte du sel en excès (PELLOUX, DABIN, FILLMANN et GOMEZ, 1971).

C'est pourquoi, pour pallier à ces inconvénients, nous avons appliqué, sur un nombre restreint d'échantillons, la méthode par percolation au $BaCl_2$ tamponné à pH 8,2 avec la triéthanolamine (T2) qui, d'application aux Services de la Science du Sol, offre théoriquement les avantages d'un pH moins agressif à l'égard du calcaire et d'une composition ionique sans contrainte pour le dosage des bases échangeables, tout en présentant l'inconvénient, dans ce cas, de recourir à l'acide chlorhydrique pour déplacer le baryum fixé. Obtenant, de la sorte, des capacités d'échange tantôt égales, tantôt différentes, inférieures comme supérieures à celles de la méthode précédente, tout en solubilisant moins de calcium par rapport aux teneurs presqu'inchangées des autres cations, nous avons encore, mais en vain, essayé d'approcher le bilan le plus juste possible en appliquant la méthode de HISSINCK (cité par PELLOUX, DABIN, FILLMANN et GOMEZ, 1971) qui repose sur le principe que les cations échangeables peuvent être obtenus par la différence d'une double percolation.

Nonobstant ces problèmes techniques incomplètement résolus, cette comparaison, quelque peu guidée par la tradition, nous a permis de constater que de façon générale :

- le calcaire n'est pas ou très peu magnésien,

- la somme des bases échangeables est dominée par le calcium et accessoirement par le magnésium,

- les échantillons répondent différemment aux réactifs en fonction, certes, du calcaire mais aussi, de leurs caractéristiques morphopédologiques propres et incitent au calcul du rapport $\frac{T1}{T2}$ qui, au détail près et en dehors de toute explication irréfutable, renforce les écarts et l'hypothèse intuitive de contrastes minéralogiques ; impression que résume, le mieux, un essai de corrélation graphique en deux figures (Fig. 49 et 50) (1).

Toutefois, par un discernement bibliographique actualisé, il nous semble que, parmi les différentes méthodes qui proposent le dosage fractionné du calcium (DESAUNETTES, 1955), le calcul de la balance ionique dans les extraits (PAPANICOLAOU, 1976, POLEMIO et RHOADES, 1977) ou encore le recours aux éléments marqués comme le ^{45}Ca (VAN BLADEL, FRANKART et GHEYI, 1975), la méthode au $NH_4Cl.N$ à pH 8,5 (employée par VERHEYE, DE CONINCK et CAMMAERTS, 1973) ou mieux encore la méthode de TUCKER utilisant le même réactif dans une solution alcoolisée à 60 % (citée par RUELLAN et DELETANG, 1967 et employée par RUELLAN, 1971 a) mérite d'être essayée, dans l'avenir et dans ce type d'environnement, pour son effet supposé d'hydrolyse limitée et son apparente facilité.

8.1.2. LES INDICES COMPLEMENTAIRES DE LA MATIERE MINERALE (Tableau 12, Fig. 41, 42, 51 à 53)

1° LES ELEMENTS TOTAUX

En conséquence immédiate des analyses de base (teneur en argile et C.E.C.) et par définition, ces éléments ont été obtenus après une

(1) signalons que GHEYI et HALITIM (1976) ont calculé, par le jeu de régressions simples et multiples, que chaque gramme de matière organique et d'argile dans le sol (sol moyen d'Algérie !) contribuent respectivement pour 1,26 et 0,33 méq. dans la capacité d'échange cationique de la terre fine et que, la teneur moyenne en argile étant de vingt fois supérieure à celle de la matière organique, cela revient à leur attribuer les parts respectives de 17 et 83 %.

attaque de la terre fine broyée à 0,5 mm ou à 0,1 mm (Si) soit par des acides forts agissant seuls à leur température d'ébullition (P par attaque avec $HClO_4$ - acide perchlorique) ou en mélange (Na, K, Mg, Ca, Mn, Fe et Al par attaque triacide - $HClO_4$ + HF + HCl), soit par fusion alcaline (Si) ; éléments qui sont ensuite dosés soit par photométrie de flamme (Na et K) ou absorption atomique (Mg, Ca, Mn, Fe et Al) soit par colorimétrie (P et Si).

D'emblée, on constate : de faibles teneurs en sodium, la traduction évidente du calcaire dans la réponse du calcium, un comportement du manganèse inverse de celui du fer, mais d'un tout autre ordre de grandeur (faible), une forte empreinte des sables sur une mise au programme peu justifiée de la silice.

De ce fait, les résultats recueillis ne peuvent compléter utilement ceux de la granulométrie que par le calcul de rapports judicieux qui, inspirés des indices de JENNY (cité par MANIL et HANOTIAUX, s.d.), viennent suggérer les tendances de l'altération chimique tout en limitant la variabilité induite dans les teneurs absolues par la présence éventuelle du calcaire.

Dans cette optique, et en tenant compte :

- des résultats déjà obtenus pour la capacité d'échange cationique (ordre de grandeur et rapport T1/T2),

- du tableau synthétique présenté par BONFILS (1967) sur la composition des argiles (illite : 6,0 à 7,5 % de K_2O et 0,1 à 0,7 % de Mg O - montmorillonite : 0,3 à 1,3 % de K_2O et 0,2 à 3,2 % de Mg O ; c'est-à-dire : illites 127 à 159 méq/100 g de K et 5 à 35 méq/100 g de Mg - montmorillonite 6 à 28 méq/100 g de K et 10 à 159 méq/100 g de Mg),

- de l'étude comparée sur les différentes formes du fer et de l'aluminium, proposée ci-après,

nous avons opté pour les rapports Mg/K et Al/Fe dans l'espoir, en anticipant quelque peu sur l'étude de la fraction argileuse, de vérifier s'il existe une convergence de critères pour distinguer géochimiquement, voire affiner, des cortèges minéralogiques du type illitique ou smectitique et déceler des degrés d'évolution différents au sein d'un même ensemble morphopédologique (Fig. 51).

2° LES DIFFERENTES FORMES DU FER ET DE L'ALUMINIUM

Mais s'il est vrai que les rapports d'éléments totaux permettent d'apprécier l'état général du complexe d'altération, les recherches ont aussi souvent montré que la forme d'un élément peut avoir autant d'importance que sa teneur absolue. Dans ce sens et pour la gamme de pH mesurés, il est bien connu que, malgré une certaine analogie de comportement géochimique, le fer subit une individualisation plus marquée et joue un rôle plus actif vis-à-vis des colloïdes des sols que l'aluminium qui reste, de préférence, intégré au réseau des minéraux primaires et secondaires. C'est pourquoi, compte tenu de ce que :

- HANOTIAUX (1957) a proposé d'apprécier la dynamique du fer (mobile et complexable) par une méthode d'extraction cinétique (obtention de courbes) mettant en oeuvre l'action dissolvante d'un acide organique simple ($H_2C_2O_4$, acide oxalique),

- DELECOUR (1972), dans la suite des travaux de MANIL, DELECOUR, FORGET et EL ATTAR (1963), à mis en évidence des variations dans les phénomènes de complexation organo-minérale des sols bruns acides ardennais (horizons A sous quatre types d'humus différents) grâce aux propriétés de ces courbes (hauteur sur l'ordonnée, pente et dispersion) et au calcul du rapport fer complexable à 5 % au fer libre (TAMM et DEB combinés) ; ce dernier étant d'autant plus inférieur à l'unité que la stabilité des complexes est grande,

- MATHIEU (1977 a) a exploité ces mêmes moyens comme indice de complexation et d'isohumisme pour les sols du Maroc en concluant dans le même sens mais en obtenant parfois des rapports supérieurs à l'unité,

- BOTTNER (cf. 3.3.2.2°) a conclu à l'insuffisance de la méthode DEB pour étudier les composés du fer,

- BASCOMB (1968) a publié un schéma (Fig. 41) qui synthétise les différentes formes chimiques extractibles du fer avec leur réactif de référence,

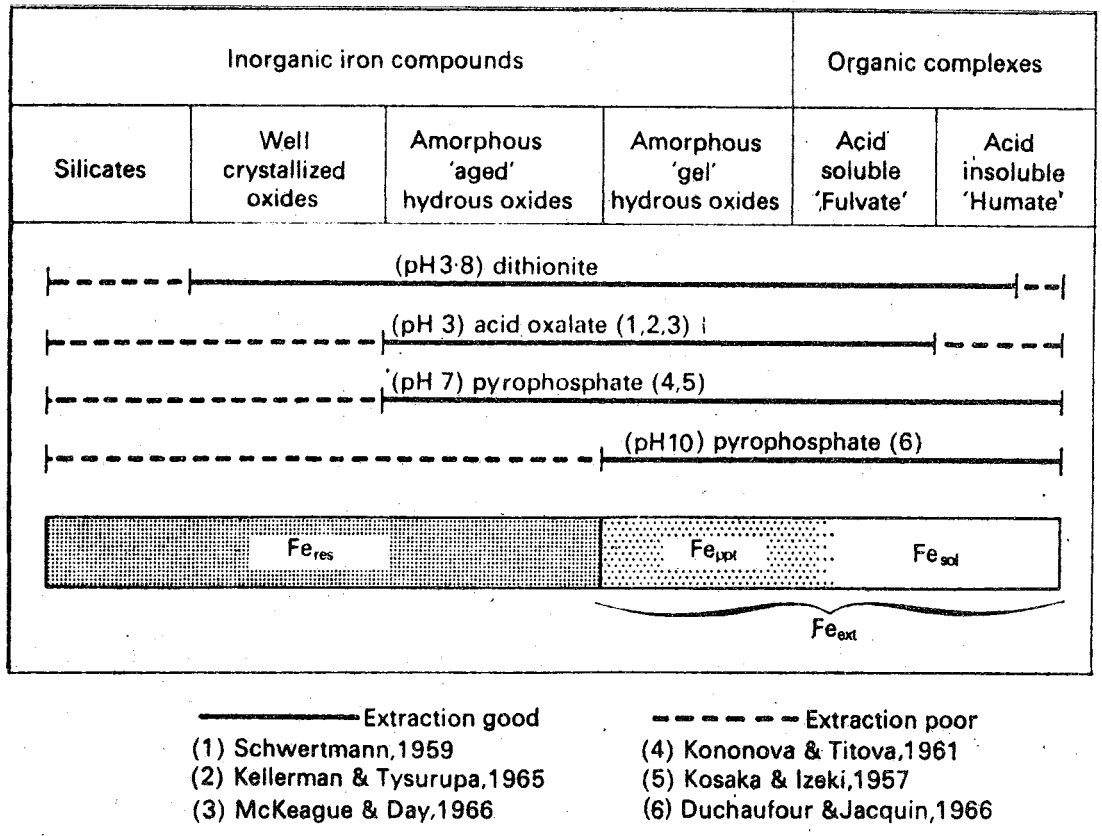


FIG. 41 : Les différentes formes du fer d'après la synthèse bibliographique de BASCOMB (1968)

- McKEAGUE (1975) a rassemblé des méthodes (étoilée dans la présentation - ★) qui illustrent bien la philosophie de ce schéma,

- GUILLET et SOUCHIER (1979) jugent préférable de limiter la méthode de SEGALEN d'extraction alternée (HCl.6N - NaOH.0,5 N) des amorphes aux seuls sols tropicaux parce qu'elle présente l'inconvénient de solubiliser les silico-aluminates ferrifères,

et bien que d'un autre côté :

- ces mêmes deux auteurs rapportent que :
  . la méthode dite du D.C.B. (dithionite-citrate-bicarbonate) de MEHRA et JACKSON pour déterminer le fer libre est moins agressive vis-à-vis des minéraux ferrifères que celle des réactifs combinés de TAMM et DEB, pourtant de référence traditionnelle dans les régions méditerranéennes,
  . d'une comparaison entre les méthodes au pyrophosphate, au tampon oxalique et au D.C.B. sur un sol fersiallitique, seule la troisième enregistre une réponse d'importance,

- N'KHA (1973) signale des avis bibliographiques négatifs à propos de presque tous les réactifs utilisés, car accusés d'affecter, dans certaines situations, les caractéristiques originelles des minéraux argileux,

- DELAUNOIS et MORICEAU (1975) aient remis en question, pour des échantillons du Maroc, la filtration et le temps de contact préconisés dans la méthode HANOTIAUX en critiquant parallèlement la signification du rapport invoqué ci-dessus pour ses valeurs inférieures à l'unité (!),

nous avons jugé pertinent d'arrêter le programme suivant des dissolutions sélectives pour vérifier certaines de ces considérations techniques (pour le moins variées), soupçonner d'éventuelles différences de formes, rechercher s'il existe un type d'extraction en relation étroite avec la couleur et surtout essayer de préciser les variations obtenues, pour les glacis, dans le rapport Al/Fe totaux :

- test de "suspension" par la mesure directe du fer (susp.) suite à l'observation faite au cours du test des solubles au 1/5,

- extraction du fer complexé avec la matière organique (pyro) : 50 ml de $Na_4P_2O_7$.0,1M (pyrophosphate de sodium = extractif spécifique de la matière organique) à pH 10 et agitation d'une nuit sur 500 mg d'échantillon (0,1 mm) (*),

- extraction du fer et de l'aluminium amorphes par le tampon oxalique de TAMM (ox) remis à l'honneur par SCHWERTMANN (1973) : 20 ml d'une solution obtenue à partir d'un mélange de 700 ml de $(NH_4)_2C_2O_4$.0,2M avec 535 ml d'$H_2C_2O_4$.0,2M ajusté à pH 3 et agitation de 4 heures à l'obscurité sur 500 mg d'échantillon (0,5 mm), car la réaction est photosensible[1] (★),

- extraction cinétique du fer "mobile et complexable" à des concentrations croissantes d'$H_2C_2O_4$ comprises entre 0,5 (Ox1) et 5 % (Ox2) (Fig. 53) : 100 ml de réactif et agitation 18 heures sur 2 g d'échantillon (0,5 mm) ; au delà de 5 %, les courbes deviennent effectivement asymptotiques quand des problèmes de cristallisation ne se produisent pas au passage du spectrophotomètre,

- extraction du fer et de l'aluminium libres en comparant la méthode :
  . des réactifs de TAMM et DEB combinés (OxD) : épuisement par trois fois 33 ml de réactif TAMM (concentration en acide oxalique équivalente à ± 1 %) et 1 g de $Na_2S_2O_4$ (dithionite de sodium) pendant 15 minutes dans un bain marie à 60° C et agitation de 30 minutes sur 2 g d'échantillon (0,5 mm),
  . avec celle du D.C.B. : épuisement par trois fois 10 ml d'une solution obtenue à partir du mélange de 250 ml de $NaHCO_3$.0,1M avec 2 l de $Na_3C_6H_5O_7$.0,3 M et 0,4 g de $Na_2S_2O_4$ pendant 15 minutes dans un bain marie agité à 80° C avec ajout de 1 ml de NaCl saturé avant centrifugation et 2 lavages par 10 ml d'extractif sur 1 g d'échantillon (0,5 mm) (★).

Les dosages ont été réalisés par absorption atomique en préparant scrupuleusement les échelles dans la matrice de la solution d'extraction ; et ainsi, par différences successives, la forme libre est subdivisable dans ses trois principales fractions : amorphe complexée à la matière organique, amorphe inorganique et cryptocristalline à cristalline.

---

(1) observation déjà soulignée par GALLAGHER et WALSH (1943) et que de ENDREDY (cité par SEGALEN, 1971) a ensuite exploitée en mettant au point une méthode qui met en oeuvre l'irradiation par rayons ultra violets.

D'emblée, on constate que :

- la dynamique du fer est effectivement plus élevée que celle de l'aluminium,

- le calcaire peut interférer sans que pour autant tous les faibles résultats lui soient imputables,

- les teneurs en fer amorphe n'ont d'autre intérêt que le constat généralisé de leurs faibles valeurs (Fig. 52) ; exclusion qui dépasse les travaux des auteurs puisqu'elle est généralisable au domaine étudié,

- à l'exception de l'échantillon 30.3, l'extraction au D.C.B. est systématiquement moins agressive que celle du réactif combiné et confirme donc l'information bibliographique, du moins quantitativement.

3° LE FRACTIONNEMENT DU PHOSPHORE (p.m.)

Le phosphore ou plus précisément l'anion phosphaté, en pouvant se présenter sous différentes formes de complexation, constitue aussi un marqueur d'intérêt génétique ; du moins s'il faut en croire des auteurs comme :

- CHANG et JACKSON (1955) qui ont conclu au changement graduel des phosphates de calcium et d'aluminium en phosphates de fer moins solubles et à l'occlusion par altération chimique poussée,

- SMECK (1973) qui voit, dans la quantité, la forme et la distribution du phosphore, des indices utiles pour reconnaître le facteur le plus important de situations particulières,

- WALKERS et SYERS (1976) qui ont mis en évidence, sur la base d'une étude de plusieurs chronotoposéquences, des modifications de formes du phosphore et de leurs quantités relatives en fonction de l'âge des sols conformément à la figure suivante (Fig. 42) :

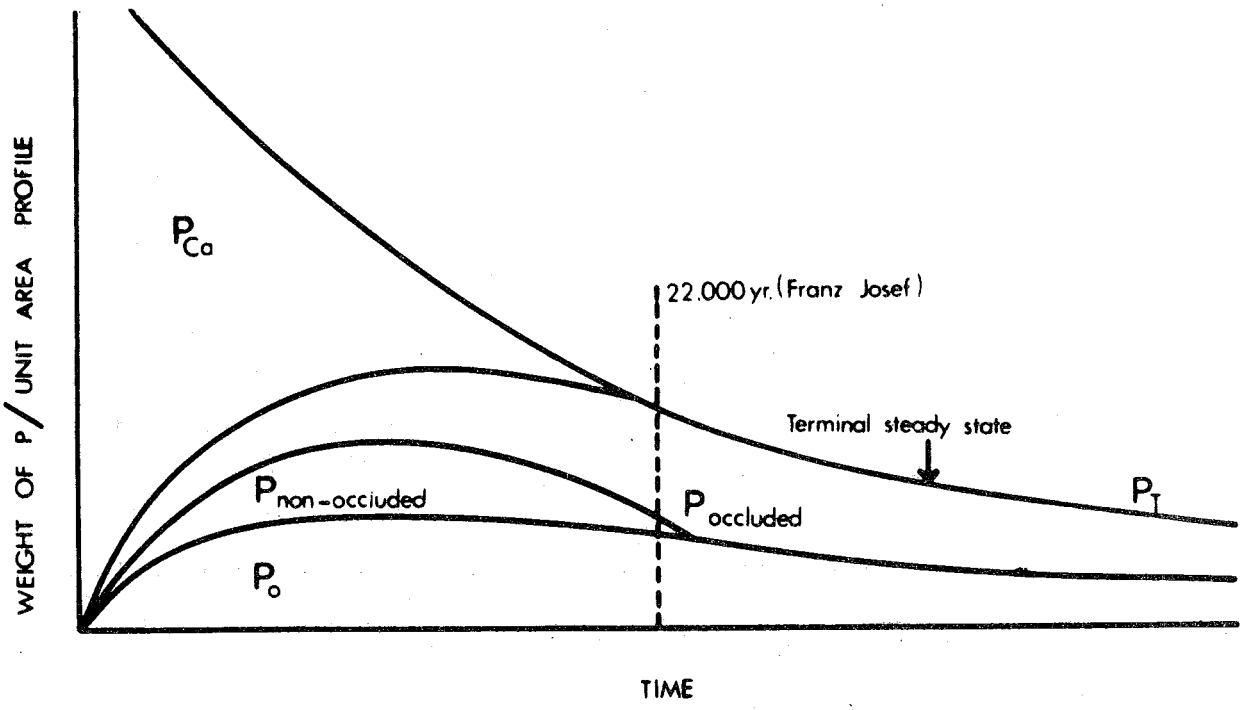


FIG. 42 : Evolution du phosphore avec le temps (ici Po = P organique) d'après WALKER et SYERS (1976)

- MATHIEU (1977 a) qui a fait appel, avec succès et avec l'aide de YOLO (1971), au fractionnement du phosphore minéral pour caractériser, de façon inédite, la dynamique actuelle de profils marocains et les conditions de leur évolution dans le passé.

C'est donc avec l'idée de recouper la dynamique des trois éléments impliqués (Ca, Fe, Al) et par là d'apprécier des âges relatifs, que nous avons sollicité les services du Centre de Recherche pour l'Etude de la Fertilité Chimique des Sols (IRSIA) qui a, gracieusement et à titre prospectif sur quelques échantillons, réalisé un fractionnement du phosphore minéral en appliquant la méthode de CHANG et JACKSON (1957) modifiée par HANOTIAUX (1964 a, b), c'est-à-dire en extrayant :

- le phosphore échangeable et facilement soluble (Péch.) par NH_4 Cl.N,

- les phosphates d'aluminium (P-Al) par NH_4F.0,5N à pH 8,5,

- les phosphates de fer (P-Fe) par NaOH.0,1N,

- les phosphates de calcium (P-Ca) par H_2SO_4.0,5N,

- les phosphates de fer dissouts par réduction (Pr-Fe) par $Na_3C_6H_5O_7$.0,3M à pH 7,3 et par $Na_2S_2O_4$,

- les phosphates de fer et d'aluminium occlus (Po-Fe-Al) par NH_4F.0,5N à pH 8,5 et NaOH.0,1N.

En conséquence de cet essai, l'exploitation détaillée des résultats avec des teneurs :

- nulles en Péch., P-Al et Po-Fe-Al,

- faibles en P-Fe et P-Ca sauf dans la cuvette ou cette dernière forme égale celle des Pr-Fe,

ne nous surprend guère, car elle ne fait que confirmer les unités morphopédologiques reconnues sur le terrain avec une part de P-Ca en milieu calcaire et une large part de Pr-Fe en milieu lixivié, mais d'un point de vue plus général, cette simple constatation suffit à clarifier certains déboires rencontrés (absence de réponse) dans le dosage accessoirement exécuté des formes disponibles (OLSEN - $NaHCO_3$.0,5N à pH 8,5, BRAY - KURTZ - NH_4F.0,03N) du phosphore et donne à choisir, pour l'instant, entre le manque de contrastes minéralogiques d'une étude locale et, plus probablement, l'ancienneté relative d'une altération modérément soutenue (il ne s'agit pas encore de formes véritablement occluses) pour expliquer le peu de diversité relevée par rapport aux reconnaissances régionales citées.

Néanmoins, la question mériterait d'être techniquement reposée, car les résultats ne laissent parfois que peu de place à la forme

organique[1] et montrent surtout que, dans un tel contexte méditerranéen, celle-ci ne peut être déduite d'un fractionnement incomplet comme cela a parfois été pratiqué. De ce fait, il serait aussi intéressant de vérifier si la méthode HANOTIAUX d'appréciation indirecte du phosphore organique par différence du phosphore total et du phosphore minéral avec H_2SO_4.6N reste toujours valable quand cette forme "résiduelle" liée au fer apparaît.

Parallèlement, l'absence de phosphore soluble et de réponse du phosphore disponible à différents extractifs sous-tend le problème de la fertilité en cet élément qui est souvent considéré comme biogéniquement déficitaire dans le tryptique N, P, K de ces régions et sous-entend celui de son expérimentation. Mais il ne faut pas être abusivement alarmiste, car nombreux sont les chercheurs (HANOTIAUX, 1966 ; CONESA, FARDEAU et SIMON-SYLVESTRE, 1979) qui ont conclu que ces tests ne permettent pas d'obtenir une image rigoureuse de la potentialité des sols quant à la nutrition phosphatée des plantes et notamment d'apprécier le taux de renouvellement des sols lourds (THOMAS, 1967)[1]. En résumé, le problème de la nutrition minérale des plantes en phosphore reste entier, mais, à côté des explications purement chimiques et physiques, l'explication biologique de type physiologique (YANKOVITCH cité par DESAUNETTES, 1955) ou d'agressivité spécifique avec association bactérienne symbiotique (HECK et HANOTIAUX, 1978, 1982) est aussi avancée.

---

(1) signalons que :

- HALFAOUI (1976) arrive à des conclusions très différentes pour des sols calcaires d'Algérie, sauf en ce qui concerne cette faible teneur en "organo-phosphates" ; en effet, la forme P-Ca domine et la partie dite inactive est davantage insoluble qu'occluse,
- BENAMARA et CONESA (1976) ont comparé diverses méthodes sur divers types de sols d'Algérie et préféré la méthode de JORET et HEBERT - $(NH_4)_2C_2O_4$. 0,2N - à celle d'OLSEN qui est pourtant connue pour sa spécificité assez large des milieux calcaires et/ou riches en sesquioxydes (FAO, 1970) ; méthode OLSEN qui connaît d'ailleurs de nombreuses variantes tendant à remplacer le $SnCl_2$ par de l'acide ascorbique (WATANABE et OLSEN, 1965), le charbon de bois par du polyacrylamide (BANDERIS, BARTER et HENDERSON, 1976) ou à proposer un extractif mixte (JACKSON, VACHAROTOYAN, ALBAN et PETERSON, cités par DABIN, 1967).

8.1.3. LES INDICES COMPLEMENTAIRES DE LA MATIERE ORGANIQUE (cf. Tableau 13, Fig. 43 et 54)

Alors que RUELLAN (cf. 3.3.3.2°) a très légitimement conseillé d'approfondir l'étude de la matière organique et qu'il faut y voir un des soucis principaux de l'écopédologue qu'est MATHIEU (cf. 4.2.3.), nous avons l'impression que l'ambiance neutre à basique reconnue, les faibles teneurs en carbone total, le caractère saisonnièrement dynamique de cette matière et la multiplicité des méthodes ou techniques proposées sont autant de raisons qui rendent l'entreprise particulièrement difficile quand elle ne constitue pas une fin en soi. Difficulté doublée de perplexité puisqu'à la suite d'études très poussées (analyses chimiques, spectrométrie Infra-Rouge, analyse thermique différentielle ou A.T.D., M.E.B.), CHEN, SENESI et SCHNITZER (1978 a, b) arrivent à la conclusion que les acides humiques et fulviques extraits de "terra rossas" et de sols bruns méditerranéens présentent des caractéristiques assez semblables à celles de composés humiques extraits de sols formés sous des conditions géographiques et pédologiques très diverses.

Aussi, convaincu de ne pouvoir dépasser, dans le cadre d'une approche d'ensemble, les grands leitmotivs théoriques que SINGH a déjà mis en évidence (cf. 2.3.3.) et que l'A.T.D. réalisée sur la fraction argileuse suffira seule à présumer (cf. 9.1.2.6°), nous nous limitons, une fois de plus par un fractionnement chimique, à un bilan approximatif des composés humiques pour :

- apprécier leur degré de maturation et leur type de complexation avec la matière minérale plutôt que leur nature propre,
- préciser, si possible, la notion de l'isohumisme,
- connaître suffisamment bien les problèmes inhérants à ce type d'analyse (extraction) avant d'envisager la technique du ^{14}C,
- vérifier l'interprétation de KALOGA (cf. 3.3.3.4°) sur l'évolution du C/N avec la profondeur dans les vertisols.

C'est pourquoi, le choix de la méthode de DUCHAUFOUR-JACQUIN, complétée par celle de MERLET (1971), pour l'obtention respective des composés solubles (AF et AH) et insolubles (H) dans les solutions alcalines, a été guidé par le souci d'atteindre des fractions humiques non seulement de plus en plus polymérisées, mais aussi diversément liées, au cours d'extractions sélectives de routine ; c'est-à-dire d'éviter les réactifs trop agressifs tels que ceux employés dans la méthode de TIURIN (CHERDUVILLE, 1972 ; DELECOUR, com. or.) ou les techniques douces mais trop longues comme celle de GASHO-STEVENSON (dialyses) qui ne se justifient pleinement que dans le cas de purification et d'isolement de fractions (ESCOBEDO, 1980).

Cependant, compte tenu des caractéristiques propres de l'échantillonnage étudié qui vont être développées et des contraintes qui en découlent, nous nous sommes inspiré de diverses adaptations et simplifications pour aboutir à l'organigramme (Fig. 43) et aux commentaires suivants :

30 g - 0,5 mm

- 50 ml . H_2O dist . ↻ 3 h . ◉
  - → F.L.
- 50 ml . $Na_4P_2O_7$. 0,1M . pH 8 . ↻ 1 h . ◉ - 2 x - 50 ml H_2O . ↻ 30' . ◉
  - → AF1 et AH1 séparés à pH 1 avec H_2SO_4
- 50 ml . NaOH . 0,1N . ↻ 1 h . ◉ - 2 x - 50 ml H_2O . ↻ 30' . ◉
  - → AF2 et AH2 séparés à pH 1 avec H_2SO_4
- 0,5 g $Na_2S_2O_4$. 50 ml H_2O . ⊙ ⇄ . ◉ - 3 x - 50 ml HCl.0,01N . ↻ 30 . ◉
  - → à jeter
- 100 ml NaOH.0,1N . ↻ 1 h . ◉ - 50 ml H_2O . ↻ 30' . ◉
  - → H1
- 50 ml (HF.1N + HCl.1N). ⊙ . ◉ - 4 x - 50 ml HF.1N. ⊙ . ◉ - 2 x - 50 ml H_2O . ◉ - 4 x
  - → à jeter
- 100 ml NaOH.0,1N . ↻ 1 h . ◉ - 50 ml H_2O . ↻ 30' . ◉
  - → H2
  - → H3 à sécher

↻ : agitation au culbuteur rotatif ◉ : centrifugation

⊙ : bain marie (20' à 60° C , ⇄ agitation horizontale)

FIG. 43 : Organigramme du fractionnement chimique de la matière organique d'après la méthode DUCHAUFOUR-JACQUIN (1966) simplifiée, adaptée et complétée par la méthode MERLET (1971).

- augmentation du rapport échantillon/extractif à 3/10 par augmentation de la prise d'essai pour permettre le dosage du carbone de chaque extrait par la méthode rapide de WALKLEY BLACK, au départ d'échantillons relativement pauvres en matière organique, bien qu'il soit généralement admis de travailler avec des rapports compris entre 1/5 et 1/20 (MERLET, 1971) et que BRUKERT (1979) ait signalé un accroissement du taux d'extraction de 35 à 70 % dans certains sols quand le rapport diminue de 5 à 1/100,

- prétraitement à l'eau distillée (F.L.) pour écarter d'éventuels et rares débris de matière organique libre par flottation, en lieu et place de la fastidieuse séparation densimétrique de MONNIER, TURC et JEANSON-LUUSINANG (1962) ou du traitement à l'H_3PO_4 de DABIN (1976) qui fait craindre, au départ de ce qui se veut être une simple décarbonatation, une discrimination non contrôlée entre les échantillons et une anticipation de certains traitements (du moins dans un premier essai),

- extraction au $Na_4P_2O_7$.0,1M à pH 8 (AF1 et AH1) ; réactif connu pour son action insolubilisante vis-à-vis du fer et du calcium, conformément à l'application que BARIDEAU (1972) fait des conclusions de BOTTNER (1972),

- extraction au NaOH.0,1N (AF2 et AH2) qui rompt des liaisons plus résistantes mais qui peut aussi créer des artefacts de néoformation, d'altération, de condensation et de lyse microbienne (BRUCKERT, 1979),

- extraction au NaOH.0,1N après un traitement au dithionite (H1) qui réduit le fer et libère la matière organique liée préférentiellement à cet élément,

- extraction au NaOH.0,1N après un traitement avec HCl.N et HF.N (H2) qui détruit les argiles et libère la matière organique liée préférentiellement à ces colloïdes minéraux,

- obtention d'un résidu (H3),

- séparation des composés respectivement non précipitables (AF) et précipitables (AH) dans les acides minéraux par ajout d'H_2SO_4 concentré jusqu'à l'obtention du pH 1,

- réalisation de toutes les centrifugations à haute vitesse, pendant vingt minutes sous réfrigération pour éviter la peptisation des argiles et par là, de confondre les composés humiques extractibles avec des complexes organo-minéraux ; ceci en lieu et place de l'ajout de NaCl 5 % (N'KHA, 1973) qui est à déconseiller quand on réalise le dosage du carbone par voie humide, à cause de l'interférence du chlorure dans la réduction du bichromate (PLEXEN, SCHMELTZ et RIGHI, 1967),

- dosage, comme annoncé ci-dessus par la méthode WALKLEY BLACK, en adaptant les volumes d'acides au type de prélèvement (extraits liquides, résidus, terre fine totale) de façon à toujours provoquer une réaction exothermique de même intensité ; à ce sujet, le dosage du carbone total a fourni des résultats compris entre 75 et 110 % de ceux obtenus par la méthode Springer Klee sans qu'il y ait de commentaire particulier à en dégager et les fractionnements ont toujours été bouclés entre 90 et 110 % de carbone total.

De cette façon qui est certes critiquable sur certains points mais qui n'en livre pas moins un cadre de comparaisons aussi valable que n'importe quel autre dans cette démarche purement chimique[1], et d'ailleurs souvent contestée sur le plan d'une signification structurale profonde, les différentes fractions de composés humiques peuvent être regroupées en trois grandes catégories, à savoir :

- matières organiques "fraîches et libres" (F.L.)

- matières organiques humifiées et diversément extractibles (AF1, AF2, AH1, AH2, H1, H2),

- matières organiques non extractibles (H3).

---

(1) signalons que DESSEAUX-NKUNDIKIJE, HALITIM, GALBEN et YGNATOV (1976) ont proposé un essai de caractérisation de la matière organique dans quelques sols du Nord de l'Algérie qui, mené de façon différente (but global et organigramme), offre au moins une similitude de résultats pour un profil fersiallitique "lessivé" des Beni Slimane.

D'emblée on constate que :

- le taux d'humification apparente est pratiquement total puisque la teneur en matières organiques fraîches et libres (F.L.) est toujours inférieure à 0,5 %,

- pour la même raison, le taux d'extraction de la fraction liée peut être simplement apprécié par différence à 100 de la fraction H3 exprimée en pourcent du carbone total,

- le rapport AH/AF n'a aucun intérêt puisque la somme des teneurs en acides fulviques est toujours très faible (< 4,5 %),

- les rapports les plus explicites sont ici : AH1/AH2, H1/H2 et AH/H.

Enfin, notons que ce programme peut encore être affiné par l'emploi de :

- $Na_2B_4O_7$ (tétraborate de sodium) en tête de traitement d'échantillons non calcaires pour différencier les complexes "mobiles" ou "mobilisables" d'insolubilisation récente de ceux immobiles (BRUCKERT, 1979),

- bromure d'acétyle (SPRINGER cité par JAMBU et DUPUIS, 1969) sur le résidu pour séparer la matière organique dite fraîche séquestrée (humine jeune) de celle dite transformée et conclure comme N'KHA (1973), dans le sillage de DUCHAUFOUR, que l'humine ne correspond pas toujours au plus haut degré de condensation des molécules.

8.1.4. L'ETUDE MICROMORPHOLOGIQUE (Photos 26 à 31)

Cette technique, en permettant de travailler sur des échantillons non perturbés et de ce fait, d'apprécier l'organisation interne des constituants, opère le changement d'échelle idéal entre le terrain et le laboratoire pour garantir l'interprétation la plus vraisemblable des analyses de base. Dans le cas présent, nous y avons principalement recouru pour nous situer

dans le débat contradictoire tenu sur l'illuviation, l'altération en place et/ ou les réorganisations physiques (cf. 3.3.2.4°) tout en étant soucieux d'y repérer d'éventuelles manifestations du calcaire, du fer ou de la matière organique.

Par cette option, nous ne nous sommes dès lors pas attardé à chaque lame mince, mais nous les avons comparées méthodiquement après que le Professeur STOOPS de la Rijksuniversiteit Gent ait fort clairement attiré notre attention sur les traits originaux de cette reconnaissance. Pour ce faire : le vocabulaire spécialisé a été emprunté à BREWER (1964) et à des glossaires dérivés (STOOPS, 1969, DELECOUR, s.d.) ou mise au point (FEDOROFF, 1979), les observations ont été menées au microscope polarisant tant en "lumière naturelle" (meilleure observation de la matière organique) qu'en lumière analysée, en progressant dans les grossissements, et la philosophie de l'interprétation a été largement inspirée par celle de BREWER (1968, 1972), BREWER et SLEEMAN (1969) qui n'abusent pas de l'illuviation en termes explicatifs (cf. 3.4.).

Après quelques problèmes d'adaptation, au cours desquels nous avons malheureusement sacrifié les prélèvements orientés, les imprégnations ont été réalisées sur des agrégats structuraux avec une résine répondant au nom commercial de "Polyester TRA" additionnée d'un solvant et d'un catalyseur, dans un dessicateur à vide tel que le suggère le schéma de JONGERIUS (cité par FEDOROFF, 1968) ; le problème consiste, en effet, à favoriser la meilleure pénétration possible en préparant un mélange qui ne soit ni trop liquide, ni trop rapide à durcir. Les lames ont ensuite été confectionnées à Gent, c'est-à-dire sciées et polies sous huile pour éviter le gonflement des argiles ; le collage étant réalisé avec la même résine, mais à durcissement plus rapide.

A côté des nombreuses adaptations possibles comme le prélèvement vertical ou horizontal pour l'étude de la porosité, le préséchage des échantillons organiques en atmosphère progressivement saturée d'acétone, la réimprégnation d'une tranche de sciage en cas d'échec, nous retenons pour l'avenir, l'astucieuse technique de BULLOCK, LOVELAND et MURPHY (1975). Celle-ci consiste à étudier optiquement les effets de différents procédés d'extraction du fer (mais, on peut imaginer la même chose pour d'autres constituants

comme la matière organique) en sciant plusieurs lames d'un même échantillon et en leur faisant subir, à chacune, un traitement différent ; une partie de la surface protégée par de la graisse au silicone permettant, après nettoyage, de faire la comparaison. Enfin, nous notons encore que l'analyseur d'images offre des perspectives dans le domaine de l'interprétation quantifiée, sous réserve de la mise au point de subtiles compositions photographiques.

8.2. LE DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES

8.2.1. LES ROCHES-MERES ET LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

Pour la plupart d'entre elles, nous ne présentons que les résultats obtenus au dosage du calcaire total (Tableaux 10 et 11) par la méthode gazovolumétrique (t1), pour fixer les contrastes entre les milieux et montrer que les différences peuvent être notables :

- le calcaire du Crétacé (G3.3) et les accumulations calcaires continues dont les plus pures atteignent 90 % de calcaire total, offrent les valeurs maximales,

Echantillons	G3.1	G3.2	G3.3	G12	G7.3d	C15	C4f	C4d	C13fb
% $CaCO_3$ t1	0,0	0,0	91,0	62,9	84,7	87,3	89,4	91,5	76,1

TABLEAU 10 : Pourcentage en calcaire total (t1) de quelques roches-mères et accumulations calcaires.

- la marne du Crétacé (G1) et l'argile calcaire jaune du Continental supérieur (G7.7) voisinent les 50 à 55 % ; mais si la première semble homogène dans sa composition, il n'en va pas de même pour la seconde qui se présente déjà davantage comme une formation discontinue,

- dans les accumulations calcaires discontinues proprement dites, les résultats dépendent étroitement de la plus ou moins grande hétérogénéité de l'échantillon, et ne constituent généralement plus qu'une réponse très approximative de la réalité puisque le broyage à 0,5 mm ne respecte pas les éventuelles ségrégations de faciès ; dès lors, il faut tenter de sélectionner les cas extrêmes comme par exemple l'échantillon G12 qui est composé d'agrégats dont la teneur en calcaire peut varier de 36 à 72 % avec un résultat moyen de 63 %.

De cette variabilité d'ensemble et du caractère fréquemment consolidé des échantillons, il apparaît que ces formations ne se prêtent guère aux techniques de la pédochimie classique. Aussi, nous nous sommes limité à la stricte caractérisation de quelques repères dans les milieux d'accueil (s.s.) en attendant les résultats des techniques de la minéralogie et de la pétrographie qui, présentés au chapitre suivant, permettront, par un ensemble suffisamment dense de présomptions, de saisir les relations parentales entre la lithologie, les accumulations calcaires et les formations meubles colorées de surface.

Pour l'instant, il suffit de noter que, par l'analyse des courbes granulométriques, la marne du Crétacé (G1) n'offre que ce que la sédimentation fine lui a apporté, alors que les autres échantillons résultent du transport colluvio-alluvial pour les courbes les plus concaves (11.5) et d'une altération plus ou moins en place ou d'un transport moins violent pour les courbes les plus tendues (G7.2).

8.2.2. LES FORMATIONS MEUBLES COLOREES

1° DANS LE MASSIF

a) Les paramètres géopédologiques (Tableaux 11 et 12)

- Alors que l'analyse gazovolumétrique (t1) reste muette, l'analyse titrimétrique (t2) permet de déceler des traces de calcaire qui, par leur solubilisation, suffisent à induire une (sur)saturation apparente du complexe de sorption,

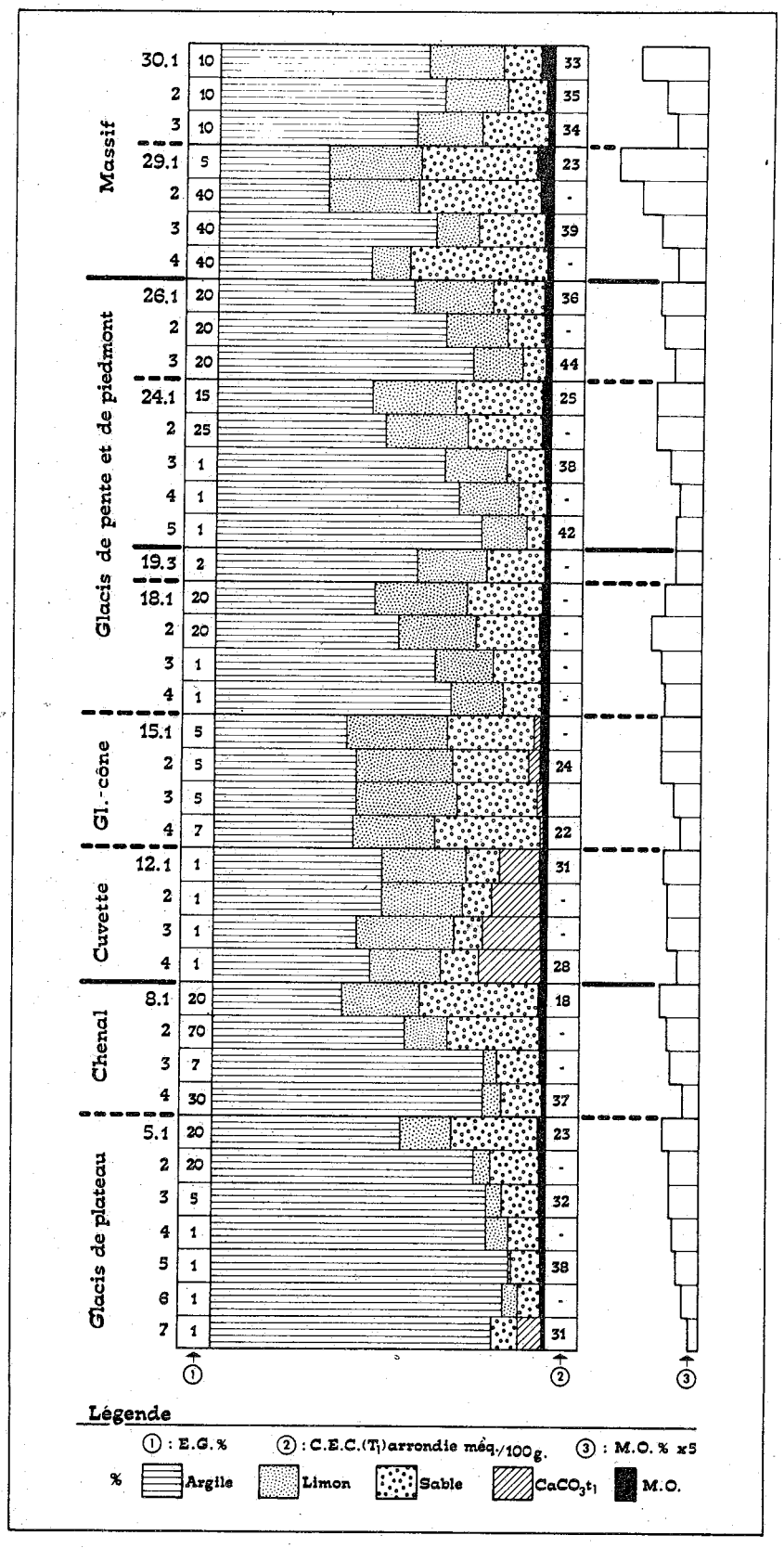


FIG. 44 : Composition de la terre fine (0 - 2 mm) sèche.

UNITES	N°	E.G. % v.	Hr % 2mn	pH H_2O	pH KCl	$CaCO_3$ t_1 %	$CaCO_3$ t_2 %	$CaCO_3$ ac %	GRANULOMETRIE % TOTALE A	TOTALE L	TOTALE S	LIMONS µ 2-10	LIMONS µ 10-20	LIMONS µ 20-50	SABLES µ 50-100	SABLES µ 100-200	SABLES µ 200-500	SABLES µ 500-1000	SABLES µ 1000-2000	IH	FAO	MATIERE ORGANIQUE TOTALE C %	MATIERE ORGANIQUE TOTALE N %	C/N	BASES ECHANGEABLES ET C.E.C. Na méq/100 g	K	Mg	S	T_1	T_2	T_1/T_2
MASSIF	30.1	10	4,0	7,4	6,2	0,0	tr	-	63,9	22,7	13,4	9,4	5,6	7,7	6,2	2,0	2,0	1,8	1,3	1,8	ALO	2,0	0,17	11,8	0,28	0,72	5,58	34,38	33,45	-	-
	2	10	5,6	7,6	6,2	0,0	tr	-	67,5	19,6	12,9	9,3	5,0	5,3	4,2	1,8	2,1	1,8	2,9	2,1	ALO	1,2	0,12	10,0	0,35	0,52	6,51	35,41	35,45	34,57	1,03
	3	10	6,6	7,8	6,5	0,0	tr	-	58,8	20,3	20,9	10,2	3,7	6,4	3,0	2,2	4,3	5,2	6,2	1,5	A	0,9	0,10	9,0	0,38	0,38	6,49	34,47	34,24	-	-
	29.1	5	2,2	7,5	6,7	0,0	tr	-	34,1	29,0	36,9	9,0	6,1	13,9	15,5	3,6	4,0	7,5	6,3	0,3	LA	2,6	0,22	11,8	0,16	0,76	3,96	28,31	23,17	23,22	1,00
	2	40	6,8	7,5	6,2	0,0	tr	-	33,4	27,7	38,9	8,7	5,4	13,6	16,6	3,8	4,2	6,0	8,3	0,3	LAS	1,9	0,19	10,0	0,32	0,71	6,42	37,36	-	-	-
	3	40	7,8	7,3	5,6	0,0	tr	-	66,3	12,7	21,0	3,3	3,2	6,2	3,1	2,1	3,9	5,7	6,1	2,0	ALO	1,3	0,13	10,0	0,40	0,48	6,40	37,48	38,71	36,95	1,05
	4	40	4,2	7,4	5,6	0,0	-	-	45,9	11,5	42,6	5,2	2,5	3,8	1,8	2,0	5,3	15,4	18,1	1,3	AS	0,8	0,09	8,9	0,48	0,37	6,17	35,04	35,78	-	-
GLACIS DE PENTE ET DE PIEDMONT	G1	-	1,4	8,4	-	56,8	-	-	55,5	43,7	0,8	36,6	6,3	0,8	0,5	0,1	0,1	0,0	0,1	2,0	AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	26.1	20	9,8	8,1	7,3	tr	tr	-	59,7	24,5	15,8	7,3	1,0	16,2	10,7	2,2	0,9	0,8	1,1	1,6	A	1,3	0,16	8,1	0,26	1,10	3,01	49,41	36,41	32,41	1,12
	2	20	9,8	7,7	7,1	0,0	tr	-	69,1	18,9	12,0	5,7	2,0	11,2	6,8	2,0	1,0	1,2	1,0	2,1	ALO	1,2	0,13	9,2	0,39	0,82	4,23	47,48	-	-	-
	3	20	13,6	8,1	7,1	tr	tr	-	77,1	15,0	7,9	2,3	0,6	12,1	3,5	1,5	1,0	0,8	1,2	2,6	ALO	0,9	0,11	8,2	0,48	0,83	5,70	52,82	43,62	37,10	1,18
	4	10	0,5	8,8	8,5	81,5	73,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24.1	15	5,4	7,6	6,6	0,0	tr	-	47,1	25,4	27,5	8,7	2,9	13,8	21,2	3,9	1,0	0,9	0,6	0,8	A	1,4	0,13	10,8	0,18	1,21	3,84	26,97	25,10	22,23	1,13
	2	25	7,2	7,5	6,2	0,0	tr	-	51,7	25,2	23,1	5,9	4,1	15,2	17,6	3,2	0,9	0,7	0,8	1,1	A	1,4	0,13	10,8	0,21	0,93	4,32	29,19	-	-	-
	3	1	11,8	7,9	6,6	0,0	tr	-	69,6	18,9	11,5	3,9	0,7	14,3	8,2	1,7	0,5	0,6	0,5	2,2	ALO	1,0	0,10	10,0	0,41	0,69	6,62	41,04	37,61	32,31	1,16
	4	1	13,6	8,0	6,7	0,0	tr	-	73,3	18,2	8,5	3,9	1,0	13,3	6,0	1,5	0,5	0,4	0,1	2,4	ALO	0,7	0,08	8,7	0,54	0,73	7,95	45,21	-	-	-
	5	1	9,8	8,0	7,2	tr	tr	-	80,2	13,8	6,0	3,8	0,7	9,3	3,7	1,1	0,5	0,4	0,4	2,8	ALO	0,8	0,10	8,0	0,58	1,02	8,94	70,72	41,56	37,44	1,11
	8	10	1,8	8,5	8,0	77,5	79,4	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19.3	2	5,4	8,2	7,4	9,0	11,0	-	60,2	21,3	18,5	6,7	4,0	10,6	10,0	2,0	1,2	2,3	3,0	1,6	ALO	0,8	0,09	8,9	-	-	-	-	-	-	-
	18.1	20	5,8	7,9	6,8	0,0	tr	-	48,1	28,2	23,7	9,0	4,1	15,1	16,4	3,9	1,2	1,2	0,9	0,9	A	1,1	0,11	10,0	0,25	1,17	4,43	31,98	-	-	-
	2	20	8,0	7,8	6,7	0,0	tr	-	56,4	23,8	19,8	6,8	3,4	13,6	14,4	3,0	0,9	0,7	0,7	1,4	A	1,5	0,12	12,5	0,31	0,65	5,35	34,30	-	-	-
	3	1	10,4	7,7	6,4	0,0	tr	-	66,6	18,0	15,4	5,5	1,0	12,5	10,1	2,5	0,8	1,0	1,0	2,0	ALO	1,2	0,11	10,9	0,46	0,69	6,94	39,17	-	-	-
	4	1	11,2	8,0	7,1	tr	tr	-	71,2	17,1	11,7	3,0	2,6	11,5	7,5	2,1	0,7	0,6	0,9	2,3	ALO	1,1	0,09	12,2	0,55	0,66	8,18	50,39	-	-	-
	5	1	1,8	8,5	7,8	75,7	66,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GLACIS -COLL.	15.1	5	4,0	8,1	7,4	2,1	2,9	2,3	40,8	31,3	27,9	8,8	7,9	15,5	17,4	4,4	2,5	2,3	1,3	0,4	A	1,2	0,11	10,9	0,22	0,81	2,33	52,85	-	-	-
	2	5	5,0	8,1	7,4	3,6	4,3	3,1	44,0	30,9	25,1	10,6	5,3	15,0	17,5	3,8	1,8	1,3	0,7	0,6	A	1,2	0,11	10,9	0,25	0,45	2,49	58,12	24,36	27,66	0,88
	3	5	5,2	8,1	7,4	2,1	3,0	2,7	43,4	31,6	25,0	10,2	4,9	16,5	17,6	3,7	1,5	1,2	1,0	0,6	A	0,8	0,09	8,9	0,24	0,43	2,78	55,88	-	-	-
	4	7	5,0	8,2	7,4	1,6	2,2	2,1	42,1	24,7	33,2	5,5	3,8	15,4	19,9	5,7	2,2	3,0	2,5	0,5	A	0,6	0,07	8,6	0,26	0,36	2,92	52,89	21,50	22,02	0,98
CUVETTE	12.1	1	6,4	8,1	7,4	13,2	15,2	8,5	57,9	30,2	11,9	14,0	6,4	9,8	9,0	2,0	0,6	0,3	0,1	1,5	A	1,1	0,10	11,0	0,27	0,99	4,83	66,01	30,64	36,25	0,85
	2	1	6,6	8,2	7,4	16,2	17,6	10,6	60,6	29,2	10,2	9,6	5,8	13,8	8,0	1,5	0,4	0,2	0,1	1,6	ALO	1,0	0,09	11,1	0,52	0,49	7,36	62,17	-	-	-
	3	1	6,8	8,3	7,5	18,5	20,3	11,6	52,4	36,6	11,0	13,0	5,6	18,0	8,0	1,8	0,6	0,4	0,1	1,3	A	1,0	0,08	12,5	1,31	0,35	11,23	65,29	-	-	-
	4	1	6,4	8,3	7,5	20,1	22,5	11,9	58,8	26,7	14,5	10,2	3,8	12,7	11,9	1,9	0,3	0,2	0,3	1,5	A	0,7	0,05	14,0	1,51	0,34	11,42	63,23	27,91	33,48	0,83
	11.5	1	2,6	8,6	-	50,5	-	16,4	45,3	23,1	31,6	8,7	2,4	12,0	25,6	5,0	0,7	0,2	0,1	0,7	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHENAL	9.1	20	3,6	7,5	6,6	0,0	tr	-	38,6	23,6	37,8	10,9	3,6	9,1	24,1	5,5	3,2	2,2	2,8	0,6	LA	1,2	0,11	10,9	0,25	1,12	2,89	19,56	18,47	-	-
	2	70	5,4	7,3	6,0	0,0	tr	-	58,5	12,0	29,5	6,5	2,0	3,5	16,8	4,4	2,6	2,2	3,5	1,5	A	1,0	0,11	9,1	0,25	0,75	4,20	24,94	-	-	-
	3	7	10,8	7,5	6,0	0,0	tr	-	81,3	4,5	14,2	4,1	0,4	0,0	7,1	2,8	1,4	1,1	1,8	2,9	ALO	0,9	0,10	9,0	0,41	0,84	6,94	35,80	-	-	-
	4	30	12,6	7,8	6,5	0,0	tr	-	80,9	5,3	13,6	5,3	0,0	0,0	4,6	2,2	1,5	1,4	4,1	2,9	ALO	0,5	0,05	10,0	0,47	0,83	7,52	38,09	37,39	-	-
GLACIS DE PLATEAU ET DE BORDURE	8.1	20	5,4	7,4	6,5	0,0	tr	-	55,9	16,1	28,0	8,6	0,9	6,6	20,1	5,0	1,6	1,0	0,5	1,4	A	1,1	0,11	10,0	0,21	1,94	3,82	23,62	22,73	18,32	1,24
	2	20	9,0	7,5	6,3	0,0	tr	-	78,7	5,6	15,7	4,8	0,6	0,2	10,8	2,7	1,1	0,4	0,8	2,7	ALO	0,9	0,11	8,2	0,39	2,34	5,81	30,66	-	-	-
	3	5	10,6	7,6	6,5	0,0	tr	-	82,8	4,6	12,6	4,5	0,1	0,0	8,5	2,5	0,9	0,4	0,3	3,0	ALO	0,9	0,11	8,2	0,58	2,17	6,68	33,63	31,72	25,40	1,25
	4	1	10,4	7,9	6,6	0,0	tr	-	82,0	7,1	10,9	6,9	0,2	0,0	7,9	2,0	0,7	0,2	0,2	2,9	ALO	0,8	0,09	8,9	0,68	1,98	7,56	36,69	-	-	-
	5	1	10,6	8,0	6,9	0,0	tr	-	89,5	0,6	9,9	0,0	0,6	0,0	6,5	2,0	0,7	0,3	0,3	3,4	ALO	0,7	0,09	7,8	0,78	1,67	8,29	39,50	38,17	28,16	1,36
	6	1	10,6	8,1	7,3	tr	tr	-	86,5	5,2	8,3	5,2	0,0	0,0	5,7	1,6	0,6	0,2	0,3	3,2	ALO	0,5	0,07	7,1	1,05	1,05	9,04	49,95	-	-	-
	7	1	10,2	8,2	7,4	8,8	14,8	4,2	91,5	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	5,0	1,5	0,6	1,0	0,4	3,5	ALO	0,3	0,07	4,3	1,02	0,91	8,68	66,04	30,72	32,13	0,96
	G7.1	-	5,0	8,3	-	25,3	-	-	42,5	20,4	37,1	7,2	3,1	10,1	15,0	10,6	8,3	1,9	1,3	0,8	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.2	-	4,9	8,6	-	16,1	-	-	67,7	12,7	19,6	4,9	2,9	4,9	9,0	5,0	3,9	1,0	0,7	2,1	ALO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.5	-	2,7	8,4	-	45,2	-	-	54,7	12,5	32,8	2,9	5,0	4,6	12,5	8,9	8,1	2,4	0,9	1,3	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7.7	-	2,2	8,4	-	46,5	-	-	47,8	38,0	14,2	10,2	7,8	20,0	9,0	2,3	1,8	0,8	0,2	1,1	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ALO : argile lourde
A : argile
AL : argile limoneuse
AS : argile sableuse
LA : limon argileux
LAS : limon argilo-sableux

TABLEAU 11 : Résultats et indices des analyses de base.

COURBES GRANULOMETRIQUES

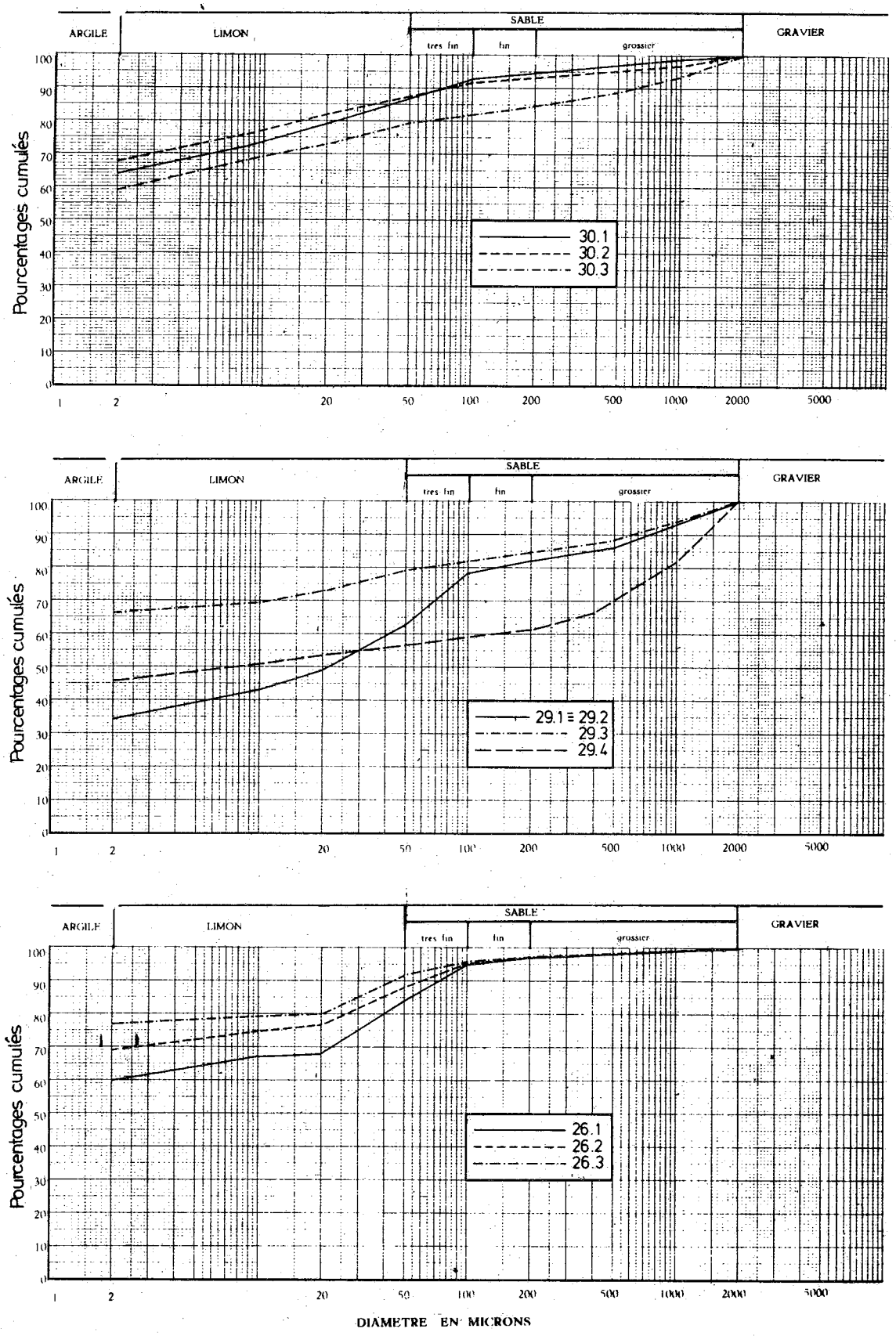


FIG. 45 : Courbes granulométriques cumulatives - massif (30 et 29) et glacis de piedmont (26).

COURBES GRANULOMETRIQUES

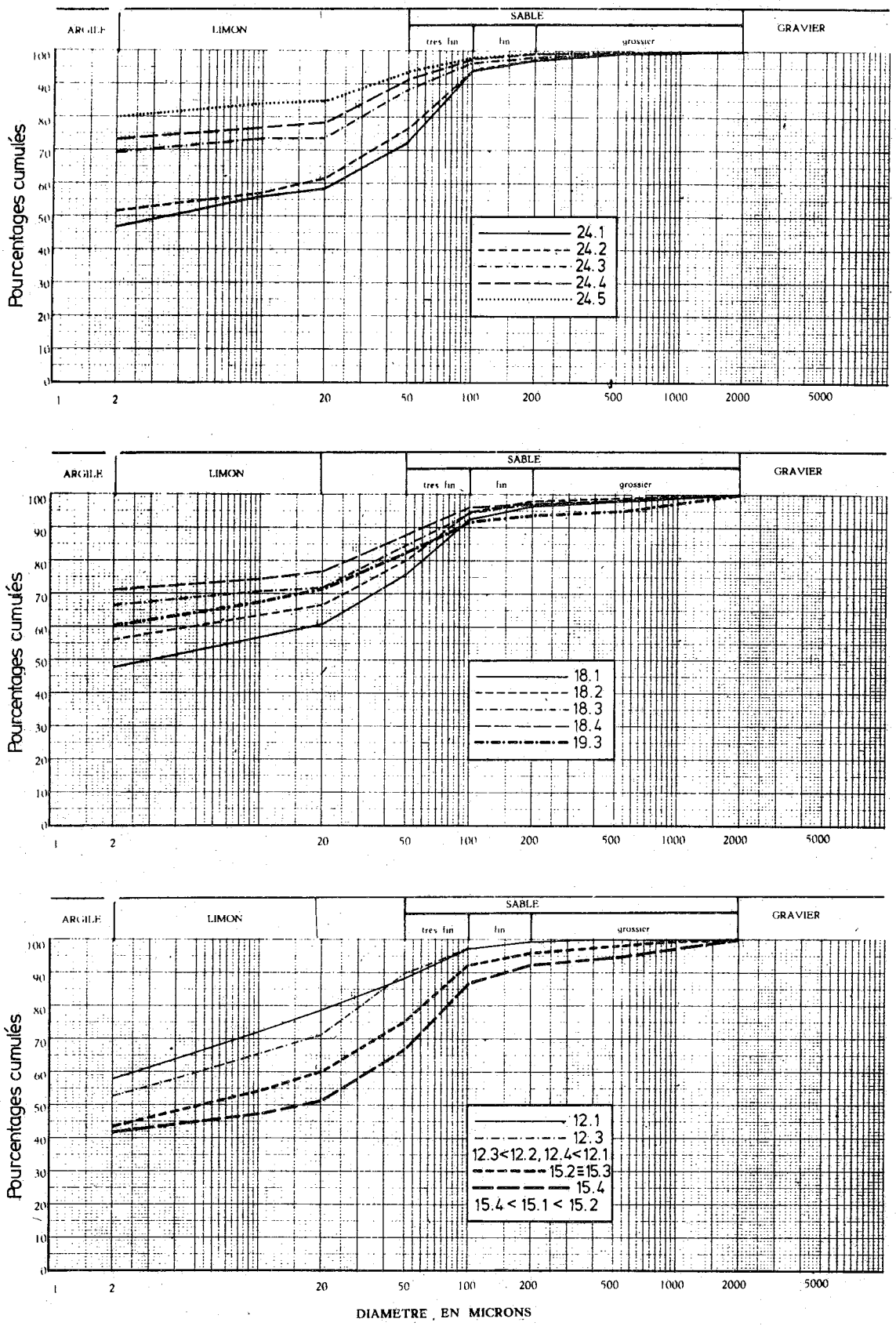


FIG. 46 : Courbes granulométriques (suite) - glacis de pente (24 et 18), glacis-cône (15) et cuvette (12).

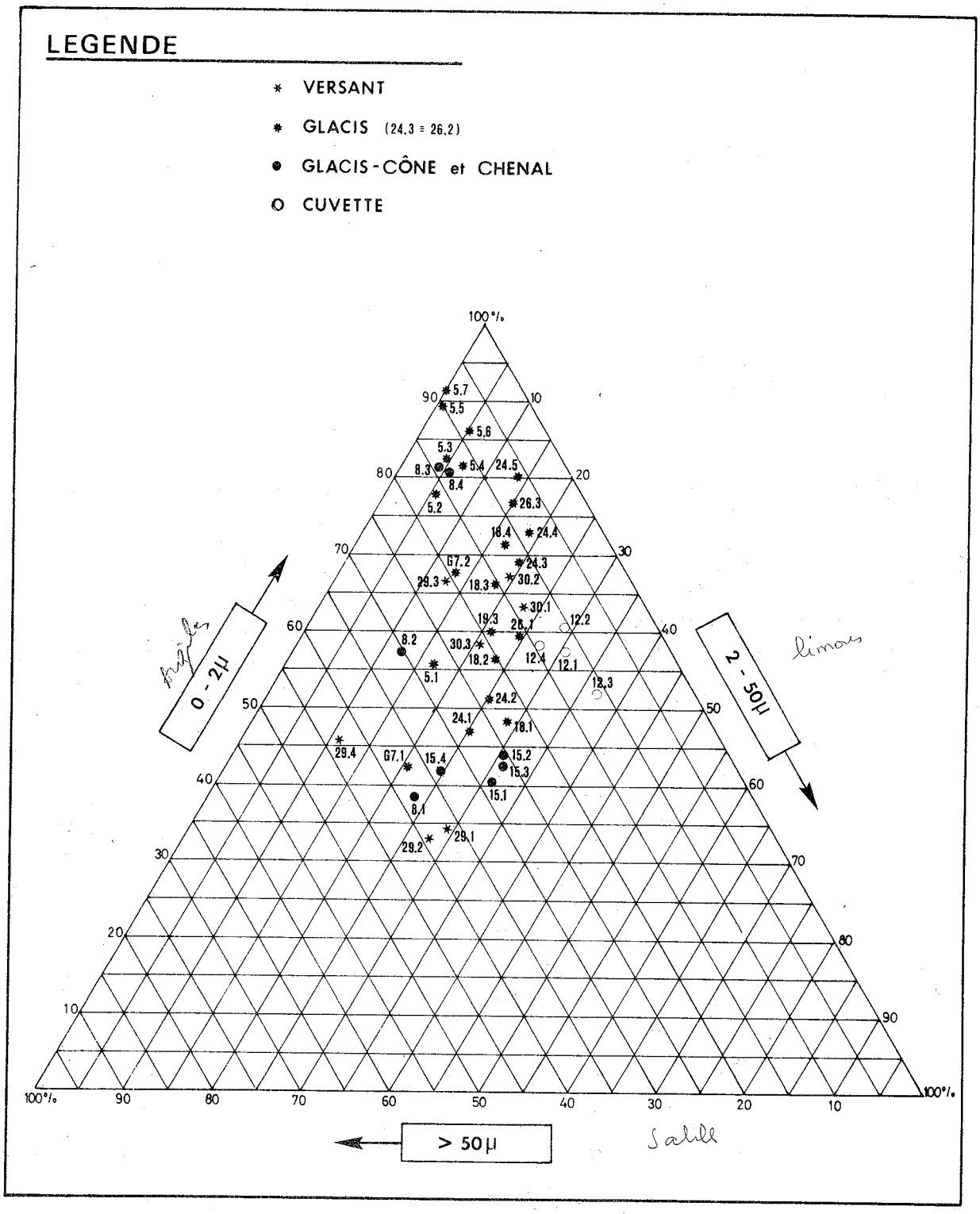


FIG. 48 : Diagramme triangulaire des textures (formations meubles colorées).

COURBES GRANULOMETRIQUES

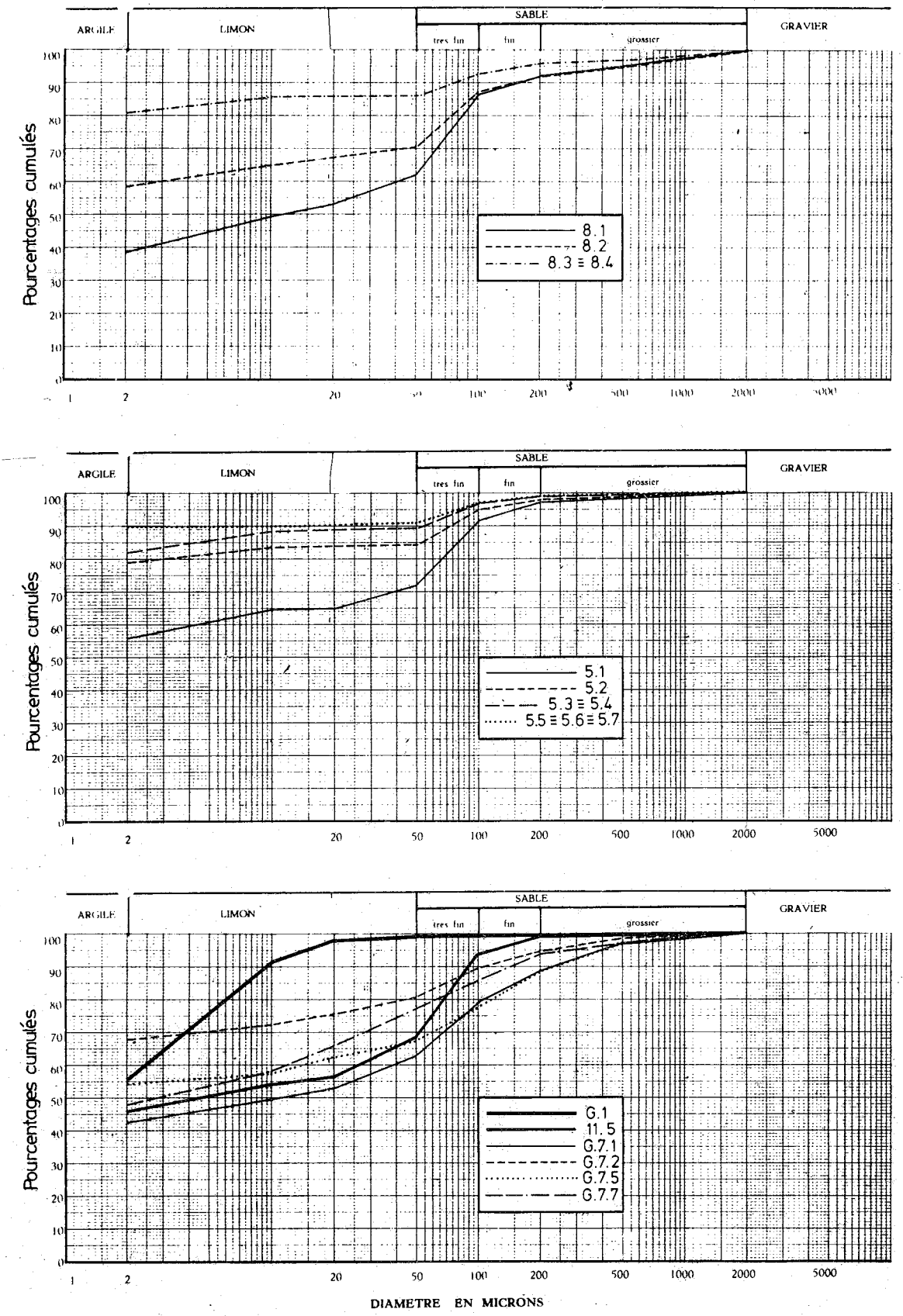


FIG. 47 : Courbes granulométriques (suite) - chenal (8), glacis de plateau (5), milieu d'accueil (G1, G7 et 11.5).

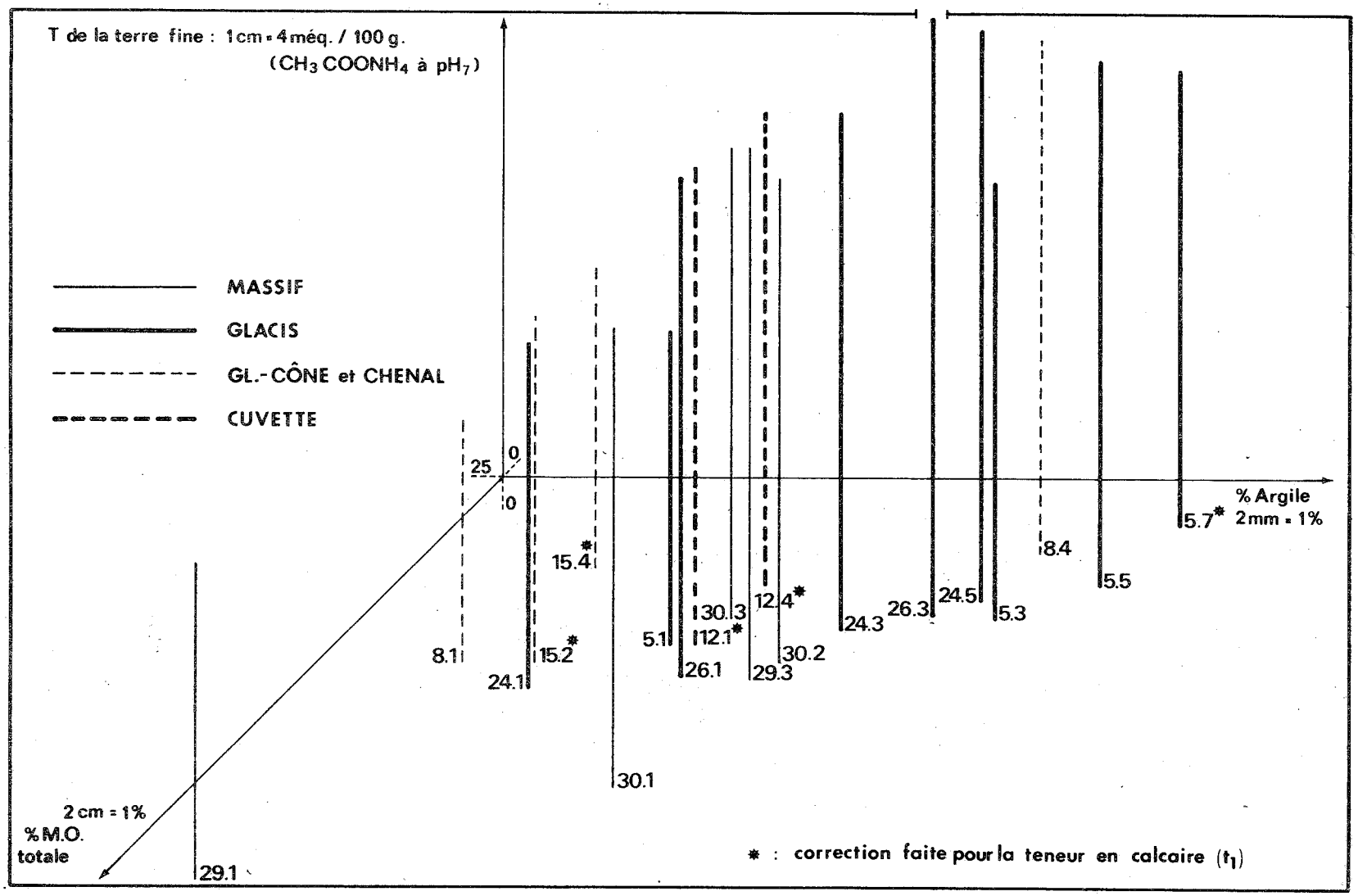


FIG. 49 : La capacité d'échange cationique (T1) de la terre fine en relation quantitative avec les constituants colloïdaux.

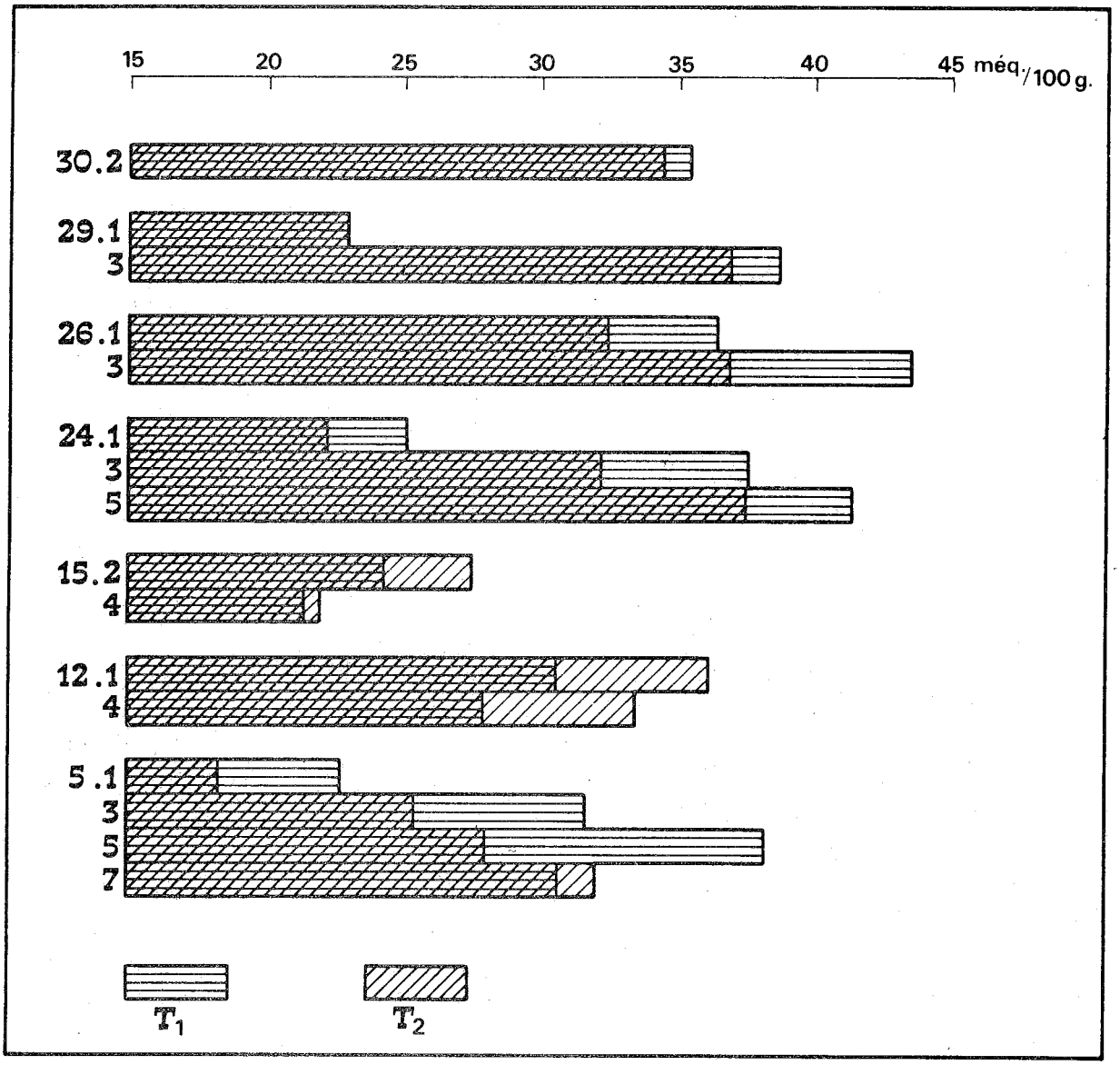


FIG. 50 : Capacités d'échange cationique (T1 = CH_3COONH_4, T2 = $BaCl_2$) et tendance de leur rapport.

- l'étude des résultats granulométriques montre que :
  . les textures, comprises entre les limons argilo-sableux et les argiles lourdes, confirment l'homogénéité du profil 30 et l'hétérogénéité du profil 29 (Fig. 44 et 48) observées sur le terrain (cf. 7.3.1.),
  . la courbe cumulative de l'échantillon 29.4 (Fig. 45) peut être retenue comme un stade de référence dans la désagrégation des argilites (observation des sables au binoculaire et C.E.C. élevée pour la texture),

. les courbes du profil 30 et celles de l'échantillon 29.3 (même couleur que 29.4) donnent l'impression d'une altération en place assez poussée, car le matériau est non trié et le pourcentage des particules supérieures à 100 microns est relativement faible à négligeable ; mais, cette interprétation est en fait à tempérer par la morphologie des profils et/ou par le mélange des minéraux argileux (cf. 9.2.3.1°) pour s'accorder finalement mieux avec la définition d'un remaniement limité,
. par comparaison, les courbes des échantillons 29.1 et 29.2 sont hybrides et témoigneraient, à la fois, de cette altération pour la partie supérieure et d'un appauvrissement très net en particules fines pour la partie inférieure,

- la détermination des éléments totaux fait ressortir :
  . des teneurs en potassium, magnésium et aluminium potentiellement élevées,
  . un gradient vertical plus grand dans les résultats du magnésium qui se répercute dans les rapports Mg/K (Fig. 51, groupe I) et se traduit par une satellisation graphique de l'échantillon 30.3 vers la tendance élevée,
  . des quantités de calcium total, qui nettement inférieures à celles du potassium et du magnésium, correspondent très largement à la forme échangeable,
  . une plus nette différenciation des profils par les quantités de phosphore total qui soulignent ainsi, semble-t-il, la variation lithologique reconnue notamment dans la charge et qui suggèrent l'éventualité d'un enrichissement par la végétation de l'échantillon 29.2 (turn-over),
  . une pauvreté singulière en aluminium de l'échantillon 29.1 qui se traduit par sa satellisation graphique vers les rapports Al/Fe bas,

- les différentes méthodes d'extraction du fer, à l'exception de celle au pyrophosphate, permettent de constater que :
  . la turbidité n'est pas étroitement liée à la rubéfaction même si, présentement, l'échantillon le plus rubéfié (29.3) de l'unité offre la plus riche suspension en fer,
  . les courbes d'extraction cinétiques (Fig. 53) obtenues pour les échantillons 30.3 et 29.3 indiquent par leurs brisures que les structures des minéraux sont vraisemblablement altérées par le réactif, alors que la

UNITES	N°	ELEMENTS TOTAUX									Rapports		Fe							Al		Rapports × 100	
		Na	K	Mg	Ca	Mn	P_2O_5	Fe t.	Al t	Si	Mg/K	Al/Fe	susp.	pyro.	ox.	Ox_1	Ox_2	OxD	DCB	ox.	OxD	Fe OxD	Al OxD
		méq/100 g				mg/100g		%					mg/100 g					%		mg/100g	%	Fe t	Al t
MASSIF	30.1	7,3	56,0	69,1	36,3	42	75	4,9	10,0	24,3	1,23	2,04	17	19	136	-	-	2,7	2,1	186	0,5	55	5,0
	2	6,2	60,7	85,7	25,9	42	61	4,8	10,1	-	1,41	2,10	20	55	-	-	-	2,2	-	-	0,6	46	5,9
	3	7,5	62,9	102,3	47,9	46	56	5,1	11,7	24,2	1,63	2,29	20	29	150	654	1546	1,8	2,2	193	0,6	35	5,1
	29.1	9,4	40,5	53,4	29,9	70	88	4,2	7,3	28,3	1,32	1,74	9	11	101	496	1124	2,5	1,7	123	0,3	60	4,1
	2	8,5	60,7	68,1	35,4	57	110	5,6	12,2	-	1,12	2,18	28	38	-	-	-	3,4	-	-	0,6	61	4,9
	3	8,7	63,2	84,7	34,2	65	91	5,5	13,1	24,0	1,34	2,38	35	28	164	883	2126	3,6	2,6	257	0,6	65	4,6
	4	8,8	62,6	77,0	32,3	87	90	5,9	12,5	-	1,23	2,12	0	23	-	-	-	3,9	2,7	-	0,6	66	4,8
GLACIS DE PENTE ET DE PIEDMONT	26.1	7,0	42,8	69,9	50,5	58	106	5,8	9,6	-	1,63	1,66	tr	10	-	-	-	3,1	2,5	-	0,5	53	5,2
	2	6,2	44,8	73,0	39,3	43	95	6,7	11,0	-	1,63	1,64	tr	14	-	-	-	3,5	-	-	0,6	52	5,5
	3	5,2	60,7	86,6	43,8	44	113	7,5	12,4	-	1,43	1,65	tr	17	-	972	1605	3,9	2,9	-	0,6	52	4,8
	24.1	8,3	42,2	52,9	33,2	78	84	4,4	7,7	29,9	1,25	1,75	16	7	104	592	1184	2,5	2,0	140	0,3	57	3,9
	2	7,5	43,7	63,6	-	79	86	4,8	7,7	-	1,46	1,60	31	14	-	-	-	2,8	-	-	0,4	58	5,2
	3	5,7	52,7	74,3	31,9	48	89	6,6	10,6	26,5	1,41	1,61	42	18	216	1027	2007	3,6	3,4	245	0,5	55	4,7
	4	4,6	55,5	82,0	32,2	41	86	7,0	11,3	-	1,48	1,61	43	17	-	-	-	3,6	-	-	0,6	51	5,3
	5	4,2	57,4	92,1	62,6	39	111	7,1	12,4	23,5	1,60	1,75	0	10	225	964	1876	3,6	3,0	268	0,6	51	4,8
	18.1	7,7	41,0	56,5	30,4	76	82	4,4	7,8	-	1,38	1,77	10	-	-	-	-	2,4	-	-	0,4	55	5,1
	2	6,9	42,9	62,0	31,0	64	83	4,9	8,8	-	1,45	1,80	10	-	-	-	-	2,8	-	-	0,4	57	4,6
	3	5,1	47,0	70,6	31,3	51	80	5,9	10,4	-	1,50	1,76	34	-	-	-	-	3,2	-	-	0,5	54	4,8
	4	5,1	49,8	86,5	42,5	52	84	6,5	11,6	-	1,74	1,78	0	-	-	-	-	3,3	-	-	0,6	51	5,2
GLACIS-CONE	15.1	10,0	43,1	56,8	77,0	61	93	3,8	8,0	-	1,32	2,11	tr	8	-	-	-	2,2	-	-	0,4	58	5,0
	2	9,2	42,4	55,7	107,8	62	99	3,8	8,3	29,5	1,31	2,18	0	11	92	203	614	2,3	1,7	119	0,4	61	4,8
	3	9,1	43,2	50,9	84,6	62	84	3,7	7,7	-	1,18	2,08	tr	14	-	-	-	2,1	-	-	0,4	57	5,2
	4	8,4	40,7	50,9	54,2	36	63	3,5	7,3	29,5	1,25	2,09	tr	13	96	-	-	2,3	1,8	97	0,4	66	5,5
CUVETTE	12.1	8,1	40,9	75,5	338,2	63	93	3,6	8,1	23,7	1,85	2,25	0	8	103	153	586	1,5	1,0	155	0,4	42	4,9
	2	7,9	39,0	76,6	358,7	45	89	3,1	7,7	-	1,96	2,48	0	10	-	-	-	1,5	-	-	0,4	48	5,2
	3	8,6	36,9	77,7	386,8	40	88	3,4	7,4	-	2,11	2,18	0	18	-	-	-	1,4	-	-	0,4	41	5,4
	4	9,6	34,9	75,7	423,6	37	76	3,4	7,1	23,7	2,17	2,09	0	13	83	136	751	1,4	0,9	109	0,3	41	4,2
CHENAL	8.1	10,1	42,5	43,5	21,1	94	90	3,3	6,5	31,6	1,02	1,97	16	17	80	419	726	2,0	1,3	100	0,3	61	4,6
	2	8,1	51,0	58,8	34,6	89	105	4,7	9,3	-	1,15	1,98	35	47	-	-	-	2,7	-	-	0,5	57	5,4
	3	6,0	64,4	87,9	32,5	52	109	6,4	12,7	-	1,36	1,98	65	45	-	-	-	3,2	-	-	0,7	50	5,5
	4	11,2	69,5	95,5	54,8	88	98	5,7	13,3	24,1	1,37	2,33	37	13	96	445	652	3,3	2,4	227	0,7	58	5,3
GLACIS DE PLATEAU	5.1	8,8	54,1	56,2	21,5	63	98	4,4	8,9	28,5	1,04	2,02	23	22	97	231	743	2,5	1,8	138	0,4	57	4,5
	2	7,8	65,9	75,5	29,9	51	126	5,6	11,7	-	1,15	2,09	50	24	-	-	-	2,9	2,4	-	0,5	52	4,3
	3	21,6	68,9	83,6	52,0	46	124	5,7	12,4	25,2	1,21	2,18	64	16	138	685	1373	3,2	2,6	205	0,5	56	4,0
	4	15,3	70,4	82,9	38,9	45	125	5,8	12,8	-	1,18	2,21	57	26	-	700	1400	2,7	2,5	-	0,6	47	4,7
	5	16,9	72,1	89,1	52,2	45	122	6,3	13,1	23,6	1,24	2,08	40	12	168	760	1454	3,4	2,3	241	0,6	54	4,6
	6	7,9	70,1	92,7	47,4	39	135	6,4	13,6	-	1,32	2,13	3	19	-	694	1414	3,3	2,2	-	0,6	52	4,4
	7	5,6	64,1	88,7	212,1	45	107	5,8	12,1	22,8	1,38	2,09	2	15	100	487	1082	2,7	1,8	178	0,5	47	4,1

TABLEAU 12 : Les indices complémentaires de la matière minérale.

courbe de l'échantillon 29.1 exprime, par son tracé tendu, la relativement faible mobilité d'une forme complexable qui ne serait pas totalement extraite (complexe résistant),

. pour la même raison, on serait tenté d'exclure l'interprétation des données du fer libre et de son rapport avec le fer total (Fig. 52), mais notons que la réponse du fer dans le profil 29 est à la fois supérieure et plus homogène que celle, croissant de bas en haut, du profil 30 ; c'est-à-dire que, réelle (individualisation plus grande) ou partiellement fictive (fragilité minérale au réactif), elle suppose, pour le moins, une plus grande accessibilité en cet élément.

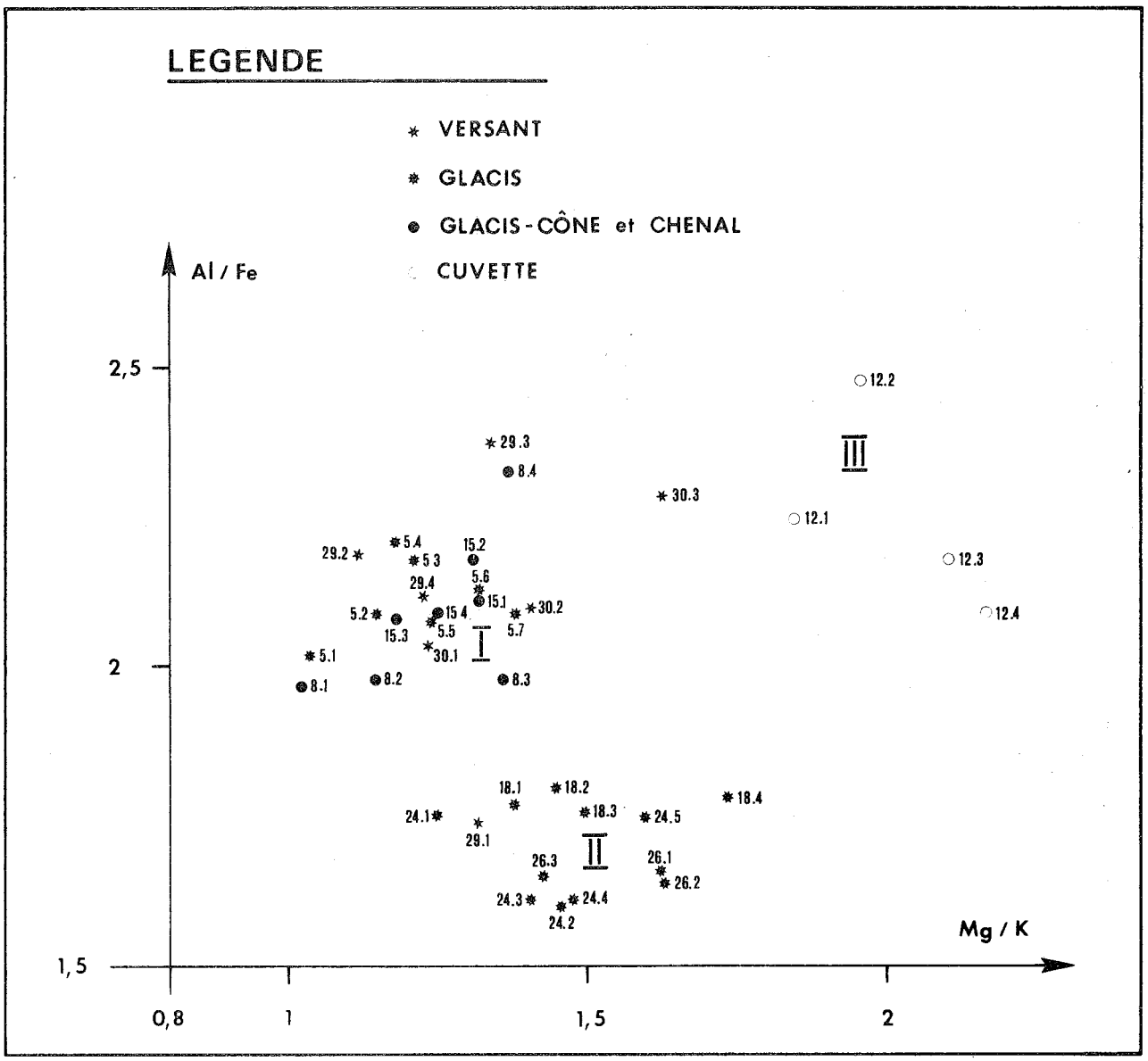


FIG. 51 : Rapports Mg/K et Al/Fe de la terre fine.

b) Les paramètres écopédologiques (Tableaux 11 et 13)

- Les mesures des pH H_2O et KCl, en étant respectivement supérieures et inférieures à 7, témoignent, malgré les apparences dues aux traces de calcaire, d'un milieu calcique entamé par une légère désaturation effective,

- les teneurs en carbone total de l'ordre de 2 à 2,5 % en surface suivies d'une décroissance progressive en profondeur et les rapports C/N sont dans l'ordre de grandeur de ces climats semi-arides et de ces végétations arbustives plus ou moins naturelles du type matorral,

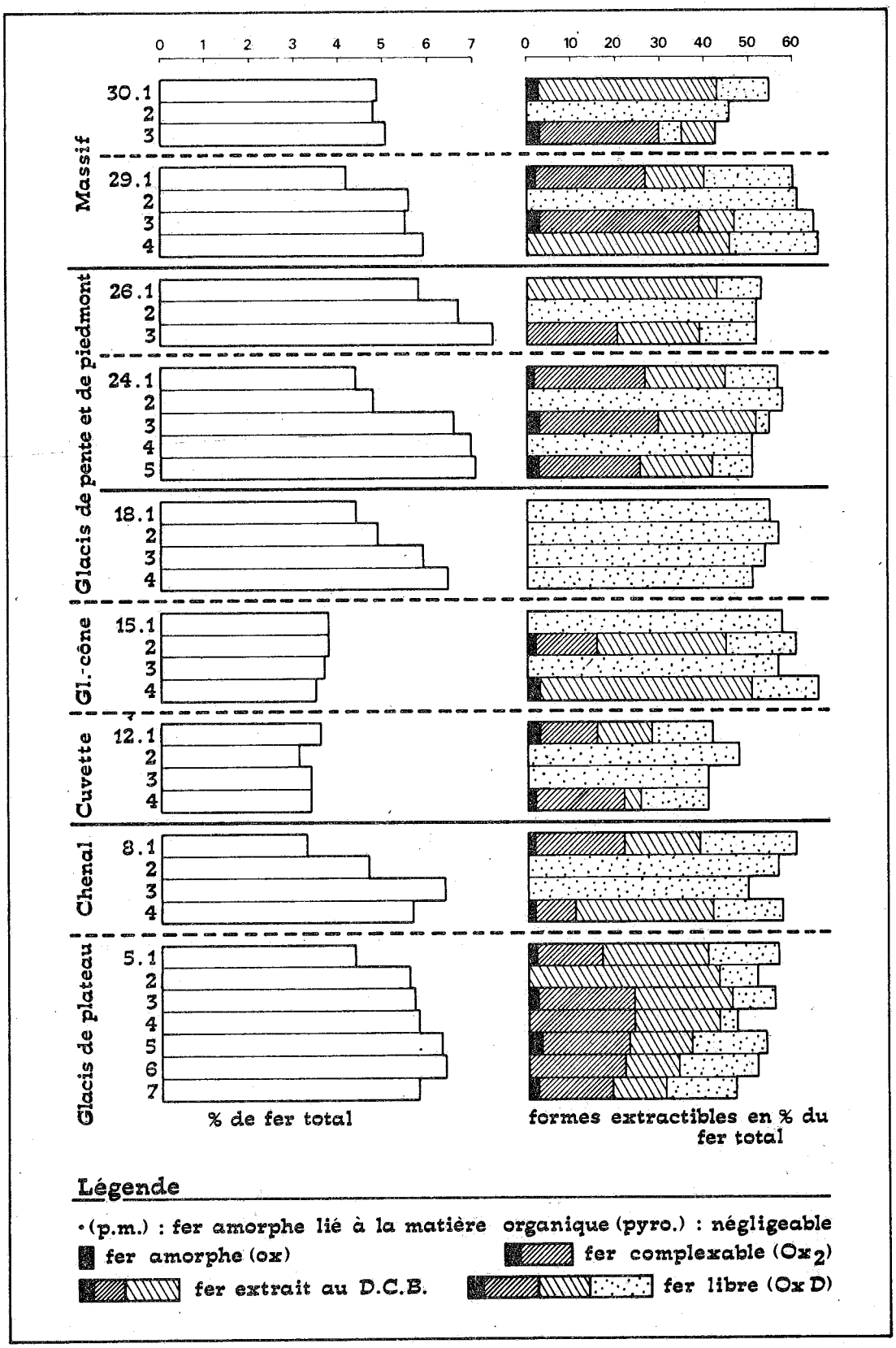


FIG. 52 : Fer total et formes extractibles (Ox2, D.C.B., OxD : formes cryptocristallines et cristallines) ; l'absence de figuré signifie que la mesure n'a pas été faite.

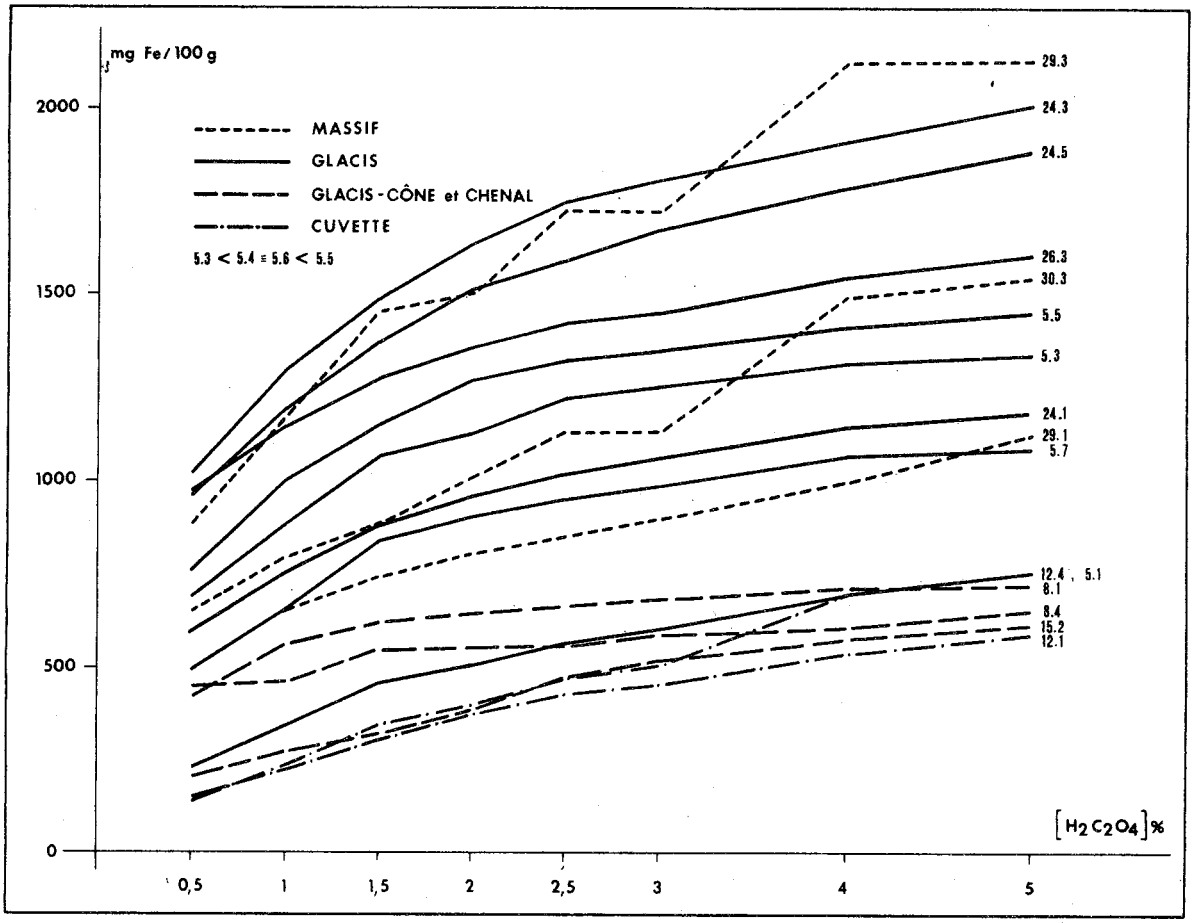


FIG. 53 : Courbes d'extraction cinétique du fer "mobile et complexable".

- la part du fer complexé à la matière organique est en toute logique la plus importante du domaine étudié tout en correspondant, comme le fer amorphe, à une très faible proportion du fer libre,

- le fractionnement de la matière organique (Fig. 54) aboutit à :
  . des taux d'extraction (100-H3) relativement faibles en surface (35 à 38 %) qui prouvent des liaisons étroites avec les constituants minéraux,
  . l'impression, compte tenu de la morphologie de ces échantillons (léger refus d'éléments végétaux sur tamis) et des résultats obtenus en profondeur, qu'une partie de cette matière organique ait établi rapi-

dement ces liaisons pour constituer des humines jeunes et peu évoluées.

c) Le paramètre synthétique de la capacité d'échange cationique (Tableau 11)

L'étude comparée des méthodes donne des résultats approximativement identiques (Fig. 50) pour un même échantillon, tout en proposant un étalement des valeurs entre 24 méq/100 g (échantillon 29.1) et 39 méq/100 g (échantillon 29.3) ; c'est-à-dire entre deux extrêmes qui confirment fort logiquement la primauté quantitative, dans ces domaines, de la fraction minérale sur la fraction organique. Il suffit, pour en être convaincu, de constater (Fig. 49) que les valeurs les plus élevées de ce paramètre sont obtenues pour les plus forts pourcentages en argile et inversément pour les valeurs les plus basses, sans compensation suffisante de la matière organique.

2° SUR LES GLACIS

a) Les paramètres géopédologiques

- Alors que la réponse de l'analyse gazovolumétrique (t1) coïncide avec l'observation "de visu" sur le terrain des accumulations calcaires en profondeur, l'analyse titrimétrique (t2) permet de déceler que la dynamique diffuse du calcaire se poursuit dans la partie supérieure des profils les plus "contrastés" (24, 18 et 5),

- l'étude des résultats granulométriques montre que :
  . les textures sont argileuses (lourdes) tout en étant loin d'être homogènes,
  . le pourcentage des particules supérieures à 100 microns est tout aussi négligeable que dans le profil 30,
  . les courbes cumulatives des profils 24 et 5 sont nettement séparées en deux lots : un lot de surface qui, dans le premier cas, correspond exactement à la charge en éléments grossiers et, dans le second, n'y correspond que partiellement ; un lot de profondeur très riche en argile et caractérisé par un léger gradient au sens à définir,

UNITES	N°	C_t %	Σ AF	AH1	AH2	Σ AH	H1	H2	Σ H 1+2	H3	AH1/AH2	H1/H2	AH/H
			% du carbone total										
MASSIF	30.1	1,8	3,5	5,8	12,6	18,4	4,3	8,8	13,1	65,0	0,46	0,49	1,40
	29.1	2,8	4,9	12,5	8,9	21,4	4,1	7,6	11,7	62,0	1,40	0,54	1,83
	.3	1,1	3,9	6,2	17,4	23,6	6,9	8,9	15,8	56,8	0,36	0,78	1,49
GL. DE PENTE ET DE PIEDMONT	26.1	1,4	1,5	7,0	8,4	15,4	9,7	13,9	23,6	59,5	0,83	0,70	0,65
	24.1	1,2	4,5	18,9	13,2	32,1	4,2	9,9	14,1	49,3	1,43	0,42	2,28
	.4	0,6	2,8	8,6	15,6	24,2	6,2	8,0	14,2	58,8	0,55	0,78	1,70
Gl.-C.	15.1	1,0	4,5	16,6	8,6	25,2	6,7	10,6	17,3	53,0	1,93	0,63	1,46
CUVETTE	12.1	1,1	2,2	18,0	8,6	26,6	5,8	18,7	24,5	46,7	2,09	0,31	1,09
	.4	0,8	1,9	17,8	10,1	27,9	4,0	11,4	15,4	54,8	1,76	0,35	1,81
Gl. Pl.	5.1	0,8	4,7	21,7	16,7	38,4	4,2	7,7	11,9	45,0	1,30	0,55	3,23

TABLEAU 13 : Les indices complémentaires de la matière organique - le fractionnement (Gl.-C. = glacis-cône, Gl. Pl. = glacis de plateau).

. le pourcentage en argile dans ces lots de profondeur est d'autant plus élevé que l'éloignement du massif augmente et conduit à une horizontalisation presque complète des courbes cumulatives 5.5 à 5.7,

. les courbes cumulatives des profils 26 et 18, par comparaison, forment un faisceau intermédiaire dans lequel s'inscrit parfaitement la courbe de l'échantillon 19.3,

. les courbes cumulatives des échantillons 24.1, 24.2, 18.1 et dans une moindre mesure, celle de l'échantillon 5.1, sont identiques et parfaitement parallèles, pour la partie inférieure à 100 microns, voire 500 microns, à celles des échantillons 29.1 et 29.2 du massif ; elles s'inscrivent donc bien dans le prolongement d'une même dynamique qui, compte tenu des valeurs absolues, va cependant en s'atténuant ou plutôt, qui se solde par un bilan migratoire moins déficitaire,

- la détermination des éléments totaux fait ressortir :

. des valeurs absolues en potassium et en magnésium qui sont, dans l'ensemble, nettement plus importantes sur le glacis de plateau que sur ceux de pente et de piedmont ; mais aussi, des rapports Mg/K qui, tout en étant toujours à l'avantage du magnésium, le sont davantage

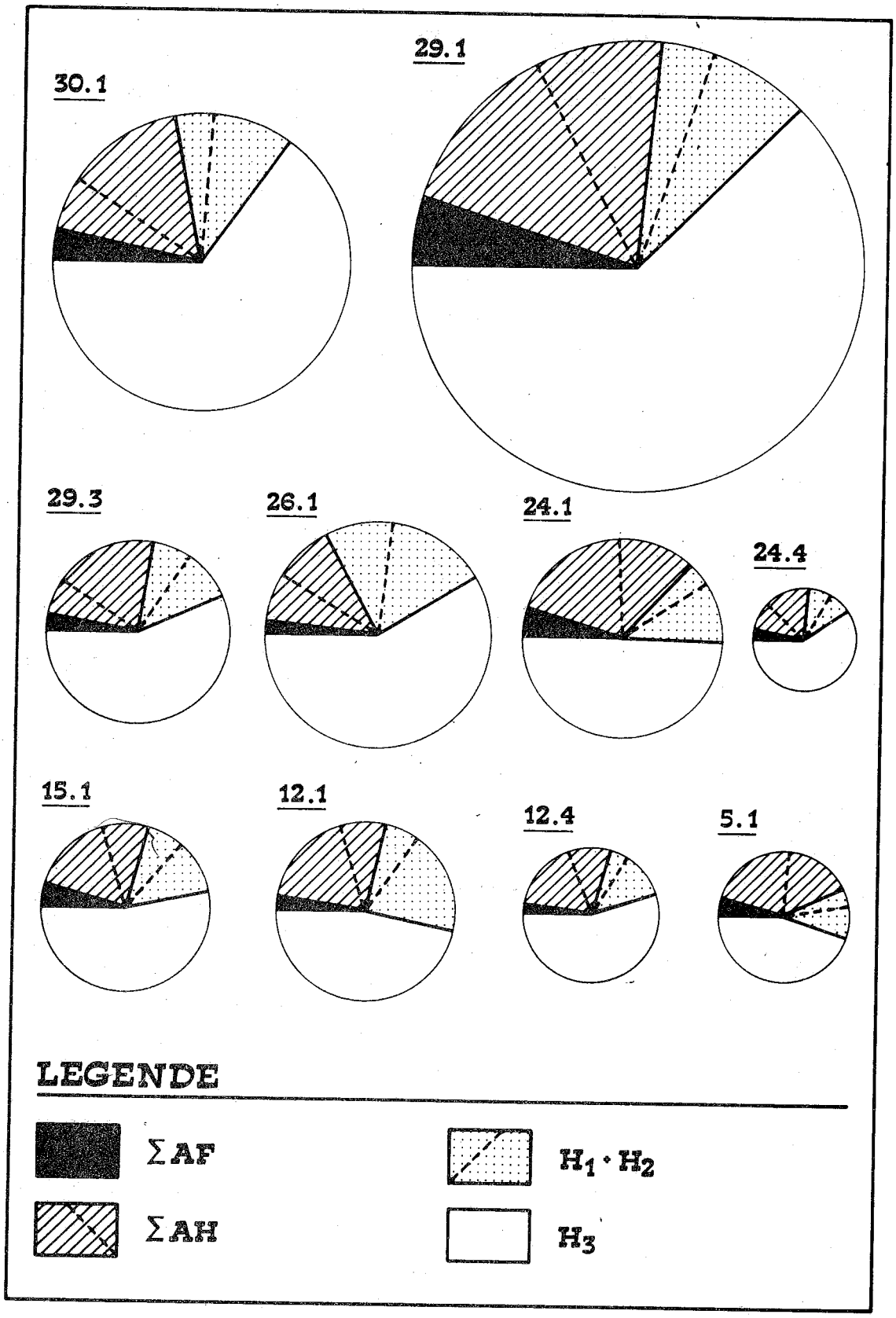


FIG. 54 : Représentation synthétique du fractionnement de la matière organique ; le diamètre est proportionnel à la teneur en carbone total déterminée par la méthode de WALKLEY BLACK.

dans la seconde situation que dans la première. Variations qui, par comparaison avec le massif et rapportées aux pourcentages en argiles, semblent beaucoup plus résulter d'un comportement relatif réciproque de ces deux éléments que de la dynamique tranchée de l'un d'eux et qui, somme toute assez faibles, annoncent plus des modifications que de réelles différences minéralogiques,

. des teneurs en phosphore total qui, en soulignant, par des résultats supérieurs, la frange de contact avec les accumulations calcaires (échantillons 26.3, 24.5, 18.4 et 5.6) et les effets de la (re)carbonatation (échantillon 26.1), permettent de présumer l'existence d'une forme calcique (confirmée par le fractionnement), mais qui font aussi ressortir, dans ce domaine aux pratiques agricoles mal connues, le glacis de plateau (profil 5) sans qu'il y ait un comportement particulier du fer à y déceler,

. des pourcentages en aluminium, qui assez étroitement "corrélés" avec ceux en argile, et des rapports Al/Fe, qui semblables sur le glacis de plateau à ceux obtenus dans le massif, permettent de conclure à un très léger enrichissement relatif en fer sur les glacis de piedmont et de pente ; c'est-à-dire, en fait, de distinguer deux grands groupes d'échantillons (groupes I et II) dans cette unité considérée jusqu'à présent comme assez homogène,

- les différentes méthodes d'extraction du fer permettent de constater que :

. la turbidité n'est pas non plus étroitement liée à la teneur en fer total ou à l'une de ses fractions mais plus simplement au contexte d'un milieu qui amorce une légère désaturation (plus fortes différences de pH) ; en effet, toute trace de calcaire se traduit par une absence de suspension,

. l'extraction cinétique aboutit à l'obtention de courbes qui, tout en ayant la même allure générale sont diversément étagées ; ce qui signifie que la forme du fer extraite est intrinsèquement la même pour tous les échantillons, mais que les quantités en sont très différentes en valeurs absolues sans qu'on sache exactement si le calcaire y intervient pour plus qu'un simple effet de neutralisation du réactif (échantillons 5.7 et 26.3),

. en fait, ces quantités de fer complexable (Ox2), proportionnellement à celles du fer total, attestent la plus grande mobilité de cet élément dans la partie moyenne des profils (ventre) et sur les glacis de pente ; ce qui, confondant certainement plusieurs causes, confirme, au moins partiellement, la discrimination longitudinale du rapport Al/Fe,

. les rapport FeOxD/Fet s'inscrivent aux environs de 50 % en surface et décroissent irrégulièrement en profondeur, tandis que l'extraction au D.C.B. renforce les impressions recueillies ci-dessus et suggère une proportionnalité ou une sorte de chromatographie dans l'individualisation ; en même temps elle force, effectivement, à s'interroger sur la valeur exacte d'interprétation de la méthode combinée (TAMM et DEB).

b) Les paramètres écopédologiques

- Les mesures des pH H_2O et KCl corroborent l'interprétation déjà faite pour le massif, mais en dépassant respectivement les valeurs de 8,0 et de 7,0, soulignent aussi la reconnaissance des accumulations calcaires et vraisemblablement, de la saturation réellement complète,
- les teneurs en carbone, en voisinant le pourcent et en décroissant régulièrement avec la profondeur, sont caractéristiques d'un milieu cultivé, mais cette décroissance qui se marque aussi avec l'éloignement du massif n'explique pas les petites nuances de couleurs faites sur le terrain. Il en va de même du rapport C/N ; sauf dans le profil 18 où sa constance, voire son augmentation, enregistre, complémentairement aux observations de terrain et aux courbes granulométriques, les effets évidents d'une recharge colluviale régulière et du caractère vertique un peu plus marqué,

- le fractionnement de la matière organique aboutit à :
  . des taux d'extraction et des rapport AH/H qui, en atteignant respectivement les valeurs de 55 % et de 3,23, montrent qu'une maturation plus lente va de pair avec l'éloignement du massif,
  . des rapports AH1/AH2 et H1/H2 qui soulignent une intensification de l'humification avec la profondeur et une liaison plus marquée des humines avec les argiles qu'avec le fer ; la part de cet élément étant cependant plus importante dans ce cas que dans celui de la cuvette,

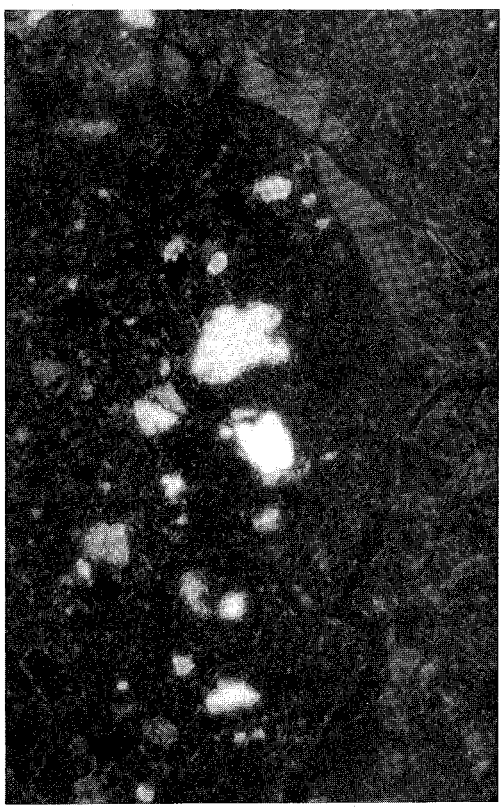
. la difficulté d'interpréter les indices de l'échantillon 26.1 qui doivent résulter des effets combinés de remaniements plus marqués et de la (re)carbonatation.

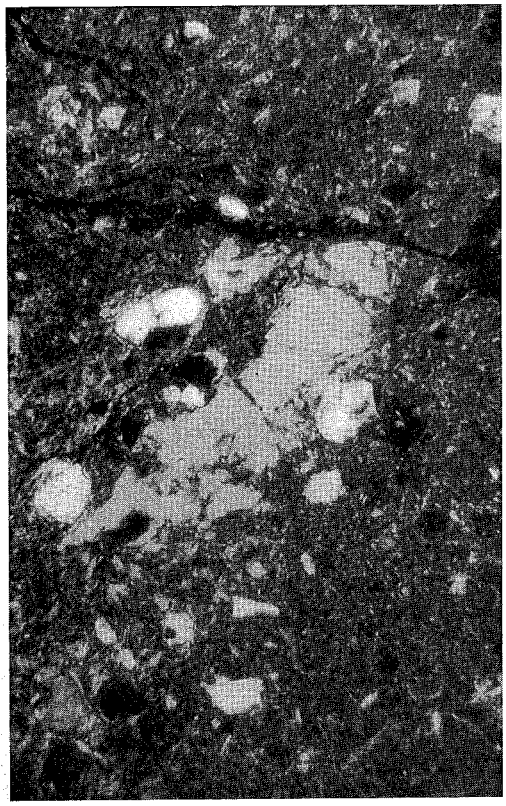
c) Les paramètres synthétiques de la capacité d'échange cationique et de la micromorphologie

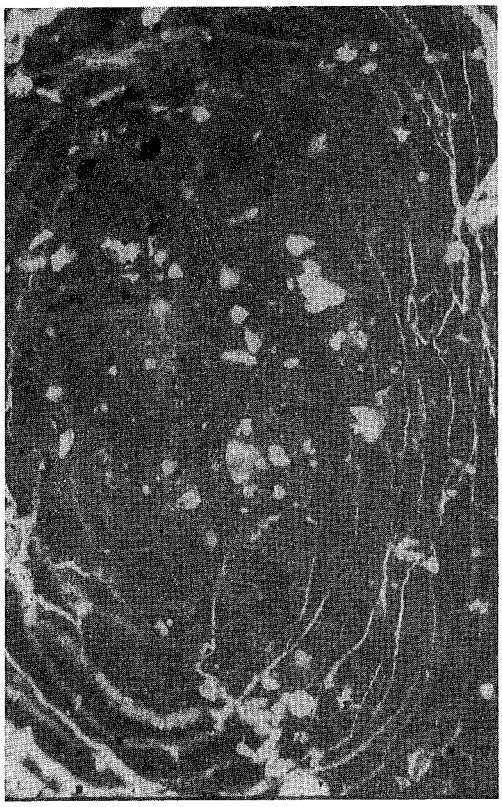
- Bien que dans l'ordre de grandeur de celles déjà citées, les mesures de la capacité d'échange cationique, en augmentant avec la profondeur et en diminuant avec l'éloignement du massif, font supposer que, si effectivement la fraction minérale y intervient pour une large part (analyse granulométrique), la qualité de cette fraction est au moins aussi importante que sa quantité. D'ailleurs, cette appréciation est amplement confirmée par l'évolution du rapport Kéch/T1 (non repris) et surtout par le rapport T1/T2 qui, supérieur à l'unité pour autant qu'il n'y ait pas de calcaire (échantillon 5.7), suggère la dominance d'une argile du type illitique fixatrice d'ion monovalent ; et ce, de façon encore plus marquée dans le profil 5 que dans les profils 26 et 24, comme déjà pressenti par le rapport Mg/K,

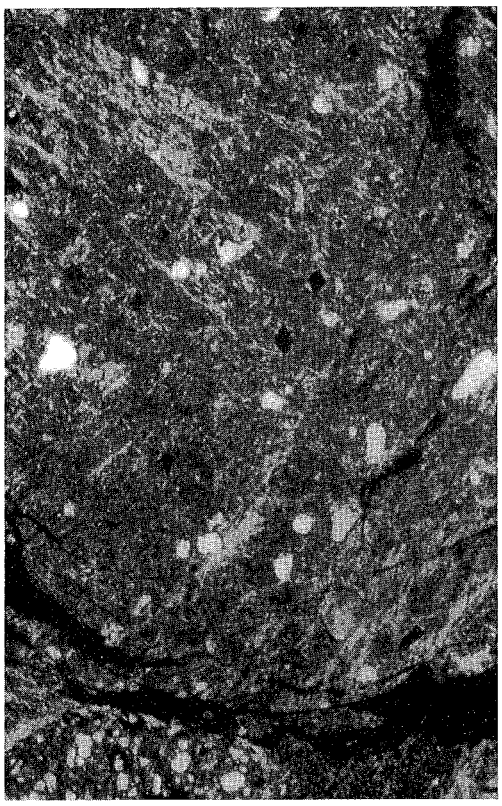
- la description micromorphologique du profil 5 résume parfaitement l'ensemble de nos observations des lames minces et permet d'en hiérarchiser un certain nombre :

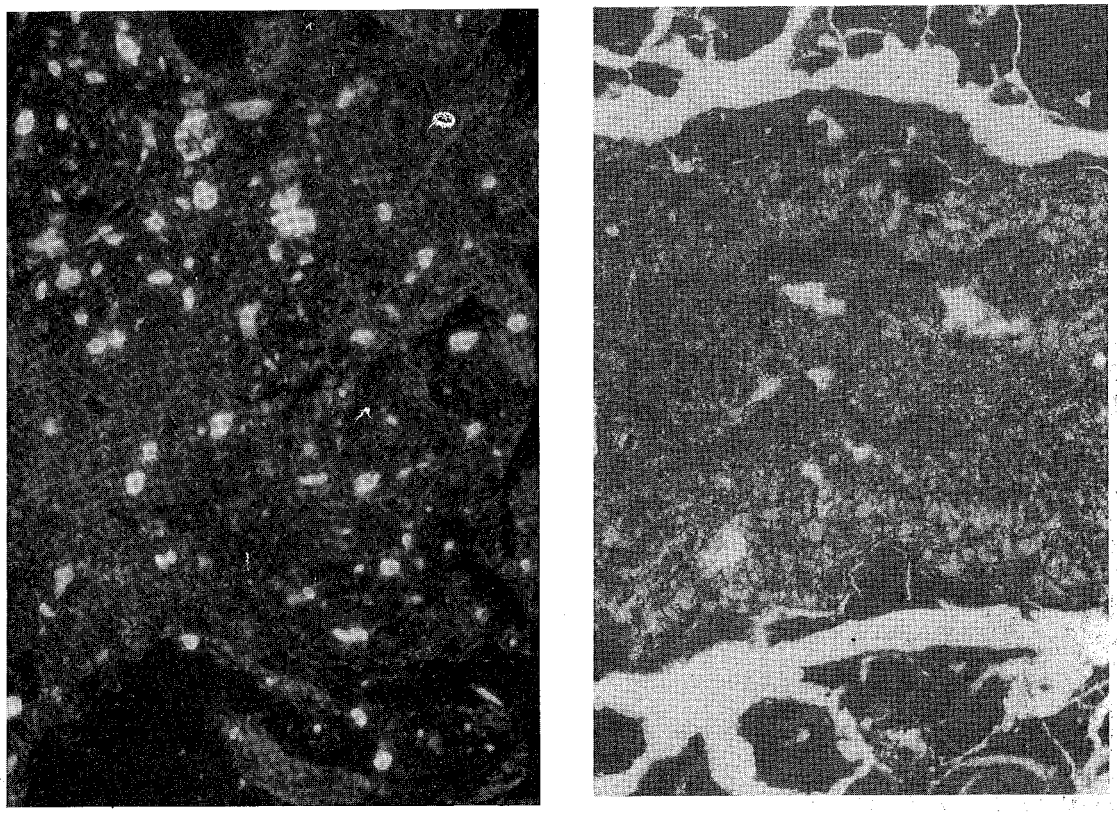
. le fond matriciel de l'échantillon 5.1 est caractérisé par une juxtaposition, voire une interpénétration (quelques grandes fentes interplasmiques), de plages agglomeroplasmiques (très sableuses) brunes et de plages porphyrosqueliques (moins sableuses) à plasma brun rouge dont les séparations sont principalement vo-squel-insépiques à lattisépiques par endroits ; séparations squelsépiques qui sont plus voyantes autour des rares lithoreliques (grès ferrugineux) qu'autour des grains de quartz. Le plasma brun rouge est parcouru par un réseau polygonal de fentes (skew-planes) et présente (déjà) des traits variés comme des petites papules (jaune clair en lumière polarisée), des concentrations ferrugineuses rouges de formes, dimensions et nettetés variables, l'un ou l'autre subcutane, une belle figure d'argilane microlité en cupule,











Etude micromorphologique des formations meubles colorées - légende des micrographies (de gauche à droite et de haut en bas).

26 : échantillon 5.3, Lumière Polarisée, 85 X, Virgation fragmentée d'argilane

27 : échantillon 5.3, LP, 85 X, papules (jaune paille)

28 : échantillon 5.5, Lumière Naturelle, 42 X, structure elliptique desquamée

29 : échantillon 5.5, LP, 42 X, séparations bimasépiques

30 : échantillon 5.5, LP, 42 X, convergence de trois fonds matriciels différents

31 : échantillon 5.6, LN, 42 X, fragment micritique carié d'accumulation calcaire qu'enrobent des cutanes

. à l'exception de quelques inclusions agglomeroplasmiques du type reconnu ci-dessus, la matrice de l'échantillon 5.3 est presqu'exclusivement porphyrosquelique ; le plasma y est uniformément brun rouge et les séparations vont du motif vo-squel-insépique au (clino-bi)masépique ou ce que VERHEYE (1973), en rappelant KUBIENA, a décrit comme fluidal. Les concentrations ferrugineuses sont, dans l'ensemble, plus grandes et peut-être plus rondes, mieux délimitées et bien revêtues ; mais à ce niveau, ce sont une virgation "rupturée" d'argilane (craze plane) (Photo 26) et de grandes papules jaune paille (classées parmi les glaebules) (Photo 27) qui retiennent l'attention,

. l'échantillon 5.4 est peu différent du précédent, si ce n'est la rareté relative et surtout la faible dimension des papules, la présence d'un petit nodule de micrite et l'apparition furtive d'une organisation caractéristique des échantillons sous-jacents,

. cette organisation très particulière de l'échantillon 5.5 correspond à de grandes structures elliptiques qui se desquament (Photo 28) et qui recoupent un motif de séparations franchement bimasépiques (Photo 29) ; notons quelques rares lithoreliques, concentrations ferrugineuses et nodules micritiques (petits, difformes et cariés) qui, pour certaines ou certains sont fracturés. De plus, attirons l'attention sur la singulière convergence, en un endroit de la lame, de trois fonds matriciels porphyrosqueliques différents (à plasma brun très sableux, brun rouge dominant peu sableux et rouge moyennement sableux) (Photo 30),

. le fond du profil (deux échantillons), un peu moins sableux, est marqué par une nette diminution des concentrations ferrugineuses et une augmentation progressive (nombre et taille) des nodules micritiques (Photo 31) dans une structure de plus en plus déchiquetée ; tout en présentant des séparations plasmiques plus simples (insépiques), par endroits, dans l'échantillon 5.7,

. par comparaison, le même développement s'observe dans le profil 18, bien que l'ensemble soit plus sableux, le plasma plus rouge sombre et que tous les traits particuliers soient moins marqués,

. à l'opposé, l'échantillon 19.3, au plasma brun beige asépique, est riche en accumulations micritiques (rarement cariées) tout en présentant quelques belles concentrations ferrugineuses.

3° SUR LES GLACIS-CONES ET DANS LES CHENAUX

a) Les paramètres géopédologiques

Ces analyses confirment particulièrement bien les observations de terrain puisque le profil 15, reconnu homogène, apparaît légèrement calcaire (± 3 %) et uniformément argileux avec des courbes cumulatives qui se confondent en même temps qu'elles s'inscrivent entre celles des échantillons 29.1 (29.2) et 24.1 (24.2, 18.1) ; tandis que le profil 8, reconnu hétérogène, présente des textures comprises entre le limon argileux et l'argile lourde, c'est-à-dire des courbes cumulatives qui, en s'identifiant diversement à celles reconnues sur les glacis, montrent que les notions de continuité ou de discontinuité lithologique peuvent être ressenties différemment à travers l'analyse granulométrique de la terre fine et les éléments grossiers (échantillons 8.1 et 8.2 par exemple).

Cependant, s'il est vrai que ces résultats se répercutent sur ceux des éléments totaux uniformément minima dans le profil 15 et décroissant vers la surface dans le profil 8, les rapports calculés sont toujours semblables à ceux du massif et du profil 5 (groupe I) ; similitude qui n'empêche pas de souligner une nette césure dans le profil 8 avec l'échantillon 8.4 qui était déjà apparu comme un cas particulier sur le terrain.

Parallèlement, la teneur particulièrement basse en fer complexable (Ox2) de cet échantillon (couleur = 10 YR 5/8) montre que les faibles résultats ne sont pas exclusivement propres aux milieux calcaires ou liés à de faibles teneurs en fer total, mais bien à une forme d'individualisation plus résistante ; pour illustrer cela, il suffit d'opposer le lot de courbes de cette rubrique, basses sur l'ordonnée et subhorizontales, ou plus surement celles des échantillons 8.4 et 15.2 aux rapports FeOxD/Fet élevés, voire même à ceux du D.C.B. (non présentés).

b) Les paramètres écopédologiques

Tous ces paramètres, pour peu qu'ils aient été mesurés, expriment, à la fois, une juste confirmation de commentaires déjà faits et le caractère souvent intermédiaire de ces profils. C'est particulièrement vrai pour le fractionnement de l'échantillon 15.1 qui, enregistrant des rapports en acides humiques et en humines respectivement proches de ceux de la cuvette et des formations d'amont, aide à dégager plus ou moins bien, dans les autres domaines, les influences respectives du calcaire (entièrement actif dans ce cas précis), du fer et des argiles sur le comportement de la matière organique.

c) Le paramètre synthétique de la capacité d'échange cationique

Ces mesures sont bien dans l'ordre représentatif des textures reconnues ; mais détail intéressant, le rapport T1/T2 de l'échantillon 15.2 est nettement inférieur à l'unité, comme ce sera aussi le cas dans la cuvette.

4° DANS LA CUVETTE

a) Les paramètres géopédologiques

- Alors que les deux méthodes (t1 et t2) caractérisent un profil plus calcaire en profondeur qu'en surface pour une différence de mesures assez constante, on peut retenir un ordre de grandeur général de 15 à 20 %,

- l'étude des résultats granulométriques montre que :
  . les textures correspondent à la transition argile - argile lourde,
  . les courbes granulométriques se fondent ensemble et s'apparentent très fortement à celle de l'échantillon 19.3 bien qu'elles soient légèrement plus redressées,

- la détermination des éléments totaux fait ressortir :
  . des teneurs relativement basses en potassium, fer et aluminium même une fois corrigées pour le calcaire,

. des écarts extrêmes entre les teneurs en potassium et celles en magnésium qui se traduisent par les rapports Mg/K les plus élevés de tous ceux calculés (groupe III) et ce, encore plus en profondeur qu'en surface,

. des rapports Al/Fe qui renforcent cette tendance verticale tout en signifiant un indice (d'altération) dans la continuité du massif et des glacis-cônes.

- les différentes méthodes d'extraction du fer permettent de constater que :

. l'individualisation du fer y est la plus faible de cette reconnaissance tout en y étant d'importance et d'une forme proportionnellement plus complexable que sur les glacis-cônes ou dans les chenaux,

. pour des concentrations dépassant la neutralisation (essai à l'acide oxalique à 0,1 %), cette forme est aussi plus importante en profondeur qu'en surface.

b) Les paramètres écopédologiques

- Bien que la présence du calcaire soit plus forte que dans le profil 15, les mesures de pH H_2O et KCl n'évoluent plus guère et plafonnent respectivement à 8,3 et 7,5,

- le pourcentage de la matière organique relève du même ordre de grandeur que ceux d'autres unités éloignées du massif mais se maintient davantage en profondeur en même temps que le rapport C/N y augmente,

- le fractionnement de la matière organique aboutit à :

. constater des taux d'extraction comparables à ceux obtenus pour les glacis,

. la prédominance des fractions AH1 et H2 qui supposent l'existence d'une évolution complexe (à double vitesse ?) dans laquelle le calcaire et/ou le calcium doivent prendre une part importante ; liaisons calciques déjà invoquées par BOTTNER (cf. 3.3.2.2°), mais il reste à vérifier si, en recourant à un prétraitement acide, nous favoriserions l'obtention d'une fraction AF1 avant de pouvoir opposer, comme POUGET (1980), "carbonatation" et maturation,

. une diminution de la fraction H1 qui ne permet vraisemblablement pas d'expliquer l'évolution du fer complexable par la matière organique,
. penser que de faibles variations de C/N doivent plutôt être interprétées par des différences de complexation que de minéralisation proprement dite ; le calcul étant d'ailleurs réalisé au départ de valeurs très faibles.

c) Le paramètre synthétique de la capacité d'échange cationique

Bien que les effets du calcaire aient déjà été ressentis sur les glacis (échantillon 5.7), le fait d'enregistrer des rapports T1/T2 nettement inférieurs à l'unité et par là, de réaliser une représentation graphique tronquée, souligne aussi la dualité quantité-qualité de la fraction argileuse et suggère la participation plus importante de minéraux glonflants fixateurs d'ions bivalents ; la part grandissante du magnésium dans la garniture cationique, en profondeur, abondant dans ce sens.

8.3. LES FAITS ESSENTIELS ET LEUR INTERPRÉTATION

De ces analyses pédologiques et de leurs principaux paramètres (Tableau 14), on peut retenir que :

- d'une façon générale :
  . le calcaire, de diffus à figuré, est omniprésent dans le paysage et crée une ambiance physico-chimique qui fait se cotoyer les milieux calcaires, calciques et très légèrement désaturés ; la forme diffuse attestant, du moins qualitativement, d'une dynamique actuelle au départ des roches calcaires du Crétacé et/ou des accumulations calcaires, mais non de la décarbonatation préalable de toutes les formations identifiées,
  . certains paramètres écopédologiques (Ct et C/N) augmentent parfois légèrement avec la profondeur en relation évidente avec le colluvionnement et/ou des caractères vertiques prononcés alors que d'autres comme le taux d'extraction des matières humiques paraissent plutôt augmenter avec

l'éloignement du massif, la teneur en calcaire ou peut-être (?) tout simplement une intensification agricole,

PARAMETRES			MASSIF (30-29)	GLACIS		CHENAL (8)	GL.-CONE (15)	CUVETTE (12)
				PIEDM. - PENTE (26-24-18)	PLATEAU (5)			
GEOPEDOLOGIQUES	$CaCO_3$ (t1)		tr.	tr. + acc. calc.		tr.	2 - 4	13 - 20
	texture		LAS - ALO	A (Ask) - ALO		LA - ALO	A	A
	ELEMENTS TOTAUX	$\frac{Mg}{K}$	1,1 - 1,6	1,3 - 1,7	1,0 - 1,4	1,0 - 1,4	1,2 - 1,3	1,9 - 2,2
		$\frac{Al}{Fe}$	2,0 - 2,4	1,6 - 1,8	2,0 - 2,2	2,0 - 2,3	2,1 - 2,2	2,1 - 2,5
	FER	$\frac{FeOxD}{Fet}$	35 - 66	51 - 58	47 - 57	50 - 61	57 - 66	41 - 48
		Ox2	1,1 - 2,1	1,2 - 2,0	0,7 - 1,5	0,7	0,6	0,6 - 0,8
ECOPEDOLOGIQUES (SURFACE)	pH H_2O		7,4 - 7,5	7,6 - 8,1	7,4	7,5	8,1	8,1
	$CaCO_3$ ac.		-	-	-	-	2 (3)	9 (12)
	MATIERE ORGANIQUE TOTAL	C	2,0 - 2,6	1,1 - 1,4	1,1	1,2	1,2	1,1
		$\frac{C}{N}$	12 (9)	8-11 (8-13)	10 (4)	11 (9)	11 (9)	11 (14)
	MATIERE ORGANIQUE FRACTIONNEMENT	100-H3	35 - 38	41 - 51	55	-	47	53
		$\frac{AH1}{AH2}$	0,5 - 1,4	0,8 - 1,4	1,3	-	1,9	2,1
		$\frac{H1}{H2}$	0,5	0,4 - 0,7	0,6	-	0,6	0,3
SYNTHETIQUES	C.E.C.	T1	23 - 39	25 - 44	23 - 38	18 - 37	22 - 24	28 - 31
		$\frac{T1}{T2}$	1,0 - 1,1	1,1 - 1,2	1,0 - 1,4	-	0,9 - 1,0	0,8 - 0,9
	MICROMORPHOLOGIE		-	Juxtapositions matricielles, plasma brun rouge, séparation (bi)masépiques, papules, desquamation, nodules $CaCO_3$ à la base.		-	-	-

TABLEAU 14 : Domaines reconnus, principales investigations pédologiques réalisées et fourchettes des valeurs obtenues - les unités sont celles des tableaux de référence - ( ) pour les tendances en profondeur - FeOxD/Fet x 100 - Hr, pH KCl, S, (Na, Ca, Mn, P_2O_5, Si) totaux, Fe susp., Fe pyro., Feox, Alox, AlOxD : p.m.

- dans le massif, une altération assez poussée (65 % d'argile, individualisation et rubéfaction du fer) et une richesse en éléments chimiques permettent d'appréhender d'étroites relations amont-aval au travers des indices mesurés ou calculés,

- sur les glacis :
  . les profils présentent le trait commun d'une discontinuité texturale qui, sans toujours épouser exactement celle marquée par les éléments grossiers, confirme la continuité physique de la forme ; continuité que renforce encore la coïncidence entre les plus grandes quantités de particules fines et l'éloignement du massif,
  . ces mêmes profils présentent une variation dans les indices d'altération qui suggère, au contraire, une légère différenciation chimique de la forme, car la dynamique du fer est plus marquée sur les glacis de piedmont et de pente que sur celui de plateau ; complémentairement, plus un rapport T1/T2 élevé est à mettre en relation avec un rapport Mg/K faible, plus le domaine argileux semble du type illitique,
  . les variations verticales et longitudinales dans et entre les formations rubéfiées de profondeur ne dépassent jamais plus de 10 % en argile et que les profils "se nourrissent" de nodules arrachés aux accumulations calcaires sous-jacentes,
  . des nombreux traits observables dès la surface de cet ensemble et plus spécialement sur le plateau, les séparations (bi)masépiques dominent, que des mélanges de matrices se font sentir jusqu'en profondeur et que la base du manteau colluvial (Ask) est soulignée par de grandes papules jaune paille,
  . le fer libre y paraît principalement intégré au plasma (brun rouge) sous une forme qui semble (crypto)cristalline par analyse chimique, mais qui n'interdit pas quelques belles concentrations (ventre mesuré ?),

- sur les glacis-cônes et dans les chenaux, la tendance s'inscrit entre les apports homogènes (profil légèrement calcaire à texture équilibrée) plus ou moins directement hérités des formations les moins différenciées d'amont et ceux hétérogènes qu'ont réalisés diverses phases de colluvionnement torrentiel ou de remaniement très localisé (profil non calcaire variablement riche en éléments grossiers) ; la première identification présentant des propriétés physico-chimiques intermédiaires à celles des deux grands milieux décrits par ailleurs,

- le profil de la cuvette, avec ses textures (apparemment) peu triées et ses concentrations en calcaire et en magnésium, offre l'image d'un milieu confiné propice aux argiles gonflantes ; les rapports d'éléments totaux y soulignent cependant une différenciation verticale qui renforce une première appréciation physique de terrain et le fer, en y étant à peine plus (ré)intégré aux structures minéralogiques, lie assez étroitement cette pédogenèse noircissante à celle(s) de l'amont,

- sous l'angle des analyses :
  . la meilleure façon d'apprécier la dynamique du fer ou plutôt de recouper les différentes unités morphopédologiques (couleurs comprises) a été de comparer l'extraction cinétique avec la méthode du fer libre (préférence au D.C.B. à contrôler) ; la forme complexable étant peut-être à mettre en relation avec le régime hydrique et/ou l'activité racinaire,
  . aucun argument n'ayant été déterminant en soi pour saisir une évolution décisive, l'enchaînement des analyses était pleinement justifié pour dépasser les premières et déjà très explicites impressions de terrain ainsi que la confusion qui règne dans la signification des différentes méthodes.

De ces faits principaux, les interprétations suivantes peuvent être dégagées :

- l'évolution physico-chimique de la terre fine s'inscrit entre la voie ferro-potassique d'un milieu lixiviant de transit (glacis) et la voie "calcaro- ou calci-magnésienne d'un milieu de confinement dans la cuvette,

- les fortes teneurs en argile sur les glacis proviennent plus du triage et de la microdivision (argilifraction) par le transport avec de probables mais timides transformations minéralogiques (argilisation) que du lessivage (illuviation) vertical ou oblique pris au sens strict d'une migration préférentielle ; interprétation qui s'accorde donc mieux avec celle de LAMOUROUX, PINTA et BOULEAU (cf. 4.3.2.2°), pour s'accommoder partiellement de celle de RUELLAN (cf. 3.2.2.4°) et diverger de celle de

la plupart des micromorphologistes (cf. 3.3.2.2°). La succession ou la synergie des événements proposés dans ce milieu quasi saturé étant celle-ci :

. altération (mécanique et probablement chimique) des accumulations calcaires avec incorporation de débris à la base des profils,
. atterrissement d'un matériau de plus en plus allochtone avec mélange et enrobage d'éléments structuraux (micropédiques) pour finir par les apports d'éléments grossiers ; les papules attestant d'une ancienne croûte de glaçage avant cette dernière phase,
. tensions physiques internes induisant un lissage d'argile par compression sur les sables et le squelette ; stress cutanes pouvant cacher d'autres origines mineures (complex cutans),
. fauchage du profil par un lent mouvement de masse (cisaillement de la structure prismatique),
. individualisation argileuse de surface prouvant le caractère parfois très ponctuel de ce qu'on attribue à l'illuviation,

- le matériau rubéfié en étant plus franchement tronqué sur les glacis de pente que sur le glacis de plateau y est finalement mieux conservé, mais au stade reconnu, la rubéfaction donne à hésiter entre des conditions à peine différentes de celles favorisant d'autres traits d'évolution et un caractère en voie d'effacement par mélange (remaniement) ou changement de forme (régime hydrique) du fer,

- l'isohumisme, somme toute peu marqué dans ce cadre, résulte de l'effet diversement cumulé du colluvionnement (morphologie), du type de complexation organo-minérale (physico-chimie) et de l'agriculture (anthropisme),

- un parallélisme discret dans les événements morphopédologiques laisse entrevoir une hétérogénéité des terres noires.

Dès lors, on peut finalement conclure que le comportement de la matière organique est davantage une conséquence qu'une cause de l'ambiance physico-chimique et que les formations meubles rubéfiées ne peuvent être confondues avec un horizon Bt (argillic) traditionnellement défini, car sans valeur quantitativement explicative même s'il répond aux normes de classifica-

tion ; c'est-à-dire aussi, par l'absurde que les accumulations calcaires ne peuvent constituer un horizon Bca dans le fonctionnement actuel des profils (accessoirement et assez paradoxalement, on n'a jamais cherché à faire de même avec les vertisols). Il reste maintenant à rechercher l'origine de ce qu'on peut néanmoins qualifier de faible diversité chimique et à préciser davantage les relations avec les accumulations calcaires et/ou les milieux d'accueil, c'est-à-dire à approfondir l'étude de la composante minérale par ses aspects cristallochimiques.

CHAPITRE 9

Les techniques de la minéralogie et de la pétrographie

CHAPITRE 9 :

LES TECHNIQUES DE LA MINERALOGIE ET DE LA PETROGRAPHIE

9.1. LE CHOIX DES ANALYSES ET DES METHODES

9.1.1. L'ETUDE DE LA FRACTION SABLEUSE

1° LES MINERAUX DENSES TRANSPARENTS (Tableau 15, Fig. 58)

Comme annoncé dans le chapitre précédent, cette étude est dictée par le souci de qualifier le pourquoi des résultats chimiques, c'est-à-dire, en premier lieu, de garantir toujours plus l'origine des matériaux par la reconnaissance (éventuelle) d'associations minérales, d'en suivre les évolutions (altération, mélange) et de contrôler les apports extérieurs au domaine circonscrit. Malheureusement, les faibles quantités de sables obtenues (granulométrie) limitent quelque peu les espoirs de cette technique dont les données, comme tant d'autres, ne constituent qu'un indice supplémentaire à intégrer au raisonnement global pour en dégager la réelle valeur démonstrative.

a) Préparation

La séparation densimétrique, au moyen du bromoforme (densité d = 2,82) a été réalisée par une centrifugation de 5 minutes à 3.500 tours dans des godets coniques en plastique de 10 ml ; soit sur les fractions granulométriques regroupées de 50 à 200 microns pour tous les échantillons qui ont été soumis à cette première analyse, soit par prétraitement direct (H_2O_2, HCl) avec tamisage pour les autres. Après congélation, les godets sont sciés ou fondus à mi-hauteur et chaque demi-glaçon est versé sur un papier filtre, puis

lavé à l'acétone (le mélange bromoforme-acétone étant récupéré). Par séchage des papiers filtres, on obtient, en parallèle, les minéraux légers et les minéraux denses ; seuls les seconds ont été déterminés.

Au début, les échantillons ont été montés entre lame et lamelle avec du baume du Canada en suivant le procédé traditionnel qui présente l'inconvénient de figer la préparation et de donner lieu à de nombreux indéterminés. Ensuite, LACROIX, géologue minéralogiste à la Chaire des Sciences de la Terre qui est l'auteur de cette identification, a adopté la technique d'une simple mise en suspension dans de l'huile de clou de girofle (indice de réfraction n = 1,53), sur une lame non couverte, qui permet, le cas échéant, de repiquer un minéral et de lui faire subir des tests complémentaires.

b) Expression des résultats

Les résultats sont présentés en ne reprenant individuellement que les pourcentages des minéraux transparents les plus représentés ; tous les autres étant regroupés, parce qu'il serait doublement excessif d'exploiter la trace d'un minéral issu d'un échantillon pauvre en sable. Parmi les minéraux cités et d'après les renseignements théoriques de PARFENOFF, POMEROL et TOURENQ (1970), on peut d'emblée opérer une première distinction entre :

- les individus stables et ubiquistes tels que le zircon, la tourmaline et le rutile qui peuvent avoir été repris plusieurs fois au cours de cycle successifs,

- et les individus plus facilement altérables tels que l'épidote, l'anatase, les grenats et les hornblendes qui se retrouvent rarement dans les sédiments anciens.

Compte tenu de ces constatations et des pourcentages obtenus, nous avons tout particulièrement porté notre attention sur les proportions relatives, exprimées dans un diagramme triangulaire (Fig. 58), du zircon, de la tourmaline (qui peut contenir 15 % de FeO pour les variétés ferrifères ou 10 à 14 % de MgO pour les variétés magnésiennes) et de l'épidote (qui peut contenir jusqu'à 17 % de Fe_2O_3).

2° LA MORPHOSCOPIE (p.m.)

Quelque peu embarrassé par les proportions (relativement) élevées en épidote dans certaines formations meubles colorées, nous avons jugé prudent de mener une rapide reconnaissance au binoculaire sur la fraction 200-500 microns pour conclure (en relation avec l'allure même des courbes granulométriques) que, les grains ronds mats étant peu nombreux, l'hypothèse d'un apport éolien pouvait être limitée. Par contre, les échantillons du Continental supérieur présentent quelques grains de quartz bypiramidés (cassés) qui sont généralement interprétés comme les témoins d'une néogenèse, s'il faut en juger par l'étude photographique présentée par Le RIBAULT (1975).

9.1.2. L'ETUDE DE LA FRACTION ARGILEUSE (Tableau 16, Fig. 55 à 57, 59 et 60, Photo 32 à 35)

1° L'INTERET

Contrairement à la réserve émise pour les sables, les forts pourcentages obtenus pour la fraction argileuse en font le témoin privilégié de l'histoire des matériaux ; d'autant plus que cette fraction, comme l'ont souligné de nombreux auteurs, réalise l'indicateur, par excellence, de la fertilité potentielle des terres, en présidant largement aux phénomènes de sorption, de structuration, de perméabilité ... Toutefois, étant donné que cette fraction est souvent composée d'un mélange de minéraux phylliteux cristallins, d'oxyhydroxydes amorphes ou cristallins, de matières organiques et de complexes organo-minéraux qui tous ont leur intérêt mais interfèrent entr'eux en cours d'analyse, ces composants ont fait l'objet, sinon d'une étude spécifique propre à chacun, du moins d'un certain nombre de déterminations complémentaires tendant à donner une idée assez précise de l'ensemble. Parmi ceux-ci, l'étude des minéraux phylliteux permet généralement de reconnaître la part due aux héritages, aux transformations par soustraction (dégradation) ou par addition (agradation) et aux néoformations pour employer les termes proposés par MILLOT (cf. 3.2.4.2°).

2° LE PRELEVEMENT

Cette opération a été menée le plus simplement possible, soit au départ de la terre fine broyée à 2 mm pour les échantillons meubles, soit au départ du produit de l'écrasement sous une presse hydraulique pour les échantillons cohérents, en recourant au minimum de dispersants, qui, de l'avis général des spécialistes en la matière, affectent plus ou moins sévèrement la structure des minéraux phylliteux et tout particulièrement celle des interstratifiés[1] rendus plus vulnérables du fait même de l'instabilité de leur motif. Pratiquement, cela revient à signaler que les échantillons non calcaires ont été mis uniquement en suspension dans de l'eau distillée, agités mécaniquement et lavés jusqu'au maintien d'une bonne peptisation naturelle, tandis que les échantillons calcaires (étoilés dans la présentation - ★), ont subi un prétraitement par addition d'HCl.0,1N répétée et contrôlée avec du papier indicateur de pH avant chaque siphonnage et nouvel apport (décroissant en volume vers la fin de la neutralisation).

Une fois la peptisation assurée, les échantillons ont été transvasés dans des allonges d'un litre et le prélèvement de la fraction argileuse a été réalisé en appliquant la formule de STOKES ; c'est-à-dire en respectant le temps de sédimentation pour la dimension désirée à la température et à la profondeur du prélèvement. Un premier volume (tube en U) de 50 ml a été conservé tel quel pour le passage aux Rayons X et au microscope électronique avant que le reste de la suspension ne soit épuisé en 4 jours à raison d'un pipettage quotidien de 200 ml, centrifugé, séché à 50° C et broyé dans un mortier en agate afin de recueillir une poudre qui serve à la détermination de la couleur, à l'analyse thermique différentielle, au dosage du carbone total, à la mesure de la capacité d'échange cationique et au dosage des éléments totaux.

Certes, on peut épiloguer sur le bien fondé de la formule appliquée et donc sur la dimension exacte des particules prélevées mais, il

(1) interstratifiés (adapté de THOREZ et RUISSEAU, 1972) : les interstratifiés sont des ensembles constitués par l'alternance régulière (minéraux interstratifiés) ou irrégulière (édifices interstratifiés) de feuillets appartenant à deux (ou plusieurs) minéraux.

n'empêche que cette pratique a le mérite de pouvoir être reproduite sans grande technicité et donc, d'assurer une certaine comparaison ; ceci d'autant plus que l'essai réalisé au sédigraphe, tel qu'il est repris dans les pages suivantes, suggère que toutes les argiles sont très fines. Néanmoins, cette façon de procéder ne signifie pas que nous ignorons les très nombreuses directives et mises au point proposées par les auteurs (THOREZ et RUISSEAU, 1972 ; STALJANSSENS, 1974 ; ROBERT et TESSIER, 1974) qui concernent le pH d'extraction, les extractifs ou le séchage (lyophylisation) et qui sont parfois contradictoires, mais bien que nous avons voulu éviter, comme auparavant, la voie d'une question spécifique qui dépasserait, à la fois notre compétence (temps, matériel, dextérité) et notre désir de dégager l'aspect pratique des différentes disciplines utilisées plutôt que d'en approfondir une seule.

3° LA COULEUR

En ce qui concerne les formations meubles colorées, la détermination de la couleur de cette fraction avec la charte révèle, par rapport au terrain, un éclaircissement généralisé en value et en chroma avec parfois un timide changement de gammes du 5 YR vers le 2,5 YR ; mais sans qu'il soit possible d'y apprécier l'influence due au séchage et au broyage. Par contre, elle permet de caractériser les roches-mères et les accumulations calcaires par leur partie fine tel que cela apparaîtra dans le dépouillement des données.

4° LES MINERAUX ARGILEUX CRISTALLINS PAR DIFFRACTOMETRIE DES RAYONS X (RX)

De l'avis de MARCOEN (1977), chimiste à la Chaire des Sciences de la Terre qui a attentivement supervisé la réalisation pratique de la diffractométrie RX et discuté les résultats, cette technique est, sans nulle doute, la méthode la plus adaptée à l'étude des minéraux argileux cristallins et à leur détermination semi-quantitative ; technique qui comporte un certain nombre d'étapes, à savoir :

a) Préparation

Les examens RX ont été réalisés en suivant la méthode des "lames orientées" qui consiste à obtenir un dépôt de particules argileuses orientées d'après les plans réticulaires basaux (001) par la sédimentation et l'évaporation de 4 ml de suspension aqueuse sur une lame de verre ; plans réticulaires dont seules les "réflexions" harmoniques ont été enregistrées, au moyen d'un diffractomètre Philipps 1120 équipé d'un spectrogoniomètre vertical PW 1050, en utilisant le rayonnement K $\bar{\alpha}$ du cuivre et en notant la sensibilité.

b) Tests de routine

Pour une première investigation, c'est-à-dire pour apprécier les familles de silicates argileux présents, il est devenu traditionnel de recourir, sur une même lame orientée, aux quatre tests suivants :

- Normal (N), enregistrement obtenu à partir de la lame séchée à l'air sans aucune autre manipulation,

- Glycolé (EG), séjour de 16 h en présence de vapeur d'éthylène-glycole dans un dessicateur sous vide pour provoquer le gonflement de certains minéraux (illite ou chlorite gonflante, smectite, interstratifiés),

- chauffé (Q 300° C), chauffe à 300° C pendant 3 h afin de saisir un stade intermédiaire dans l'instabilité de certains minéraux,

- chauffé (Q 550° C), chauffe à 550° C pendant 4 h 30 dans le but final de différencier les minéraux argileux dont les feuillets restent stables après chauffage de ceux qui sont modifiés dans leur espacement basal ou qui sont détruits.

c) Tests complémentaires

Etant donné la persistance d'une inconnue dans la différenciation des kandites et des chlorites, deux tests complémentaires, qui tombent de plus en plus dans le domaine de l'identification de routine, ont été menés :

- hydrazyne (H), séjour de 16 h en présence de vapeur d'hydrazyne dans un dessicateur sous vide afin de provoquer la migration de la réflexion principale 001 des kandites de 7 à 10,4 Å en maintenant la réflexion 002 des chlorites à 7 Å,

- HCl.4N (HCl), ébullition de la suspension aqueuse et lavage pour détruire les chlorites.

d) Traitements et prétraitements particuliers (p.m.)

Il existe aussi toute une série de tests de saturation visant à différencier les divers types d'argiles ou d'interstratifiés expansibles qui, semble-t-il, n'ont de réelle efficacité que s'ils sont réalisés sur des échantillons débarrassés, au préalable, de leur constituants non cristallins ; ce qui peut entraîner fort loin comme nous y ferons allusion !

e) Fractionnement en classes granulométriques

D'après LELONG et SOUCHIER (1979), la caractérisation globale de la fraction cristallisée inférieure à 2 microns ne permettant pas une estimation suffisante de ses différents constituants (de structure, taille et cristallinité souvent très variables), il faut recourir au fractionnement en classes granulométriques de 0-0,2-0,5-2 microns pour obtenir une meilleure appréciation des espèces présentes dans un mélange argileux complexe. Pour ce faire, nous avions donc complémentairement envisagé de procéder à ce fractionnement par centrifugation, en nous référant à l'abaque de TANNER et JACKSON (1948), quand l'essai annoncé (cf. 8.1.1.6°) au sédigraphe a montré que cette opération n'était pas justifiée, puisque :

- dans le cas des échantillons non calcaires, la quasi-totalité des argiles est inférieure à 0,5 micron (Fig. 55),

- dans le cas des échantillons calcaires, la quasi-totalité des argiles est inférieure à 1 micron sans qu'on ne sache jamais trop bien si le prétraitement de décarbonatation y est bien complet ou s'il n'y provoque pas une fragmentation artificielle.

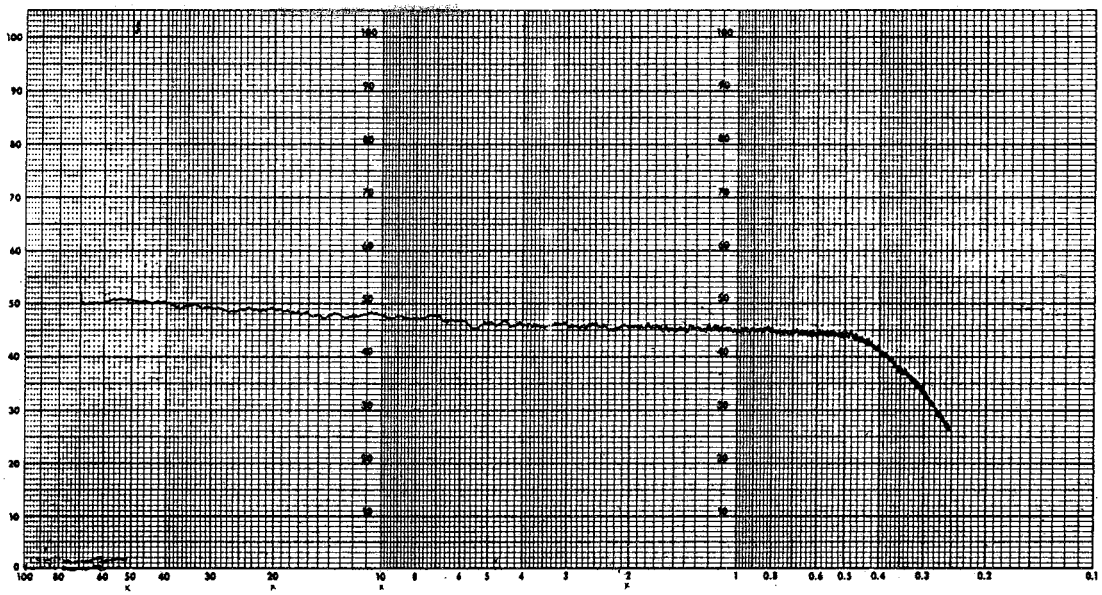


FIG. 55 : Essai d'analyse granulométrique par sédigraphe sur la terre fine (2 mm) de l'échantillon 5.2.montrant que la fraction argileuse (0-2 microns) domine la phase inférieure à 70 microns et que ses constituants y sont de plus très fins (inférieurs à 0,5 micron).

f) Interprétation qualitative des diffractogrammes RX

Compte tenu du fait que :

- le prélèvement dédoublé d'un échantillon calcaire et la comparaison d'un échantillon non calcaire prélevé avec et sans HCl.0,1N donnent des résultats légèrement différents,

- les tests à l'hydrazyne et à l'HCl.4N ont abouti fréquemment à des résultats contradictoires qui font supposer indirectement la présence concomitante de kandites et de chlorites ;

nous avons décidé d'interpréter simplement les diffractogrammes (Fig. 56) en portant principalement l'attention sur les tests de routine : (N), (EG) et (Q 550° C). Ainsi, la reconnaissance des réflexions caractéristiques (pics) et le jeu de la superposition des tests permettent de reconnaître les minéraux suivants :

- des kandites (K) généralement mal cristallisées qui, partageant la réflexion principale 001 non effilée à 7 Å avec celle 002 des chlorites, sont surtout reconnaissables par leur harmonique 002 à 3,58 Å,

- des illites ouvertes (Io), à pic très large et à comportement de smectites, qui sont facilement reconnaissables par leur réflexion 001 à 10 Å au (N), dont le pied gonfle vers les petits angles au (EG) pour redevenir plus ou moins symétrique au (Q 550° C),

- des chlorites (C) qui, partageant leur réflexion 001 à 14 Å avec les smectites, quand elle n'est pas noyée par les interstratifiés, et leur réflexion 002 comme indiqué précédemment, sont surtout reconnaissables par leur réflexion 004 à 3,5 Å qui épaule celle 002 des kandites ; parfois la réflexion à 14 Å se dégage légèrement au (EG) ou au (Q 550° C), mais il semble que ces chlorites soient surtout engagées dans des interstratifiés du type C-(14C - 14S) qui au (Q 550° C) laissent une bande de diffraction entre 12 et 14 Å voire au-delà,

- des smectites (S) qui sont faiblement à très mal cristallisées à en juger au (EG) par leur rapport "vallée/pic" de Biscaye et qui, partageant leur réflexion 001 à 14 Å comme indiqué précédemment, sont surtout reconnaissables par des bandes de diffraction non habituelles (N) entre 14 et 17 Å voire au-delà ; celles-ci doivent être dues à la présence, dans les espaces interfoliaires (MARCOEN, 1979), de substances organiques qui, en préalable d'une étude plus précise, pourraient être oxydées par l'utilisation d'un réactif chimique tel que H_2O_2 ou mieux, par la calcination à basse température (L.T.A.) sous plasma d'oxygène telle qu'elle a été mise au point par MARCOEN (1977),

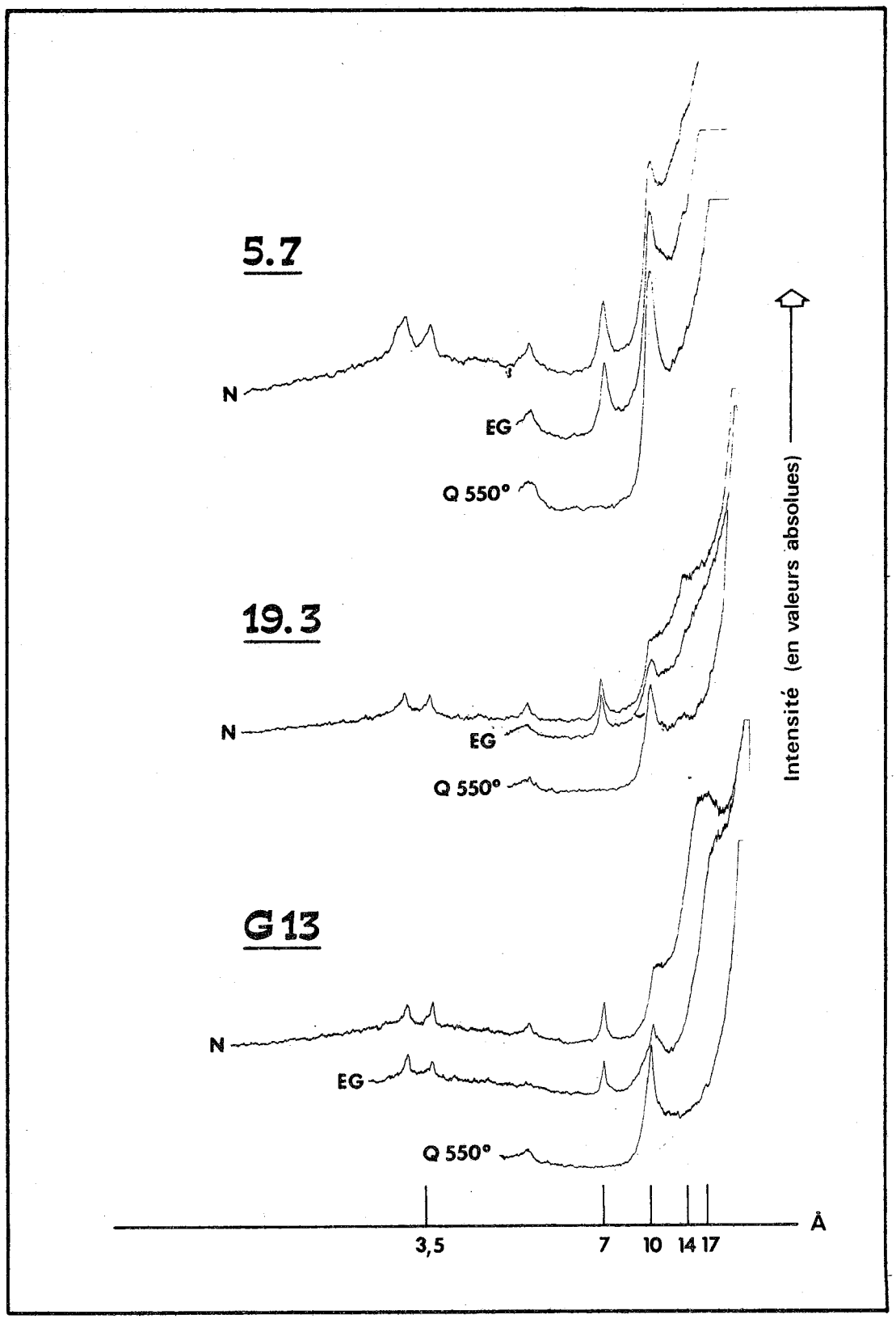


FIG. 56 : Exemples d'enregistrements RX.

- des interstratifiés du type (10-14 S) ou (10-14 S)-14 S qui sont reconnaissables au (EG) par le creusement du bruit de fond entre 10 et 12 Å suivi de son gonflement entre 12 et 17 Å ; la gradation du premier type vers le second marquant les étapes successives de l'altération du réseau illitique vers celui des smectites,

- des palygorskites qui sont plus faciles à diagnostiquer par microscopie électronique à transmission (M.E.T.) parce que, à l'exception de cas extrêmes, leur réflexion à 10,4 Å est difficile à distinguer de celle des illites,

- des vermiculites (p.m.) qui sont toujours difficiles à reconnaître du fait que, quel que soit le test, leurs réflexions se confondent toujours avec celles d'autres minéraux et qui, si elles existent, ne semblent concerner que des traces d'interstratifiés du type (10-14 V) ou (14 C - 14 V).

A ces observations, il faut ajouter :

- une large bande de diffraction entre 3 et 4,8 Å probablement due à la présence de substances inorganiqués amorphes qui masquent les raies faibles d'éventuels oxyhydroxydes cristallins et qui peuvent être éliminées, si besoin en est, par des dissolutions sélectives du type de celles déjà présentées à la rubrique du fer et de l'aluminium (cf. 8.1.2.2°),

- une réflexion mal élaborée à 11-12 Å après chauffage (Q 550° C) qui est probablement due à des ions métalliques interfoliaires éliminables, si besoin en est, par le $C_6H_5Na_3O_7$ (citrate).

Enfin, il est théoriquement possible d'apprécier le caractère plus ou moins ferrifère ou magnésien des illites et des smectites par différents indices auxquels nous avons préféré l'analyse chimique totale.

g) Interprétation semi-quantitative des diffractogrammes RX

Le calcul des fréquences relatives a été mené en s'inspirant partiellement des directives de THOREZ (1976) qui reprend celles du laboratoire de minéralogie de Strasbourg, c'est-à-dire en sommant, sur le diffractogramme au (EG), les hauteurs des réflexions 001 par rapport au bruit de fond unique d'une maquette de référence et en les ramenant proportionnellement à dix par demi-unité d'arrondi. Calcul pour lequel, il a été tenu compte des conventions qui consistent à diviser par deux la réflexion des kandites mal cristallisées et à retenir, pour les gonflants, la mesure la plus importante de celles faites à 13 Å au milieu de la bande 12-14 Å, à 15,5 Å au milieu de la bande de 14 à 17 Å ou à l'apex de 17 Å suivant qu'il s'agisse du type (10 - 14 S), (10 - 14 S) - 14 S confondu éventuellement avec le type C - (14 C - 14 S) ou S dominant.

h) Expression des résultats

Les résultats qualitatifs et semi-quantitatifs des diffractogrammes sont présentés en une seule formule contractée (Tableau 16, Fig. 59) dans laquelle :

- le premier nombre suivi du symbole K représente la fréquence relative des kandites ; symbole qui peut être indicé (c) pour indiquer leur meilleure cristallisation,

- le deuxième nombre suivi du symbole Io représente la fréquence relative des illites,

- le troisième nombre suivi d'un ou de plusieurs symboles représente la fréquence relative des smectites (S) et des interstratifiés gonflants avec IS pour les (10 - 14 S), IS-S pour les (10 - 14 S) - 14 S et CS pour les C - (14 C - 14 S), dont l'éventuel type dominant est souligné tel que THOREZ et BOUGUIGNON (1973) le suggèrent.

5° LA DETECTION DES PALYGORSKITES PAR LA MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION (M.E.T.)

Le but de ce travail a consisté principalement à rechercher sans ambiguité les palygorskites ou plus précisément l'attapulgite (cf. 3.2. 4.1°).

a) Réalisation

Les observations ont été réalisées sur le microscope électronique Philipps EM 200 PW 6.000 de la Station de Chimie et de Physique Agricoles grâce à la diligence de notre confrère RASSEL à qui nous renvoyons le lecteur pour l'aspect technique (RASSEL, 1966, 1967) en précisant seulement que les échantillons ont été préparés à partir de la suspension aqueuse, magnifiés 55.200 fois et observés sur un écran fluorescent.

b) Expression des résultats

Les échantillons ont été photographiés pour plusieurs plages d'observation et les résultats de cette reconnaissance visuelle sont présentés à l'aide :

- d'un système de une à quatre croix qui donne une idée de l'importance relative de l'attapulgite d'un échantillon à l'autre,
- des indices l et c pour distinguer les variétés à longues fibres de celles à courtes fibres (Photos 32 et 33),
- d'un tiret pour les observations non faites et d'un zéro quand elles se sont révélées nulles,
- de l'abréviation tr. quand il y en a des traces.

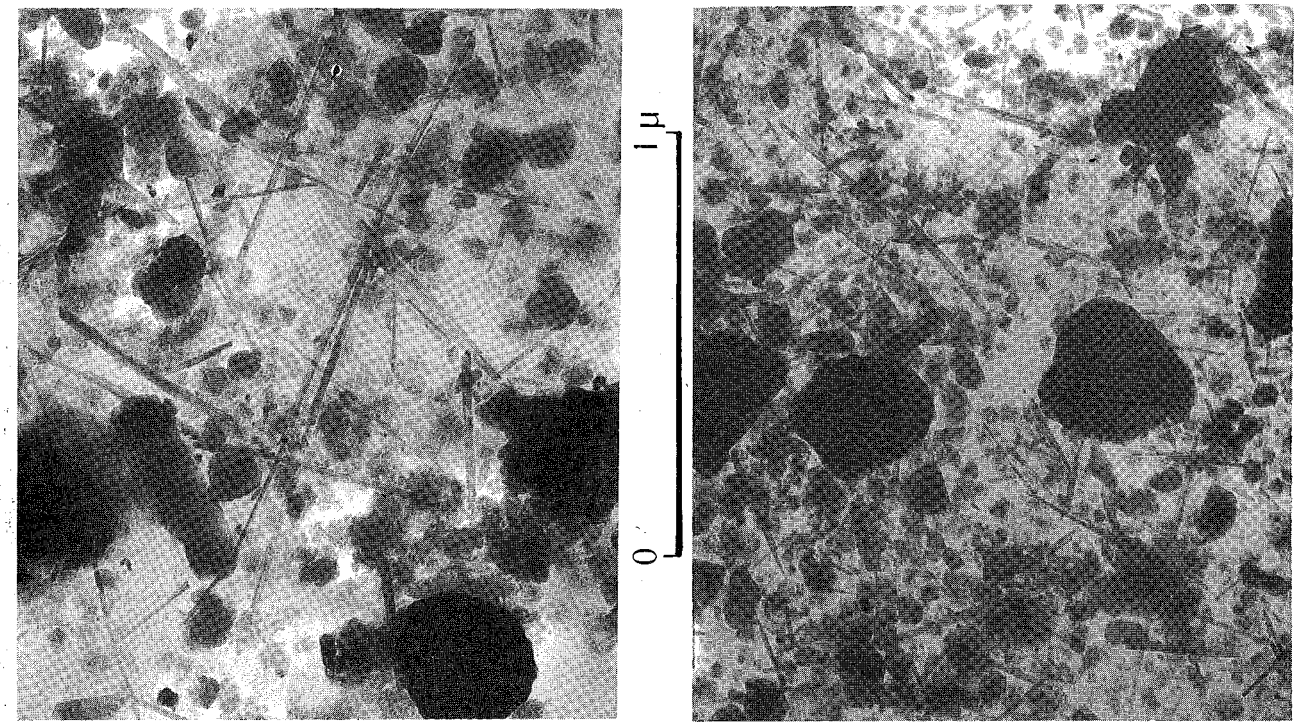


PHOTO 32 : Nanographie de l'échantillon G12, 55.200 x, attapulgite à longues fibres.

PHOTO 33 : Nanographie de l'échantillon C13 fa, 55.200 x, attapulgite à courtes fibres.

c) Observations complémentaires

Bien que la microscopie électronique ne constitue que rarement une méthode de diagnostic immédiat comme le cas précédent, il est intéressant de profiter de la recherche de l'attapulgite pour comparer les nanographies obtenues avec celles présentées par BEUTELSPACHER et VAN DER MAREL (1968) et pour les mettre en relation avec les résultats obtenus au RX qu'elles confirment qualitativement (Photos 34 et 35).

6° L'ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE (A.T.D.)

Cette technique procure des informations complémentaires à celles obtenues aux RX parce qu'elle est applicable à tous les constituants de la fraction argileuse quel que soit leur état de cristallinité, c'est-à-dire

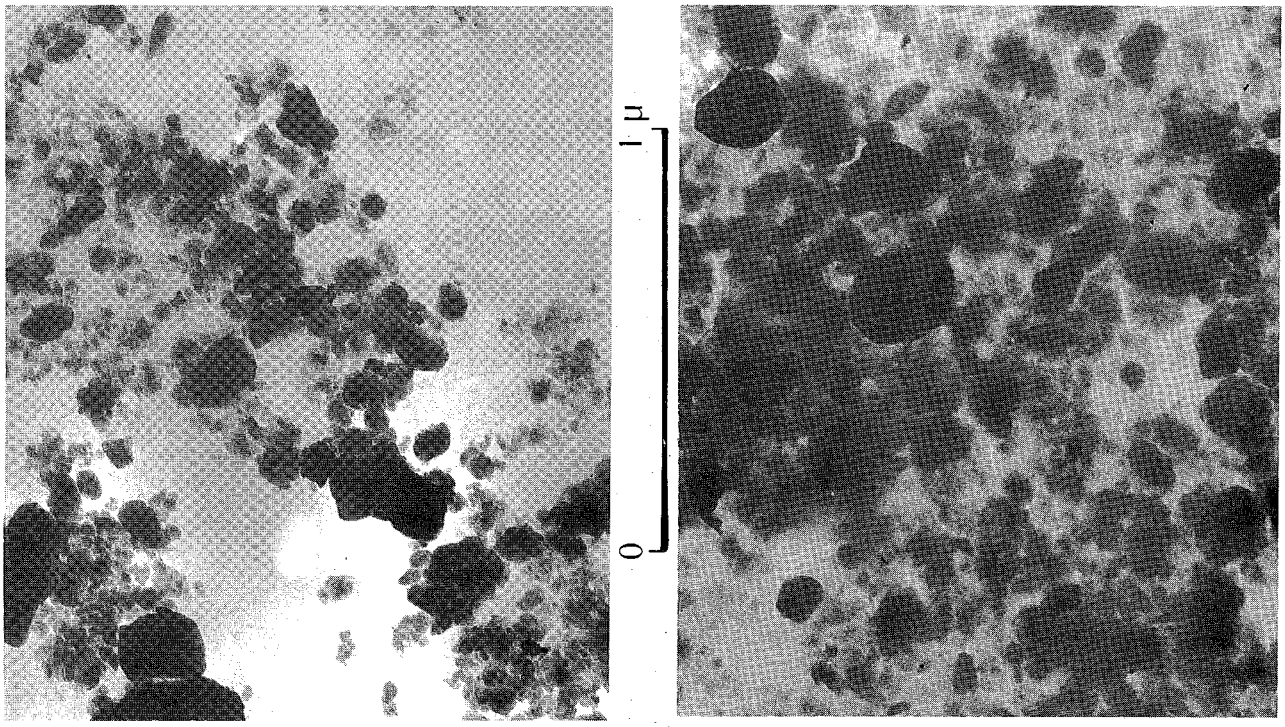


PHOTO 34 : Nanographie de l'échantillon 5.7, 55.200 x, illites dominantes.

PHOTO 35 : Nanographie de l'échantillon 12.4, 55.200 x, smectites dominantes.

qu'elle est tout particulièrement adaptée à l'étude des amorphes. Nous y avons donc recouru dans l'espoir de caractériser les oxyhydroxydes de fer amorphes ou cristallins et nous y avons, en fait, recueilli des données sur la matière organique.

a) Réalisation

Ce travail a été réalisé, toujours en collaboration avec MARCOEN, sur l'appareil à A.T.D. du type B.D.L.M_3 couplé à un enregistreur à deux voies (T et ΔT) de la Chaire des Sciences de la Terre dans lequel, chaque échantillon de 25 mg subit une vitesse de chauffe de 10° C/min en référence avec la kaolinite fraîchement calcinée.

Les thermogrammes obtenus (Fig. 57) sous atmosphère contrôlée d'O_2 sont très largement dominés par la combustion des matières organiques qui se traduit par d'importantes réactions exothermiques comprises entre 200 et 500° C et les quelques essais réalisés dans les mêmes conditions après un préchauffage à 500° C sous atmosphère inerte d'azote (élimination des matières volatiles) n'ont apporté aucune information complémentaire, si ce n'est peut-être un tassement des pics. A côté de ces réactions, les courbes A.T.D. présentent :

- un large pic endothermique de déshydratation dont l'apex, compris entre 120 et 150° C doit permettre de confirmer les échantillons riches en argiles gonflantes,

- un pic endothermique vers 520-565° C qui correspond à la déshydroxylation des argiles,

- des réactions de recristallisation de haute température caractéristiques des argiles vers 890-950° C.

b) Expression des résultats

Etant donné que la température d'apparition d'un pic constitue l'argument qualitatif pour reconnaître un constituant et que sa hauteur par rapport à la ligne de base peut être considérée comme proportionnelle à la quantité de ce constituant, les températures des pics exothermiques individuels ou des ados importants sont reprises dans une colonne avec un chiffre indicé pour donner une idée croissante de l'importance semi-quantitative de chacun d'eux et avec des crochets pour indiquer les plateaux.

7° LES SUBSTANCES AMORPHES ORGANIQUES (Ct)

Dans le but de vérifier s'il y a bien une relation entre la teneur en matière organique et la hauteur des pics exothermiques à l'A.T.D., le carbone total exprimé en pourcent a été dosé sur les poudres par la méthode

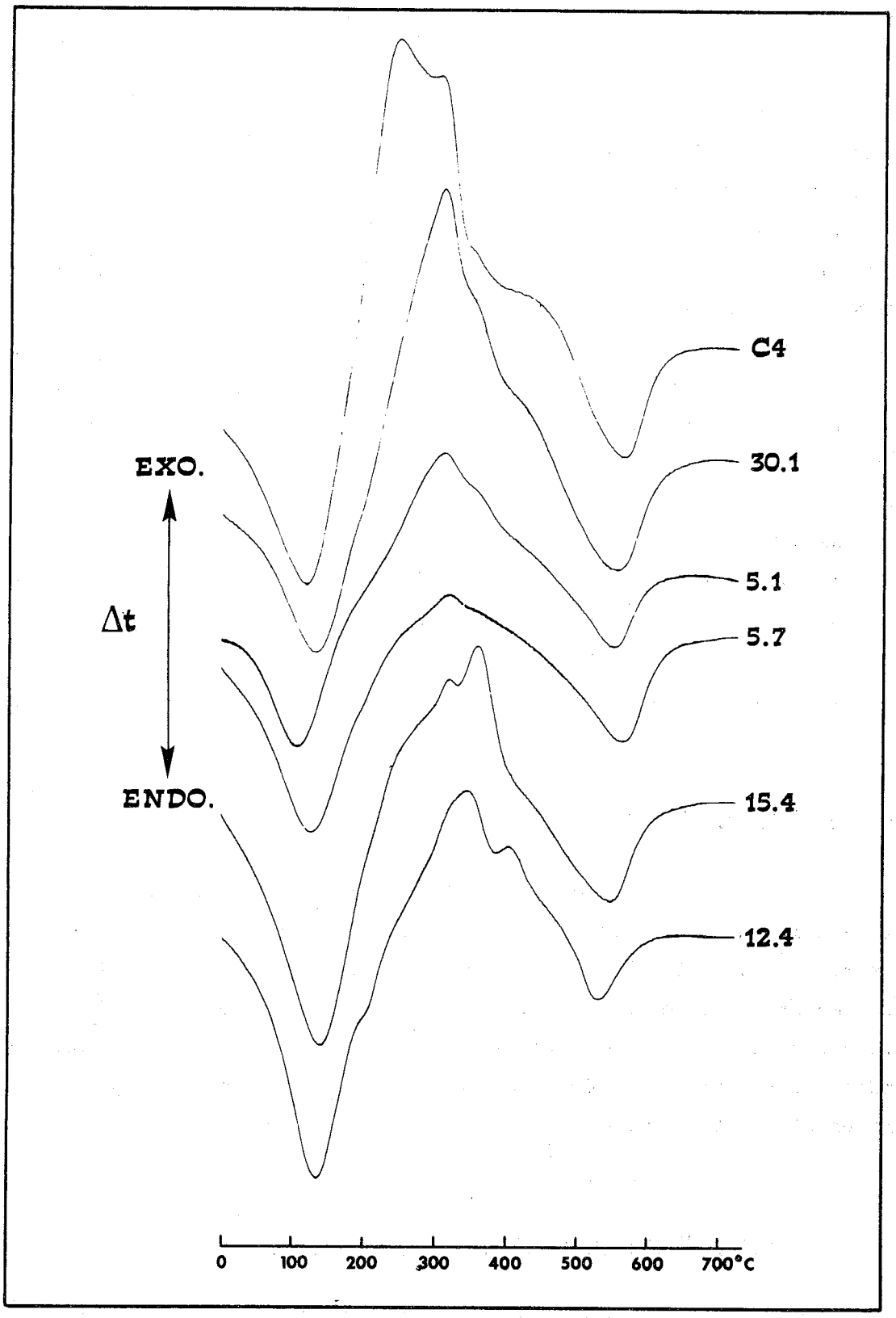


FIG. 57 : Exemples d'enregistrements A.T.D. sous atmosphère contrôlée d'oxygène.

SPRINGER-KLEE telle que présentée précédemment (cf. 8.1.1.7°).

8° LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE TOTALE (T)

Conformément à la méthode préconisée par le Laboratoire de Minéralogie de l'Université de Liège, cette mesure a été réalisée sur les poudres exactement de la façon dont elle l'a été pour la terre fine (cf. 8.1.1.8°) avec l'intention précise de contrôler l'interprétation semi-quantitative des diffractogrammes RX et les comportements particuliers de la matière organique (Fig. 59). A ce sujet, il serait sans nul doute intéressant, dans l'avenir, de suivre l'évolution de cette mesure à travers les différents traitements sélectifs ou extractions spécifiques possibles pour cerner davantage chaque constituant. De plus, une rapide multiplication des valeurs obtenues par le pourcentage d'argile permet d'approcher de façon acceptable celles de la terre fine et par là d'entériner tout ce qui en a été déduit.

9° LES ELEMENTS TOTAUX

Ces éléments sont obtenus, pour la fraction argileuse, de la même façon que pour la terre fine telle qu'elle a déjà été explicitée (cf. 8.1.2.1°) avec (Na), K, Mg et (Ca) qui sont exprimés en méq/100 g de poudre et Fe, Al et Si qui le sont en % ; les parenthèses étant justifiées par les très faibles teneurs en sodium et par l'influence du traitement de décarbonatation sur le calcium (l'échantillon 5.5 non traité en contient 28,8 méq/100 g contre 4,0 méq/100 g pour une répétition traitée). Par voie de conséquence identique, nous avons porté notre attention sur les autres éléments et calculé les rapports suivants :

- Mg/K pour départager les milieux illitique et gonflant,

- Al/Fe et SiO_2/Al_2O_3 pour quantifier le degré d'altération fersiallitisante, du moins principalement pour les formations meubles colorées, en n'oubliant pas que ce sont des nombres de moles qui doivent apparaître dans le dernier rapport (BONFILS, 1967) et que celui-ci sera surestimé à cause du micro-quartz non dosé.

Ainsi, la combinaison des deux premiers rapports dans un système d'axes coordonnés (Fig. 60) doit permettre d'intégrer chaque échantillon dans le contexte géochimique global de façon plus complète que le seul rapport :

- Al/Mg auquel MILLOT (cité par ZELAZNY et CALHOUN, 1977) recourt pour reconnaître les milieux à faible concentration en Al et à forte concentration en Mg qui sont favorables à l'attapulgite,

- Mg/Fe utilisé par N'KHA pour distinguer le caractère magnésien ou ferrifère des smectites ;

et d'emblée, le troisième caractérise le contexte de l'altération bisiallitique. Enfin, signalons que, tout en respectant les ordres de grandeur, les prétraitements ne permettent pas une comparaison exacte avec les résultats obtenus pour la terre fine.

9.1.3. L'ETUDE PETROGRAPHIQUE DES LAMES MINCES REALISEES DANS LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

(Tableau 17, Photos 36 à 47)

Cette technique qui a déjà été utilisée pour les formations meubles colorées sous l'étiquette micromorphologique est principalement dictée, ici, par la curiosité de rechercher si certains arguments de sédimentologistes (cf. 4.2.5.) sont identifiables dans ce contexte et dans l'affirmative, de vérifier s'ils concourent aux mêmes présomptions.

Les accumulations les plus friables ont été imprégnées en suivant la technique développée précédemment (cf. 8.1.4.) et les lames ont été réalisées pour certaines à l'Université de Liège et pour d'autres à l'Université de Louvain-la-Neuve grâce à la gentillesse respective des Professeurs EK et CONIL. Ensuite, les descriptions ont été réalisées en utilisant un vocabulaire hybride emprunté à diverses disciplines (cf. 4.2.2.2°, 4.2.5., 4.2.6. infras) et en photographiant les traits majeurs de ce travail de comparaison

9.2. LE DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES

9.2.1. LES ROCHES-MERES (DU DOMAINE ETUDIE)

- L'étude des minéraux denses (Tableau 15) montre que les deux grands domaines du Crétacé et du Continental peuvent être assez nettement différenciés par leurs teneurs respectives en zircon (± 35 % et 55 %) et de la sorte, par leur distribution en deux pôles différents dans le diagramme triangulaire (Fig. 58). Mais, par l'addition des pourcentages en tourmaline et en rutile, la fourchette (72 % < Z + T + R < 83 %) se resserre entre les fractions sableuses interprétables comme les plus (marnes, G2) et les moins (grès quartzitique, G.3.2) minéralogiquement altérables et fait surtout encadrer le second domaine par le premier[1] ; constat d'autant plus contradictoire que certains échantillons du Continental (G12 et G13) sont aussi plus riches en épidote (amphithéâtre lithologique plus large que celui du domaine étudié, apports répétés et variés suivis de mélanges, ambiance géochimique de conservation et/ou d'agressivité spécifique ... ?),

- l'étude de la fraction argileuse (Tableau 16) fait ressortir que :
  . l'échantillon G3.2 de couleur jaune clair (5 Y 7/4) répond de la relation fort logique (Fig. 59) de la plus forte proportion de kandites et de la plus faible capacité d'échange cationique ; coïncidence qui, cependant, ne se répète pas exactement pour la composition des autres roches,
  . les argilites (G3.1 et 29.4) de couleur jaune clair (2,5 Y 7/4) sont essentiellement de grandes pourvoyeuses d'illites alors que les marnes (G1 et G2) de couleur jaune terne (10 YR 6/3 à 7/4) le sont de façon presqu'égale en illites et en minéraux gonflants ; mais, de façon peut-être un peu surprenante, les premières ont un rapport Mg/K supérieur aux secondes (Fig. 60) pour de fortes teneurs d'ensemble.

---

(1) à noter que le calcaire (G3.3) a livré presqu'exclusivement des minéraux opaques.

UNITES	N° ECHANTILLON	Nb. GRAINS	ZIRCON	TOURMALINE	EPIDOTE	RUTILE	ANATASE	GRENATS	HORNBLENDES	AUTRES	INDETERMINES
MASSIF	G3.1	136	37,5	30,2	7,4	8,8	4,4	4,4	4,4	2,9	0,0
	2	198	34,3	41,4	0,0	7,6	5,1	0,5	0,5	2,5	8,1
	30.1	315	28,6	31,4	16,2	6,7	7,0	1,9	2,5	4,4	1,3
	3	257	20,2	42,4	11,7	5,1	3,9	2,3	5,1	8,6	0,7
	29.1	300	36,7	32,0	8,0	7,0	7,3	1,3	4,7	1,7	1,3
	3	304	29,3	42,1	10,5	7,2	3,3	1,0	2,3	3,6	0,7
GLACIS DE PENTE ET DE PIEDMONT	G2*	155	35,5	29,0	9,0	7,7	6,5	1,9	4,5	3,9	2,0
	26.4*	264	35,2	30,3	4,2	7,6	18,9	2,7	1,1	0,0	0,0
	24.1	300	37,3	20,0	18,0	10,0	10,7	0,7	2,3	0,7	0,3
	3	300	40,0	26,0	15,7	4,7	7,7	3,3	1,6	0,7	0,3
	5	300	27,7	27,7	25,0	6,7	8,0	2,0	1,3	1,3	0,3
	8*	84	39,3	33,3	8,3	8,3	6,0	2,4	0,0	1,2	1,2
	G14*	249	66,3	8,0	8,0	11,7	4,4	0,8	0,4	0,4	0,0
	19.3*	350	38,6	24,0	10,6	9,1	9,7	2,3	0,9	1,1	3,7
Gl.-C.	15.2*	300	29,0	27,3	12,3	8,7	13,3	2,0	4,3	2,7	0,4
CUVETTE	12.1*	300	18,3	28,7	23,0	11,7	7,7	1,7	3,7	4,2	1,0
	4*	300	23,3	38,3	14,3	10,0	7,0	1,7	3,3	1,7	0,4
	11.5*	300	28,0	26,0	18,0	10,3	8,7	1,0	5,7	1,7	0,6
	C13fa*	250	27,2	33,2	17,2	6,8	10,0	2,8	1,6	0,8	0,4
	G13*	300	49,0	17,3	14,0	11,3	5,0	1,3	0,4	0,4	1,3
CH.	8.1	305	38,0	25,9	10,5	14,4	6,0	3,0	1,6	0,3	0,3
	4	300	42,7	26,0	13,7	6,7	8,3	1,0	0,3	1,3	0,0
GLACIS DE PLATEAU ET DE BORDURE	5.1	300	35,7	25,3	20,3	7,0	6,0	1,0	3,0	1,3	0,4
	3	300	36,0	30,3	15,7	7,7	5,7	1,7	1,7	0,2	1,0
	5	300	24,3	25,0	26,3	8,3	11,0	1,3	1,0	2,3	0,5
	7*	300	50,0	18,3	12,7	6,0	6,7	1,3	1,7	2,7	0,6
	C4d*	265	34,0	27,2	10,2	11,7	9,1	4,2	1,9	1,5	0,2
	f*	272	43,0	21,7	4,8	11,8	12,9	5,5	0,0	0,3	0,0
	G7.1*	300	58,3	15,7	3,7	8,7	4,3	4,3	0,7	2,7	1,6
	2*	300	56,0	23,3	1,3	7,7	4,3	4,3	0,4	1,7	1,0
	3d*	147	38,1	27,9	4,1	8,2	15,7	2,7	1,4	1,4	0,5
	f*	252	38,5	24,2	9,5	9,9	4,8	1,6	7,5	4,0	0,0
	5*	344	53,2	20,1	2,6	12,2	4,4	3,8	0,3	2,2	1,2
	7*	350	50,0	17,4	5,7	9,1	9,7	4,6	0,0	3,5	0,0
	G12*	299	59,2	8,7	9,7	14,1	6,3	1,0	0,0	0,7	0,3

TABLEAU 15 :

Pourcentages des principaux minéraux denses transparents (Gl.-C. = glacis-cône , CH = Chenal, ★ = échantillons décarbonatés).

. les argiles du Continental (G7.7, G12 et G13) de couleur brun jaune brillant (10 YR 6/6 à 7/6) contiennent ces trois principaux types d'argiles en mélange tout en étant principalement caractérisées par des gonglants à smectite dominante,

. c'est incontestablement l'attapulgite à fibres longues ou moyennes (M. E.T.) qui caractérise le mieux ce dernier domaine aux rapports Mg/K élevés et Al/Fe bas, différents de ceux du Crétacé,

. l'échantillon G3.3 présente trois grands pics exothermiques à l'A.T.D. qui doivent correspondre à la décomposition et à l'oxydation de matières organiques diversement complexées ; la capacité d'échange cationique enregistrant cette particularité par rapport aux marnes pour des types et des proportions d'argiles assez semblables.

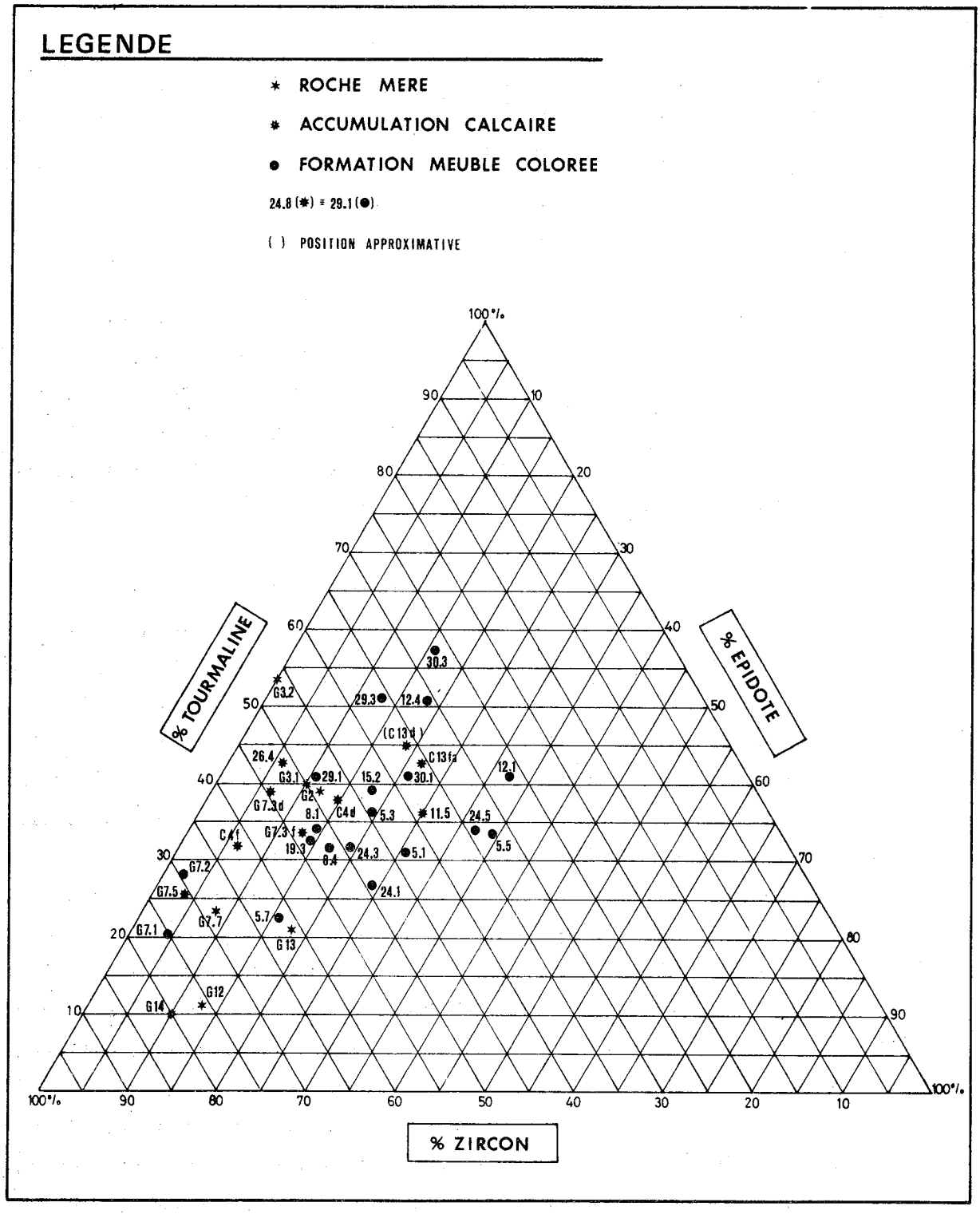


FIG. 58 : Diagramme triangulaire des principaux minéraux denses transparents.

9.2.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

- L'étude des minéraux denses montre qu'un fort gradient en zircon compris entre 27 % (C13 fa) et 66 % (G14) se répercute immédiatement sur les teneurs en tourmaline, alors que celles en épidote restent assez constantes voire augmentent ; résultats qui se traduisent par un étirement des échantillons dans le diagramme triangulaire suivant cet ordre : les accumulations discontinues de profondeur (G14 et G7.5) s'apparentant aux formations du Continental, les accumulations continues friables de plateau (C4f et C7.3 f), les homologues en dalle (C4d et C7.3 d), les accumulations moins typées de glacis de pente (26.4 et 24.8) et finalement, les accumulations de cuvette (11.5, C13 fa et C13 d). Ceci quelle que soit leur résistance et bien que le dernier échantillon n'ait pas fourni suffisamment de grains pour assurer le sérieux du comptage,

- l'étude de la fraction argileuse fait ressortir que :
  . les échantillons peuvent être classés entre deux cas extrêmes (C13 d et G14), d'après leur teneur croissante en gonflants ou inversément décroissante en illites, à savoir : les accumulations en dalle (C13 d, G7.3 d et C4 d) regroupées en tête avec, non seulement les plus fortes proportions d'illites, mais aussi de kandites, les accumulations friables (G7.3 f, C4 f et C13 fa) parmi lesquelles le deuxième échantillon fait figure de transition avec le groupe précédent, les accumulations discontinues de profondeur (G7.5, 18.5, 11.5 et G14) et finalement les échantillons 24.8 et 26.4 moins bien ordonnés,
  . les mesures de capacité d'échange cationique étalées entre 39 et 53 méq/100 g confirment assez bien cette gradation, sauf pour les échantillons C4 d et C4 f qui donnent, en apparence, des valeurs anormalement élevées,
  . les mesures de ces deux derniers échantillons sont certainement dues aux teneurs élevées en matières organiques volatiles comme l'attestent les résultats du carbone total et le pic exothermique élevé qui est obtenu à 270° C avec un épaulement à 320° C (Fig. 57),

UNITES	N° ECH.	DIFFRACTOMETRIE RX	ATTA-PUL-GITE	A.T.D.	C t	T	ELEMENTS TOTAUX K	Mg	Fe	Al	Si	Mg/K	Al/Fe	SiO_2/Al_2O_3
					%	méq/100g	méq/100g		%					
MASSIF	G3.1	7,5Io+2,5 [IS-S+CS]	-	-	-	32,85	86,0	144,2	6,3	16,3	-	1,68	2,59	-
	(2)	3,5K+6,5CS	0	370(2)	-	24,20	-	-	-	-	-	-	-	-
	(3*)	tr K+6,5Io+3,5 [IS-S+(S)+CS]	0	260(5)-285(5)-400(5)	-	37,20	-	-	-	-	-	-	-	-
	30.1	1,0K+5,0Io+4,0 [IS-S+S+CS]	-	320(4)	1,5	41,70	73,0	83,8	5,8	14,1	19,6	1,15	2,43	2,7
	3	1,0K+5,0Io+4,0 [IS-S+S+CS]	-	320(2)	0,8	40,45	81,9	93,8	4,9	14,5	19,6	1,15	2,96	2,6
	29.1	1,5K+6,0Io+2,5 [IS-S+(S+CS)]	0	-	2,4	34,47	65,4	73,8	6,3	13,2	20,8	1,13	2,10	3,1
	3	1,0K+4,5Io+4,5 [IS-S+S+CS]	0	320(2)	1,0	40,00	65,9	75,6	5,8	14,2	21,4	1,15	2,45	2,9
	4°	8,5Io+1,5IS	0	[250-370] (2)	-	30,90	70,5	105,0	6,7	13,5	-	1,49	2,01	-
GLACIS DE PENTE ET DE PIEDMONT	G.1*	5,5Io+4,5 [IS-S+S+CS]	0	[320-370] (2)	-	28,65	99,5	109,2	4,6	17,0	-	1,10	3,70	-
	G.2*	tr K+6,0I(o)+4,0 [IS-S+S+CS]	0	-	-	27,75	93,5	124,2	5,0	16,7	-	1,33	3,34	-
	26.4*	1,0K+3,5Io+5,5 [IS-S+S+CS]	tr	320(2)	-	45,00	58,1	84,5	6,3	12,3	19,2	1,45	1,95	3,1
	24.1	1,5K+5,5Io+3,0 [IS-S+(CS)]	-	-	1,4	36,60	58,4	83,8	7,4	11,7	19,2	1,43	1,58	3,2
	3	1,0K+5,0Io+4,0 [IS-S+(S+CS)]	-	320(2)	1,0	40,80	61,9	88,4	7,5	14,0	19,7	1,43	1,87	2,7
	5*	1,0K+4,5Io+4,5 [IS-S+(CS)]	0	310(1)	0,6	40,60	64,9	88,4	7,6	14,1	20,2	1,36	1,86	2,7
	8*	1,0K+4,5Io+4,5 [IS-S+S+(CS)]	tr	320(3)	0,8	43,67	58,4	89,7	7,4	12,7	19,7	1,54	1,72	3,1
	G14*	0,5K+2,5Io+7,0 [IS-S+S+CS]	++1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19.3*	1,5K+4,0Io+4,5 [IS-S+S+CS]	0	340(3)	-	43,90	67,6	106,4	6,8	13,3	20,2	1,57	1,96	2,9
	18.5*	1,0K+3,0Io+6,0 [IS-S+S+CS]	0	325(2)	-	46,55	49,2	88,4	7,4	11,7	19,6	1,80	1,58	3,2
Gl.-C.	15.2*	1,0K+4,5Io+4,5 [IS-S+(S)+CS]	-	-	1,2	40,80	56,8	75,6	6,7	10,8	20,1	1,33	1,61	3,6
	4*	1,0K+5,0Io+4,0 [IS-S+(CS)]	0	320(1)-360(2)	0,9	39,50	60,8	80,0	7,6	11,7	20,1	1,32	1,54	3,4
CUVETTE	12.1*	1,0K+3,0Io+6,0 [IS-S+S+CS]	0	340(3)-410(2)	1,2	49,15	60,8	113,3	6,7	11,6	20,9	1,86	1,73	3,4
	4*	1,0K+3,0Io+6,0 [IS-S+S+CS]	0	350(2)-400(1)	1,2	49,70	53,3	110,5	6,6	11,1	20,0	2,07	1,68	3,5
	11.5	0,5K+3,0Io+6,5 [IS-S+S+CS]	0	-	-	53,40	59,2	129,2	7,0	11,2	22,2	2,18	1,60	3,8
	C13d*	2,0K+6,0Io+2,0 [IS-S+CS]	0	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	fa*	1,0K+4,0Io+5,0 [IS-S+S+CS]	++++c	[270-320] (2)	1,0	45,45	60,3	184,2	6,3	11,3	-	3,05	1,79	-
	G13*	1,0K+2,5Io+6,5 [IS-S+S+CS]	++++	320(1)	0,3	48,15	55,3	175,5	7,3	14,0	-	3,17	1,92	-
CH.	8.1	2,0K+6,0Io+2,0 [IS-S+(CS)]	-	-	1,3	29,80	63,2	76,9	7,1	10,8	20,9	1,22	1,52	3,7
	4	1,0K+5,5Io+3,5 [IS-S+(S)+CS]	-	320(tr)	0,5	36,50	69,4	91,1	7,0	13,7	19,4	1,31	1,96	2,7
GLACIS DE PLATEAU ET DE BORDURE	5.1	1,5K+6,5Io+2,0IS-S	0	310(2)	1,3	28,52	76,7	92,4	7,4	12,7	19,9	1,20	1,72	3,1
	3	1,0K+6,0Io+3,0IS-S	-	320(1)	0,9	32,00	74,6	96,6	7,4	13,1	19,9	1,29	1,77	2,9
	5	1,0K+6,0Io+3,0 [IS-S+(CS)]	-	320(1)	0,6	31,77	70,5	96,6	7,9	13,1	19,5	1,37	1,66	2,9
	7*	1,0K+5,5Io+3,5IS-S	0	325(1)	0,4	35,00	76,2	98,8	7,4	13,6	20,4	1,30	1,84	2,9
	C4d*	2,0Kc+5,0Io+3,0 [IS-S+(S)+CS]	0	265(4)-320(4)	4,5	54,90	68,0	144,2	8,0	15,8	-	2,12	1,98	-
	f*	2,5Kc+3,0Io+4,5 [IS-S+S+CS]	0		3,1	56,55								
	G7.1*	1,5K+5,0Io+3,5 [IS-S+CS]	-	-	-	-	62,5	145,8	6,8	10,5	-	2,33	1,54	-
	2*	1,5K+5,0Io+3,5 [IS-S+CS]	0	320(1)	-	38,80	63,8	124,2	7,5	11,0	-	1,95	1,47	-
	3d*	1,5K+6,0Io+2,5 [IS-S+CS]	0	320(2)	0,9	38,55	70,0	120,0	7,0	14,1	-	1,71	2,01	-
	f*	1,0K+5,0Io+4,0 [IS-S+S+CS]	++1	-	-	41,75	66,5	121,3	6,4	13,3	-	1,82	2,08	-
	5*	1,0K+4,0Io+5,0 [IS-S+CS]	++1	320(tr)	-	43,55	64,3	141,7	8,1	11,9	-	2,20	1,47	-
	7*	1,5K(c)+2,5Io+6,0 [IS-S+S+CS]	+1	[310-390] (1)	-	43,45	61,5	140,8	7,9	11,9	-	2,29	1,51	-
	G12*	1,5Kc+1,5Io+7,0 [IS-S+S+CS]	+++1	320(1)	-	35,85	37,8	170,0	6,8	14,4	-	4,50	2,12	-

TABLEAU 16 : Les résultats d'analyses de la fraction argileuse (Gl.-C. = glacis-cône , CH = Chenal, () = roches cohérentes dont l'importance quantitative du résidu argileux n'est pas connue, 29.4° = éléments grossiers)

. la présence d'attapulgite à moyennes et à courtes fibres (M.E.T.) correspond, encore ici, au cas bien précis de faciès qui sont non seulement caractérisés par des rapports Mg/K élevés et Al/Fe bas, mais qui sont (restés ou devenus) malgré tout plus ferrifères que magnésiens (rapport Fe/Mg le plus faible = 1,83),

. la gamme de couleur n'y est jamais moins rouge à 7,5 YR et ce, même dans la cuvette,

- l'étude pétrographique confirme les classements déjà opérés ; la coupe G7 dans le Continental supérieur livrant, en lames minces, la succession

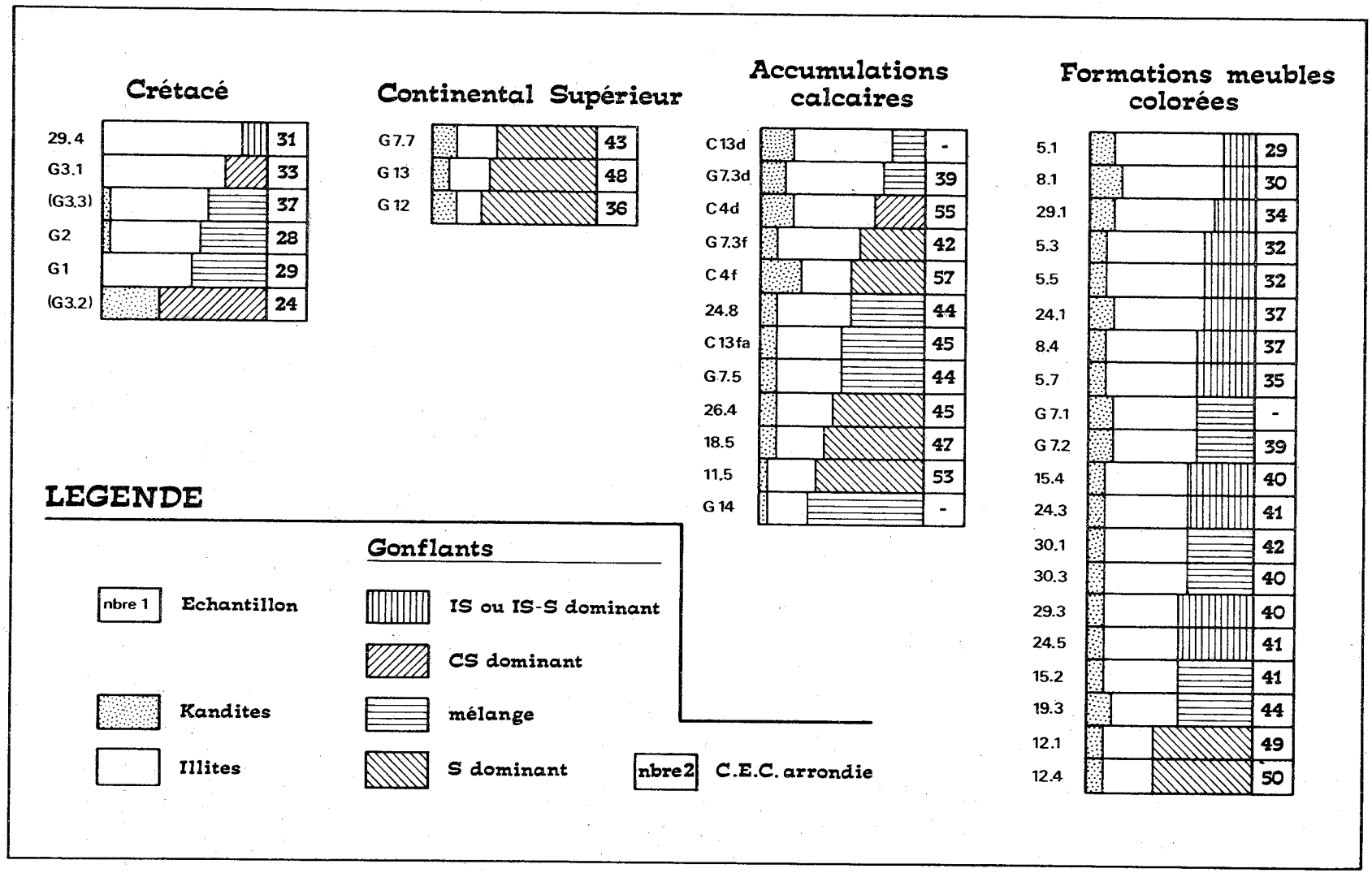


FIG. 59 : Proportions relatives des "minéraux" argileux.

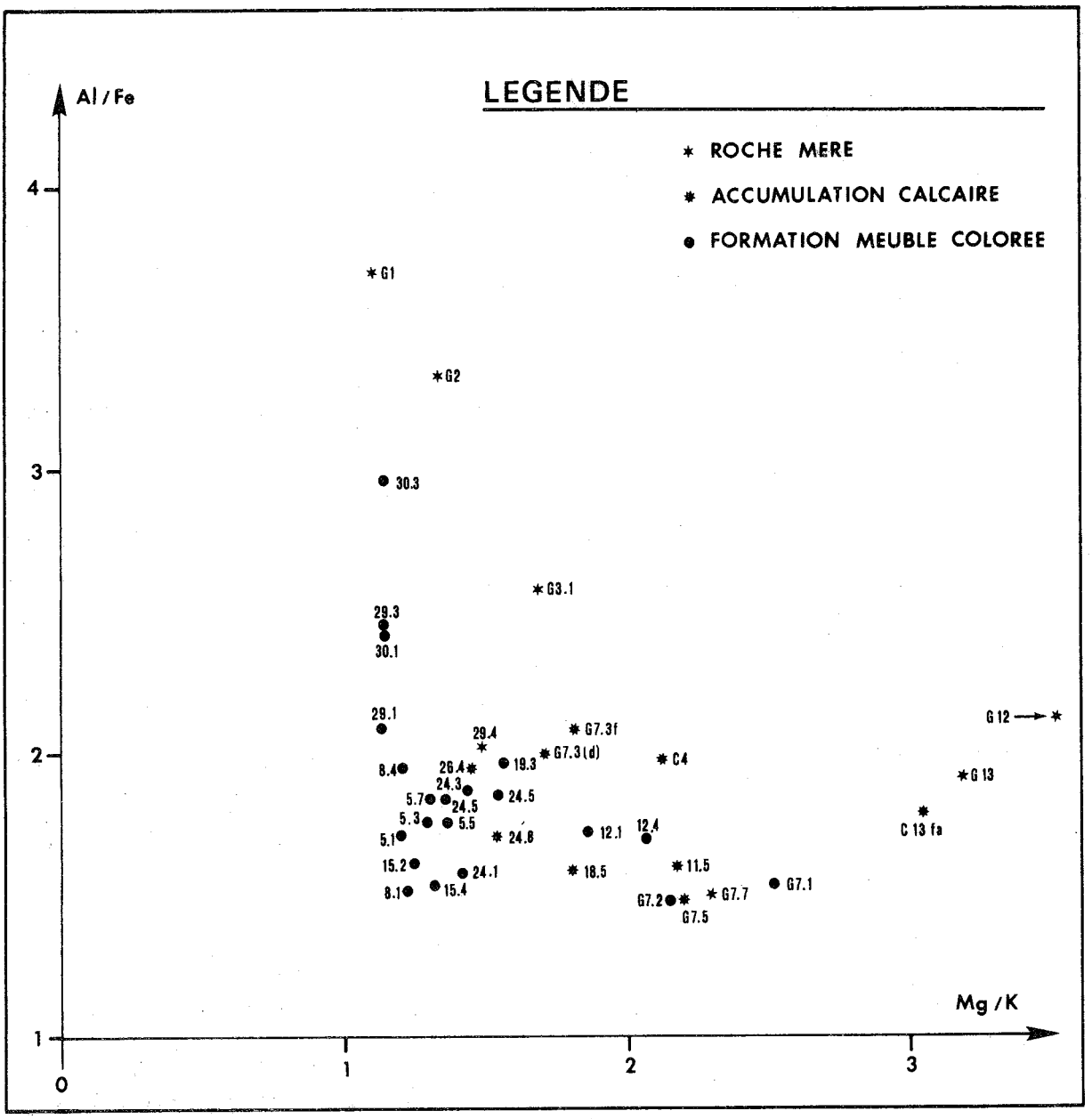


FIG. 60 : Rapports Mg/K et Al/Fe de la fraction argileuse.

de bas en haut suivante :

. G7.7, argile ocre jaune (roche) : micrite quartzeuse gris clair (lumière naturelle = L.N.) à gris jaune (lumière polarisée = L.P.) avec quelques dendrites (Mn) et vides tapissés de sparite (Photo 36, Tableau 17),

. G7.6, concrétions interstitielles au conglomérat : micrite grise légèrement quartzeuse et gréso-quartzitique avec de nombreuses fissures tapissées ou comblées par de la sparite et/ou des revêtements argilo-ferriques,

. G7.5, nodules de la partie inférieure de l'argile rubéfiée : "litharène" composée de grains de quartz, de grès quartzitique, de grès calcaire, d'argilite, d'opaques et de micrite interstitielle ; cette dernière étant gris foncé, voilée, colorée, incrustée et/ou cariée par des revêtements argileux brun rouge (L.N.) d'enrobage généralisé (Photo 37),

. G7.4, nodules de la partie supérieure de cette même argile : micrite sableuse (quartz et grès quartzitique), moutonnée, gris à gris foncé, avec quelques cristaux de "macro" sparite détritique (calcaire du Crétacé ?),

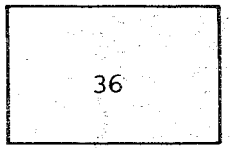
. G7.3 d = C1, accumulation calcaire continue en dalle : enchevêtrement de plages qui résulte apparemment de l'invasion d'une matrice micritique grise par un flux aéré de petits peloïds ou pellets (?) ellipsoïdaux gris noir (Photo 38) ; cette matrice, qui présente une tendance à la fissuration courbe, est pigmentée ou rubanée d'argile brun jaune et de la sparite, occasionnellement palissadique (Photo 39), borde de nombreux vides voire même quelques fragments de grès quartzitiques ou de micrite sableuse détritique,

. G7.2, élément structural de formation meuble rubéfiée de surface : plasma micritisé présentant des plages plus rouges que d'autres et emballant un important "squelette" compósé notamment de clastes arrondis de micrite grise,

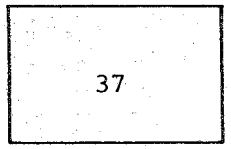
et l'intégration spatiale permettant de constater que :

. l'échantillon C4 d en dalle zonaire offre, à sa partie supérieure, l'alternance de fines couches micritiques gris clair à éléments fibroradiés et argileuses brunes ; celle-ci, correspondant assez bien à la description "d'une mésoglée et d'une masse terreuse" (ELLOY et THOMAS, 1981) et procurant l'image de "choux-fleurs coalescents" (MENILLET, 1974) ou de coussinets, semble réaliser la structure en colonnettes ou en tapis mamelonnés des édifices stromatolithiques (Photo 40). A la base, après des bandes argileuses de plus en plus larges et de plus en plus nombreuses, la transition avec la croûte friable (C4f) est soulignée par une "vase" quartzeuse,

. les échantillons C5 et C20 présentent des édifices identiques pour leur faciès zonaire qui contraste, réellement en structure mais pas nécessairement en origine, avec le faciès perlitique sous-jacent ou

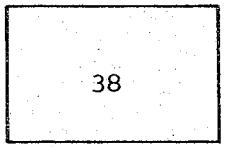


36 : échantillon G7.7 : Lumière Polarisée, 85 x, micrite quartzeuse avec dendrites (Mn)

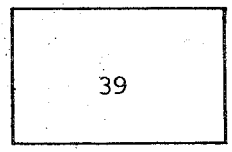


37 : échantillon G7.5 : Lumière Naturelle, 85 x, litharène avec revêtements argileux

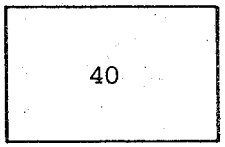
p. 345



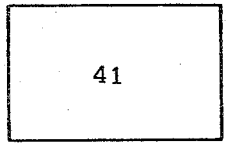
38 : échantillon G7.3 d : L.P., 42 x, invagination de pellets (?)



39 : échantillon C19 : L.P., 42 x, sparite palissadique

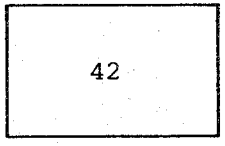


40 : échantillon C4 d : L.N., 42 x, édifice stromatolithique en choux-fleurs

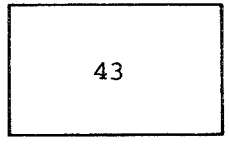


41 : échantillon G7.3 d : L.P., 42 x, curvilinéation ou fissuration courbe

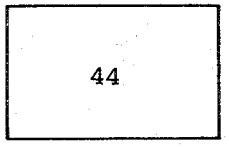
p. 346



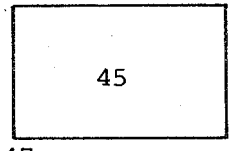
42 : échantillon C5 : L.N., 42 x, différents types d'ooïdes



43 : échantillon C5 : L.N., 42 x, noyau et cortex d'un grand ooïde

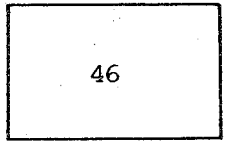


44 : échantillon C5 : L.N., 42 x, agglomération sphérique de pellets (?)

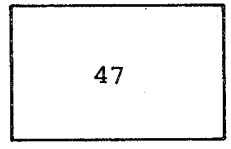


45 : échantillon C13 fb : L.P., 42 x, faciès de "vase"

p. 347



46 : échantillon C29 : L.P., 85 x, lublinite

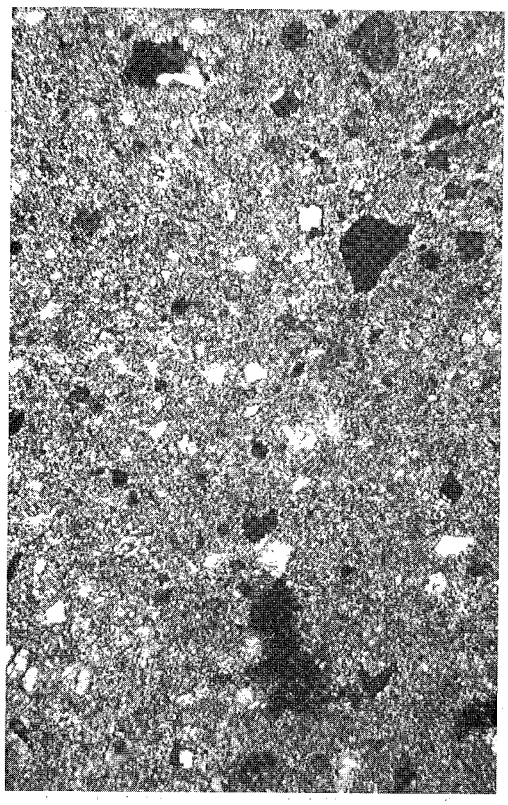


47 : échantillon C19 : L.P., 42 x, grès quartzitique envahit par de la micrite

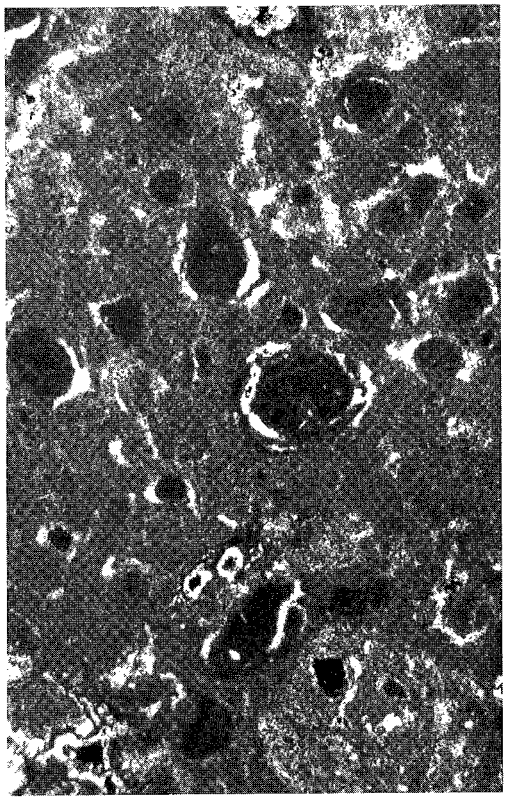
TABLEAU 17 : Etude pétrographique des accumulations calcaires - légende des micrographies.

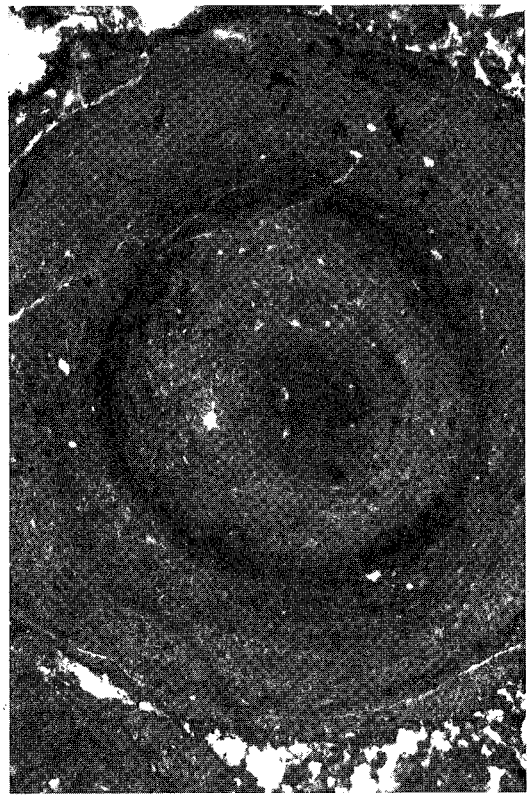


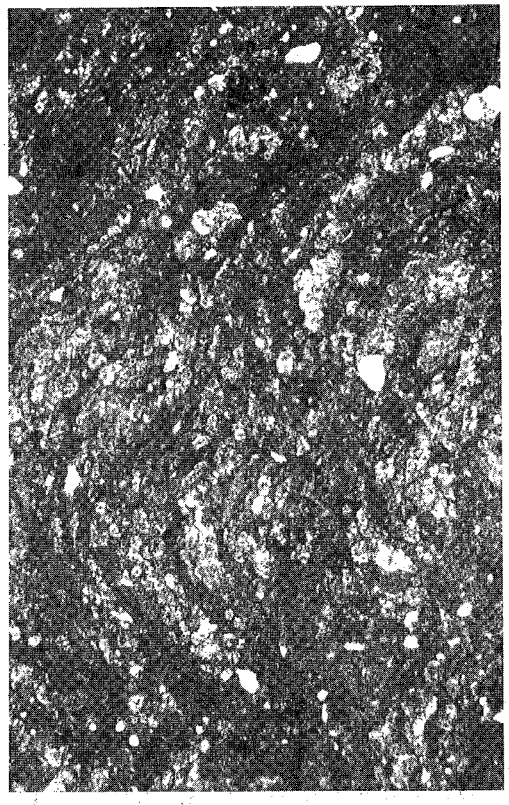




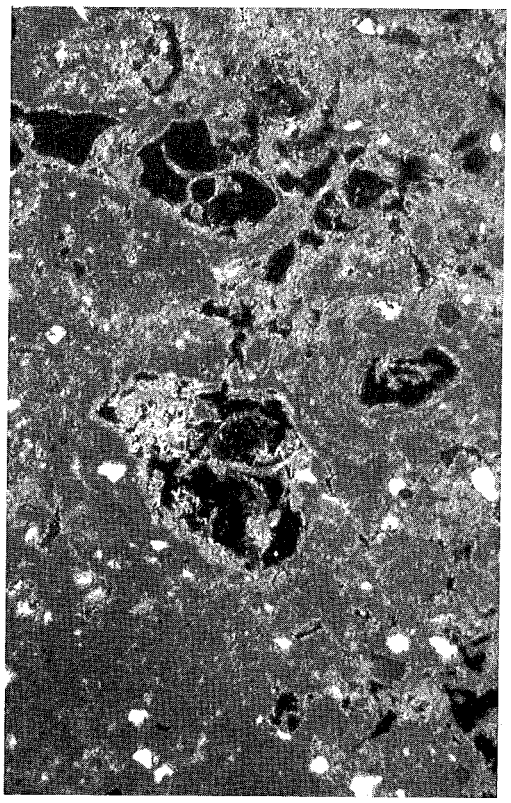




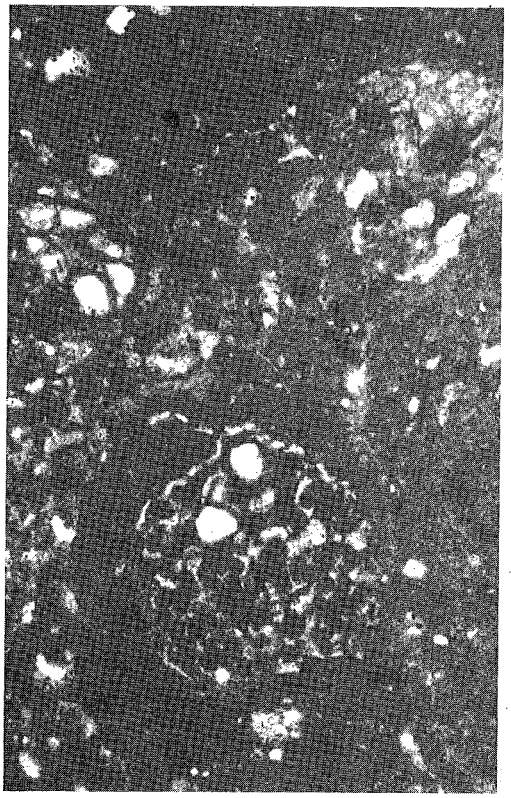


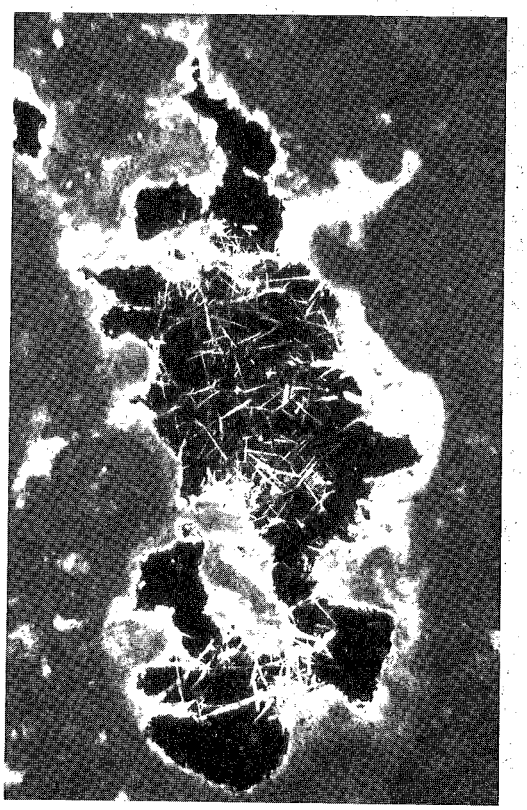












intermédiaire ; celui-ci résultant de la juxtaposition d'ooïdes arrondis de couleur brune (L.N.) et de dimensions variées (Photos 42 et 43) sur un fond alvéolaire de couleur noire (organisations végétales ?). Les plus grands de ces ooïdes et les plus sphériques (en couronnes variablement marquées) sont composés d'un cortex d'argile micritisée autour d'un noyau tantôt constitué par un claste micritique, sparitique ou gréso-quartzitique, tantôt réalisé par l'isolement curvilinéaire de glomérules moins bien identifiés ou d'aspect nettement plus organique (Photos 41 et 44),

. l'échantillon friable C13 f présente un faciès "nuageux" gris noir (b) (Photo 45) aux vides constellés de lublinite (Photo 46) qui passe à celui de larges ensembles alvéolaires mélangés à des chapelets de pellets (?) bruns ou noirs (L.N.) et suggère une transition "vase-boue" ; en couverture, l'échantillon C13 d répond à la description des accumulations zonaires bien que les couches argileuses, en étant plus épaisses que celles de la micrite gris clair, rendent le faciès moins net,

. finalement, toutes ces structures confirment les apparentements réalisés avec d'autres échantillons sur le terrain et existent déjà en moins épaisses ou en moins bien marquées sur les glacis de pente ou dans le massif ; en effet : des amorces de construction stromatolithique surfacent les échantillons C29 et C32 et se précisent dans les C25, C28 et C31 ..., des ébauches d'ooïdes caractérisent les échantillons C22, C25, C26, C27, C30 ... et une figure d'individualisation quartzeuse par invasion micritique (épigénie ?) d'un grès quartzitique se marque particulièrement bien en C19 (Photo 47).

9.2.3. LES FORMATIONS MEUBLES COLOREES

1° DANS LE MASSIF

- L'étude des minéraux denses montre que les impressions d'homogénéité recueillies à l'analyse granulométrique doivent être quelque peu nuancées par : la teneur en épidote assez élevée de l'échantillon 30.1, le rapport T/Z supérieur à 2 de l'échantillon 30.3 et par le caractère plus ou moins

intermédiaire de l'échantillon 29.3 ; situation qui, à côté d'une lacune d'inventaire toujours possible dans les matériaux parentaux ou d'un saupoudrage éolien, peut être plus simplement due à un classement granulométrique préférentiel des minéraux (à vérifier) suite à leur altération différentielle et à leur transport (cf. 8.2., Tableau 11, % sables). Par contre, l'échantillon 29.1, riche en sables, se confond très nettement au pôle du Crétacé,

- l'étude de la fraction argileuse fait ressortir que :
  . cette identification de l'échantillon 29.1 est même plus précisément assimilable à celle des argilites par la dominance des illites,
  . les autres échantillons sont caractérisés par des teneurs presqu'égales en illites et en gonflants, dont notamment des smectites,
  . les mesures de la capacité d'échange cationique entérinent parfaitement cette différence en sautant de 34 à 40 méq/100 g,
  . les rapports d'éléments s'inscrivent entre ceux des roches argileuses et marneuses du Crétacé, mais pour des teneurs toujours moindres en magnésium.

2° SUR LES GLACIS

- L'étude des minéraux denses montre que les échantillons 5.7, G7.1 et G7.2 sont nettement satellisés, dans le diagramme triangulaire, vers les argiles du Continental alors que les couples d'échantillons homologues (5.1-24.1, 5.3-24.3, 5.5-24.5), à la fois plus centrés et entrecroisés, peuvent relever d'un commentaire identique à celui développé pour le massif tout en illustrant bien les variations laminaires du remaniement. A son tour, l'échantillon 19.3 s'identifie aux roches du Crétacé tout comme le rappel, sous cette rubrique, des accumulations calcaires 26.4 et 24.8,

- l'étude de la fraction argileuse fait ressortir que :
  . le profil 24 de pente est globalement plus riche en gonflants que le profil 5 de plateau ou inversément plus pauvre en illites et qu'il en va de même de la base à la partie supérieure des profils où l'interstratifié dominant et presqu'unique est de type IS-S,

. compte tenu des faibles teneurs en matière organique, les résultats obtenus pour la capacité d'échange cationique entre 29 et 41 méq/100 g expriment bien ces tendances par échelons décalés,
. tout en gardant l'avantage du rapport Mg/K sur les pentes, les quantités de potassium et de magnésium, très nettement inférieures dans le premier profil à celles du second, vérifient l'hétérogénéité chimique de la forme et l'évolution quasi-conservatoire de l'aval,
. les échantillons G7.1 et G7.2 créent la différence avec leurs rapports Mg/K élevés et Al/Fe bas en montrant ce que sont des héritages verticaux et par là, en assurant l'allochtonie des autres profils,
. tous les pics obtenus à l'A.T.D. pour la matière organique (à l'exception du point suivant) correspondent, comme dans le massif, à la température de 320° C, mais qu'ils sont moins élevés et diminuent encore avec la profondeur,
. l'échantillon 19.3 contraste encore par la présence de smectites et l'apparition d'un pic (A.T.D.) à 340° C qui témoigne d'une complexation plus forte,

3° SUR LES GLACIS-CONES ET DANS LES CHENAUX

- l'étude des minéraux denses montre que les échantillons 15.2, 8.1 et 8.4 ont une composition très proche des formations les moins différenciées d'amont,

- l'étude de la fraction argileuse fait ressortir que :
. le profil 15 paraissant toujours aussi homogène dans ses basses teneurs en éléments à l'exception du fer, l'A.T.D. apporte la seule information originale avec deux pics pour la matière organique : le premier à 320° C qui est comparable à ceux obtenus pour les échantillons de glacis et le second à 360° C qui annonce la formation suivante au même titre que le rapport T1/T2 calculé au chapitre précédent,
. l'échantillon 8.1 dénote, par ses $\pm$ 20 % en kandites, l'influence la plus forte des grès quartzitiques et pour cause.

4° DANS LA CUVETTE

- L'étude des minéraux denses confirme que le profil 12 n'est effectivement pas aussi homogène qu'on pouvait le penser par la granulométrie ; la base présentant une certaine analogie avec les échantillons les plus fins du massif alors que la surface atteste des proportions presqu'aussi équilibrées que certains échantillons de glacis et donc, d'une position quasi centrale dans le diagramme triangulaire,

- l'étude de la fraction argileuse fait ressortir que :
  . les minéraux gonflants et plus particulièrement les smectites sont dominantes,
  . les capacités d'échange cationique de l'ordre de 50 méq/100 g et les rapports Mg/K, tout à la fois élevés et supérieurs aux rapports Al/Fe, abondent dans le même sens, mais sans qu'il y ait d'attapulgite,
  . la matière organique, avec des pics exothermiques de 350° C et 400° C (A.T.D.) est franchement plus complexée que ne permettait de le supposer le fractionnement chimique.

9.3. LES FAITS ESSENTIELS ET LEUR INTERPRÉTATION

De ces études minéralogiques et pétrographiques, on peut, en plus du regroupement simplifié des résultats (Tableau 18), retenir que :

- pour les roches-mères :
  . les modestes proportions relatives de kandites dans les formations d'aval attestent assurément d'un héritage du Crétacé ou plus spécialement du stock initial gréso-quartzitique (fond de kandites) et permettent d'en apprécier l'importance,
  . la présence en association d'une fraction sableuse dominée par le zircon et d'une fraction argileuse riche en smectites, voire en attapulgite, témoigne indiscutablement de ce que les argiles du Continental supérieur résultent du mélange d'un apport détritique fort altéré avec des produits

PARAMETRES			Zircon	RX	Atta.	T	$\frac{Mg}{K}$	$\frac{Al}{Fe}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	Remarques
AMONT	CRETACE		(34)-38	7,5I + 2,5SG, [3,5K + 6,5SG] 5,5I + 4,5G, [tr K + 6,5I + 3,5(SG)]	0	28-33	1,1-1,7	2,0-3,7	-	A.T.D. sur calcaire 260(5)-285(5)-400(5)
FORMATIONS MEUBLES COLOREES	MASSIF		20-37	1,5K + 6,0I + 2,5(SG) 1,0K + 4,5I + 4,5(G)	0	34-42	1,1-1,2	2,1-3,0	2,6-3,1	A.T.D. en surface 320(4)
	GLACIS	PENTE	28-40	1,5K + 5,5I + 3,0SG 1,0K + 4,5I + 4,5SG	0	37-41	1,4	1,6-1,9	2,7-3,2	-
		PLATEAU	24-50	1,5K + 6,5I + 2,0SG 1,0K + 5,5I + 3,5SG	0	29-35	1,2-1,4	1,7-1,8	2,9-3,1	A.T.D. en surface 310(2)
	CHENAL		38-43	2,0K + 6,5I + 2,0SG 1,0K + 5,5I + 3,5(SG)	0	30-37	1,2-1,3	1,5-2,0	2,7-3,7	-
	GL.-CONE		29	1,0K + 4,5I + 4,5(SG)	0	41	1,3	1,6	3,6	-
	CUVETTE		18-23	1,0K + 3,0I + 6,0G	0	49-50	1,9-2,1	1,7	3,4-3,5	A.T.D. en surface 340(3)-410(2)
ACCUMULATIONS CALCAIRES	EN DALLE		34-38	2,0K + 6,0I + 2,0SG 2,0K + 5,0I + 3,0(SG)	0	39-55	1,7-(2,1)	2,0	-	A.T.D. sur C4 265(4)-320(4)
	FRIABLES		27-43	1,0K + 4,0I + 5,0(G) 2,5K + 3,0I + 4,5G	0 ++++c ++1	42-57	1,5-3,1	1,8-2,1	-	-
	DISCONTINUES		28-66	1,0K + 4,0I + 5,0SG 0,5K + 3,0I + 6,5G	0-++1	44-53	1,5-2,2	1,5-2,0	(3,1-3,8)	-
AVAL	CONTINENTAL		49-50	1,5K + 2,5I + 6,0G 1,5K + 1,5I + 7,0G	+1-++++	36-48	2,3-4,5	1,5-2,1	-	-

TABLEAU 18 : Domaines reconnus, principales investigations minéralogiques réalisées et fourchettes des valeurs obtenues - les unités sont celles des tableaux de référence - () par défaut - [] roches cohérentes.

conséquemment néoformés en milieu basique, et constituent un pôle d'héritage secondaire (polycyclisme),

- pour les accumulations calcaires :
  . le cortège des minéraux denses pour les accumulations calcaires permet de détecter : une reprise du Continental supérieur dans les faciès discontinus de glacis, l'empreinte du Crétacé dans les faciès continus de glacis et l'intégration des faciès de cuvette, quels qu'ils soient, au domaine des formations meubles les plus différenciées,
  . la proportion des minéraux semi-gonflants (interstratifiés), voire de smectites, dans les accumulations calcaires ne cesse de décroître verticalement : des faciès discontinus inférieurs à ceux supérieurs des croûtes en dalle, au profit des illites et des kandites ; tendance qui donne à penser au passage d'un milieu confiné à celui d'un milieu nettement plus aérien,

. ce changement de milieu est précisément et brutalement souligné par l'attapulgite qui disparaît dans les formations meubles calcaires et dans les croûtes en dalle, alors qu'elle était présente dans les formations qui leur sont sous-jacentes, c'est-à-dire, en plus du Continental supérieur, dans les accumulations calcaires friables ou discontinues,

. les nombreuses figures particulières, qui ont été repérées dans les accumulations calcaires, suggèrent de nombreuses dissolutions suivies de reprécipitations (micrite, sparite, lublinite), de fréquentes reprises de matériaux (mélange d'ooïdes endogènes et visiblement exogènes dans les croûtes perlitiques) et l'intensification longitudinale d'une activité biologique (pellets ?, structures alvéolaires, constructions en choux-fleurs ...) très tôt amorcée en amont ; ce qui, dans le cas le plus complet, revient à observer, verticalement, le recouvrement d'une vase aérée par des édifices stromatolithiques,

. la quantité et la qualité apparente de la matière organique, mises en évidence dans la fraction argileuse de la croûte zonaire la mieux développée de glacis (C4d) caractérisent une complexation organo-minérale de faible liaison qui s'accorde fort bien au type d'argile reconnu et à l'explication microbiologique supposée,

- pour les formations meubles colorées :

. un apport minéral extérieur ne peut être catégoriquement exclu pour les formations meubles colorées et les accumulations calcaires de cuvette mais doit être seulement retenu comme un phénomène mineur (dilution),

. l'échantillon 5.7 annonce timidement la transition avec des formations comparables à celles de la coupe G7 dans laquelle, précisément, ce qui est au-dessus de la dalle apparaît nettement comme le remaniement de ce qui est en-dessous, c'est-à-dire du Continental supérieur,

. l'évolution de la fraction argileuse, dans les formations meubles colorées, s'inscrit entre les formules extrêmes du type K+I+(10-14S) - 14S, avec I dominant sur le glacis de plateau et du type K+I+(10-14S) - 14S + C - (14C-14S) + S avec S dominant dans la cuvette.

. les formules intermédiaires à ces deux extrêmes suggèrent que, compte tenu de la diversité des formations caractérisées (notamment la base des profils de glacis), l'hydrodynamisme et la composition chimique des solutions, au contact du front d'altération ou d'un matériau imperméable,

soient davantage responsables de cette chromatographie des minéraux gonflants que n'importe quel autre processus (notamment celui de l'illuviation) ; toute formule devant être assez facilement réversible parmi ces argiles très fines (structures mimétiques en mutation - THOREZ, 1979),

. l'intensification précoce des liaisons organo-minérales dans les formations meubles colorées calcaires de piedmont et de glacis-cône, confirme les conclusions déjà écrites à propos des paramètres écopédologiques, dont tout spécialement l'isohumisme,

. la comparaison de méthodes pour déterminer la capacité d'échange cationique de la terre fine a donc permis d'appréhender parfaitement, dans ce domaine des sols légèrement désaturés à sursaturés, l'amplitude du domaine argileux.

De ces fait principaux, les interprétations suivantes peuvent être dégagées :

- les conditions requises pour la néoformation de l'attapulgite, voire même pour sa conservation, ne sont vraiment pas celles d'un profil de sol mais plutôt celles d'un milieu de sédimentation (lacustre) où viennent se confiner les produits solubles et résiduels de l'altération météorique ; ce que certains auteurs définissent comme la phase migratrice de la pédogenèse, mais signalons que cette étude n'a pas permis de saisir les relations exactes entre l'attapulgite et les smectites dans ce milieu toujours plus alumineux que ferrifère et toujours plus ferrifère que magnésien,

- le conglomérat (G7.6) et les accumulations calcaires discontinues rubéfiées (litharène) attestent des atterrissements morphopédologiques brutaux d'une ou de plusieurs crises torrentielles qui ont remanié le milieu d'accueil (continental) et entraîné un changement, momentané à localement définitif, dans les conditions du milieu vers un système périphérique,

- les croûtes friables prouvent le retour d'une phase de sédimentation particulièrement fine et calme au cours de laquelle une activité organique de type marécageux, voire peut-être travertineux (?), n'a pas engendré une situation antagoniste de l'attapulgite, du moins dans son maintien,

- les croûtes en dalle témoignent de phénomènes quasi superficiels par l'absence ou la disparition de l'attapulgite, leurs nombreuses structures microrganiques particulières, leurs cortèges argileux proportionnés différemment de ceux reconnus à la base des formations meubles colorées et leur faciès localement conglomératique ; inventaire biogéochimique (GAUCHER, 1977) qui est encore plus adapté aux faciès zonaires dont le surfaçage semble n'exiger que des conditions de ruissellement ou de confinement par micro-relief (épiphénomène dans les cas restreints),

- les terres rouges de glacis, compte tenu des proportions relatives calculées et des indices recueillis, sont bien héritées mécaniquement du massif et plus certainement des argilites et des grès quartzitiques du Crétacé ; ce qui toutefois n'exclut pas la possibilité d'une légère rétrogradation du potassium ou illitisation par agradation, en conditions bien drainées (surface),

- les argilites n'étant pas calcaires et la minéralogie étant ce qu'elle est, les conditions de la rubéfaction ne doivent guère nécessiter une pluviométrie beaucoup plus élevée (subhumide ?) que celle actuellement relevée (semi-aride),

- les terres noires de cuvette sont principalement d'origine topomorphique et combinent les voies de l'héritage avec celles d'une smectitisation par dégradation à partir des produits ruisselés, non seulement du massif (à la base) mais aussi des glacis (en surface) ; le matériau le plus vertique serait donc progressivement enseveli,

- les faibles proportions de kandites, d'ailleurs héritées, et le mélange variable mais toujours assuré des illites avec des gonflants ou semi-gonflants caractérisent un domaine où l'altération, d'après les conditions définies par PEDRO, JAMAGNE et BEGON (1969), n'a jamais cessé d'être du type bisiallitique (hydrolyse partielle) ... vrai (néoformation) ou apparent (conservation) (PAQUET, 1969, cité par PEDRO et SCHERER, 1974).

Dès lors, on peut finalement conclure que :

- l'impression générale laissée par la morphologie et la minéralogie des accumulations calcaires est celle de la régression, avec récurrences intermittentes, d'un vaste milieu subaquatique au profit de surfaces de mieux en mieux drainées et de plus en plus exposées à des contrastes périodiques réguliers ; conditions superficielles, qui plus que celles d'un quelconque profil différencié, permettent de concilier d'importantes constructions organiques d'origine limnique ou ruisselée avec le piégeage de matériaux prérubéfiés et leur séquestration par lithification précoce (conservation lithochromique),

- la faible diversité chimique enregistrée par les techniques de la pédologie est la conséquence d'une relativement faible diversité minéralogique au sein des formations meubles colorées ; les variations dans les proportions et dans les réarrangements présidant bien plus aux différenciations que de réelles modifications dans les types de minéraux.

Mais si de la sorte, origine hydrobiostasique des accumulations calcaires continues, bisiallitisation et colluvionnement constituent les principaux enseignements de cette étude et règlent définitivement la question des relations génétiques entre les formations meubles colorées et les accumulations calcaires en termes de discontinuité de profil et d'horizon Cca, aucun argument ne permet de faire clairement la part entre les étapes chronologiques d'une évolution "cyclique" et les variations écologiques d'une évolution continue. C'est la raison pour laquelle, possédant déjà quelques informations paléogéographiques grâce à la minéralogie des argiles, nous avons cherché à les compléter par des essais exploratoires de palynologie et de datation au ^{14}C ... objet du suivant et dernier chapitre.

CHAPITRE 10

Les techniques spécialisées de la paléoécologie

(Palynologie et ^{14}C)

CHAPITRE 10 :

LES TECHNIQUES SPECIALISEES DE LA PALEOECOLOGIE (PALYNOLOGIE ET ^{14}C)

10.1. LE CHOIX DES ANALYSES ET DES MÉTHODES

10.1.1. UN ESSAI EXPLORATOIRE DE DETERMINATION POLLINIQUE (Tableau 19, Fig. 61)

1° ETAT DE LA QUESTION

Cet essai a été réalisé en collaboration réciproque avec TASSANASSORN, Stagiaire du Professeur MUNAUT au Laboratoire de Palynologie et Phytosociologie de l'Université de Louvain-la-Neuve, dans le but premier de vérifier, au même titre que MATHIEU (1977 a) au Maroc, si les accumulations calcaires de ce domaine livrent des grains de pollens et, dans le cas d'une réponse suffisante (au moins 50 grains dans le cas présent), d'apprécier la diversité des spectres polliniques de ces formations ; ceci, avec l'espoir évident de pouvoir y opérer une différenciation toujours plus complète et préciser, complémentairement à l'étude minéralogique et pétrographique, les grands traits de leur (paléo)environnement.

Cependant, compte tenu du caractère secondaire et remanié de ces formations tel qu'il est déjà apparu sur le terrain et tel qu'il apparaîtra encore dans ce chapitre, il serait illusoire de vouloir interpréter autre chose que des échantillons moyens et des tendances bien contrastées ; aussi, en réponse à SUC (com. or., 1982), que les spécialistes de la palynologie ou de toute autre discipline bien précise soient rassurés, cet essai comme le titre l'indique n'a nullement la prétention de servir de référence stratigraphique.

Pourtant, il nous semble nécessaire d'ajouter que cette démarche est partagée par tous ceux qui essaient de créer un esprit d'interdisciplinarité dans des régions où la densité des études et le luxe des moyens n'équivalent pas ceux d'autres régions, et se trouve parfaitement justifiée dans tous les cas où l'interprétation ne dépasse pas les limites de l'échantillonnage.

D'ailleurs, il est bon de souligner que, même dans les meilleurs des cas, la palynologie souffre aussi d'un certain nombre de limitations (TRIAT, LAVAL, 1980 et interventions LEROI-GOURHAN), à savoir :

- la pollinisation quantitativement différente des espèces,

- la conservation variée des grains de pollens qui dépend non seulement des propriétés du milieu d'accueil, mais aussi de la résistance spécifique de leur paroi,

- la difficulté inégalement rencontrée dans la détermination,

- la discrimination qui, induite par les moyens de transport (cours d'eau, vent, insectes ...) et la percolation éventuelle dans les formations meubles superficielles, détermine souvent un degré d'allochtonie.

2° REALISATION

Les échantillons, le plus souvent sciés en un seul bloc de $\pm$ 200 g (cas des matériaux cohérents) et dégrossis par un prétraitement acide, ont tous été décarbonatés à l'HCl technique . 40 % avant que l'extraction proprement dite du pollen ne soit réalisée sur le résidu en appliquant la méthode de FRENZEL qui est à l'honneur dans le laboratoire précité, c'est-à-dire par décantation sur une liqueur lourde (mélange de CdI_2 et KI).

Du lot étudié (27 comptages), seuls les résultats quantitativement satisfaisants ou proches de l'être ont été retenus, mais ceux-ci coïncidant avec une deuxième période de manipulation, il n'est pas impossible que la pauvreté des échantillons rejetés soit plus apparente que réelle et imputable aux aléas de la mise en route technique au départ d'un matériel quelque peu dé-

concertant. Dès lors, cela revient à se limiter à l'étude du Continental supérieur (G7.7) et de cinq accumulations calcaires continues de glacis spatialement dispersées, dont notamment celle attribuée au Moulouyen (G7.3). Il reste à préciser que tous les grains de pollens semblaient reconnaissables mais que quelques rares individus n'ont pu être identifiés par manque d'une collection de référence ; tout comme le parti a été pris de ne pas citer les cas isolés dont la fréquence d'apparition est toujours restée sporadique (autres = inférieurs à 3 grains).

L'interprétation a été simplifiée (Fig. 61) en s'inspirant des références de MATHIEU (1977 a) et de BALLAIS (1981), c'est-à-dire en écartant les ubiquistes (graminées, crucifères, composées, ombellifères) et en regroupant les autres grains de pollens en trois cortèges, à savoir :

- septentrional avec Alnus, Betula et Corylus,
- méditerranéen avec Quercus, Pinus et les oleaceae si tant est que les deux premiers genres supposent les espèces de ce domaine,
- steppique avec Ephedra, Artemisia, Plantago et les chenopodiaceae.

10.1.2. UN ESSAI EXPLORATOIRE DE DATATION AU ^{14}C (Tableau 20)

1° ETAT DE LA QUESTION

Cet essai a été réalisé avec la collaboration fructueuse de Madame DAUCHOT-DEHON, Chercheur à l'Institut Royal du Patrimoine Artistique, à qui nous renvoyons le lecteur pour l'aspect purement technique de la mesure (DAUCHOT-DEHON et VAN STRYDONCK, 1978/79) car seules ici, les questions touchant au matériel à dater, aux prétraitements et aux limites de l'interprétation sont développées.

En effet, si les principes qui suivent sont clairement admis (à la suite de LIBBY : PAUL, CAMPBELL, RENNIE et Mc CALLUM, 1964 ; GOH, RAFTER,

STOUT et WALKER, 1976 ; GUILLET, 1979) :

- le ^{14}C naturel prend naissance dans la haute atmosphère par l'action du flux neutronique des réactions cosmiques sur l'^{14}N et s'oxyde immédiatement en se diluant avec les autres molécules ($^{12}CO_2$, $^{13}CO_2$) pour atteindre une concentration de l'ordre de 10^{-10} du carbone total,

- tout organisme vivant présente une concentration constante de cet isotope radioactif du fait d'un équilibre dans les échanges,

- la proportion $^{14}C/^{12}C$ décroît dès la mort des individus en fonction de la période ou de la demi-vie du ^{14}C (5570 ans en archéologie, nouvellement 5730) ; c'est-à-dire selon une réaction de premier ordre qui permet de dater un échantillon par la mesure de son activité isotopique,

il y a lieu de souligner qu'il n'est pas toujours possible de trouver, dans une formation superficielle, le matériel adéquat en place et en quantité suffisante, comme du charbon de bois, pour déterminer l'âge réel ou approximativement vrai d'un événement.

Aussi, nombreux sont les chercheurs qui estiment parfaitement justifié d'y utiliser la matière organique extraite (notamment GOH et MOLLOY, 1978) voire les "carbonates" (notamment MAGARITZ, KAUFMAN et YAALON, 1981) pour en apprécier ce que PAUL et ses cosignataires (1964) appelaient déjà l'âge moyen, le temps de résidence moyen (TRM) ou plus précisément encore le temps de résidence moyen apparent (TRMA) et par là, ordonner des faits plus que les dater réellement.

Ces nuances d'expression présentent donc une importance capitale pour la compréhension des résultats et c'est bien pourquoi, GEYH, BENZLER et ROESCHMANN (1971) en ont recherché les implications mathématiques qui peuvent être résumées de la sorte :

- la notion d'âge moyen correspond à la moyenne arithmétique des âges marquant le début et la fin d'un processus et ne procure donc aucune information sur la durée même du processus puisqu'il peut être identique (5.000

ans par exemple) pour des périodes différentes (6.000 - 4.000 ans ou 8.000 - 2.000 ans),

- le TRM intègre, suite à la biodégradation, l'humification et la minéralisation de la matière organique, l'activité ^{14}C résiduelle de multiples sources carbonées hétérochrones,

- dès lors, ces deux notions ne peuvent coïncider que dans les cas particuliers d'une distribution uniforme du matériel à dater ou parfaitement et exclusivement symétrique au début et à la fin du processus,

- la mesure radiométrique ne constitue qu'une approche de ce TRM, car la concentration isotopique décroît exponentiellement et non linéairement,

- plus l'âge attendu est élevé, plus une contamination est grave, c'est-à-dire que des pollutions de 0,5 et 1,0 % de carbone moderne dans une formation de 100.000 ans la feraient dater respectivement de 52.000 (calcul théorique) et 37.000 ans alors que des pollutions de 1,0 et 5,0 % dans une formation de 5.000 ans la feraient dater respectivement de 4.930 et de 4.670 ans,

- en conséquence, les différences d'âges de plusieurs milliers d'années sont possibles pour des sols formés pendant la même période et inversément des âges ^{14}C similaires peuvent être trouvés pour des sols à durées différentes de formation,

c'est-à-dire que la précision de l'argument n'est pas à confondre avec celle de la mesure expérimentale ($^{14}C \pm$ erreurs) et que des résultats isolés n'ont pratiquement aucune valeur.

Mais à ces restrictions d'ordre théorique viennent encore s'adjoindre celles de nombreuses complications au niveau de l'échantillonnage, à savoir :

- les variations de la concentration en ^{14}C de l'atmosphère autour de la planète et dans le passé (de VRIES cité par PAUL, CAMPBELL, RENNIE et Mc CALLUM, 1964 ; GOH, RAFTER, STOUT et WALKER, 1976),

- la discrimination isotopique induite par le type de photosynthèse (GUILLET, 1979),

- les pollutions industrielles de combustibles fossiles qui ont provoqué une diminution relative du contenu en ^{14}C de l'atmosphère depuis la fin du siècle dernier et jusque dans les années cinquante (GOH, RAFTER, STOUT et WALKER, 1976 ; PAUL et VAN VEEN, 1978),

- les récentes expériences thermonucléaires qui, en faisant passer ce contenu par un maximum en 1964, ont très largement compensé les effets précédents et qui sont considérées comme une opportunité pour étudier le turnover de la matière organique (PAUL et VAN VEEN, 1978),

- les remaniements dus aux effets gravitaires ou à l'activité faunique (ingestion, brassage), les contaminations par les racines et la percolation de substances humiques (GEYH, BENZLER et ROESCHMAN, 1971 ; SCHARPENSEEL, 1971),

- le rajeunissement (le plus souvent en climat humide) ou le vieillissement (le plus souvent en climat aride) des "carbonates" respectivement par des apports en solution ou par l'incorporation de produits plus anciens (GODWIN cité par BOWLER et POLACH, 1971 ; MAGARITZ, KAUFMAN et YAALON, 1981).

Evidemment, face à ces difficultés, certains auteurs ont suggéré de limiter l'usage de cette technique à :

- des matériaux particuliers (BECKMANN, 1971), comme cela avait été pratiqué tout au début en archéologie,

- des études d'intérêt dynamique conséquemment à l'idée d'un TRM maximum de 10.000 ans dans les formations de surface (BECKMANN et HUBBLE, 1974) ;

alors que d'autres préconisent des répétitions d'échantillonnages et de mesures en relation avec des observations détaillées de terrain conséquemment à l'idée d'apprécier, de la sorte, un âge minimum (POLACH et COSTIN, 1971).

C'est en adoptant cette seconde attitude que SCHARPENSEEL (1971, 1972, 1974) est arrivé, pour la matière organique, aux considérations ou constatations suivantes :

- le TRMA mesuré dans l'horizon humifère le plus profond d'un sol récent détermine l'âge minimum de sa formation,

- le TRMA d'un horizon fossile enfoui détermine le temps qui s'est écoulé jusqu'à et depuis son enfouissement,

- l'existence d'une relation significative entre la profondeur et l'augmentation de l'âge dans le cas, notamment, des sols isohumiques et des vertisols bien que cette corrélation soit moins évidente, pour ces derniers, dans la zone des cracks avant de l'être, à nouveau, très nettement dans les argiles hydratées sous-jacentes.

Toutefois, si la généralisation des études dans ce domaine a permis de nuancer les travaux de CAMPBELL, PAUL, RENNIE et Mc CALLUM (1967) en montrant que l'humine ne constitue pas systématiquement la fraction la plus ancienne et recouvre donc des composés organiques de stabilités diverses, les avis sont loin d'être unanimes sur la méthodologie à suivre, en ce sens que :

- GERASSIMOV (1971) défend le concept d'un humus biologiquement inerte qui serait indicatif d'un âge absolu ou plus subtilement, avec CHICHAGOVA (1971), de l'opportunité de la fraction la plus ancienne,

- SCHARPENSEEL (1971) privilégie les acides humiques et une méthode de prétraitement purement physique basée sur le prélèvement des fractions fines (60 - 2 μ et 2 - 0 μ selon les cas) par centrifugation,

- GOH, STOUT et RAFTER (1977), GOH et PULLAR (1977), GOH (1978), GOH et MOLLOY (1978) concluent d'abord un article par l'inutilité de fractionner la matière organique dans les essais de datation, puis, à la suite d'hydrolyses acides (HCl.6N, H_2SO_4.72 %, HNO_3.70 %) sur des dépôts d'origine volcanique, des tourbes et des sols, par le caractère inapproprié des extractions alcalines classiquement utilisées dans les fractionnements chimiques et la possibilité

surtout d'isoler des fractions plus vieilles, c'est-à-dire plus proches d'un âge réel.

Parallèlement, des études sur la vitesse d'accumulation des "carbonates" (LEAMY, 1974), sur la géochimie de la dissolution et de la reprécipitation carbonatée (SALOMONS et MOOK, 1976) ou sur les rapport $^{18}O/^{16}O$ et $^{13}C/^{12}C$ de nodules carbonatés (MAGARITZ, KAUFMAN et YAALON, 1981) sont entreprises.

Dernière référence qui montre que l'usage des radio-isotopes devient de plus en plus complexe et se diversifie pour aboutir à :

- la technique du marquage par les traceurs,
- la mesure de l'activité isotopique naturelle du ^{13}C (correction de l'âge ^{14}C), de ^{18}O, de ^{15}N, des familles radioactives de ^{238}U et ^{235}U (QUINIF, 1980) pour résoudre l'origine des matériaux, les degrés de pollution ...,
- l'enrichissement de la teneur en ^{14}C pour dépasser le seuil d'exploitation classiquement limité à moins de 50.000 ans (PAIVA, 1980).

2° REALISATION

Dans un tel contexte, cette étude suscite autant de réserves que celles formulées à la rubrique du pollen et ne peut concerner que des ordres de grandeur ou valeurs relatives. Ainsi, trois croûtes calcaires en dalle (G7.3, C4 et C13) et deux formations meubles superficielles (24.3 et 12.4) ont été retenues ; les premières pour apprécier une amplitude spatiale des âges entre des faciès qui ont été jugés les plus contrastés sur le terrain, les secondes pour recueillir des âges respectivement minimum et maximum sur le profil de cuvette et la troncature de glacis.

Les accumulations calcaires ont été directement prétraitées par DAUCHOT-DEHON avec HCl 40 % jusqu'à des pertes en poids comprises entre 32 et 53 % alors ques les formations meubles ont fait l'objet du raisonnement suivant : peu de matière organique totale, inconnues profondes sur la définition

des humines, préférence des données bibliographiques pour les acides humiques dans ce type d'environnement, quantités négligeables d'acides fulviques (cf. 8.1.3.), nécessité de poser simplement cette première tentative aux risques d'ignorer les développements les plus récents. En conséquence, le parti a été pris de calculer leur TRMA sur la fraction extraite par une méthode qui, inspirée des travaux de KONONOVA et BEL'CHIKOVA (1961) a déjà été appliquée au laboratoire, dans le même but, par ESCOBEDO (1980). Celle-ci consiste à :

- déterminer un poids d'échantillon (2 mm) pour obtenir 2 à 5 g (THOMMERET, 1980) de carbone pur en se basant sur les résultats du carbone total et en sachant que le réactif employé n'en extrait que 50 % environ, soit plus d'1 kg dans les cas présents,

- utiliser un mélange de 44,6 g de $Na_4P_2O_7$ et de 4 g de NaOH par litre en respectant le rapport d'extraction 1/20 soit plus de 20 l dans les cas présents,

- éliminer les derniers débris organiques en suspension,

- agiter une nuit sous courant d'azote,

- décanter, siphonner, centrifuger jusqu'à sédimentation des argiles peptisées,

- dialyser le surnageant (acides humiques et fulviques) en renouvelant l'eau distillée 3 fois/jour pendant 3 jours,

- évaporer à 50 - 60° C,

- broyer ;

et à conduit à l'obtention d'une matière organique pulvérulente pour l'échantillon 24.3, grasse et collante pour l'échantillon 12.4. Mais bien qu'au départ, le but était de limiter les opérations et donc les pertes, il eût certainement mieux valu réaliser la mise à pH 1 après la centrifugation pour ne retenir que les acides humiques, éliminer les traces éventuelles de calcaire (?) quoique les con-

ditions de l'extraction (pH 13) ne soient pas celles de la solubilisation, et diminuer, par là, les volumes à dyaliser et à évaporer.

10.2. LE DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES

10.2.1. LE CONTINENTAL SUPERIEUR

Avec un mélange relativement bien assuré des caractères steppique, méditerranéen et septentrional, le cortège pollinique de l'échantillon G7.7 (Tableau 19, Fig. 61) est hybride et témoigne d'un environnement peu sélectif qui, outre l'hypothèse d'une pollution sous des vents différents, s'accorde parfaitement avec l'idée d'un milieu de réception détritique du type lacustre.

10.2.2. LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

- Les déterminations polliniques montrent que :
  . la croûte saumonée G7.3 est dominée par le caractère septentrional d'une ambiance arborée dont les deux principaux genres (Alnus et Betula) permettent d'imaginer, sous réserve des espèces, une origine palustre ou ripicole ; mais étant donné l'explication hétéromorphique retenue pour les accumulations calcaires, la persistance de ces essences en Afrique du Nord (cf. 3.1.4.2°) et le contexte basique qui nous semble particulièrement peu propice au bouleau, nous penchons pour un apport pendant une période régionalement plus fraîche et plus humide (ne fusse que par les vents dominants),
  . l'ensemble des croûtes de glacis oscille entre les caractères arboré méditerranéen (C18) et le plus souvent steppique (C27, C20 et C9) ou, pour être moins exclusif avec le grand nombre d'ubiquistes, d'un milieu quasi herbacé un peu plus sec que l'actuel ..., la présence généralisée de quelques grains de céréales faisant supposer un léger remaniement à partir du Néolithique ?

Ech. / Pollens		G7.7	G7.3	C27	C20	C18	C9
Alnus	nb	1	7	-	-	-	-
	%	1	13	-	-	-	-
Betula	nb	10	18	1	1	1	3
	%	12	33	-	-	-	4
Corylus	nb	-	4	-	-	2	1
	%	-	7	-	-	1	1
Pinus	nb	17	5	22	25	167	6
	%	21	9	5	6	61	8
Quercus	nb	2	2	11	16	-	1
	%	2	4	3	4	-	1
Ephedra	nb	1	-	5	1	2	-
	%	1	-	1	-	1	-
Pistacia	nb	-	-	1	4	1	-
	%	-	-	-	1	-	-
Oleaceae	nb	-	-	6	6	3	-
	%	-	-	1	2	1	-
Autres	nb	-	1	2	1	1	2
	%	-	2	-	-	-	3
Σ A.P.	nb	31	37	48	54	177	13
	%	37	68	10	13	64	17
Artemisia	nb	7	-	1	15	2	-
	%	9	-	-	3	1	-
Chenopodiaceae	nb	2	1	7	4	3	2
	%	2	2	2	1	1	3
Compositae	nb	1	-	110	54	35	8
	%	1	-	26	13	13	11
Graminae	nb	-	13	147	30	27	24
	%	-	24	34	7	10	32
Ceréales	nb	-	-	11	8	5	1
	%	-	-	3	2	2	1
Plantago	nb	28	-	86	228	2	4
	%	34	-	20	55	1	5
Umbelliferae	nb	3	-	4	2	5	3
	%	4	-	1	-	2	4
Cruciferae	nb	-	-	9	11	8	12
	%	-	-	2	3	3	16
Autres	nb	5	-	8	6	8	8
	%	6	-	2	1	3	11
Σ N.A.P.	nb	46	14	383	358	95	63
	%	56	26	90	87	36	83
Indét.	nb	6	3	-	-	-	-
	%	7	6	-	-	-	-
Total	nb	83	54	431	412	272	76

TABLEAU 19 : Résultats polliniques du Continental supérieur et de quelques croûtes calcaires.
(Autres = toujours moins de 3 grains)

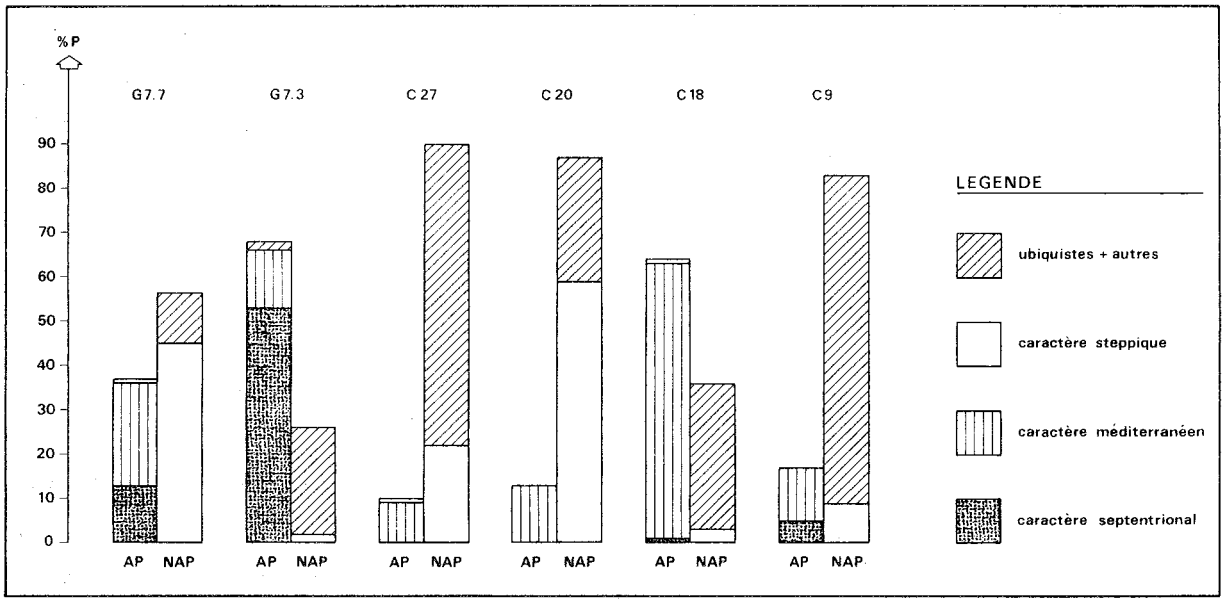


FIG. 61 : Spectres polliniques simplifiés.

- les mesures du ^{14}C font ressortir que :
  . quel que soit l'âge réel de la surface en bordure du plateau, cette même croûte en dalle G7.3 date du Quaternaire récent ou y a été, pour le moins, fortement rajeunie (Tableau 20),

Echantillons	en années B.P.	en années B.C.
12.4 - IRPA 429	5.210 ± 260	3.260 ± 260
24.3 - IRPA 430	3.820 ± 215	1.870 ± 215
C13d - IRPA 431	10.940 ± 140	8.990 ± 140
C4d - IRPA 432	26.650 ± 625	22.700 ± 625
G7.3d - IRPA 433	34.080 ± 1.945	32.130 ± 1.945

TABLEAU 20 : Résultats du ^{14}C.

. la croûte zonaire de glacis (C4d) est nettement plus ancienne que celle de cuvette (C13d) ou qu'elle y a remanié des formations plus anciennes ; ce qui, dans les deux cas, confirme que les conditions favorables aux accumulations calcaires ont été de plus en plus restreintes, voire nettement discontinues, pour se limiter finalement à des surfaçages.

10.2.3. LES FORMATIONS MEUBLES COLOREES

Les mesures du ^{14}C suggèrent que la troncature des terres rouges a été postérieure à l'initiation des terres noires et que, de ce fait, ces deux types de formations aient pu être contemporaines à un moment donné de leur évolution.

10.3. LES FAITS ESSENTIELS ET LEUR INTERPRÉTATION

De ces essais, on peut retenir que malgré toutes les réserves théoriques émises sur l'emploi des arguments de la palynologie et du radiocarbone dans les accumulations calcaires et les sols, les résultats ainsi obtenus ne viennent nullement contredire nos interprétations des chapitres précédents et poussent, au contraire, à les moduler de la façon suivante :

- le TRMA (34.080 $\pm$ 1945 ans BP) de la croûte en dalle saumonée G7.3, dont le faciès est classiquement attribué au Moulouyen par les auteurs, prouve que les événements du Quaternaire supérieur (altération, remaniement, érosion, enfouissement, ...) ont très largement oblitéré les témoins superficiels des périodes antérieures et qu'il est, dès lors, exclu de vouloir figer une surface dans son étagement ; valeur qui, compte tenu de la définition même du temps de résidence moyen et de l'importance croissante des pollutions avec (sur) le temps (estimé), prouve aussi que les dernières retouches ont pu être encore plus récentes qu'il y paraît,

- ces restrictions sont applicables aux autres datations, notamment au TRMA de la croûte zonaire de glacis C4d (26.650 ± 625 ans BP), mais perdent de leur portée avec la diminution même du temps mesuré ; du moins en ce qui concerne l'essentiel d'une dynamique, c'est-à-dire d'une formation, si elle est peu remaniée, ou de son remaniement, si c'est l'inverse,

- les conditions climatiques au cours de l'histoire perceptible (insistons sur l'expression) des croûtes de bordure et de glacis semblent n'avoir évolué qu'entre une tendance (à peine) plus humide et une tendance (à peine) plus aride que l'actuelle et par là, n'avoir jamais été que des variantes de la gamme méditerranéenne (glissement d'un ou de deux étages bioclimatiques présentement distribués - cf. 5.1.1.),

- les datations les plus récentes recoupent celles inventoriées dans la bibliographie (cf. 4.1.2.2° et 4.1.4.1°), à savoir que le TRMA :
  . de la croûte zonaire de cuvette C13d (10.940 ± 140 ans BP) coïncide pratiquement avec celui donné par WILLIAMS pour un travertin enfoui et soulignerait parallèlement la tendance vers l'aridité du Tardiglaciaire-Holocène inférieur déjà signalée par ORTLIEB,
  . de la terre noire 12.4 (5.210 ± 260 ans BP) approche de très près celui attribué par BALLAIS à un sol noir fossilisé et consoliderait l'hypothèse d'un Optimum néolithique,
  . de la terre rouge tronquée 24.3 (3.820 ± 215 ans BP) correspond assez bien à celui proposé par RAYNAL pour une crise climatique post-néolithique.

De ces précisions, il ressort que l'interprétation des datations les plus élevées reste le point délicat de la discussion, car :

- leur vieillissement équivaudrait à tendre ou à opter pour la reconnaissance classique des niveaux moulouyen et tensiftien en même temps qu'à faire jalonner tout le post-Soltanien des auteurs par les terres rouges,

- leur prise en considération inchangée, aboutirait à y voir une seule ou dernière accumulation de glacis et à rencontrer l'hypothèse de WEISROCK

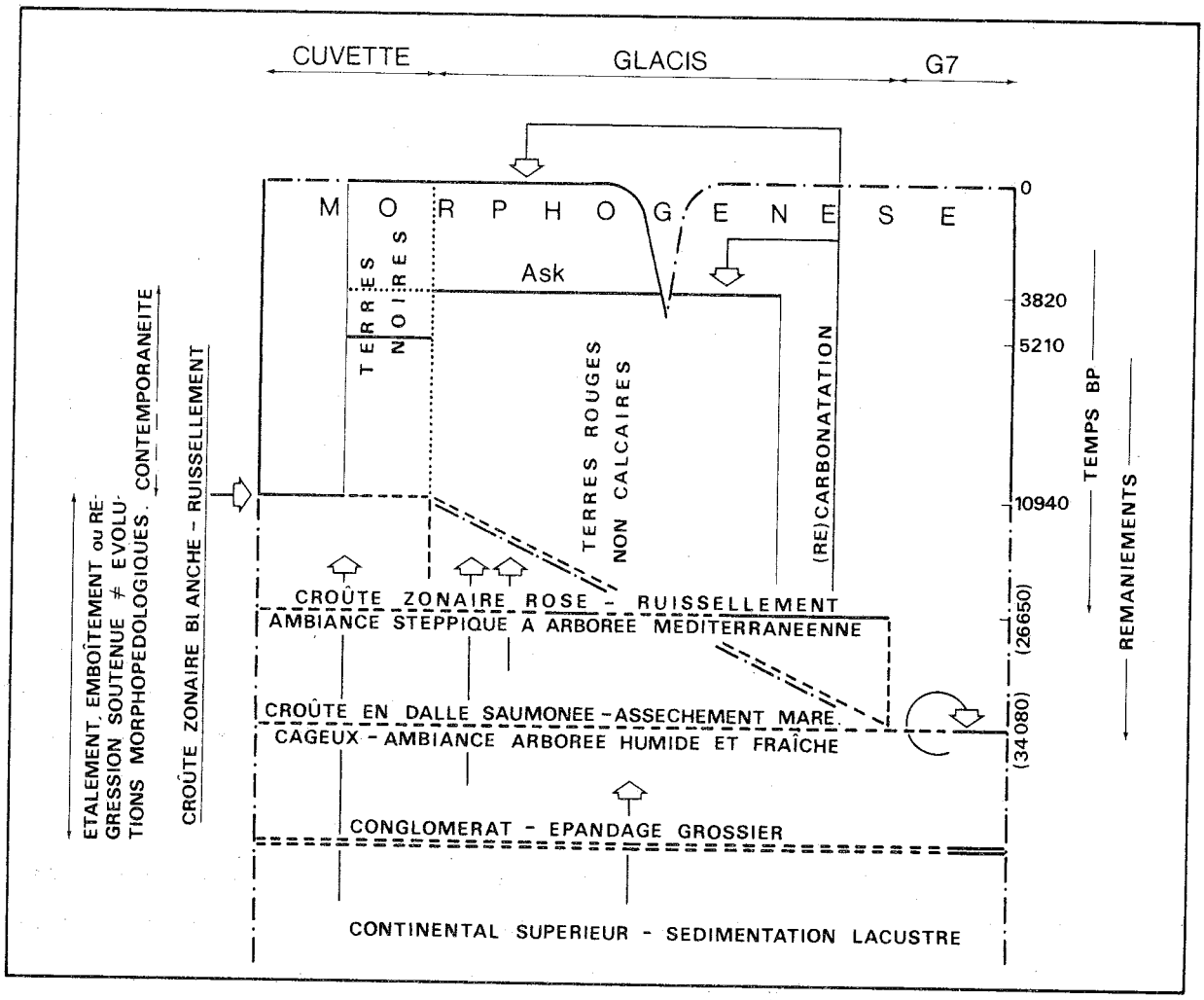


FIG. 62 : Essai de reconstitution chronospatiale (G7 = coupe de bordure).

- au hasard des discontinuités, les milieux d'accueil peuvent être lithologiquement variés (flèches verticales) et même affleurer (trait de chaînette horizontal) ; certaines (re)carbonatations par la base et/ou par la surface étant possibles,

- la troncature, l'enfouissement et la dilution des terres rouges sont, à en juger par l'ampleur du manteau colluvial (Ask), d'origine climatique et marquent le début de la phase actuelle de morphogenèse qui a épargné, du moins pendant encore un certain temps (ponctué horizontal), les terres noires,

- éléments grossiers, mouvements de masse, ruissellement et incision sont les manifestations épisodiques d'une même grande tendance à l'instabilité.

et ROGNON (cf. 4.1.4.1°) à propos d'une période biostasique (favorable à la rubéfaction) entre 28.000 et 14.000 ans BP,

- leur rajeunissement signifierait l'intégration de tous les faciès étudiés dans une seule période d'aridification progressive à la charnière précédemment rappelée et surtout l'association paysagique étroite, à l'occasion d'un retour de l'humidité, des terres rouges non calcaires sur les glacis avec les terres noires dans la cuvette ; exactement comme DELIBRIAS, ROGNON et WEISROCK (cf. 4.1.4.1°) ont avancé l'idée d'un "limon rubéfié par l'héritage mais non encroûté du Rharbien classique".

En conséquence, un essai graphique (Fig. 62) de reconstitution chronospatiale permet de dégager que :

- si les niveaux peuvent être très anciens, les événements à la surface du plateau sont fini-pléistocènes à très largement holocènes,

- la dalle saumonée, qui scelle ponctuellement (discontinuité par lacune ou par érosion) les témoins remaniés d'un milieu marécageux, constitue le plus vieux repère relatif (trait de chaînette vertical) de cette histoire considérée comme récente, au cours de laquelle les conditions climatiques n'ont jamais cessé d'être du type méditerranéen,

- quelle que soit la formule retenue pour l'ensemble des accumulations calcaires : étagement (tireté vertical), emboîtement (tireté horizontal) ou régression soutenue (tireté doublé d'un trait de chaînette oblique), la croûte zonaire blanche de cuvette suffit à confirmer les conditions d'un assèchement total aux environs de 10.000 ans B.P.,

- si l'amorce ou la reprise d'une pédogenèse rubéfiante a été antérieure, ne fusse que par un déphasage amont-aval dans le retour d'un climat favorable, à celle d'une pédogenèse noircissante, les produits de ces différenciations morphopédologiques (terres rouges non calcaires et terres noires) doivent être tenus pour contemporains d'un même (ou dernier) Optimum climatique à situer aux environs de 5.000 ans B.P. ; la première sur glacis ayant influencé la seconde de cuvette saisonnièrement humide,

Dès lors, on peut finalement conclure que :

1) les croûtes collectées à la surface des glacis ne sont que des retouches d'accumulations plus anciennes,

2) seule la cuvette reste propice à la conservation d'une accumulation récente dans son milieu plus ou moins originel,

3) les formations meubles ne peuvent être chronologiquement opposées puisqu'elles caractérisent avant tout des conditions morphopédologiques différentes,

ce qui corollairement signifie que :

- s'il fallait rapprocher les accumulations calcaires d'une quelconque pédogenèse, ce serait davantage avec celle (intrazonale) des terres noires qu'avec celle des terres rouges,

- la pédogenèse noircissante a certainement marqué tout autant le Quaternaire que la pédogenèse rubéfiante, mais que, de par leur position même dans le paysage, les témoins en ont été successivement éliminés,

- le schéma de la biorhexistasie reste valable à condition d'admettre que le bas-fond d'une époque ait pu constituer l'amont de la suivante ; par contre, si l'échelle chronostratigraphique peut encore être pratique dans l'approche d'un Quaternaire inférieur ou moyen mal connu, le cadre soltano-rharbien doit être considérablement réajusté.

QUATRIÈME PARTIE

Synthèse, conclusions, annexes et informations d'usage

REMARQUES PRELIMINAIRES

Comme nous l'avons fait remarquer dans la troisième partie, en réalisant d'ailleurs un schéma presqu'inverse (formations meubles colorées, accumulations calcaires, Quaternaire) de celui adopté dans l'étude bibliographique, un argument dégagé de son contexte n'a pratiquement aucune valeur. Aussi, après un rapide rappel des concepts en présence, nous préférons, en guise de conclusions, commenter un tableau de synthèse qui illustre la logique d'une intégration pluridisciplinaire à un verdict abusivement simplificateur et oublieux des réserves émises ; le retour à l'itinéaire de lecture (page 6) étant aussi vivement conseillé.

Cette synthèse, ainsi mise en tête de quatrième et dernière partie, est suivie par la présentation des arguments d'usage, à savoir dans cet ordre :

- bibliographie,
- annexes (descriptions de profils),
- liste des illustrations (Tableaux, Figures, Photos),
- table des matières.

Synthèse et conclusions

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

A l'occasion du Séminaire de Pédologie d'Alger (1975) sur les sols calcaires, nous avons constaté que cette composante peut se présenter sous des formes très diverses et qu'il est souvent plus exact de parler de profils à accumulations calcaires. Constatant par ailleurs que ceux-ci peuvent être parfois très contrastés et que, paradoxalement, la superposition d'une formation meuble non calcaire sur une accumulation bien développée anime le plus la question du calcaire dans les sols, nous avons jugé nécessaire, face au particularisme des interprétations discutées et eu égard à l'importance du sujet en termes de mise en valeur, de remonter aux considérations du Congrès de Montpellier-Alger (1947) pour refaire un historique complet de la controverse et par là, tenter de répondre au souhait émis par les participants au Colloque de Strasbourg (1975). Très vite, il nous est apparu que cette analyse devait intégrer l'étude du Quaternaire et celle des formations meubles colorées ; ainsi de la première partie, il s'est dégagé que :

- la reconnaissance d'étagements et de faciès différents a abouti, dans le cadre de la théorie pluviale, à une proposition d'échelle chronostratigraphique (1956) qui, après avoir connu plusieurs retouches (mouvement pendulaire, distinction de phases, décalage amont-aval, ...) est diversément acceptée pour son caractère relatif, mais pratique, ou critiquée pour son inadéquation à assimiler les études précises, les variations régionales, les dépôts arides, ...,

- si l'Afrique du Nord a été le berceau des études sur les accumulations calcaires, leur distribution est très large et de ce fait, leur terminologie est variée,

- les essais de nomenclature et de classification pour ces accumulations reposent sur des critères très différents d'âges (relatifs), de propriétés physiques ou chimiques, de volume approximatif, de caractéristiques

morphologiques qui, utilisant des symboles, des noms vernaculaires ou des expressions figuratives, aboutissent à des systèmes chronologiques, évolutifs et/ou écologiques suivant l'interprétation mono ou polygénétique adoptée,

- ces interprétations sont très nombreuses, et dépendent du type d'approche, à savoir :
  . géomorphologique qui, ayant engendré l'échelle précitée, défend des répartitions géographiques et chronologiques,
  . pédologique qui, au départ de considérations sur la dualité du mouvement vertical (per ascensum et per descensum), s'est focalisée sur le rôle joué par la végétation et sur le principe du lessivage oblique dans un sol (concept de l'horizon Bca),
  . morphopédologique qui, prenant le schéma de la biorhexistasie comme base, cherche à départager les données de la géopédologie et de l'écopédologie (concept de l'horizon Cca),
  . géochimique qui, après avoir exploité l'argument de l'attapulgite, a évolué vers le principe de l'épigénie,
  . sédimentologique qui, avec ses diverses variantes hydriques de milieux fluvio-palustres, intègre l'activité microrganique ; la dernière en date (LANG, 1981) différenciant les milieux automorphes (prédominance biologique) des milieux hétéromorphes (prédominance physico-chimique),
  . expérimentale qui tend à valider la régionalisation et la diversification des processus,

- la nécessité d'une source d'approvisionnement calcaire ou calcique de même que l'éventualité d'un transport éolien étant entendues, la précipitation du calcaire peut être due :
  . à une simple augmentation de la température ou à un changement d'état de l'eau (gel, évaporation),
  . à une rétrogradation de l'acidolyse ou à une oxydation des acides organiques,
  . à un mélange de solutions minérales différentes ou à l'apport d'un sel ayant un ion commun ($CaSO_4.2H_2O$ par exemple),
  . aux actions biochimiques (assimilation chlorophyllienne, fixation directe, ...) ;

tous phénomènes que MUXART (1981) lie étroitement à l'échelle de la journée, des saisons, des cycles écologiques et morphoclimatiques (Quaternaire),

- les principales sources d'incompréhension entre les chercheurs naissent de :
  . la différence entre les milieux comparés,
  . la partialité des définitions et des concepts,
  . la perception inégale des techniques employées,
  . la difficulté d'apprécier le facteur temps,
  . l'absence d'une méthodologie qui favorise la hiérarchisation des processus répétés de l'altération, du transport, de la sédimentation et de la diagenèse,

- de ces considérations dépendent largement les arguments de la dialectique qui concernent les formations meubles colorées, avec notamment :
  . pour les terres rouges : la (dé)carbonatation, la (dé)saturation, le type d'argile et ses liaisons (fer, matière organique), le lessivage ou la microdivision argileuse suivie de colluvionnement, l'effet des tensions physiques internes, l'actualité de la rubéfaction, de la brunification ou de l'isohumisme, la forme du fer,
  . pour les terres noires : le type d'argile et principalement des smectites (ferrifères ou magnésiennes), l'origine topomorphique ou lithomorphique avec des variantes de drainage et de structure, l'éventualité d'une prérubéfaction.

Convaincu dès lors que la question ainsi posée est complexe et doit être menée dans un esprit d'interdisciplinarité, nous avons abordé le terrain (deuxième partie) sous l'angle du bilan morphopédologique qui nous a paru le seul apte à intégrer l'aspect dynamique et à amorcer l'ordonnance logique des observations sur le plan scientifique, tout en permettant de dégager rapidement certaines contraintes d'intérêt pratique. Aussi, après une présentation quelque peu monographique du plateau de la Taourga à différentes échelles de perception (focalisation) au cours de laquelle l'accent a particulièrement été mis sur l'importance des phénomènes tectoniques (jusqu'à des gauchissements quaternaires), la difficulté d'établir la stratigraphie du Continental

(supérieur) et sur les programmes d'aménagement, nous avons appliqué cette démarche : étude critique des modèles existants, inventaire lithologique, photointerprétation (en utilisant notamment un analyseur d'images), reconnaissance des principales unités avec collecte d'accumulations calcaires, description de quatre toposéquences (sur livrets "informatiques") totalisant 30 profils (sans recours prématuré aux symboles et classification). Démarche qui nous a permis d'aboutir à (Tableau 21, Photo 48) :

- la confirmation, dans ce sillon intratellien semi-aride situé à 55 km au Sud d'Alger à vol d'oiseau, d'un contraste lithologique entre un amont constitué de marnes, d'argilites, de grès quartzitiques et de calcaires du Crétacé formant une bande monoclinale de pendage Sud et un aval (milieu d'accueil) constitué d'une argile calcaire jaune du Continental,

- une accentuation, de fait, des contrastes morphologiques,

- un regroupement des profils en unités de :
  . (versant de) massif avec une rubéfaction localement très poussée,
  . glacis de piedmont (p.m.), de "pente" et de plateau présentant le plus souvent un manteau colluvial d'épaisseur et de charge variables sur un matériau fin, rubéfié, non calcaire et à belle structure prismatique que souligne, à la base, une accumulation calcaire (dis)continue (les premiers glacis étant parfois davantage lithomorphiques ou (re)carbonatés),
  . glacis-cônes et de chenaux (p.m.) aux caractéristiques morphologiques et ensuite aux résultats d'analyses (variablement) intermédiaires à ceux des autres domaines,
  . cuvette à terre noire calcaire,

- la réduction des accumulations calcaires continues à trois faciès avec l'hypothèse que le plus saumoné (coupe de bordure = tranchée d'oued) correspondrait à la haute terrasse moulouyenne des auteurs et que les deux autres (rose de glacis et blanc de cuvette) s'en différencieraient écologiquement et/ou chronologiquement,

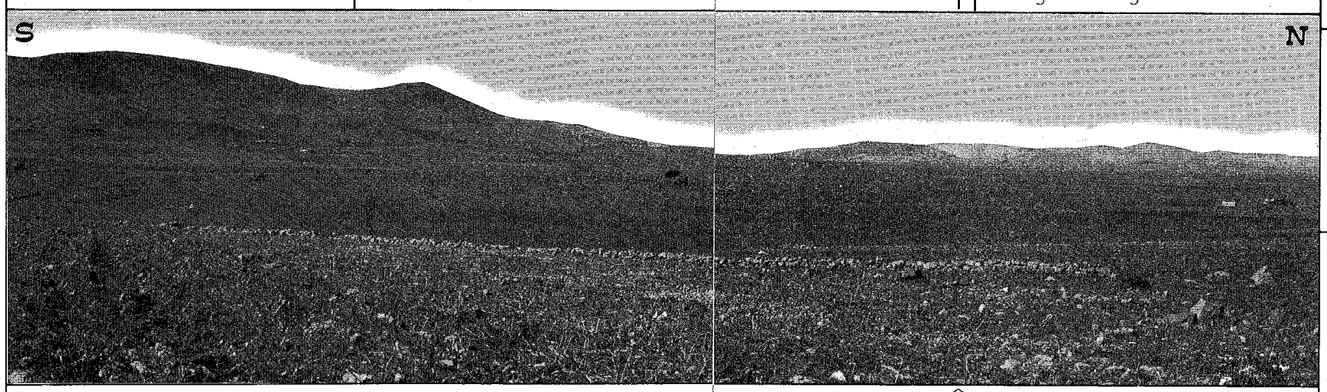
MASSIF

AMONT CRETACE - BANDE MONOCLINALE - PENDAGE S

MARNES → GONFLANTS + ILLITES, ARGILITES → ILLITES, QUARTZITE = FONDS DE KANDITES

FRAGMENTATION, ALTERATION ET RUBEFACTION POTENTIELLES

FORMATIONS M: COLOREES			
Géomorphologie	"Pente" GLAC Plateau	CUVETTE	
Chimie	Milieu quasi s (Ca) K ——→ légère illi:on Fe (cryptocristallin) ——- -→	Milieu confiné ($CaCO_3$) Mg → Smectitisation Mo-Argile (FeL)	
Minéralogie	1,5K + 5,5I + 3,0SG = A 1,5K + 6,5I + 2,0SG Microdivision itage 1,5K + 4,5I + 4,5SG = ALo 1,5K + 5,5I + 3,5SG Zircon	A = 1,0K + 3,0I + 6,0G Transformations	
Micromorphologie	Juxtapositions matricielles, p brun rouge, séparations (bi)masépiques, papules uamation ≡ colluvionnement, rubéfaction (Fe-Ar stress, mouvement de mass	-	
Symbole	$A(sk)_p$, AB, 2(B C$_{ca}$	Ap, C1, 2C2, ...	
Classification	Sol fersiallitique rouge c al (et vertique) sur accumulatio aire (calcic or petrocal odoxeralf)	Vertisol topomorphe (sans → avec drainage) Pelloxerert → Chromoxerert	
Contraintes	Eléments grossiers en surfac çage, texture lourde (caractère vertique), prof de l'accumulation calcaire, rétrograda u K, P-Fe.	Texture lourde, caractère vertique, Ca actif, P-Ca NH_3^+, NO_3^-, ≠ carences	



MILIEU D'L (AVAL)

Lithologie		Microstructures	$CaCO_3$	Illit.	Gonfl.	Zircon	Bilans
Cr. en dalle		Stromatolithes, ooïdes	\/\/	\/	SG		Hydrobiostasie de surface
Cr. friables		Vase, boue, pellets ?	\/\/	\/\/	/\	/\/\	Milieu marécageux
Acc. calc. discontinues	GAUCHISSEMENT	Litharène, revêt. arg.	\/	\/	/\/\	/\	Atterrissements morphopédol.
Conglomérats							
Argile calc. jaune		Micrite quartzeuse + Mn			/\/\	/\/\	Lacustre (azoïque ?)

Terres noires — Ask — 5210BP — (± 10.000BP) — CR.Z. — Blanche

3820BP TERRES ROUGES I V R E Aride(s)

Cr. zonaire rose C E N T (sub)humide

Dalle saumon remaniée ? Niveau

Moulouyen

Conglomérat

Continental post-nappes mio-plio-villafranchien

BISIALLITISATION (HYDROLYSE PARTIELLE) APPARENTE (GLACIS) ET VRAIE (BAS-FONDS)

RECONSTITUTION PALEOGEOGRAPHIQUE ET CHRONOLOGIQUE

- l'expression des contraintes en termes de mouvement de masse, de ruissellement épars ou diffus (glaçage), de profondeur, de texture et de type d'argile (caractère vertique), de teneur en calcaire et de sa forme d'accumulation, de charge en éléments grossiers, ... avec le régime hydrique comme résultante.

Dans cette approche, les techniques de la pédologie nous ont permis d'assurer fort logiquement le relais avec le laboratoire (troisième partie) pour la reconnaissance tout aussi rapide des principaux paramètres intéressant la terre fine des formations meubles colorées, à savoir :

- géopédologiques avec le calcaire total, la texture, les rapports d'éléments totaux Mg/K et Al/Fe, le rapport fer libre sur fer total et le dosage du fer complexable,

- écopédologiques avec la mesure du pH H_2O, le calcaire actif si justifié (sans compter les différents problèmes de carences en N, P, Fe, B, Mn, Cu, ...), le dosage du carbone total et le rapport C/N, le taux d'extraction de la fraction organique liée et les rapports AH1/AH2, H1/H2,

- synthétiques avec la capacité d'échange cationique totale, dont le rapport obtenu par deux méthodes différentes, et la micromorphologie,

c'est-à-dire de distinguer la voie ferro-potassique d'un milieu lixiviant de transit sur les glacis et la voie calcaro- ou calci-magnésienne d'un milieu confiné de cuvette, d'attribuer la rubéfaction à un état cryptocristallin du fer étroitement lié aux argiles, de limiter le rôle de la matière organique (isohumisme cumulique, vertique ou anthropique) et de montrer, déjà par l'absurde, que les accumulations calcaires ne peuvent constituer un horizon Bca dans le fonctionnement actuel de profils colluvionnés (microdivision argileuse et stress) au départ de roches non nécessairement calcaires (milieu quasi saturé ne résultant pas d'une décarbonatation obligatoire). Mais c'est incontestablement l'adoption hiérarchisée des techniques de la minéralogie (~ approche géochimique), et de la pétrographie (~ approche sédimentologique) qui a permis de discuter concrètement la genèse des accumulations calcaires en termes d'hydromorphopédogenèse et d'horizon Cca, notamment :

- l'étude des minéraux denses transparents dont le seul pourcentage en zircon suffit à faire la part entre le pôle du Crétacé (exemple des croûtes en dalle) et celui du Continental (exemple de nombreuses accumulations discontinues),

- la détermination des "minéraux" argileux cristallins (kandites héritées du fonds gréso-quartzitique, illites, smectites et interstratifiés) par diffractométrie RX qui révèle :
  . une ambiance générale toujours bisiallitisante,
  . un gradient vertical dans les accumulations calcaires au sens d'une diminution des gonflants vers la croûte en dalle supérieure ou inversément pour les illites,
  . un héritage très net des terres rouges accompagné d'une légère illitisation par agradation ou rétrogradation du potassium,
  . une smectitisation par transformations ménagées pour les terres noires de cuvette,

- la recherche de l'attapulgite au microscope électronique à transmission (M.E.T.) dont l'identification très sélective prouve l'origine et la conservation (péri)lacustre ... ou pour le moins un milieu confiné à grande échelle (!),

- le contrôle des complexations organo-minérales à l'analyse thermique différentielle (A.T.D.) qui a permis de détecter une grande quantité de matière organique volatile dans une croûte zonaire,

- la description de nombreuses microstructures du type vase, boue, pellets (?), ooïdes, stromatolithes ... dans les croûtes ;

ensemble d'arguments qui concourent à interpréter : les accumulations calcaires discontinues de glacis (limon rouge inférieur des auteurs) comme des atterrissements morphopédologiques brutaux prérubéfiés en milieu sédimentaire, les croûtes friables comme le produit d'une activité organique (saisonnièrement) marécageuse et les croûtes en dalle comme le résultat d'une hydrobiostasie de surface par assèchement ... augmenté de ruissellement pour le faciès zonaire. Mais c'est donc aussi et seulement dans ce contexte que les techniques de la paléoécologie (palynologie et ^{14}C) trouvent, à

la fois, un système de référence et leur pleine valeur démonstrative (jalons de PLAZIAT, 1978), c'est-à-dire d'assurer que quel que soit l'âge du niveau de la Taourga, les événements à la surface de ce plateau sont fini-pléistocènes à très largement holocènes (Quaternaire récent) et ont toujours été engendrés par un climat méditerranéen à peine différent de l'actuel ... (sub)humide pour la dalle saumon remaniée (Betula et Alnus dominants) et aride(s) susupérieur (arboré, Pinus dominant) à inférieur (steppique, Plantago dominant) pour les croûtes (zonaires) de glacis.

Dès lors, entérinant que les accumulations collectées à la surface des glacis ne peuvent être que des retouches de formations plus anciennes, acquérant la preuve que la cuvette a été totalement asséchée aux environs de 10.000 ans BP et notant que la troncature des terres rouges (temps de résidence moyen apparent recueilli de 3.820 $\pm$ 215 ans BP) est postérieure à l'initiation des terres noires (T.R.M.A. de 5.210 $\pm$ 260 ans BP sur matière organique extraite), nous concluons que :

- terres rouges et terres noires doivent être tenues pour contemporaines d'un même (ou dernier) Optimum climatique à situer aux environs de 5.000 ans BP,

- ces pédogenèses "complémentaires" ne doivent dépendre que d'un léger glissement bioclimatique vers l'humide et se développent peut-être timidement dans les années (inégales) de forte pluviométrie,

- à l'inverse, une tendance plus aride favoriserait de nouveaux décapages et surfaçages polygéniques de croûtes zonaires,

- le bilan actuel est en faveur d'une morphogenèse de mouvement de masse et d'apport qui favorise les remaniements et les héritages,

- le symbole $A(sk)_p$, AB, $2(B)_t$, $3C_{ca}$ suggéré pour les profils de glacis résume parfaitement cette démonstration qui affirme les discontinuités avec : un horizon A cultivé riche en éléments grossiers, un horizon AB de transition toujours hétérogène par la charge mais non pas la terre fine, un

horizon B (tronqué) de structure (prismatique) riche en argile (non quantitativement lessivée = désaccord avec la classification américaine) et une accumulation calcaire continue à discontinue en voie d'altération,

- ce type de profil correspond davantage à la définition d'un sol fersiallitique (caractère minéral constant) rouge colluvial à réserve calcique (et vertique) sur accumulation calcaire qu'à celle d'un sol isohumique (caractère organique secondaire) marron (intergrade),

- le symbole Ap, C1, 2C2 ..., retenu pour un profil qui présente toutes les caractéristiques d'un vertisol topomorphe, illustre le parallélisme morphogénétique,

- les profils intermédiaires sont à classer, en conséquence, à la rubrique des sols peu évolués d'apport colluvial ... calcaire ou non.

Nous voici donc arrivé à un tournant de l'investigation entre le sol dont on étudie la genèse et la terre à mettre en valeur sur un plateau qui, s'il ne nécessite guère plus d'études théoriques dans son maintien d'une agriculture en sec, est particulièrement pauvre en données économiques de classement pour le choix d'un aménagement et d'une intervention agronomique adaptés. C'est précisément, ici, que l'approche morphopédologique se révèle la seule apte, comme nous l'avons déjà écrit (BOCK, CALEMBERT et MATHIEU, 1981) à déboucher rapidement sur des problèmes d'expérimentation et sur l'extrapolation de leurs résultats. L'exemple étudié peut, en effet dans l'avenir, servir de modèle pédologique pour tout le piedmont Nord de la chaîne des Biban moyennant le contrôle de la lithologie et de quelques paramètres simples (pH H_2O, calcaire, granulométrie, capacité d'échange cationique) ; le classement lui-même dépendant du contexte socio-économique et se prêtant au sujet d'une thèse annexe.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

ADOLPHE, J.P. (1972) Obtention d'encroûtements carbonatés par gel expérimental. C.R.Ac. Sc., Paris, t. 274, D, 1139-1142.

ADOLPHE, J.P. et BILLY, C. (1974) Biosynthèse de calcite par une association bactérienne aérobie. C.R.Ac. Sc., Paris, t. 278, D, 2873-2875.

ADOLPHE, J.P. (1975) Rôle des microrganismes dans les concrétionnements calcaires continentaux. Col. Strasbourg, 71-75, cf. Vogt.

ADOLPHE, J.P. et MARECHAL, C. (1977) Minéralisation des dépôts carbonatés expérimentaux d'origine microbienne. Comparaison des roches calcaires obtenues par biogenèse à celles actuelles et fossiles observées dans la nature. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 284, D, 1381-1384.

AGAFONOFF, V. (1936) Sols types de Tunisie. An. Serv. Bot. et Agron., Tunisie, t. 12-13, 413 p.

ALIMEN, H. (1976) Alternances pluvial-aride et érosion-sédimentation au Sahara Nord-Occidental. Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn., v. 18, f. 4, 301-312.

ANTOINE, A., SKOURI, M., RONDIA, G., MATHLOUTHI, M., RONDIA-DEKER, A. et DACHET, P. (1976) Le projet ferme modèle et démonstrative de Frétissa et son évaluation à mi-parcours. Ce qui a été fait. Ce qui reste à faire. An. Gembloux, Fac. Sc. Agron., Belg., 82, 3, 93-143.

ANTOINE, P.P. (1976) Caractérisation des sols marocains au moyen de la taxonomie américaine des sols. INA Sém. Pédol. 1975, An. Alger, v. 6, n° 1, 173-184.

ARAKEL, A.V. (1982) Genesis of calcrete in Quaternary soil profils (Hutt and Leeman lagoons, W. Australia). Journ. Sed. Petr., v. 52, n° 1, 109-125.

ARNAL, H. (1972) Aspects microscopiques de deux paléosols fersiallitiques très lessivés du Bas Languedoc. Sc. S., AFES, n° 1-2, 81-90.

AUBERT, G. (1947) Les sols à croûte calcaire. C.R. Conf. Pédol. Médit., Montpellier-Alger, AFES, 330-337.

AUBERT, G. (1965) Classification des sols ; tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 3, f. 3, 269-288.

BALLAIS, J.L. (1976) Morphogenèse holocène dans la région de Chéria (Nementchas-Algérie). Actes Sympos., Versants en pays médit., Aix-en-Provence, 1975, CEGERM, v. 5, 127-130.

BALLAIS, J.L. (1981) Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). Th. Univ. Paris 1, 566 p et 107 photos.

BALLAIS, J.L. (1982) Le Villafranchien méditerranéen. Stratigraphie, environnement bioclimatique, morphogenèse et tectonique. Col. Villafranchien médit., Univ. Lille, 371-382.

BALLAIS, J.L. et VOGT, T. (1981) Croûtes calcaires quaternaires du piedmont Nord des Aurès (Algérie). Rech. Géogr., Strasbourg, n° 12, 23-34.

BANDERIS, A., BARTER, D.H. et HENDERSON, K. (1976) The use of polyacrylamide to replace carbon in the determination of Olsen's extractable phosphate in soil. Journ. S. Sc., v. 27, n° 1, 71-74.

BARIDEAU, L. (1972) Géomorphologie et pédogenèse dans la haute vallée de la Vaïre (Alpes de Haute Provence - France). Mém. Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 121 p.

BASCOMB, C.L. (1968) Distribution of pyrophosphate - extractable iron and organic carbon in soils of various groups. Journ. S. Sc., v. 19, n° 2, 251-268.

BEAUDET, G., MAURER, G. et RUELLAN, A. (1967) Le Quaternaire Marocain, observations et hypothèses nouvelles. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., (2), v. 9, f. 4, 269-310.

BEAUDET, G. (1969) Le Plateau Central Marocain et ses bordures - Etude géomorphologique. Th. Rabat, 478 p.

BECH BORRAS, J., FEDOROFF, N., QUANTIN, P. et SEGALEN, P. (1982) Etude des sols fersiallitiques lessivés formés sur les arènes granitiques de la Selva (Catalogne, Espagne). Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 19, n° 3, 233-256.

BECKMANN, G.G. (1971) The assesment of relative and absolute ages of soils - illustrated by some hawaïan paleosols. in YAALON D.H., 139-147.

BECKMANN, G.G. et HUBBLE, G.D. (1974) The significance of radiocarbon measurements of humus from krasnozens (ferralsols) in subtropical Australia. Transact., 10th Intern. Congr. S. Sc., Moscow, v. 6, 362-371.

BECKMANN, H., SCHARPENSEEL, H.W. et STEPHAN, S. (1972) Profilstudien an tunesischen Böden - I Beschreibung und Analyse. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 21, 65-82.

BELLAIR, P. et POMEROL, C. (1968) Eléments de Géologie. Coll. U., s. Géol., A. Colin, Paris, 527 p.

BELLATREUCH, A. (à paraître) Carte géomorphologique de la région de Médéa

BENAMARA, M. et CONESA, A.P. (1976) Appréciation de la fertilité phosphorique de quelques sols d'Algérie. Sém. Pédol. 1975, An. INA, Alger, v. 6, n° 2, 81-90.

BERTHELIN et TOUTAIN, F. (1979) Biologie des sols. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 123-160.

BEUCHER, F. (1963) Flores quaternaires au Sahara Nord-occidental, d'après l'analyse pollinique de sédiments prélevés à Hassi-Zguilma (Saoura). C.R. Ac., Sc., Paris, t. 256, D, 2205-2208.

BEUTELSPACHER, H. et VAN DER MAREL, H.W. (1968) Atlas of electron microscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 333 p., 262 illustrations.

BIGHAM, J.M., JAYNES, W.F. et ALLEN, B.L. (1980) Pedogenetic degradation of sepiolite and polygorskite on the Texas High Plains. Journ. S. Sc. Soc. Am., v. 44, n° 1, 159-167.

BILLY, C. (1975) Isolement des constituants d'une association bactérienne productrice de calcite. C.R.Ac. Sc., Paris, t. 281, D, 621-623.

BLOKHUIS, W.A., PAPE, Th. et SLAGER, S. (1968) Morphology and distribution of pedogenic carbonate in some vertisols of the Sudan. Geoderma, 2, 173-200.

BLUEMEL, W.D. (1982) Calcretes in Namibia and SE Spain - relations to substratum soil formation and geomorphic factors. in Aridic soils and geomorphic processes, Catena suppl., 1, 67-82.

BOCK, L. (1972) Les terrasses de la Semois - Essai d'une caractérisation lithopédologique sur la rive droite, entre Jamoigne et Moyen. Mém. Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 215 p.

BOCK, L. (1975) Sols calcaires d'Algérie - livret guide de l'excursion. Sém. Pédol., INA, Alger, ronéo, 23 p.

BOCK, L., CALEMBERT, J. et MATHIEU, L. (1981) Réflexions sur les aptitudes en milieu méditerranéen. Pédologie, Belg., 31, 1, 47-64.

BOCK, L. et MATHIEU, L. (1982) La genèse des accumulations calcaires vue sous l'angle de l'approche géomorpho-pédologique. Bull. Soc. Belge Géol., t. 91, f. 1, 19-26.

BOCQUIER, G., PAQUET, H. et MILLOT, G. (1970) Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques : l'invasion remontante de la montmorillonite. C.R.Ac. Sc., Paris, t. 270, D, 460-463.

BODERGAT, A.M. (1974) Les microcodiums milieux et modes de développement. Doc. Lab. Géol., Fac. Sc., Lyon, n° 62, 137-235.

BOGOCH, R. et COOK, P. (1974) Calcite cementation of a quaternary conglomerate in Southern Sinaï. Journ. Sed. Petr., v. 44, n° 3, 917-920.

BONFILS, P. (1967) Méthodes d'analyses des sols. SES-INRA, Montpellier, n° 91, 156 p.

BONNEAU, M. et SOUCHIER, B. (1979) Constituants et propriétés du sol. Pédologie, Masson éd., Paris, 459 p.

BOTTNER, P. (1972) Evaluation des sols en milieu carbonaté - La pédogenèse sur roches calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du Sud de la France. Mém., Inst. Géol., Univ. Strasbourg, CNRS, n° 37, 156 p.

BOTTNER, P. et LOSSAINT, P. (1967) Etat de nos connaissances sur les formations rouges du bassin méditerranéen. Sc. S., AFES, n° 1, 49-80.

BOULAINE, J. (1957) Etude des sols des plaines du Chélif. Serv. Et. Sc., Dir. Hydr. et Equip. Rur., Alger, 528 p.

BOULAINE, J. (1961) Sur le rôle de la végétation dans la formation des carapaces calcaires. C.R.Ac. Sc., Paris, t. 253, 2568-2570.

BOULAINE, J. (1978 a) Les sols calfersiques. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 16, n° 3, 265-291.

BOULAINE, J. (1978 b) Les unités cartographiques en pédologie, analyse de la notion de genon. Sc. S.,AFES, n° 1, 15-30.

BOWLER, J.M. et POLACH, H.A. (1971) Radiocarbon analyses of soil carbonates : an evaluation from paleosols in southeastern Australia. in YAALON, D.H., 97-108.

BRESSON, L.M. (1973) A study of integrated microscopy : rubefaction under wet temperate climate in comparison with Mediterranean rubefaction. S. Microscopy, Proc. 4th intern. W. meeting on S. micromorphology, Queen's Univ., Ontario, 526-541.

BREWER, R. (1960) Cutans : their definition, recognition and interpretation. Journ. S. Sc., v. 11, n° 2, 280-292.

BREWER, R. (1964) Fabric and mineral analyses of soils. John Wiley & sons, New York, London, Sydney, 470 p.

BREWER, R. (1968) Clay illuviation as a factor in particle size differentiation in soil profiles. 9th Intern. Congr. S. Sc., Australia, v. 4, 489-499.

BREWER, R. (1972) The basis of interpretation of soil micromorphological data. Geoderma, 8, 81-94.

BREWER, R. et SLEEMAN, J.R. (1969) The arrangement of constituents in Quaternary soils. S. Sc., v. 107, n° 6, 435-441.

BRUCKERT, S. (1979) Analyses des complexes organo-minéraux des sols. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 187-209.

BRUCKERT, S. et ROUILLER, J. (1979) Mécanismes de régulation du pH des sols. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 334-365.

BRYSSINE, G. (1954) Typologie des sols du Maroc. Trav. Sect. Pédol., Soc. Sc. Nat. et Phys. Maroc, ronéo, 43 p.

BRYSSINE, G. (1965) Les propriétés physiques des tirs du Gharb. INRA, Maroc, n° 20, 87-279.

BULLETIN DES RECHERCHES AGRONOMIQUES DE GEMBLOUX (1971) Semaine d'étude des problèmes méditerranéens. Belg., V. extraord., hors s., 726 p.

BULLOCK, P., LOVELAND, P.J. et MURPHY, C.P. (1975) A technique for selective solution of Iron oxides in their sections of soil. Journ. S. Sc., v. 26, n° 3, 247-249.

BUOL, S.W. (1965) Present soil-forming factors and processes in arid and semi-arid regions. S. Sc., 99, 45-49.

BUOL, S.W., HOLE, F.D. et McGRACKEN, R.J. (1980) Soil genesis and classification. The Iowa State Univ. Press, Ames, 2nd ed., 404 p.

CADILLON, M. (1973) Etude agropédologique de terroirs dans la région d'El Omaria. Wilaya du Titteri, IRAT, Sodeteg, Rap. int., 244 p. + cartes.

CAIRE, A. (1971) Chaînes alpines de la méditerranée centrale (Algérie et Tunisie septentrionales, Sicile, Calabre et Apennin méridional). UNESCO, Tectonique de l'Afrique, Sc. Terre, 6, 61-75.

CALEMBERT, J. (1950) La cartographie des sols - application au domaine d'Aremberg à Marche-les-Dames. Mém., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 98 p.

CALLOT, G. (1972) Micromorphologie des sols rouges de Charente. Sc. S., AFES, n° 1-2, 73-80.

CALLOT, G. (1978) Migration des argiles dans divers systèmes de porosité de roches calcaires. Micromorphologia de Suelos, Proc. 5th intern. W. meeting S. micromorphology Univ. Granada, 349-368.

CALLOT, G. et DUPUIS, M. (1980) le calcaire actif des sols et sa signification. Sc. S., AFES, n° 1, 17-26.

CALVET ROVIRA, F., POMAR GOMA, L. et ESTEBAN CERDA, M. (1975) Los rizocreciones del Pleistoceno de Mallorca. Inst. Invest. Geol., Univ. Barcelona, v. 30, 35-60.

CAPOLINI, J. et SARY, M. (1975) Quelques aspects de la répartition des croûtes et encroûtements calcaires et calco-gypseux du piedmont Sud du Hodna. Col. Strasbourg, 133-139, cf. VOGT, T.

CHANG, S.C. et JACKSON, M.L. (1957) Fractionation of soil phosphorus. S. Sc., 84, 133-144.

CHANG, S.C. et JACKSON, M.L. (1958) Soil phosphorus fractions in some representative soils. Journ. S. Sc., v. 9, n° 1, 109-119.

CHATELAIN, Y., RICHARD, J.F., et LENEUF, N. (1982) Modèles verbaux et transdisciplinarité dans l'étude des sols et des paysages. 1. Essai critique en fonction de l'analyse de système. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 19, n° 1, 51-63.

CHAUSSIDON, J. (1979) Complexe absorbant - Lois générales d'échange des anions et des cations. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 333-353.

CHEN, Y., SENESI, N. et SCHNITZER, M. (1978 a) Chemical and physical characteristics of humic and fulvic acids extracted from soils from the Mediterranean region. Geoderma, v. 20, n° 2, 87-104.

CHEN, Y., SENESI, N. et SCHNITZER, M. (1978 b) Chemical degradation of humic and fulvic acids extracted from mediterranean soils. Journ. S. Sc., v. 29, n° 3, 350-359.

CHERDUVILLE, G. (1972) Contribution à l'étude de la matière organique d'un sol brun acide de l'Ardenne Belge. Mém. Chimie, Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 98 p.

CHOUBERT,G. (1946) Sur l'influence des pluviaux sur le creusement et le comblement fluviatiles pendant le Quaternaire. C.R.Ac. Sc. Paris, t. 223, 810-812.

CHOUBERT, G. (1948 a) Au sujet des croûtes calcaires quaternaires. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 226, 1630-1631.

CHOUBERT, G. (1948 b) Sur l'âge des limons rouges superficiels du Maroc. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 227, 558-560.

CHOUBERT, G. (1948 c) Sur la nature des limons rouges superficiels du Maroc. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 227, 639-641.

CHOUBERT, G. (1953) Sur les rapports entre les formations marines et continentales quaternaires. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 237, 826-828.

CHOUBERT, G. (1965) Essai de corrélation des formations continentales et marines du Pleistocène au Maroc. Notes, Serv. Géol., Maroc, t. 25, n° 185, 35-45.

CHOUBERT, G. et BRYSSINE, G. (1946) Sur les formations continentales du Quaternaire marocain. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 223, 863-865.

CHOUBERT, G., JOLY, F., GIGOUT, M., MARGAT, J. et RAYNAL, R. (1956) Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 243, 504-506.

CHOUBERT, G., FAURE-MURET, A. et MAARLEVELD, G.C. (1967) Nouvelles dates isotopiques du Quaternaire marocain et leur signification. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 264, D, 434-437.

COMPERE, R. (1971) Problèmes de l'alimentation minérale des boyins en Tunisie. Bull. Rech. Agron., Gembloux, Belg., v. extraord., hors s., 645-651.

CONESA, A.P., FARDEAU, J.C. et SIMON-SYLVESTRE, G. (1979) Le phosphore et le soufre. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 395-407.

CONRAD, G. (1969) L'évolution continentale post-herynienne du Sahara algérien. Th., Paris, CNRS, Zones arides, s. Géol., n° 10, 527 p.

COQUE, R. (1979) Problèmes de corrélations des niveaux quaternaires dans les piedmonts Nord-sahariens. Bull. Assoc. Géogr. Fr., Paris, n° 462, 215-222.

COQUE, R. et JAUZEIN, A. (1966) Le Quaternaire de Tunisie. Quaternaria, 8, 139-153.

COTEZOR (1975/1976) Recueil des observations hydro-climatologiques sur la zone de Beni-Slimane. Rap. n° 7-76, t. 1.

CPCS (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols) (1967) Classification des sols. Lab. Géol. Pédol., Grignon, Fr. ronéo.

DABIN, B. (1967) Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 5, n° 3, 257-286.

DABIN, B. (1976) Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 14, n° 4, 287-297.

DAN, J. (1977) The distribution and origin of Nari and other lime crusts in Israel. Journ. Earth Sc., Israel, v. 26, 68-83.

DAUCHOT DEHON, M. et VAN STRYDONCK, M. (1978/1979) A new methane synthesis unit at the radiocarbon dating laboratory. Bull. Inst. Roy. Patrim. Artist. Belg., t. 17, 194-200.

DELAUNOIS, A. et MORICEAU, J. (1975) Contribution à la connaissance du comportement des sols de versants sur marne du Maroc Septentrional. Mém., Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 276 p.

DELECOUR, F. (1972) Problèmes généraux de complexation organo-minérale dans les sols bruns acides ardennais. Pédologie, Belg., 22, 2, 185-197.

DELECOUR, F. (s.d.) Micromorphologie des sols, principes et applications. Notes rassemblées, Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 20 p.

DELECOUR, F. et EL ATTAR, A. (1964) Note sur la détermination du carbone et de la matière organique dans les couches holorganiques des sols forestiers. Pédologie, Belg., 14, 1, 55-63.

DELECOUR, F. et KINDERMANS, M. (1980) Manuel de description des sols. Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 118 p.

DE LEENHEER, L., VAN HOVE, J. et VAN RUYMBEKE, M. (1957) Détermination quantitative de la matière organique du sol. Pédologie, Belg., 7, 324-347.

DELFAUD, J. et THOMAS, G. (1972) Les grandes lignes de la stratigraphie du Quaternaire oranais. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 274, D, 3341-3344.

DELIBRIAS, G. et DUTIL, P. (1966) Formations calcaires lacustres du Quaternaire supérieur dans le massif central saharien (Hoggar) et datations absolues. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 262, D, 55-58.

DELIBRIAS, G., ROGNON, P. et WEISROCK, A. (1976) Datation de plusieurs épisodes à limons roses dans le Quaternaire récent de l'Atlas Atlantique Marocain. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 282, D, 593-596.

DEL VILLAR, E.H. (1947) Types de sol de l'Afrique du Nord. Les sols du globe, éd. F. Mancho, Rabat, f. 1, 136 p.

DESAUNETTES, J.R. (1955) Méthodes analytiques du laboratoire de pédologie. Sect. Pédol. Hydrol., Min. Trav. Publ., Tunisie, hors s., 76 p.

DESAUNETTES, J.R. (1971) Sols rouges fersiallitiques sur micaschistes en Grèce. Sc. S., AFES, n° 2, 37-49.

DESPOIS, J. et RAYNAL, R. (1975) Géographie de l'Afrique du Nord-Ouest. PAYOT, Paris, 570 p.

DESSEAUX, V., HALITIM, A., GALBEN, T. et YGNATOV, M. (1976) Essai de caractérisation de la matière organique dans quelques sols du Nord de l'Algérie. Sém. Pédol. 1975, an. INA-Alger, v. 6, n° 2, 33-60.

DIVOUX, P. et PUJOS, A. (1959) Sur l'importance fondamentale des lois tirées de l'étude du Rharb en ce qui concerne les pédogenèses récentes. Trav. Sect. Pédol., Soc. Sc. Nat. Phys., Maroc, t. 13-14, 99-100.

DUCHAUFOUR, Ph. (1976) Atlas écologique des sols du monde. Masson Ed., Paris 178 p.

DUCHAUFOUR, Ph. (1977) Pédogenèse et classification. Pédologie, Masson Ed., Paris, 477 p.

DUDAL, R. (1967) Sols argileux foncés des régions tropicales et subtropicales. Col. FAO, cah. n° 83, 172 p.

DUPUIS, J. et DUPUIS, T. (1966) Technique nouvelle pour le dosage du calcaire actif dans les sols humifères par la méthode de l'oxalate d'ammonium. Sc. S., AFES, n° 1, 31-37.

DURAND, J.H. (1954) Les sols d'Algérie. Serv. Et. Sc., Dir. Hydr. et Equip. Rur., Alger, 244 p.

DURAND, J.H. (1959) Les sols rouges et les croûtes en Algérie. Serv. Et. Sc. Dir. Hydr. et Equip. Rur., Alger, 188 p.

DURAND, J.H. (1973) Biorhexistasie, sols rouges et croûtes en Algérie. An. Mines et Géol., Tunisie, n° 26, 595-603.

DURAND, J.H. (s.d.) Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. Serv. Et. Sc., Dir. Hydr. et Equip. Rur., Alger, n° 1, 209 p.

DURAND, J.H., GAUCHER, G., LACROIX, D., MATHIEU, L., MERCIER, J.L., VOGT, T. et WILBERT, J. (1979) Premiers résultats des travaux du groupe de travail sur les accumulations calcaires. Bull. ASEQUA, Dakar, n° 54-55, 25-29.

DURAND, R. et DUTIL, P. (1972) Contribution à l'étude de l'évolution des sols en milieu calcimagnésique. Sc. S., AFES, n° 1, 25-36.

DUTIL, P. (1971) Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Th. Univ. Strasbourg, CNRS, A.O.6.094, 346 p.

DUTIL, P., MARTINEZ, C. et QUEZEL, P. (1959) Etude pédologique et palynologique d'un profil de formations quaternaires de la daïa de M'Rara (W. de l'oued Rhir). Bull. Soc. Hist. Nat., Afr. Nord, Alger, t. 50, n° 5-6, 196-203.

EK, C. et PISSART, A. (1965) Depôt de carbonate de calcium par congélation et teneur en bicarbonate des eaux résiduelles. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 260, 929-932.

ELBERSEN, G.W.W. (1982) Mechanical replacement processes in mobile soft calcic horizons ; their role in soil and landscape genesis in an area near Merida, Spain. Th., Centre for Agric. Publ. and Doc., Wageningen, 208 p.

ELLOY, R. et THOMAS, G. (1981) Dynamique de la genèse des croûtes calcaires (calcretes) developpées sur séries rouges pléistocènes en Algérie Nord-Occidentale. Soc. Elf Aquitaine, 5, 1, 53-112.

EL MOUDJAHID (1977) Les vains espoirs du projet Beni Slimane. Quotidien du 8 mars.

EMBERGER, L. (1952) Sur le Quotient pluviothermique. C.R. Ac. Sc., t. 234, 2508-2510.

ERHART, H. (1956) La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson et Cie, Paris, 83 p.

ESCOBEDO URQUIZO, J. (1980) Les sols des Paramos - Etude pédogénétique dans les Hautes Andes du Pérou Septentrional. Th. Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 410 p.

ESWARAN, H. et BARZANJI, A.F. (1974) Evidence for the neoformation of attapulgite in some soils of Iraq. Transact., 10th Intern. Congr. S. Sc., Moscow, v. 7, 154-161.

FAHRAEUS, L.E., SLATT, R.M. et NOWLAN, G.S. (1974) Origin of carbonate pseudopellets. Journ. Sed. Petr., v. 44, n° 1, 27-29.

FAO (1972) Developpement des pâturages et des cultures fourragères, zones de Si Lakhdar et de Bou Saada-Djelfa. Rap. de Terminaison, Algérie, 16, 96 p.

FAO (1973) Sols calcaires. Bull. Pédol., 21, 299 p.

FAO et UNESCO (1975) Carte mondiale des sols au 1/5.000.000. v. 1, légende, 62 p.

FAO (1980 a) Rainfed agriculture in the Near East and North Africa. Proc. Sem. Jordanie, 409 p.

FAO (1980 b) Soil and plant testing and analysis. Soils Bull., 38/1, 247 p.

FEDOROFF, N. (1961) Les croûtes et les encroûtements calcaires dans le midi méditerranéen français. Rev. Géog. Phys. Géol. Dyn., (2), v. 4, f. 1, 43-49.

FEDOROFF, N. (1968 a) Genèse et morphologie de sols à horizon B textural en France Atlantique. Sc. S., AFES, 1, 29-65.

FEDOROFF, N. (1968 b) Le développement des études micromorphologiques des sols en Europe Occidentale. Sc. S., AFES, n° 4, 5-15.

FEDOROFF, N. (1975) Classification micromorphologique des carbonates dans les sols. Col. Strasbourg, 35-41, cf. VOGT, T.

FEDOROFF, N. (1979) Organisation du sol à l'échelle microscopique. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 251-265.

FERNANDEZ CALDAS, E., QUANTIN, P. et TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1981) Séquences climatiques de sols dérivés de roches volcaniques aux Iles Canaries. Geoderma, v. 26, n° 1-2, 47-62.

FLANDRIN, J., GAUTIER, M. et LAFFITTE, R. (1948) Sur la formation de la croûte calcaire superficielle en Algérie. Cr. Ac. Sc., Paris, t. 226, 416-418.

FOLK, R.L. (1966) A review of grain-size parameters. Sedimentology, Elsevier, The Netherlands, n° 6, 73-93.

FOUCAULT, A. et RAOULT, J.F. (1980) Dictionnaire de géologie. Masson Cie, Paris, 334 p.

FOURNET, A. (1969) Etude pédologique de la dorsale tunisienne. Mém. Fac. Sc., Univ. Paris, 116 p. + 57 p.

FREYTET, P. (1975 a) Concrétions calcaires pédologiques et analogies avec les calcaires "palustres" (bordures des lacs à sédimentation carbonatée). Exemples pris dans le Crétacé supérieur et le Tertiaire de France. Col. Strasbourg, 51-54, cf. VOGT, T.

FREYTET, P. (1975 b) Quelques types d'évolutions géochimiques du matériel de remplissage des bassins continentaux fluvio-lacustres, exemples pris dans le Crétacé supérieur et l'Eocène inférieur du Languedoc (France méridionale). 9ème Congr. Intern. Sédiment., Nice, 8 p.

FREYTET, P. et PLAZIAT, J.C. (1978) Les redistributions carbonatés pédogénétiques (nodules, croûtes, "calcretes") : les deux types principaux d'environnement favorables à leur développement. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 286, D, 1775-1778.

GALLAGHER, P.H. et WALSH, T. (1943) The solubility of soil constituents in oxalic acid as an index of the effects of weathering. Proc., Roy. Irish Acad., v. 49, sect. B., 1-26.

GAUCHER, G. Interventions. in AUBERT, G., 1947.

GAUCHER, G. (1947) Sur l'âge des sols rouges Nord-africains. C.R. Conf. Pédol. Médit., Montpellier-Alger, 373-376.

GAUCHER, G. (1948 a) Sur certains caractères des croûtes calcaires en rapport avec leur origine. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 227, 154-156.

GAUCHER, G. (1948 b) Sur quelques conditions de formation des croûtes calcaires. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 227, 215-217.

GAUCHER, G. (1948 c) Sur la notion d'optimum climatique d'une formation pédologique. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 227, 290-292.

GAUCHER, G. (1959) Lettre à BOULAINE, J.

GAUCHER, G. (1968) Traité de pédologie agricole - Le sol et ses caractéristiques agronomiques. Agronomie Nouvelle, Dunod, Paris, t. 1, 578 p.

GAUCHER, G. (1974 a) Plaidoyer pour la pédologie agricole. Agron. Trop., Paris, s. Agron. Gén., n° 2-3, 131-140.

GAUCHER, G. (1974 b) Glossaires de pédologie et banques de données. Transact., 10th Intern. Congr. S. Sc., Moscow, v. 6, 616-624.

GAUCHER, G. (1977) Vers une classification pédologique naturelle basée sur la géochimie de la pédogenèse. Catena, v. 4, n° 1/2, 1-27.

GAUCHER, G. (1981) Traité de pédologie agricole - Les facteurs de la pédogenèse. Lelotte, G. éd., Dison, Belg., t. 2, 730 p.

GERASSIMOV, I.P. (1961) Les sols marrons. Méditerranée, Ed. Ophrys - Gap, Fr., n° 2, 3-18.

GERASSIMOV, I.P. (1971) Nature and originality of paleosols. in YAALON, D.H., 15-27.

GERASSIMOV, I.P. et CHICHAGOVA, O.A. (1971) Some problems in the radiocarbon dating of soil. Soviet S. Sc., v. 3, f. 1, 519-527.

GEYH, M.A., BENZLER, J.H. et ROESCHMANN, R. (1971) Problems of dating Pleistocene and Holocene soils by radiometric method. in YAALON, D.H., 63-75.

GEZE, B. (1947 a) Palésols et sols dus à l'évolution actuelle. C.R. Conf. Pédol. Médit., Montpellier-Alger, 140-156.

GEZE, B. (1947 b) Le Congrès international de pédologie de Montpellier-Alger, notes et réflexions. An. ENSA, Montpellier, f. 4, t. 27, 25 p.

GEZE, B. (1959) La notion d'âge du sol - Son application à quelques exemples régionaux. An. Agron., Fr., n° 3, 237-255.

GHEYI, H.R. et HALITIM, A. (1976) Contribution de l'argile et de la matière organique dans la capacité d'échange des sols du Nord de l'Algérie. Sém. Pédol. 1975, An. INA-Alger, v. 6, n° 2, 27-32.

GIGOUT, M. (1958) Sur le mode de formation des limons et croûtes calcaires du Maroc. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 247, 97-100.

GIGOUT, M. (1959) Ages, par radiocarbone, de deux formations des environs de Rabat (Maroc). C.R. Ac. Sc., Paris, t. 245, 2082-2083.

GIGOUT, M. (1960 a) Sur la genèse des croûtes calcaires pléistocènes en Afrique du Nord. C.R. Som. Soc. Géol., Fr., 1, 8-10.

GIGOUT, M. (1960 b) Essai sur la paléomorphologie, la sédimentation et la morphogenèse quaternaires au Maroc. C.R. Som. Soc. Géol., Fr., 2, 42-43.

GIGOUT, M. (1961) Vérification de la datation de deux dépôts quaternaires de Rabat (Maroc) C.R. Soc. Géol., Fr., 8, 228.

GIGOUT, M. et RAYNAL, R. (1957) Corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le Quaternaire marocain. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 244, 2528-2530.

GIGOUT, M. et RAYNAL, R. (1959) Retouche à la corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le Quaternaire marocain. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 248, 2223-2225.

GILE, L.H. (1961) Soil genesis of Ca horizons in soils of a desert region. Dona Ana County, New Mexico. Journ. S. Sc. Soc. Am., 25, 1, 52-61.

GILE, L.H., PETERSON, F.F. et GROSSMAN, R.B. (1965) The K horizon : A master soil horizon of carbonate accumulation. S. Sc., v. 99, n° 2, 74-82.

GILE, L.H., PETERSON, F.F. et GROSSMAN, R.B. (1966) Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. S. Sc., v. 101, n° 5, 347-360.

GILE, L.H. et GROSSMAN, R.B. (1968) Morphology of the argillic horizon in desert soils of Southern New Mexico. S. Sc., v. 106, n° 1, 6-15.

GLACON, G. et GUIRAUD, R. (1970) La série mio-pliocène du Hodna et des régions voisines (Algérie du Nord). C.R. Ac. Sc., Paris, t. 271, 945-948.

GOH, K.M. (1975) Removal of contaminants to improve the reliability of radiocarbon dates of peat. Journ. S. Sc., v. 29, n° 3, 340-349.

GOH, K.M., RAFTER, T.A., STOUT, J.D. et WALKER, T.W. (1976) The accumulation of soil organic matter and its carbon isotope content in a chronosequence of soils developed on aeolian sand in New Zealand. Journ. S. Sc., v. 27, n° 1, 89-100.

GOH, K.M. et PULLAR, W.A. (1977) Radiocarbon dating techniques for tephros in central North Island, New Zealand. Geoderma, v. 18, n° 4, 265-278.

GOH, K.M., STOUT, J.D. et RAFTER, T.A. (1977) Radiocarbon enrichment of soil organic matter fractions in New Zealand soils. S. Sc., v. 123, n° 6, 385-391.

GOH, K.M. et MOLLOY, B.P.J. (1978) Radiocarbon dating of paleosols using soil organic matter components. Journ. S. Sc., v. 29, n° 4, 567-573.

GOUDIE, A.S.(1975) Petrographic characteristics of calcretes (caliches) : modern analogues of ancient cornstones. Col. Strasbourg, 3-6, cf. VOGT, T.

GRAS, F. (1975) Les sols très calcaires du Liban Sud. Evolution et mise en valeur. Th., Univ. Strasbourg, CNRS, AO11, 629, 191 p.

GROSSMAN, R.B. et MILLET, J.L. (1961) Carbonate removal from soil by a modification of the acetate buffer method. Journ. S. Sc. Soc. Am., v. 25, n° 4, notes, 325-326.

GUERRA, A. et collaborateurs (1972) Los suelos rojos en España, contribucion a su estudio y clasificacion. Publ. Depart. de Suelos, Inst. de Edafologia y Biologia Vegetal, C.S.I.C., Madrid, 253 p.

GUILLET, B. (1979) Etude du renouvellement des matières organiques des sols par les radioisotopes (^{14}C). in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 210-226.

GUILLET, B. et SOUCHIER, B. (1979) Les oxyhydroxydes amorphes et cristallins dans les sols (Fer, Aluminium, Manganèse, Silicium). in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 16-37.

GUILLET, B. et ROUILLER, J. (1979) La granulométrie. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B., 227-233.

GUIRAUD, R. (1968) Le Plio-Quaternaire du bassin du Hodna (Algérie du Nord). C.R. Ac. Sc., Paris, t. 267, D, 561-564.

HALFAOUI, F. (1976) Le régime des phosphates dans les sols algériens. Sém. Pédol. 1975, An. INA-Alger, v. 6, n° 2, 105-118.

HALL, A.E., CANNELL, G.H. et LAWTON, H.W. (1979) Agriculture in semi-arid environments. Ecological Studies, Springer-Verlag, Berlin, 34, 340 p.

HANOTIAUX, G. (1957) Contribution à l'étude physico-chimique et pédogénétique des sols brun acides et formations voisines de l'Ardenne Belge. Bull. Inst. Agron. et Stat. Rech., Gembloux, Belg., t 25, n° 3, 269-296.

HANOTIAUX, G. (1964 a) Le fractionnemnet des formes du phosphore du sol - Etude critique. Rech. Scient. Agric., Minist. Agric. Belge, Bruxelles, t. 1, 173-190.

HANOTIAUX, G. (1964 b) Etudes sur la dynamique du phosphore et du potassium dans le sol. Cinquième partie : Fractionnement du phosphore et du potassium, Conclusions générales. Pédologie, Belg., 14, 2, 160-178.

HANOTIAUX, G. (1966) L'étude de la dynamique du phosphore du sol par la méthode du fractionnement. Transact. com. 2-4, ISSS, Aberdeen, 161-174.

HANOTIAUX, G. (s.d.) Etude des sols salins. Techniques analytiques adaptées de "Saline and Alcali soils (USDA)". Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., ronéo, 18 p.

HANOTIAUX, G. et MANIL, G. (1963) Etude sur la dynamique du phosphore et du potassium dans le sol. 1ère partie. Pédologie, Belg., 13, 1, 73-91.

HANOTIAUX, G. et MARLIER-GEETS, O. (1975) Techniques d'analyses pédologiques. Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., ronéo, 105 p.

HECK, J.P. et HANOTIAUX, G. (1978) Agressivité spécifique des plantes cultivées par rapport aux formes minérales du phosphore dans le sol. Transact., 11th. Intern. Congr. S. Sc., Edmonton, Canada, v. 1, 209-210.

HECK, J.P. et HANOTIAUX, G. (1982) Deux exemples de pédologie appliquée. Bull. Soc. Belge Géol., t. 91, f. 1, 70-76.

HECQ, P., GOMBEER, R. et GASPAR, S. (1ère partie) ; GOMBEER, R., HECQ, P. et GASPAR, S. (2ème partie) (1980) Interprétation d'images de satellite Landsat en vue d'aménagements hydro-agricoles dans la région du fleuve Sénégal. Bull. Rech. Agron. Gembloux, Belg., t. 15, n° 1, 39-(60).

HENIN, S. (1976-1977) Cours de physique du sol. ORSTOM, Init. Doc. Techn., n° 28-29, 159-222.

HERVIEU, J. (1975) Evolution du milieu naturel en Afrique et à Madagascar. L'interprétation paléoclimatique du Quaternaire - Essai de synthèse - 1. Faits d'observations régionaux. ORSTOM, Init. Doc. Techn., Paris, n° 26, 170 p.

HESS, C. et SCHOEN, U. (1964) Tirsification et classification des vertisols. Al Awamia, INRA, Rabat, n° 13, 41-92.

HONNAY, J.P. (1963) Indice de répartition permettant de caractériser et de classer les textures des sédiments en tenant compte de l'homogénéité. Système pratique de représentation de la texture pour une subdivision en trois fractions. Pédologie, Belg., 13, 2, 254-270.

HUBSCHMAN, J. (1967) Sols, pédogenèses et climats quaternaires dans la plaine des Triffa. Th. Dr. Ir., ENSA, Toulouse, 152 p.

INRA-MONTPELLIER (1972) Sols, paysages, aménagements, S.E.S., n° 175, 174 p.

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE (1979) Soils in Mediterranean type climates and their yield potential. Proc. 14th Col., Seville, 451 p.

INTERNATIONAL SOIL MUSEUM (1980) Field extract of soil taxonomy. Wageningen, 95 p.

JAMBU, P. et DUPUIS, J. (1969) Contribution aux recherches sur le fractionnement des constituants organiques des sols humifères hydromorphes calciques. Bull. AFES, n° 6, 29-36.

JORDA, M. et VAUDOUR, J. (1980) Sols, morphogenèse et actions anthropiques à l'époque historique s.l. sur les rives Nord de la Méditerranée. Naturalia Monspeliensia, Montpellier, n° hors s., 173-184.

JUSTE, C. et POUGET, R. (1980) Rôle de certaines caractéristiques du sol sur la sensibilité des plantes à la chlorose. Sc. S., AFES, n° 1, 37-44.

KALOGA, B. (1966) Etude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge en Haute-Volta. 2ème partie : Les vertisols. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 4, f. 3, 29-61.

KALOGA, B. (1970) Etude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge. 3ème partie : Sols associés aux vertisols : sols bruns eutrophes. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 8, n° 1, 3-31.

KALOGA, B. et THOMANN, C. (1971) La physico-chimie du complexe absorbant dans les sols bruns eutrophes, ses relations avec leur différenciation morphologique et leur classification. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 9, n° 4, 416-507.

KIEKEN, M. (1962) Les traits essentiels de la géologie algérienne. Mém. Soc. Géol., Fr., Paris, t. 2, 545-614.

KIEKEN, M. (1975) Etude géologique du Hodna, du Titteri et de la partie occidentale des Biban. Publ. Serv. Géol., Alger, n° 46, t. 1-2.

KILIAN, J. (1972) Compte rendu de mission en Algérie - Zone des Beni-Slimane (Médéa) - Zone d'Aïn Melah (Bou Saada) : Observations pédologiques. IRAT, Agron. Pédol., Rap. int., 11 p.

KILIAN, J. (1974) Etude du milieu physique en vue de son aménagement - conceptions de travail, méthodes cartographiques. Agron. Trop., Paris, s. Agron. Gén., n° 2-3, 141-153.

KLAPPA C.F. (1979 a) Lichen stromatolites : Criterion for subaerial exposure and a mechanism for the formation fo laminar calcretes (caliche). Journ. Sed. Petr., v. 49, n° 2, 387-400.

KLAPPA, F. (1979 b) Calcified filaments in Quaternary calcretes : organo-mineral interactions in the subarid vadose environment. Journ. Sed. Petr., v. 49, n° 3, 955-968.

KONONOVA, M.M. et BEL'CHIKOVA, N.P. (1961) Quick methods of determining the humus composition of mineral soils. Soviet S. Sc., n° 10, 1112-1121.

KUBIENA, W.L. (1953) The soils of Europe. T. Murby Co., London, 317 p.

LACROIX, D. et MATHIEU, L. (1981) Etude pétrographique d'un glacis à croûte calcaire : La Gaada El-Hamra (Maroc). Rech. Géogr., Univ. Strasbourg, n° 12, 45-54.

LAMOUROUX, M. (1971 a) Etude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban. Th. Univ. Strasbourg - ORSTOM, Paris, n° CNRS AO5380, 314 p.

LAMOUROUX, M. (1971 b) Etude de sols formés sur roches carbonatées (pédogenèse fersiallitique au Liban). Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 9, n° 3, 365-370.

LAMOUROUX, M. (1972) Etat et comportement du fer dans les sols formés sur roches carbonatées au Liban. Sc. S., AFES, n° 1, 85-101.

LAMOUROUX, M., PAQUET, H. et MILLOT, G. (1973) Evolution des minéraux argileux dans les sols du Liban. Pédologie, Belg., 23, 1, 53-71.

LAMOUROUX, M., LOYER, J.H., BOULEAU, A. et JANOT, C. (1977) Formes du fer des sols rouges et bruns fersiallitiques, application de la spectrométrie Mässbauer. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 15, n° 2, 199-210.

LAMOUROUX, M., PINTA, M. et BOULEAU, A. (1978) Expérimentation sur l'encroûtement des produits dissous et en suspension dans un matériau fersiallitique. Sc. S., AFES, n° 1, 55-71.

LANG, J. (1981) Cadre de la classification des carbonates continentaux. Col. Formations carbonatées externes - Tufs et Travertins, Assoc. Géogr. Franç., Paris, mém. n° 3, 101-112.

de LAPPARENT, J. (1938) Défense de l'attapulgite. Bull. Soc. Fr. Min., 61, 253-283.

LATTMAN, L.H. (1973) Calcium carbonate cementation of alluvial forms in Southern Nevada. Bull. Géol. Soc. Am., v. 84, 3013-3028.

LEDANT, J.P. (1976) Ecologie forestière méditerranéenne. Notes Cours, Dépt. Forest., INA-Alger, 95 p.

LE HOUEROU, H.N. (1971) Le rôle de l'écologie végétale dans les études de mise en valeur de la région méditerranéenne. Bull. Rech. Agron. Gembloux, Belg., v. extraord., 68-87.

LEAMY, M.L. (1974) The use of pedogenic carbonate to determine the absolute age of soils and to assess rates of soil formation. Transact., 10th Intern. Congr. S. Sc., Moscow, v. 6, 331-339.

LEGROS, J.P. et ARGELES, J. (1973) Enquête sur la précision des descriptions de profils pédologiques. S.E.S., INRA, Montpellier, ronéo, n° 211, 16 p.

LELONG, F. et SOUCHIER, B. (1979) Méthodes d'identification et de quantification des constituants. in BONNEAU, M. et SOUCHIER, B.

LE RIBAULT, L. (1975) L'exoscopie - Méthode et applications. Notes et Mém., Total. CFP, Paris, n° 12, 231 p. - 456 fig.

LEROI-GOURHAN, A. Interventions. in TRIAT-LAVAL, H. (1980)

LOUE, A. et QUEMENER, J. (1980) Soil and plant diagnosis in potassium nutrition and fertilization. FAO, Paper 11, 109-121.

MAGARITZ, M., KAUFMAN, A. et YAALON, D.H. (1981) Calcium carbonate nodules in soils. $18_O/16_O$ and $13_C/12_C$ ratios and ^{14}C contents. Geoderma, 25, 157-172.

McKEAGUE, J.A. (1976) Manual on soil sampling and method of analysis. S. Research Inst., Canada S. Survey Committee, 212 p.

McKEAGUE, J.A., GUERTIN, R.K., VELENTINE, K.W.G., BELISLE, J., BOURBEAU, G.A., HOWELL, A., MICHALYNA, W., HOPKINS, L., PAGE, F. et BRESSON, L.M. (1980) Estimating illuvial clay in soils by micromorphology. S. Sc. v. 129, n° 6, 386-388.

MAIRE, R. (1926) Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Dir. Agric., Commerce et colonisation, Alger, Notice, 78 p.

MAMECHE, M. (s.d.) (1975 ?) Rapport général sur la zone de rénovation rurale des Beni Slimane. ronéo, 14 p.

MANIL, G. (1950) Géologie et pédologie, discussion sur le problème de la roche-mère. 3ème Congr. Nat. Sc.,2, v. 4, 1-4.

MANIL, G. (1956) Aspects dynamiques du profil pédologique. 6ème Congr. Int. Sol, Paris, v. 72, 439-441.

MANIL, G. (1959) Climax et pédoclimax. Bull. Soc. Roy., Belg., t. 91, f. 2, 217-238.

MANIL, G., DELECOUR, F., FORGET, G. et EL ATTAR, A. (1963) L'humus, facteur de station dans les hêtraies acidophiles de Belgique. Bull. Inst. Agron. et Stat. Rech., Gembloux, Belg., n° 31, n° 1-2, + p. 114.

MANIL, G. et HANOTIAUX, G. (s.d.) Cours de pédologie générale, 488 p.

MARCOEN, J.M. (1977) Contribution à l'étude minéralogique de la fraction argileuse des sols à charge organique. Th., Sc. Terre, Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 262 p.

MARCOEN, J.M. (1979) Rapport d'analyse d'échantillons d'argiles de Boom. Confidentiel.

MARGAT, J., RAYNAL, R. et TALTASSE, P. (1954) Deux séries d'observations nouvelles sur les croûtes au Maroc (couloir sud-rifain, Maroc oriental). Notes, Serv. Géol., Maroc, t. 10, n° 122, 25-35.

MATHIEU, L. (1962) Géomorphologie appliquée à la prospection des sols à reboiser dans la plaine de Guercif (Maroc oriental) Rev. Géogr., Mar., n° 1-2, 49-53.

MATHIEU, L. (1971) Utilité et plan de la géomorphologie dans les études préalables à la mise en valeur originale et aux travaux forestiers. Bull. Rech. Agron., Gembloux, v. extraord., 144-154.

MATHIEU, L. (1976) Place et signification des croûtes et encroûtements calcaires dans les profils de sol et dans les paysages d'Afrique du Nord-Ouest. Sém. Pédol. 1975, An., INA-Alger, v. 6, n° 1, 81-138.

MATHIEU, L. (1977 a) La géomorphologie et la géologie quaternaire comme bases fondamentales pour une juste définition et une cartographie rapide des sols et des milieux. Th. Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 3 t., 1017 p. + annexes.

MATHIEU, L. (1977 b) Are North African Quaternary calcretes a horizon of accumulation in a soil or a sediment. Com., INQUA, Birmingham, ronéo, 10 p.

MATHIEU, L. (1979) La transition du Pléistocène Supérieur à l'Holocène dans la province de Taza (Maroc Oriental). An., Soc. Géol., Belg., t. 101, 131-147.

MATHIEU, L., THOREZ, J. et EK, C. (1975) Contribution à l'étude des encroûtements calcaires dans le cadre de la morphogenèse et de la pédogenèse en climat méditerranéen semi-aride et aride : application à la région de Taza (Maroc). Col. Strasbourg, 114-120, cf. VOGT, T.

MATHIEU, L., BOCK, L., TRAYSSAC, J., TSAKI, H., THOREZ, J., MARCOEN, J.M., LACROIX, D., RASSEL, A., MUNAUT, A. et DAUCHON-DEHON, M. (1982) Les formations comprises entre les marnes du Miocène et la dalle moulouyenne (Villafrachien supérieur ?) : Quelques données d'intérêt morphopédologique. Col. Le Villafranchien méditerranéen, Univ. Lille, 347-369.

MAURER, G. et SCHOEN, V. (1964) La méthode d'analyse des argiles appliquée à l'étude morphologique du Rif. Al Awamia, INRA, Rabat, n° 13, 91-117.

MENILLET, F. (1974) Sur la présence de structures stromatolithiques dans les calcaires de Beauce, formations dulcaquicoles du Stampien supérieur à l'Aquitanien dans le bassin de Paris. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 278, D, 3173-3176.

MERCIER, J.L. et VOGT, T. (1974) Etude d'un encroûtement calcaire des environs de Narbonne : signification génétique et géomorphologique. Bull. AFEQ, 2, 73-79.

MERLET, D. (1971) Mise au point technique concernant l'extraction et la caractérisation des composés organiques présents dans les sols. CNRS, Centre de Pédol. Biologique, doc. n° 15, 19 p.

MERMUT, A. et PAPE, T. (1971) Micromorphology of two soils from Turkey, with special reference to in-situ formation of clay cutans. Geoderma, 5, 271-281.

MILLOT, G. (1964) Geologie des argiles. Masson et Cie, Paris, 499 p.

MILLOT, G., RADIER, H. et BONIFAS, M. (1957) La sédimentation argileuse à attapulgite et montmorillonite. Bull. Soc. Géol., Fr., (6), 7, 425-433.

MILLOT, G., PAQUET, H. et RUELLAN, A. (1969) Néoformation de l'attapulgite dans les sols à carapaces calcaires de la basse Moulouya (Maroc Oriental) C.R. Ac. Sc., Paris, t. 268, D, 2771-2774.

MILLOT, G., BOCQUIER, G. et PAQUET, H. (1976) Géochimie et paysages tropicaux. La Recherche, n° 65, v. 7, 236-244.

MILLOT, G., NAHON, D., PAQUET, H., RUELLAN, A. et TARDY, Y. (1977) L'épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride Antiatlas, Maroc. Bull. Sc. Géol., Strasbourg, 30, 3, 129-152.

MONNIER, G., TURC, L. et JEANSON-LUUSINANG, C. (1962) Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. An. Agron., Fr., 13, 1, 55-63.

MONTENAT, C. (1981) Observations nouvelles sur les croûtes calcaires pléistocènes du Sud-Est de l'Espagne (Province d'Alicante et de Murcia). Géol. Médit., t. 8, n° 3, 137-154.

MONTENAT, C. et ECHALLIER, J.C. (1977) L'importance des structures organiques du type microcodium dans la constitution des croûtes calcaires pléistocènes. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 285, D, 3-6.

MUCHER, H.J., CARBALLAS, T., GUITIAN OJEA, F., JUNGERIUS, P.D., KROONENBERG, S.B. et VILLAR, M.C. (1972) Micromorphological analysis of effects of alternating phases of landscape stability and instability on two soil profiles in Galacia, N.W. Spain. Geoderma, 8, 241-266.

MUXART, T. (1981) Processus de précipitation et mesures. Bull. Assoc. Géogr. Franç., Paris, n° 479-480, 189-196.

NAHON, D. et RUELLAN, A. (1972) Géologie - Encroûtements calcaires et cuirasses ferrugineuses dans l'Ouest du Sénégal et de la Mauritanie. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 274, D, 509-512.

NAHON, D. et RUELLAN, A. (1975) Les accumulations de calcaire sur les marnes éocènes de la falaise de Thiès (Sénégal). Mise en évidence des phénomènes d'épigénie. Col. Strasbourg, 7-11, cf. VOGT, T.

NAHON, D, PAQUET, H., RUELLAN, A. et MILLOT, G. (1975) Encroûtements calcaires dans les altérations des marnes éocènes de la falaise de Thiès (Sénégal). Organisation morphologique et minéralogique. Bull. Sc. Géol., Strasbourg, 28, 1, 29-46.

NETTERBERG, F. (1969 a) The interpretation of some basic calcrete types. Reprinted from the S. Afric. Archaeological Bull., v. 24, parts 3-4, 117-122.

NETTERBERG, F. (1969 b) Ages of calcretes in Southern Africa. Reprinted from the S. Afric. Archaeological Bull., v. 24, parts 3-4, 88-92.

NETTERBERG, F. (1978 a) Prospecting for calcrete road materials in South and South West Africa. Civil Engineering in S. Africa, v. 20, n° 1, 3-10.

NETTERBERG, F. (1978 b) Calcrete wearing courses for unpaved roads. Civil engineering in S. Africa. v. 20, n° 6, 129-138.

NETTLETON, W.D., FLACH, K.W. et BRASHER, B.R. (1969) Argillic horizons without clay skins. Journ. S. Sc. Soc. Am., v. 33, 121-125.

NGUYEN KHA (1973) Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales. Th., Univ. Nancy, n° CNRS.AO.8033, 157 p.

OSMAN, A. et ESWARAN, H. (1973) Clay translocation and vertic properties of some Red mediterranean soils. Soil. S. microscopy, Proc. 4th intern. W. meeting on S. micromorphology, Queen's Univ., Ontario, 846-857.

OSMOND, D.A. et STEPHEN, I. (1957) The micropedology of some red soils from Cyprus. Journ. S. Sc., v. 8, n° 1, 19-26.

PAIVA, M. (1980) New perspectives for carbon-14 dating. Gr. Contact Archéométrie, FNRS, Belg., 38-39.

PAPANICOLAOU, E.P. (1976) Determination of cation exchange capacity of calcareous soils and thier percent base saturation. S. Sc., v. 121, n° 2, 65-71.

PAQUET, H. (1979) Communication orale. Gr. Contact Minéraux Argileux, FNRS, Belg., 158-162.

PAQUET, H., RUELLAN, A., TARDY, Y. et MILLOT, G. (1969) Géochimie d'un bassin versant au Maroc oriental. Evolution des argiles dans les sols des montagnes et des plaines de la basse Moulouya. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 269, D, 1839-1842.

PARFENOFF, A., POMEROL, C. et TOURENQ, J. (1970) Les minéraux en grains. Masson Cie, Paris, 578 p.

PAUL, E.A., CAMPBELL, C.A., RENNIE, D.A. et McCALLUM, K.J. (1964) Investigations of the dynamics of soil humus utilizing carbon dating techniques. 8th Intern. Congr. S. Sc., Bucharest, Romania, C.R. 3, 201-208.

PAUL, E.A. et VAN VEEN, J.A. (1978) The use of traces to determine the dynamic nature of organic matter. 11th Congr., ISSS, Edmonton, v. 3, 61-102.

PEDRO, G. (1968) Contribution expérimentale à l'étude du rôle du calcaire dans l'évolution géochimique des sols. Transact., 9th Intern. Congr., S. Sc., Australie, v. 4, 511-522.

PEDRO, C., JAMAGNE, M. et BEGON, J.L. (1969) Mineral interactions and transformations in relation to pedogenesis during the Quaternary. S. Sc., v. 107, n° 6, 462-469.

PEDRO, G. et SCHERER, S. (1974) Essai d'interprétation géochimique de la carte pédologique de France (échelle 1/1.000.000). An. Agron., 25(1), 25-48.

PELLOUX, P., DABIN, B., FILLMANN, G. et GOMEZ, P. (1971) Méthodes de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols. ORSTOM, Init. Doc. Tech., n° 17, 117 p.

PIAS, J. (1974) Genèse des croûtes et encroûtements calcaires en Afghanistan au Quaternaire récent. Transact. 10th Intern. Congr. S. Sc., Moscow, v. 6, com. 5, p. 2, 394-401.

PLANT AND SOIL (1981) Soil water and nitrogen in mediterranean-type environments, v. 58, n° 1-3, 434 p.

PLAZIAT, J.C. (1978) Utilité d'une méthode paléoécologique synthétique, actualiste et synoptique régionale, et nécessité de jalons paléoécologiques. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 287, s. D, 233-236.

PLAZIAT, J.C. et FREYTET, P. (1978) Le pseudo-microkarst pédologique : un aspect particulier des paléogenèses développées sur des dépôts calcaires lacustres dans le Tertiaire du Languedoc. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 286, D, 1661-1664.

PLET-LAJOUX, C. (1971) Recherches expérimentales sur la formation des encroûtements calcaires. Sc. S., AFES, n° 5, 7-10.

PLEVEN, J., SCHMELZ, H. et RIGHI, D. (1967) La méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques de DUCHAUFOUR, P. et JACQUIN, J. Sc. S., AFES, n° 6, 15-25

POLEMIO, M. et RHOADES, J.D. (1977) Determining cation exchange capacity : A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. Journ. S. Sc. Soc. Am., v. 41, n° 3, 524-528.

POLACH, H.A. et COSTIN, A.B. (1971) Validity of soil organic matter radiocarbon dating : buried soils in snowy mountains, southeastern Australia as example. in YAALON, D.H., 89-96.

PONS, H., QUEZEL, P. (1956) Premiers résultats de l'analyse palynologique de quelques paléosols sahariens. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 243, 1656-1658.

POUGET, M. (1980) Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. ORSTOM, Trav. et Doc., 116, 555 p.

PUJOS, A. (1953) Réflexions sur la rubéfaction des roches et des sols dans le Nord Marocain et le Maroc Oriental. Trav. Sect. Pédol., Soc. Sc. Nat. Phys., Maroc, t. 6-7, 97-105.

PUJOS, A. (1957) Terres rouges, noires, grises. Trav. Sect. Pédol. Soc. Sc. Nat. Phys., Maroc, t. 12, 69-85.

QUINIF, Y. (1980) Datations et phénomènes karstiques. Gr. Contact Archéométrie, FNRS, Belg., 25-32.

RASSEL, A. (1966) La microscopie électronique au service de la recherche agronomique. An. Gembloux, Belg., n° 4, 337-350.

RASSEL, A. (1967) La microscopie électronique. An. Gembloux, Belg., n° 2, 89-104.

RAUNET, M. (1973) Etude morpho-pédologique dans la région des Beni-slimane. Wilaya du Titteri, IRAT, Sodeteg, Rap. int., 132 p.

RAUNET, M. (1974) Etude morpho-pédologique dans la région des Beni Slimane (Algérie) - Contraintes pour la mise en valeur. Agron. Trop., Paris, s. Agron. Gén., n° 2-3, 258-299 + 3 cartes.

RAYNAL, R. (1955) Oscillations climatiques et évolution du relief au cours du Quaternaire. Notes, Soc. Géogr., Maroc, n° 5, 10-14.

RAYNAL, R. (1956) Les phénomènes périglaciaires au Maroc et leur place dans l'évolution morphologique. Builetyn Peryglacjalng, n° 4, 143-162.

RAYNAL, R. (1961) Originalité des phénomènes périglaciaires au Sud de la Méditerranée. Builetyn Peryclacjalng, n° 10, 31-33.

RAYNAL, R. (1965) Sédimentation et évolution des processus géomorphologiques au cours des pluviaux quaternaires en Afrique du Nord. Atti., 1er Congr. Intern. Studi. Nord-Afric., Cagliari, 115-125.

RAYNAL, R., DEWOLF, Y. et JOLY, F. (1975) Répartition géographique des types de croûtes calcaires en Afrique du Nord. Col. Strasbourg, 139-145, cf. VOGT, T.

REILLE, M. (s.d. mais post 1975) Contribution palléanalytique à l'histoire holocène de la végétation des montagnes du Rif (Maroc Septentrional). Lab. Bot. Hist. Palyn., Univ. d'Aix-Marseille, ERA, n° 404, 34 p.

REYNDERS, J.J. (1972) A study of argillic horizons in some soils in Morocco. Geoderma, 8, 267-279.

RICHE, G., RAMBAUD, D. et RIERA, M. (1982) Etude morphologique d'un encroûtement calcaire - Région d'Irece, Bahia, Brésil. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 19, n° 3, 257-270.

ROBERT, M. et TESSIER, D. (1974) Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. An. Agron., Fr., 25(6), 859-882.

ROCHE, J. (1959) Nouvelle datation de l'épipaléolithique marocain par la méthode du carbone 14. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 249, 729-730.

ROHDENBURG, H. (1977) Neue ^{14}C daten aus Marokko und Spanien und ihre Aussagen für die Relief - und Bodenentwicklung im Holozän und Jungleistozän. Catena, v. 4, n° 1-2, 215-228.

ROGNON, P. (1979) Evolution du relief et paléoclimats depuis 40.000 ans sur la bordure Nord du Sahara. Bull. Assoc. Géogr., Fr., Paris, n° 462, 205-214.

ROMAN, J. (1975) Etude géologique du bassin néogène de Médéa (Algérie). Th. (3ème c.), Univ. Nice, 132 p.

ROSEAU, H. (1945) Etude comparative de différentes méthodes d'analyse physique de terres calcaires. An. Inst. Agric., Serv. Rech. et Exp. Agric., Algérie, t. 2, f. 1, 1-15.

ROSEAU, H. Interventions. in AUBERT, G., 1947.

RUELLAN, A. (1967) Le rôle des sols dans l'interprétation des variations bioclimatiques du Pléistocène marocain. 6ème Congr. Panafric. Préhist. Et. Quater., Dakar, ronéo, 24 p.

RUELLAN, A. (1968) Les horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire dans les sols du Maroc. 9th Intern. Congr. S. Sc., Australia, 4, 501-510.

RUELLAN, A. (1970) Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc Oriental). Th. Univ. Strasbourg, ronéo sur les Conclusions Générales, 7 p.

RUELLAN, A. (1971 a) Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes - Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya (Maroc Oriental). Mém. ORSTOM, Paris, n° 54, 302 p.

RUELLAN, A. (1971 b) L'histoire des sols : quelques problèmes de définitions et d'interprétation. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 9, n° 3, 335-343.

RUELLAN, A. (1973) Morphologie et répartition des sols calcaires dans les régions méditerranéennes et désertiques. Sém. rég., FAO-PNUD, Le Caire, AGL : TMCS 72-2, 31 p.

RUELLAN, A. et DELETANG, J. (1967) Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols. ORSTOM, Init. Doc. Tech., n° 5, 123 p.

RUELLAN, A., BEAUDET, G., NAHON, D., PAQUET, H., ROGNON, P. et MILLOT, G. (1979) Rôle des encroûtements calcaires dans le façonnement des glacis d'ablation des régions arides et semi-arides du Maroc. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 289, D, 619-622.

RUHE, R.B. (1967) Geomorphic surfaces and superficial deposits in Southern New Mexico. State Bureau - Mines and mineral ressources, New Mexico Inst. Mining Technology, Campus Station, Socorrow, New Mexico, Mém. 18, 66 p.

SABELBERG, U. (1977) The stratigraphic record of late Quaternary accumulation series in SW Marocco and its consequences concerning the pluvial hypothesis. Catena, v. 4, n° 1-2, 209-214.

SALOMONS, W. et MOOR, W.G. (1976) Isotope geochemistry of carbonate dissolution and reprecipitation in soils. S. Sc., v. 122, n° 1, 15-24.

SARY, M. (1976) Géographie physique d'une haute plaine steppique algérienne : le Hodna. Th. Univ. Strasbourg, 384 p.

SCHARPENSEEL, H.W. (1971) Radiocarbon dating of soils - Problems, troubles, hopes. in YAALON, D.H., 77-88.

SCHARPENSEEL, H.W. (1972) Natural radiocarbon measurement of soil and organic matter fractions and on soil profiles of different pedogenesis. Proc. 8th Intern. Conf. on Radiocarbon Dating, New Zealand, t. p., 12 p.

SCHARPENSEEL, H.W. (1974) Natural radiocarbon measurements as a means of studying soil processes and their dynamics. Transact., 10th Intern. Congr., S. Sc., Moscow, v. 6, com. 5, part 2, 315-330.

SCHLICHTING, E. (1978) Clay accumulation in vertic subsoils by sand ejection. 11th Congr., ISSS, Edmonton, v. 1, p. 270.

SCHOEN, U. (1969) Contribution à la connaissance des minéraux argileux dans le sol marocain. Cah. Rech. Agron., Rabat, 179 p.

SCHOLZ, H. (1971) Calcretes and their formation - A survey based on observations in South-West-Africa. Pédologie, Belg., 21, 2, 170-180.

SCHWERTMANN, U. (1973) Use of oxalate for Fe extraction from soils. Can. Journ. S. Sc., 53, 244-246.

SEGALEN, P. (1971) La détermination du fer libre dans les sols à sesquioxydes. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 9, 1, 3-27.

SEHGAL, J.L. et STOOPS, G. (1972) Pedogenetic calcrete accumulation in arid and semi-arid regions of the Indo-gangetic alluvial plain of Erstwhile Punjab (India), their morphology and origin. Geoderma, 59-72.

SELTZER, P. (1946) Le climat de l'Algérie. Inst. Météo et Phys. du Globe, Univ. d'Alger, hors s., 219 p. + 1 carte.

SINGH, S. (1956) The formation of dark-coloured clay-organic complexes in black soils. Journ. S. Sc., v. 7, n° 1, 43-58.

SMECK, N.E. (1973) Phosphorus : an indicator of pedogenetic weathering processes. S. Sc., v. 115, n° 3, 199-206.

SODETEG (s.d.) Proposition de projet d'amélioration des terres sur le plateau de la Taourga. Rap. int., Opération pré-intégrée n° 2, 26 p.

SODETEG (1972) Défense et restauration des sols. Rap. int., 11 p.

SODETEG (1973) Aménagement du plateau de la Taourga. Rap. int., Fiche technique n° 7, 35 p.

STACE, H.C.T. (1956) Chemical characteristics of Terra Rossas and Rendzines of South Australia. Journ. S. Sc., v. 7, n° 2, 280-293.

STALJANSSENS, M. (1974) Conditionnement et prétraitement des échantillons argileux - Expérimentation de nouvelles techniques - Extraction, lyophilisation, calcination à basse température, traitements déferrisants. Mém. Sc. Terre, Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 167 p.

Standard Soil Color Charts (revised) - Japon (1970).

STEPHAN, S. (1972) Profilstudien an tunesischen Böden - II Mikromorphologie. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 21, 83-100.

STOOPS, G. (1969/1971) Notes provisoires de micromorphologie du sol. Géol. Inst., Univ. Gent, ronéo, 5 parties.

SUC, J.P. (1982) Histoire climatique et découpage palynostratigraphique du Plio-Pleistocène inférieur de Méditerranée Nord-occidentale. Col. Villafranchien médit., Univ. Lille, 29-38.

SYS, C. (1967) The concept of ferrallitic and fersiallitic soils in Central Africa, their classification and their correlation with the 7th approximation. Pédologie, Belg., 17, 3, 284-325.

TANNER, C.B. et JACKSON, M.L. (1948) Nomographs of sedimentation times for soil particles under gravity or centrifugal acceleration. Journ. S. Sc. Soc. Am., 12, 60-65.

TEJEDOR SALGUERO, M.L., QUANTIN, P. et FERNANDEZ CALDAS, E. (1979) Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 3ème partie : typologie, pédogenèse et classification. Cah. ORSTOM, s. Pédol., v. 17, n° 3, 185-193.

THIBOUT, F. (1974) Interactions morphogenèse-pédogenèse - Exemple d'application dans la région de Bechloul (Algérie). Agron. Tropic., Paris, s. Agron. Gén., n° 2-3, 300-311.

THOMAS, G.W. (1967) Problems encountered in soil testing methods. 37-54 in Soil testing and plant analysis, S. Sc. Soc. Am., Inc., Publisher Madison, Wisconsin, part 1 (S. testing), 157 p.

THOMAS, G. (1974) La phase de compression pléistocène en Algérie nord-occidentale : âge, premiers éléments cinématiques, relations avec les mouvements en distension. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 279, D, 311-314.

THOMMERET, J. (1980) Datations au carbone 14. Bull. Assoc. Géogr., Fr., Paris, n° 466, 29-32.

THOREZ, J. (1976) Practical identification of clay minerals. Ed. Lelotte, G., Dison, Belg., 90 p.

THOREZ, J. (1979) Tendances, itinéraires et mécanismes de l'altération climatique des minéraux argileux. Gr. Contact, FNRS, Belg., 161-162.

THOREZ, J. et RUISSEAU, E. (1972) Manuel technique de laboratoire - Méthodes d'extraction et de préparation en routine des minéraux argileux en vue de leur détermination pratique aux Rayons X - Initiation à la détermination en routine de diffractogrammes de minéraux argileux. Lab. argiles, Fac. Sc., Univ. Liège, 57 p.

THOREZ, J. et BOURGUIGNON, P. (1973) Minéralogie des argiles de dissolution des calcaires dinantien en Condroz (Belgique). An. Soc. Géol., Belg., 96, 59-85.

TIHAY, J.P. (1973) Note sur quelques paléoformes périglaciaires observées en Algérie Orientale. Méditerranée, Aix-Marseille, t. 13, 2, 37-47.

TIHAY, J.P. (1983) Conversation.

TIHAY, J.P. et VOGT, T. (1981) Observations sur des croûtes calcaires dans le bassin de Bouira (Vallée de l'Oued Soummam, Algérie). Rech. Géogr., Univ. Strasbourg, n° 12, 34-44.

TRAUTH, N., PAQUET, H., LUCAS, J. et MILLOT, G. (1967) Les montmorillonites des vertisols lithomorphes sont ferrifères : conséquences géochimiques et sédimentologiques. C.R. Ac. Sc., t. 264, D, 1577-1579.

TRAYSSAC, J. (1980) Etude géomorphologique du bassin-versant de l'oued Djelfa-Melah, versant Nord des monts des Ouled Naïl (Algérie). Th. (3ème c.), Univ. Poitiers, Fac. Sc. Hum., 221 p.

TRIAT-LAVAL, H. (1980) Formations végétales et pollens. Bull. Assoc. Géogr. Fr., Paris, n° 466, 33-37.

TRICART, J. (1965) Principes et méthodes de la géomorphologie. Masson Cie, Paris, 495 p.

TRICART, J. (1967) Certaines formes de sédimentations calcaires quaternaires sont-elles dues à des déséquilibres géochimiques périodiques ? Chemical Géology, Elsevier Publ., Amsterdam, 2, 233-248.

TRICART, J. (1969) Le modelé des régions sèches. Traité de géomorphologie de J. TRICART et A. CAILLEUX, SEDES, Paris, t. 4, 472 p.

TRICART, J. (1974) De la géomorphologie à l'étude écographique intégrée. Agron. Trop., Paris, s. Agron. Gén., n° 2-3, 122-132.

TRICART, J. et MICHEL, P. (1965) Morphogenèse et pédogenèse. I. Approche méthodologique : géomorphologie et pédologie. Sc. S., AFES, v. 1, 69-85.

TRICART, J., RAYNAL, R. et BESANCON, J. (1972) Cônes rocheux, pédiments, glacis. An. Géogr., Fr., n° 443, 1-24.

UEHARA, G. et GILLMAN, G. (1981) The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays. Westview Press, Boulder, Colorado, 170 p.

U.S.D.A. (1975) Soil Taxonomy. 436, 754 p.

VAN BLADEL, R., FRANKART, R. et GHEYI, H.R. (1975) A comparison of the methods of determining the cation exchange capacity of calcareous soils. Geoderma, v. 13, n° 4, 289-298.

VAN DIJK, D.C. et MUELLER, S. (1978) The potential role of the study of pedogeomorphic history in detailed agro-ecological soil classification. 11th Congr., ISSS, Edmonton, v. 1, 126-127.

VAN ZUIDAM, R.A. (1975) Calcrete, a review of concepts and an attempt to a new genetic classification. Col. Strasbourg, 92-98, cf. VOGT, T.

VAUDOUR, J. (1979 a) Les environs Nord et Est de Madrid - Présentation d'une carte morphopédologique au 1/100.000 en couleurs. Méditerranée, Aix-Marseille, t. 36, 3, 45-57.

VAUDOUR, J. (1979 b) La région de Madrid ; altérations, sols et paléosols. Th. Ed. Ophrys, Gap, 390 p.

VAUDOUR, J. et CLAUZON, G. (1976) Les croûtes calcaires ont-elles toutes une origine pédologique ? Méditerranée, Aix-Marseille, t. 1, n° 1, 71-81.

VERHEYE, W. (1968) Study of a toposequence under arid climatic conditions in Lebanon. Pédologie, Belg., 18, 2, 253-262.

VERHEYE, W. (1972) Some classification problems in heavy textured red mediterranean soils with reference to the terra rossa in the Southern Lebanon. Pédologie, Belg., 22, 2, 222-237.

VERHEYE, W. (1973) Formation, classification and land evaluation of soils in mediterranean areas - with special reference to the Southern Lebanon. FNRS, Univ. Gent, Belg., 122 p., 1 carte.

VERHEYE, W. (1974) Soils and soil evolution on limestones in the mediterranean environment. Transact., 10th Intern. Congr. S. Sc., Moscow, v. 7, t. 2, 387-393.

VERHEYE, W., DE CONINCK, F. et CAMMAERTS, C. (1973) Observation sur la nature et l'évolution des minéraux argileux dans les terra rossa du Liban Sud. Sc. S., AFES, n° 1, 33-48.

VERHEYE, W. et STOOPS, G. (1973) Micromorphological evidences for the identification of an argillic horizon in terra rossa soils. Microscopy, Proc. 4th Inter. W. meeting on S. micromorphology, Queen's Univ., Ontario, Canada, 817-831.

VERMEIRE, R., DAUCHOT-DEHON, M. et DE PAEPE, P. (1974) Sur l'âge d'une croûte calcaire de la zone occidentale de l'île de Fuenteventura (Iles Canaries). Pédologie, Belg., 24, 1, 40-48.

VOGT, T. (1974) Etude en lame mince d'un sédiment périglaciaire à encroûtement calcaire. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 279, D, 1999-2002.

VOGT, T. (1975) Types de croûtes calcaires en France méditerranéenne d'après étude micrographique. Col. Types de croûtes calcaires et leur répartition régionale, Univ. Strasbourg, U.E.R., Géogr., 30-34.

VOGT, T. (1977) Quelques thèses de doctorat de 3ème cycle sur la géomorphologie du Maghreb, du Liban et de l'Iran. Rech. Géogr., Univ. Strasbourg, n° 3, 29-48.

VOGT, T. (1981) Avant-Propos. Rech. Géogr., Strasbourg, n° 12, 3.

VOGT, T. (1982) Sur la présence d'algues d'eau douce dans une croûte calcaire quaternaire d'Afrique du Nord. C.R. Ac. Sc., Paris, t. 295, s. 2, 703-708.

VOGT, T. (1983 a) Types et genèse de croûtes calcaires (France méditerranéenne, Afrique du Nord). Th. Sc., Univ. Paris, 6, 253 p.

VOGT, T. (1983 b) Types et genèse de croûtes calcaires : France méditerranéenne Afrique du Nord. Résumé Th., Univ. Paris 6, ronéo, 4 p.

VOGT, T. (s.d.) Un siècle de recherches françaises sur les croûtes calcaires : exemples de rapports et de luttes entre théories, disciplines et écoles scientifiques. Ronéo, 24 p.

VOGT, T. et MAROCKE, R. (1973) Les encroûtements calcaires de la Hardt (Haute Alsace) : Genèse et évolution. Bull. Sc. Géol., Strasbourg, 26, 4, 305-314.

WALKER, T.W. et SYERS, J.K. (1976) The fate of phosphorus during pedogenesis. Geoderma, v. 15, n° 1, 1- 19.

WATANABE, F.S. et OLSEN, S.R. (1965) Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soils. Journ. S. Sc. Soc. Am., v. 29, n° 6, 677-678.

WERNER, D. (1971) Böden mit kalkanreicherungs - Horizonten in NW Argentinien. Göttingen Bodenkunstliche Berichte 19, 167-181.

WIEDER, M. et YAALON, D.H. (1974) Effect of matrix composition on carbonate nodule crystallization. Geoderma, 11, 95-121.

WIEDER, M. et YAALON, D.H. (1982) Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics. Geoderma, v. 28, n° 3-4, 203-220.

WILBERT, J. (1961) Le Quaternaire dans les Doukkala. Notes marocaines, Soc. Géogr., Maroc, n° 16, 5-30.

WILBERT, J. (1962) Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc. Al Awamia, Rabat, n° 3, 75-192.

WILBERT, J. (1965 a) Localisation géographique de la tirsification au Maroc. INRA, Maroc, n° 20, 1-22.

WILBERT, J. (1965 b) Tirs et sols tirsifiés du Maroc. INRA, Maroc, n° 20, 23-85.

XHANTOULIS, D., HECQ, P. et GASPAR, S. (1981) Description et utilité d'un analyseur d'images. An. Gx, 87, 1, 39-47.

YAALON, D.H. (1971) Soil-forming processes in time and space. Paleopedology, Univ. Jerusalem, 29-39.

YAALON, D.H. et GANOR, E. (1973) The influence of dust on soils during the Quaternary. S. Sc., v. 116, n° 3, 146-155.

YANKOVITCH, L. Intervention. in AUBERT, G., 1947.

YOLO, J.L. (1971) Caractérisation des formes et de la répartition du phosphore dans quelques types de sols de la région de Taza - Contribution à l'étude du phosphore dans les sols du Maroc. Mém., Serv. Sc. S., Fac. Sc. Agron., Gembloux, Belg., 119 p.

YOUNG, A. (1977) The outlook for the practical application of land evaluation in developing countries, in land evaluation standards for rainfed agriculture. FAO, 49, 116 p.

ZELAZNY, L.W. et CALHOUN, F.G. (1977) Palygorskite, (Attapulgite), Sepiolite, Talc, Pyrophyllite and Zeolites. 438-470 in DIXON, J.B. et WEEDS, S.B., Minerals in Soils Environments, S. Sc. Soc. Am., 948 p.

Annexes

ANNEXE 1

EXEMPLE D'UN LIVRET DE TERRAIN POUR LA DESCRIPTION DE PROFIL (CF. 7.2)

IDENTIFICATION DU PROFIL N° [ ][ ][M][5]

LOCALISATION

Pays :

Province (Département) :

Commune :

Section :

Lieu-dit :

Station :

Bloc :

Parcelle :

COORDONNEES

Longitude : [ ][ ]° [ ][ ]' [ ][ ]" W 1 [ ] E 2 [ ]

Latitude : [ ][ ]° [ ][ ]' [ ][ ]" N 1 [ ] S 2 [ ]

Altitude : [ ][6][6][2] m

CARTES

I.G.N. : 1 : 25.000 [ ][ ]-[ ][ ]/[ ]

1 : 50.000 [ ][ ][ ]

Pédologique : [ ][ ] W 1 [ ] E 2 [ ]

[ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ][ ] [ ][ ][ ]

PHOTOS AERIENNES

Origine : Mission :

N° du vol de la photo [ ][ ][ ][ ][ ] / [ ][ ][ ][ ][ ]

Date [ ][ ]/[ ][ ]/[ ][ ][ ][ ]

TYPE PEDOLOGIQUE

Taxon :

Sigle cartographique :

ECHANTILLONS

Nb horizons décrits [ ][ ]

Nb échantillons prélevés [ ][ ]

HOP N°	Sigle	Sacs N°
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
0		

AUTEUR(S)

Nom(s) : PAHAUT
BOCK
DELAUNOIS

Pour compte de :

DATE

[1][2][0][3][1][9][7][7]

DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DU PROFIL N° [ ] [ ] M 5

CLIMAT

Station de référ. :

T° du sol à 50 cm, °C

Antécédents

Les jours précédents	1	X	
Les semaines précédentes	2	X	

Nature(s)

Pluie	1		et pluie	1	
Neige	2		et neige	2	
Humidité	3		et humidité	3	
Ensoleillé	4		et ensoleillé	4	X
Temps sec	5	X	et temps sec	5	
Sécheresse	6		et sécheresse	6	
Gel	7		et gel	7	
Vent	8		et vent	8	
Variable	9				

Intensité le nature : faible 1 ; moyenne 2 X ; forte 3

GEOMORPHOLOGIE

Echelle d'observation : DM 1 X ; HM 2 ; KM 3

Type de surface

Surface plane	——	01
Profil en cuvette	⌣	02
Profil en U	⌣	03
Profil à fond plat	⌣	04
Profil en V	⌣	05
Ondulations	∿	06
Bombement (léger)	⌒	07 X
Profil en croupe	⌒	08
Profil tabulaire	⌒	09
Profil en crête	⌒	10
Versant	/	11

Modifications ⊥ courbes de niveau

à replats	1
à chicots rocheux	2
à corniches rocheuses	3
dominée par une corniche irrégulière	4
// Courbes de niveau	
à rentrants arrondis	1
anguleux	2
à saillants arrondis	3
anguleux	4

Forme :

Ancien niveau de glacis

Longueur de la pente, m [1 0 0]

Profil situé sur bosse	1	
dans un creux	2	
dans une aire rectil.	3	X
au fond de la forme	1	
au bas de la forme	2	
au 1/3 inférieur	3	
à mi-hauteur	4	
au 1/3 supérieur	5	X
au sommet de la forme	6	
au centre de la forme	7	
près du bord	8	
loin du bord	9	

Pente locale % [3]

Exposition :

N	1	S	5
NE	2	SW	6
E	3	W	7
SE	4	NW	8

GEOLOGIE

A l'échelle de la station

Roche(s) visible(s) :

1 :

2 :

Type d'occupation (1 2)

en couverture	1		
en placages	2		
en poches	3		
en pointements	4		
en affleurements	5		
sous forme de blocs	6		
" pierres	7		
" cailloux	8		

A l'emplacement du profil

un seul matériau présent	1	
un matériau sous divers états	2	
deux matériaux	3	
trois matériaux	4	
plus de trois matériaux	5	

Nom des matériaux :

1.
2.
3.

Age des matériaux

1 :

2 :

3 :

Dépôts : 1 :

2 :

3 :

PEDOLOGIE GENERALE

Continuité

Couverture pédolog.continue (>80 %)	1	X
discontinue (20-80 %)	2	
très discontin. (<20 %)	3	

Epaisseur : épaisse (> 80 cm)	1	X
peu épaisse (40-80 cm)	2	
mince (< 40 cm)	3	
variable	4	
Origine : éolienne	01	
fluviatile	02	
marine	03	
altération sans transport	04	
altération avec transport	05	X
éolienne et fluviatile	06	
éolienne et altération	07	
éolienne et marine	08	
fluviatile et altération	09	
marine et altération	10	
complexe	11	
non identifiée	12	

HYDROLOGIE

Régime : Submersion	1	
Engorgement	2	
Sécheresse relative	3	X
Sécheresse	4	
Contrôlé	5	
Durée : Temporaire	1	
Semi-permanent	2	
Permanent	3	

Causes de submersion ou engorgement

Pluies	01
Fonte des neiges	02
Exhaussement de nappe	03
Débordements	04
Marées	05
Ruissellement hypodermique	06
Nappe à éclipses	07
Nappe phréatique	08
Intéroflux	09
Venues profondes	10
Cause non identifiée	11

Nappe : au-dessus de +1 m	1	
niveau à [ ] m	2	
niveau en-dessous de -10 m	3	
Battement de la nappe : < 1 m	1	
> 1 m	2	

CARACTERISTIQUES DE L'EAU

Origine : eau de nappe	01	
eau de source	02	
eau de pluie	03	
eau de ruissellement	04	
eau marine	05	
eau fluviatile	06	
eau lacustre	07	
eau de submersion	08	
eau d'assainissement	09	
eau d'irrigation	10	

Echantillon prélevé : non 1 ; oui 2

Sans saveur	1	Incolore	1
Sav. non identif.	2	Colorée	2
Sav. légèr. salée	3	Limpide	1
Saveur salée	4	Trouble	2
Inodore	1	Sans gaz	1
Odorante	2	Avec gaz	2

pH [ ] [ ] [ ] Conductivité [ ] [ ] mmhos 1 ; µmhos 2

VEGETATION

Formation

Ligneuse haute dense (rec. A 75 %)	01
Ligneuse haute (recouvr. A 25-75 %)	02
Ligneuse haute claire (rec. A 25 %)	03
Ligneuse haute et basse	04
Ligneuse basse	05
Ligneuse haute et herbacée	06
Herbacée et ligneuse haute	07
Herbacée et lign. haute et basse	08
Herbacée et ligneuse basse	09
Herbacée	10
Végét. très claire (rec. tot. <20 %)	11
Sol nu	12

Nom commun :

Couverture du profil

Tapis végétal et couvert	1
Tapis végétal sans couvert	2
Couvert sans tapis végétal	3
Couvert et tapis absents	4

Recouvrement %

Strate arborescente	A
Strate arbustive	a
Strate suffrut.-éricoïde	s-e
Strate herbacée	h
Strate muscinale	m

Taxons dominants :

A :

a :

s-e :

h :

m :

OCCUPATION DES TERRES

Type

Non identifiée	01	
Site urbain	02	
Carrière en exploitation	03	
Carrière abandonnée	04	
Horticulture	05	
Arboriculture	06	
Verger monospécifique	07	
Verger mixte	08	
Vignoble	09	
Arboric. avec cult. en ss-étage	10	
Agriculture	11	
Monoculture	12	
Cultures en rotation	13	
Cult. à jachère prolongée	14	X
Praticulture	15	
Pâturage	16	
Pré de fauche	17	
Prairie mixte	18	
Pâturage naturel	19	
Parcours par petit bétail	20	X
Parcours par gros bétail	21	X
Terrain agricole abandonné	22	
Forêt	23	
Forêt dense caducifoliée	24	
Forêt dense résineuse	25	
Forêt dense mixte	26	
Forêt claire caducifoliée	27	
Forêt claire résineuse	28	
Forêt claire mixte	29	
Taillis-sous- futaie	30	
Taillis	31	
Broussailles	32	
Forêt marécageuse	33	
Forêt avec culture accessoire	34	
Blanc-étoc	35	
Terrains humides	36	
Sables bruts	37	
Dunes	38	
Estran	39	
Rochers	40	
Pierriers	41	
Eaux courantes	42	
Eaux stagnantes	43	

jachère 1 an

Ancienneté d'utilisation

Non identifiée	1	
Très récente (< 3 ans)	2	
Récente (3-10 ans)	3	
Ancienne (10-30 ans)	4	
Très ancienne (> 30 ans)	5	X

INFLUENCES HUMAINES

Assainissement

Pas d'assainissement	1	X
Assainissement souterrain	2	
Assainissement par fossés	3	
Assain. par fossés bien entret.	4	
Assain. par fossés mal entret.	5	

Modalités

Ecartement des drains	M	
Profondeur des drains	CM	

Irrigation

Pas d'irrigation	1	X
Irrigation par gravité	2	
Irrigation par aspersion	3	
Irrigation par submersion	4	
Irrig. par conduits souterr.	5	
Irrigation localisée	6	
Eau d'irrigation non décrite	1	
Eau d'irrigation décrite	2	

Travaux de mise en valeur

Nivellement	01	
Buttes	02	
Ados et diguettes	03	
Fossés et ados	04	
Billons	05	
Planches	06	
Banquettes	07	
Terrasses	08	
Remblais et déblais	09	
Labour	10	X
Défoncement	11	
Sous-solage	12	?
Epierrage	13	
Travaux divers	14	

Clôtures

Parcelle non clôturée	1	X
Clôtures vives	2	
Clôtures mortes	3	
Clôtures diverses	4	

EROSION ET APPORTS

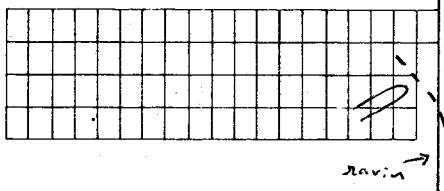
Type

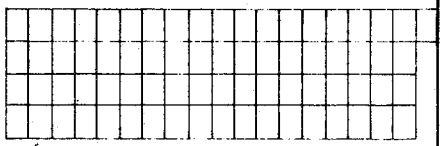
Ni érosion, ni apports	1	
Battance	2	X
Erosion en nappe	3	
Erosion en rigoles	4	
Erosion en ravines	5	
Apports par submersion	6	
Apports par ruissellement	7	
Apports éoliens	8	

Intensité

D'intensité faible	1	X
D'intensité moyenne	2	
D'intensité forte	3	

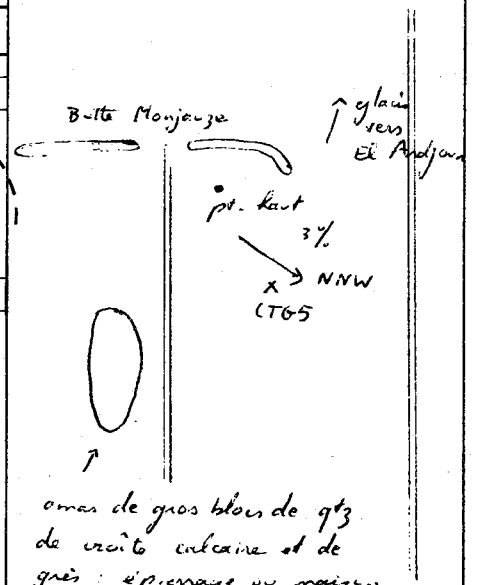
REMARQUES





en surface.

- Hel : 0
- 15% Gv irrégulier émoussé GCPB
- 1% de nodules calcaires
- + 1 silex emballé de calcaire





DESCRIPTION DES HORIZONS DU PROFIL N° M 5

Horizon n°	Préfixe	SYMBOLE: Sigle principal	SYMBOLE: Suffix Alphabét.	SYMBOLE: Suffix Numérique	PROFONDEUR: Prof. atteinte min. cm	PROFONDEUR: Prof. atteinte max. cm	PROFONDEUR: Epaisseur cm	HUMIDITE: 1 Sec	2 Frais	3 Humide	4 Très humide	TEXTURE: C.C.S.S. B.M. *	TEXTURE: F.A.O. *	COULEUR: Munsell Hue *	Value	Chroma
1					2	0		X						5	2	4/6
2					4	0		X						5	2	3/6
3					5	5		X						5	2	3/4
4					7	0		X						5	2	3/6
5					9	0		X				ANALYSE		5	2	3/6
6					11	15		X						2.5	2	4/6
7					13	0	99	X						2.5	2	4/8
8																
9																
0																

Horizon n°	TACHES D'HYDROMORPHIE ET/OU DEGRADATION. ABOND.: 0	<2 %	2-20 %	20-50 %	>50 %	DIMENSIONS: <5 mm	5-15 mm	>15 mm	<15 mm	>5 mm	0-> 15 mm	NATURE(S): Oxydation	Réduction	Oxydo-réduct	Polychromes	Décapage	Altération	Non identifiée	COULEUR 1: Hue *	Value	Chroma	COULEUR 2: Hue *	Value	Chroma	FORME: Irrégulières	Arrondies	Traînées hor	Traînées vert.	Traînées obl.	Train. orthog.	Train. quelc.	En raies	En bandes	Complexe	Non identif.	CONTR.: Peu contrast.	Moyenn.contr.	Très contr.	NETT.: Peu nettes	Nettes	Très nettes
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7							01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	1	2	3	1	2	3
1															X																											
2															X																											
3															X																											
4															X																											
5																	X		5	2	4							X									X		X			
6												X					X		5	2	4	5	2	4/2				X									X		X			
7																																					X		X			
8																																										
9																																										
0																																										

Horizon n°	TACHES (FIN) ASSOCIATION: Faces agrégats	Vides	Racines	Vides et racin.	Squelette	Sans relation	MATIERE ORGANIQUE PRESENCE ET FORME: Débris	Résidus	Rés.tr. décomp.	Débr.+ résidus	Déb+rés+tr.déc.	Résid.+ humus	D+R+R.D+Humus	Humus	Non organique	NATURE(S) DEBRIS: Feuilles	Aiguilles	Palmes	Tiges	Brindilles	Ecorces	Ecailles	Fruits	Mousses	IND von POST	LIAISON: Non identif.	Juxtaposition	Revêtements	Liaison vraie	Forte liaison	COULEUR: Hue *	Value	Chroma
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	4	5			
1							0																										
2							0																										
3							0																										
4							0																										
5				X			0																										
6				X			0																										
7							0																										
8																																	
9																																	
0																																	

Horizon n°	STRUCTURE TYPE(S): Massive	Particulaire	Lamellaire	Squameuse	Prismatique	En colonnes	Polyédr.angul.	Polyédr.subang.	Cubique	Plaq. obliques	Grenue	Grumeleuse	Fibreuse	Feuilletée	Coprogène	TAILLE TYPE 1 mm	NETT. 1: Peu nette	Nette	Très nette	RELAT.: Intégrée	Associée	Juxtaposée	TAILLE TYPE 2 mm	CONSISTANCE COMPACT.: Meuble	Peu compact	Compact	Très compact	PLASTIC.: Non plastiq.	Peu plastiq.	Plastique	Très plastiq.	FRIABILITE: Non friable	Peu friable	Friable	Très friable	Meuble
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15		1	2	3	1	2	3		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5
1								1				2				2		X			X		2		X											
2							X									2		X								X										
3					1	2										5 0	X		X				2				X									
4					1	2										5 0		X	X				2				X									
5					1	2										2 5			X X				2				X									
6					1	2										2 5			X X				2				X									
7							X									3		X									X									
8																																				
9																																				
0																																				

* Voir codes.

- 414 -

| Horizon n° | CONSIST. (FIN) FRAGILITE: Non fragile | Peu fragile | Fragile | Très fragile | Meuble | FLUID.: Fluant | Boulant | REVETEMENTS SURF.: < 20 % | 20-80 % | > 80 % | NATURE: Non identifiée | Organique | Argileux | Organ-Argil. | Argilo-Fe | Sesquioxydes | Mn | Sels | Siliceux | Limoneux | Sableux | Complexe | EPAISS.: Minces | Epais | Très épais | COULEUR HUE ★ | Value | Chroma | ASSOCIAT.: Vides | Agrégats | Faces horiz. | Faces vert. | Squelette | DESCRIPTION DES PORES APPREC. SYNTH.: Non poreux | Très peu por. | Peu poreux | Poreux | Très poreux | Non identif. | ABONDANCE: Nuls | Très peu nb<1 | Peu nbx 1-5 | Nombr. 5-15 | Très nbx >15 | DIMENSIONS: Très fins <1mm | Fins 1-2 mm | Moyens 2-5 mm | Larges > 5 mm | Tr fins + fins | Tr fins à moy. | Tr fins à larg. | Fins + moyens | Fins à larges | FENTES LARGEUR mm | ECARTEMENT cm | ELEMENTS SECOND. Ca-Mg % Abondance | DIMENS.: < 5 mm | 5-15 mm | > 15 mm | NATURE: Carbonate | Gypse | Carbon. + Gyps | Non identifiée | DUR.: Tendre | Dur |
|---|---|---

| Horizon n° | ELEM. GROSS. (FIN) | | | | | | | | | EFFERVESCENCE | | | | | | | | RACINES | | | | | | | | |

ANNEXE 2

EXEMPLE D'UN LIVRET DE RETRANSCRIPTION EN VUE DE LA PERFORATION (CF. 7.2).

IDENTIFICATION - LOCALISATION.

IDENTIFICAT. CARTE	PROFIL	PAYS	PROVIN.	COMMUNE	SECTION	LONGITUDE °	'	"	W E	LATITUDE °	'	"	N S	ALTIT. m	CARTES TOPO	PEDO	SIGIE CARTOGR. PREFIX	TEXTURA	DRAINA	DEV. PRO	CHARGE	PROFON
1 1	M			DZ-B.SLIMANE	TAØURGA		0		0		0		0	662	8	7	0 0					

IDENTIFICAT. CARTE	PROFIL	PHOTOS AERIENNES ORIGINE	MISSIO.	DATE J	M	AN	N° VOL	PHOTO	NOMBR. HORIZ.	ECHANT.	AUTEUR(S)	DATE J	M	AN
1 2	M	5 IGN-DZ.	0	0	1	9 6 0	0	0	7	0 7	PAHAUT-BØCK-ET AL.	1	2	0 3 1 9 7 7

ENVIRONNEMENT DU PROFIL

IDENTIFICAT. CARTE	PROFIL	CLIMAT T° SOL A 50 CM	STATION	ANTECED. DUREE	NATUR. 1	NATUR. 2	INTENS	GEOMORPHOLOGIE ECHELLE	SURFACE	MODIF. ⊥	MODIF. //	FORME	LONG. PENTE	SITUAT	SIT. FORM.	PENTE %	EXPOSIT.	GEOLOGIE ROCHES VISIBL. 1	ROCHES VISIBL. 2	OCCUP. 1	OCCUP. 2	MATER.	NOM MATERIAUX 1	NOM MATERIAUX 2	NOM MATERIAUX 3	AGE MATERIAUX 1	AGE MATERIAUX 2	AGE MATERIAUX 3	AGE DEPOTS 1	AGE DEPOTS 2	AGE DEPOTS 3	PÉDO CONTIN	EPAISS.	ORIGIN.	HYDROLOG. REGIME	DUREE	CAUSES	NAPPE M	NAPPE NIVEAU	BATTEM.	EAU ORIGINE	ECHANT.	SAVEUR	COULEU.	LIMPID.	ODEUR	GAZ
2 1	M	5		0	2	5	4 2	1	0 7	0 0		1 7	0 1	0 0	3	5	0	3 0		0		0			0			0			0	1	1	0	5	3	0	0 0			0				0						0

IDENTIFICAT. CARTE	PROFIL	EAU (FIN) pH	CONDUC. VALEUR	UNITE	VEGETATION FORMAT.	COUVER.	RECOUVREMENT A	a	s-e	h	m	TAXONS DOMINANTS STR. A 1	STR. A 2	STR. a 1	STR. a 2	STR. s-e 1	STR. s-e 2	STR. h 1	STR. h 2	STR.m 1	OCCUP. TYPE	ANCIEN.	INFL. HUMAIN. ASSAINISS. TYPE	ECART.	PROF.	IRR. TYPE	EAU DEC	TRAVAUX	CLOTURE	ERO NATURE	INTENS.
2 2	M	5	0	0		0		0		0			0		0		0		0		1	4	5	1	0 0			1	0	1	0	1	2	1

REMARQUES.

| | | | | | |

HORIZONS DU PROFIL

| IDENTIF. | | | | | | | | SYMBOLE | | | | | | PROF. - EP. | | | | | | TEXTUR. | | | | COUL | | | | TACHES HYDR./DEGR. | | | | | | | | | | | | | | | | MAT. ORGAN. | | | | | | | | | | | | | | | |

IDENTIF.								ELEM. GROSSIERS														EFF		RACIN					ACT BIO						LIM		HORIZONS R																			
CARTE		PROFIL					HORIZ.	ABOND.		CLASSES DIMENS.			NATURE					FORME	ORIENT.	ALTER		INTENS.	LOCAL	ABOND	DIMENS	ORIENT	DISTRI	PENETR	ABOND	NATURE						REGUL	NETT	NATURE		COULEUR		LITAGE	RESIST	DESAGR	GRANUL	CIMENT		PATE		MINER.			
													1	2	3														1	2	3																1	2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
3	3	M				5	1	2	0	6	C			Q	U	G	R			7	4	2	1	0	4	5	5	1	2	1	2	1	2	2			2	4					0			0			
3	3	M				5	2	2	0	6	C			Q	U	G	R			7	4	2	1	0	4	5	5	1	2				0			2	4					0			0			
3	3	M				5	3		5	6	C			Q	U	G	R			7	4	2	1	0	4	1	5	1	2				0			1	3					0			0			
3	3	M				5	4		1	6				Q	U	G	R			7	4	2	1	0	4	1	5	1	2				0			1	3					0			0			
3	3	M				5	5		1	6				Q	U	G	R			7	4	2	3	4	4	1	5	1	2				0			1	4					0			0			
3	3	M				5	6		1	6				Q	U	G	R			7	4	2	2	4	4	1	5	1	2				0			2	3					0			0			
3	3	M				5	7		1	6				Q	U					7	4	2	4	1	4	1	5	1	2				0			0						0			0			
3	3						8																																															
3	3						9																																														
3	3						0																																														

REMARQUES.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
3	4	M				5	H	Ø	R	I	Z	Ø	N	S		S	U	P	E	R	I	E	U	R	S		S	E	M	B	L	E	N	T		P	Ø	L	Y	C	H	R	Ø	M	E	S		:		M	A	T	R	I	C	E		R	Ø	U	G	E		+		Z	Ø	N	E	S		B	R	U	N	A	T	R	E																		

ANNEXE 3

SORTIE DE LA DESCRIPTION "INFORMATISEE" DES PROFILS RETENUS POUR LE LABORATOIRE (CF. 7.2).

```
**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL N   30*
**********************************************************************
```

N 30 IDENTIFICATION-LOCALISATION

DEPT 07-M.SLIMANE TAOURGA ODEG. OMIN. OSEC.LONG ODEG. OMIN. OSEC.LAT. 0850 M.
+ CA.TOPO / - 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN 07 0 0 0 1940 0 0
+ 3HOR. 3ECH.PAR DELAUNOIS-MOREMAN LE 07071977

N 30 ENVIRONNEMENT

LES JOURS PRECEDENTS , TEMPS SEC , FORTE INTENSITE, TEMPS ENSOLEILLE , * ECHELLE DU PH. , VERSANT, A SAILLANTS ARRONDIS , COLLUVIONNEMENT, * * COUVERTURE PEDO DISCONTINUE, PEU EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC TRANSPORT , * SECHERESSE RELATIVE, * * FORMATION HERBACEE ET LIGNEUSE BASSE , TAPIS VEGETAL SANS COUVERT , * PARCOURS DE PETIT BETAIL , UTILISATION TRES ANCIENNE , * PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS D'IRRIGATION , * *

CARTE TOPO 111 / X=533,0 Y=317,7 / ALBO APTIEN / PELOUSE / 40% FLEM. GROS
SIERS EN SURFACE : PCG DE QU

SOIL UNIT FAO = 0

N 30 HORIZONS

HORIZON NO. 1 *
PROF.MIN 20CM.,PROF.MAX 20CM.,EPAISS. 20CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 64, * PAS DE TACHES. * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 15MM., INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUF ANGULEUSE, TAILLE 3MM., * COMPACT, PEU FRAGILE, * MOINS DE 20 PC.DE REVETEMENTS , * POREUX , * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT OCM. * * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. DE FER ET MANGANESE, EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 10PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, PIERRES, CAILLOUX , BLOCS, GRAVIERS , GRES QUARTZITE * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES TRES NOMBREUSES, * PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, RACINES DECOMPOSEES, * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DIFFUSE, * *

HORIZON NO. 2 *
PROF.MIN 50CM.,PROF.MAX 50CM.,EPAISS. 30CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 56, * PAS DE TACHES. * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 20MM., INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUF ANGULEUSE, TAILLE 3MM., * COMPACT, PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, * PEU POREUX, * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 7CM. * * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. DE FER ET MANGANESE, EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 10PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , GRAVIERS , GRES QUARTZITE * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES TRES PEU NOMBREUSES, * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DIFFUSE, * *

HORIZON NO. 3 *
PROF.MIN 80CM.,PROF.MAX 999CM.,EPAISS. 30CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 5 YR 4%, * PAS DE TACHES. * NON ORGANIQUF , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 5MM., * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, * PEU POREUX, * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 5CM. * * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. DE FER ET MANGANESE, EN TACHES , DISTRIBUES SUR LE SQUELETTE, * * 10PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , GRAVIERS , GRES QUARTZITE * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES PEU NOMBREUSES , * * * *

```
**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL N   29*
**********************************************************************
```

N 29 IDENTIFICATION-LOCALISATION

DEPT 07-M.SLIMANE TAOURGA ODEG. OMIN. OSEC.LONG ODEG. OMIN. OSEC.LAT. 0880 M.
+ CA.TOPO / - 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN 07 0 0 0 1940 0 0
+ 4HOR. 4ECH.PAR DELAUNOIS-MOREMAN LE 07071977

N 29 ENVIRONNEMENT

LES JOURS PRECEDENTS , TEMPS SEC , FORTE INTENSITE, TEMPS ENSOLEILLE , * ECHELLE DU PH. , VERSANT, A RENTRANTS ARRONDIS , COLLUVIONNEMENT, * * COUVERTURE PEDO DISCONTINUE, PEU EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC TRANSPORT , * SECHERESSE RELATIVE, * * FORMATION HERBACEE ET LIGNEUSE BASSE , TAPIS VEGETAL SANS COUVERT , * PARCOURS DE PETIT BETAIL , UTILISATION TRES ANCIENNE , * PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS D'IRRIGATION , * *

CARTE TOPO 111 / X=533,2 Y=317,7 / ALBO APTIEN / PELOUSE / 20% FLEM. GROS
SIERS EN SURFACE : PCG DE QU

SOIL UNIT FAO = 0

N 29 HORIZONS

HORIZON NO. 1 *
PROF.MIN 7CM.,PROF.MAX 7CM.,EPAISS. 7CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX, * 5 YR 64, * PAS DE TACHES. * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE SUBANGULEUSE , ASSOCIEE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE GRUMELEUSE , * PEU COMPACT, FRAGILE , * * POREUX , * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT OCM. * * * * 5PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , QUARTZITE ARGILITE * * RACINES NOMBREUSES , * * LIMITE INFERIEURE ONDULEE , DISTINCTE , * *

HORIZON NO. 2 *
PROF.MIN 20CM.,PROF.MAX 20CM.,EPAISS. 13CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILO-SABLEUX, * 5 YR 46, * PAS DE TACHES. * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 10MM., INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., * PEU COMPACT, * MOINS DE 20 PC.DE REVETEMENTS , NON IDENTIFIES , MINCES, * TRES POREUX, * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT OCM. * * 2PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. DE FER ET MANGANESE, EN PELLICULES , DISTRIBUES SUR LE SQUELETTE, * * 40PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , ARGILITE * * RACINES TRES NOMBREUSES, * * LIMITE INFERIEURE ONDULEE , DISTINCTE , * *

HORIZON NO. 3 *
PROF.MIN 45CM.,PROF.MAX 45CM.,EPAISS. 25CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 25 YR 46, * PAS DE TACHES. * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 5MM., ASSOCIEE A UNE 2E.STRUCTURE, TAILLE 2MM., * COMPACT, * MOINS DE 20 PC.DE REVETEMENTS , NON IDENTIFIES , MINCES, * POREUX , * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT OCM. * * 2PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. DE FER ET MANGANESE, EN PELLICULES , DISTRIBUES SUR LE SQUELETTE, * * 40PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , ARGILITE * * RACINES PEU NOMBREUSES , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DIFFUSE, * *

HORIZON NO. 4 *
PROF.MIN 80CM.,PROF.MAX 999CM.,EPAISS. 35CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE SABLEUSE, * 25 YR 46, * PAS DE TACHES. * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 5MM., ASSOCIEE A UNE 2E.STRUCTURE, TAILLE 2MM., * COMPACT, * * PEU POREUX, * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT OCM. * * 3PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. DE FER ET MANGANESE, EN PELLICULES , DISTRIBUES SUR LE SQUELETTE, * * 40PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , ARGILITE * * RACINES PEU NOMBREUSES , * * * *

POLYCHROMIE DUE AUX COULEURS DIFFERENTES DU SQUELETTE ET DE LA TERRE FINE
SANS COMPTER LES MELANGES PAR COLLUVIONNEMENT

```
**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL N   26*
**********************************************************************

                                    N   26 IDENTIFICATION-LOCALISATION
                                    ++++++++++++++++++++++++++++++++++

 DEPT DZ-R,SLIMANE TAOURGA ODEG, OMIN, OSEC,LONG ODEG, OMIN, OSEC,LAT. 0740 M.
+ CA,TOPO / = 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN DZ 0 0 0 0 1960 0 0
+ 3HOR, 6ECH,PAR ROCK ET DELAUNOIS LE 050?1977

                                    N   26 ENVIRONNEMENT
                                    ++++++++++++++++++++

 LES JOURS PRECEDENTS , TEMPS SEC , INTENSITE MOYENNE , TEMPS ENSOLEILLE , * ECHELLE DU DM. , VERSANT, GLACIS , L.PENTE 100 M.
PROFIL DANS UNE AIRE RECTILIGNE, AU TIERS SUP.DE LA FORME , 11 PC.PENTE, EXPOSITION N-W , * * COUVERTURE PEDO CONTINUE , PEU
EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC TRANSPORT , * SECHERESSE RELATIVE, * * * CULT.A JACHERE PROLONGEE , UTILISATION TRES ANCIENNE , *
PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS D'IRRIGATION , LABOUR , PARCELLE NON CLOTUREE , * BATTANCE , INTENSITE FAIBLE , *

CARTE TOPO 111 / X=533,9 Y=319,8 / PROXIMITE, TAILLIS QUERCUS ILEX, PISTA
CEA LENTISCUS * ZIZYPHUS / 10% ELEM. GROS,SURFACE : BPCG DE QUARTZ

                                    N   26 HORIZONS
                                    ++++++++++++++++
SOIL UNIT FAO =     0

HORIZON NO.  1       *
PROF.MIN 20CM.,PROF.MAX 20CM.,EPAISS. 20CM* FRAIS. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 5 YR 34, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE GRUMELEUSE , TAILLE 1MM., NETTE , * PEU COMPACT, FRIABLE, * * POREUX , * * 2PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE 5 A 15MM,
DE CARBONATES , DURS , EN CROUTES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 20PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, PIERRES, CAILLOUX , GRAVIERS ,
GRES QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE FAIBLE , GENERALISEE, * RACINES
TRES NOMBREUSES, TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE
REGULIERE, GRADUELLE , * *
HORIZON NO.  2       *
PROF.MIN 45CM.,PROF.MAX 45CM.,EPAISS. 25CM* FRAIS. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 34, * DE 20 A 50PC,DE TACHES, DE
MOINS DE 15 MM., 25 YR 46, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , SANS RELATION AVEC AUTRES ELEMENTS , *
NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 15MM., NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE
ANGULEUSE, TAILLE 3MM., * PEU COMPACT, PEU FRIABLE, * * POREUX , * FENTES-LARGEUR 3CM.,ECARTEMENT 6CM. * 2PC,D'ELEMENTS
CALCI-MAGNESIENS, DE 5 A 15MM, DE CARBONATES , DURS , EN CROUTES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 20PC,D'ELEMENTS GROSSIERS,
PIERRES, CAILLOUX , GRAVIERS , GRES QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE
FAIBLE , GENERALISEE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES
AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, GRADUELLE , * *
HORIZON NO.  3       *
PROF.MIN 65CM.,PROF.MAX 999CM.,EPAISS. 20CM* FRAIS. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 2? YR 46, * DE 2 A 20 PC. DE TACHES, DE
5 A 15 MM., 5 YR 43, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , ASSOCIEES AUX FACES DES AGREGATS , * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 25MM., NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE,
TAILLE 4MM., * COMPACT, PEU FRIABLE, * MOINS DE 20 PC,DE REVETEMENTS , ARGILEUX , MINCES, 25 YR 46, ASSOCIES AUX AGREGATS , *
PEU POREUX, * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 3CM, * * * * 20PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, PIERRES, CAILLOUX , GRAVIERS , GRES
QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE FAIBLE , GENERALISEE, * RACINES
NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * PEU NOMBREUSES TRACES
D'ACT.BIOLOGIQUES, GALERIES , * LIMITE INFERIEURE ONDULEE , TRES NETTE , * *

PROFIL CREUSE JUSQU'A 100CM SUR CROUTE CALCAIRE / MORCEAUX DE CROUTE EN H
1 ET H2

**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL N   24*
**********************************************************************

                                    N   24 IDENTIFICATION-LOCALISATION
                                    ++++++++++++++++++++++++++++++++++

 DEPT DZ-R,SLIMANE TAOURGA ODEG, OMIN, OSEC,LONG ODEG, OMIN, OSEC,LAT. 0747 M.
+ CA,TOPO / = 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN DZ 0 0 0 0 1960 0 0
+ 5HOR, 6ECH,PAR ROCK ET DELAUNOIS LE 18U11977.

                                    N   24 ENVIRONNEMENT
                                    ++++++++++++++++++++

 LES JOURS PRECEDENTS , PLUIE , FORTE INTENSITE, VENT , * ECHELLE DE L'HM, VERSANT, GLACIS , L.PENTE 0500 M. PROFIL DANS UNE AIRE
RECTILIGNE, A MI-HAUTEUR DE LA FORME , A PC.PENTE, * * COUVERTURE PEDO CONTINUE , EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC TRANSPORT , *
SECHERESSE RELATIVE, * * * CULT.A JACHERE PROLONGEE , UTILISATION TRES ANCIENNE , * PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS D'IRRIGATION ,
LABOUR , PARCELLE NON CLOTUREE , * BATTANCE , INTENSITE FAIBLE , *

CARTE TOPO 111 / X=533,9 Y=319,4 / ZIZIPHUS / 20% ELEM. GROSSIERS EN SURF
ACE : BCGP DE QU EMOUSSES ET RARES DEBRIS DE CROUTE

                                    N   24 HORIZONS
                                    ++++++++++++++++
SOIL UNIT FAO =     0

HORIZON NO.  1       *
PROF.MIN 15CM.,PROF.MAX 15CM.,EPAISS. 15CM* FRAIS. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 2? YR 34, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE POLYEDRIQUE SUBANGULEUSE , TAILLE 5MM., NETTE , ASSOCIEE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE GRUMELEUSE , TAILLE 1MM., * PEU
COMPACT, TRES FRIABLE , * * POREUX , * * * * 15PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , GRAVIERS , PIERRES, GRES QUARTZITE
IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A
ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, PAILLES , *
LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO.  2       *
PROF.MIN 35CM.,PROF.MAX 35CM.,EPAISS. 20CM* FRAIS. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 2? YR 34, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE MASSIVE , * COMPACT, FRIABLE, * MOINS DE 20 PC,DE REVETEMENTS , ARGILEUX , MINCES, 2? YR 34, ASSOCIES AUX AGREGATS , *
POREUX , * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 10CM, * * * * 25PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , GRAVIERS , GRES QUARTZITE
IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES TRES NOMBREUSES, TRES FINES , A
ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, GALERIES , *
LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO.  3       *
PROF.MIN 55CM.,PROF.MAX 55CM.,EPAISS. 20CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 2? YR 46, * MOINS DE 2PC, DE TACHES, DE
PLUS DE 15MM, 5 YR 32, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , SANS RELATION AVEC AUTRES ELEMENTS , * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 30MM., NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE
2MM., * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC,DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 25 YR 34, ASSOCIES AUX AGREGATS , * POREUX ,
* FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 3CM, * 1PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES ,
DISTRIBUTION LOCALISEE , * 1PC,D'ELEMENTS A OX.-HYDROX, MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION
GENERALISEE , * * 1PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , GRES QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , ALTERES,
* EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES
AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, GRADUELLE , * *
HORIZON NO.  4       *
PROF.MIN 85CM.,PROF.MAX 85CM.,EPAISS. 30CM* SEC.. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 2? YR 46, * DE 2 A 20 PC. DE TACHES, DE 0
A PLUS DE 15 MM., 25 YR 32, EN TRAINEES QUELCONQUES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , ASSOCIEES AUX FACES DES AGREGATS , *
NON ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 30MM., NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE,
TAILLE 2MM., * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC,DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 25 YR 36, ASSOCIES AUX AGREGATS , *
POREUX , * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 3CM, * 1PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN
NODULES , DISTRIBUTION LOCALISEE , * 1PC,D'ELEMENTS A OX.-HYDROX, MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS ,
DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 1PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , GRES QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION
QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE
, PENETRANT LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO.  5       *
PROF.MIN 90CM.,PROF.MAX 999CM.,EPAISS. 5CM* FRAIS. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 2? YR 48, * DE 2 A 20 PC. DE TACHES, DE
0 A PLUS DE 15 MM., 25 YR 32, EN TRAINEES QUELCONQUES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , ASSOCIES AUX FACES DES AGREGATS , *
NON ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 30MM., PEU NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE,
TAILLE 2MM., * TRES COMPACT , PEU FRIABLE, * DE 20 A 80PC,DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 25 YR 36, ASSOCIES AUX AGREGATS , *
POREUX , * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 3CM, * 2PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN
NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * 1PC,D'ELEMENTS A OX.-HYDROX, MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS ,
DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 1PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , GRES QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION
QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE FAIBLE , SUR LES ELEM,SECONDAIRES , * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A
ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * * *

PROFIL CREUSE JUSQU'A 110CM SUR CROUTE ZONAIRE, CROUTE ET ENCROUTEMENT /
ELEM. SEC. CA EN H5 EGALEMENT SOUS FORME DE PSEUDOMYCELIUM
```

```
**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL N   18*
**********************************************************************

                                    N   18 IDENTIFICATION-LOCALISATION
                                    ++++++++++++++++++++++++++++++++++

 DEPT DZ-R,SLIMANE TAOURGA ODEG, OMIN, OSEC,LONG ODEG, OMIN, OSEC,LAT, 0700 M,
+ CA,TOPO / - 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN DZ 0 0 0 0 1960 0 0
+ 5HOR, 5ECH,PAR ROCK ET DELAUNOIS LE 14011977

                                    N   18 ENVIRONNEMENT
                                    ++++++++++++++++++++
 LES JOURS PRECEDENTS , PLUIE , FORTE INTENSITE, VENT , * ECHELLE DE L'HM, VERSANT, GLACIS , L,PENTE 0300 M, PROFIL DANS UNE AIRE
RECTILIGNE, AU TIERS SUP,DE LA FORME , 7 PC,PENTE, * * COUVERTURE PEDO CONTINUE , EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC TRANSPORT , *
SECHERESSE RELATIVE, * * * CULT,A JACHERE PROLONGEE , UTILISATION TRES ANCIENNE , * PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS D'IRRIGATION ,
LABOUR , PARCELLE NON CLOTUREE , * BATTANCE , INTENSITE FAIBLE , *

CARTE TOPO 111 / X=536,7 Y=318,0 / ZIZYPHUS / 50% ELEM, GROSSIERS EN SURF
ACE : PBCR DE QU * RARES PETITS NODULES CALCAIRES

                                    N   18 HORIZONS
                                    +++++++++++++++
SOIL UNIT FAO =     0

HORIZON NO,  1       *
PROF,MIN 15CM,,PROF,MAX 15CM,,EPAISS, 15CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 5 YR 44, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE GRUMELEUSE , TAILLE 1MM,, NETTE , ASSOCIEE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE SUBANGULEUSE , TAILLE 2MM,, * PEU
COMPACT, TRES FRIABLE , * * PORPUX , * * * * * 20PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , PIERRES , GRAVIERS , GRES QUARTZITE
IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , FINES , A
ORIENTAT,QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES, GALERIES , *
LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO,  2       *
PROF,MIN 35CM,,PROF,MAX 35CM,,EPAISS, 20CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 5 YR 34,  PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE MASSIVE , * TRES COMPACT , PEU FRIABLE, * MOINS DE 20 PC,DE REVETEMENTS , ARGILEUX , MINCES, 5 YR 43, ASSOCIES AUX
AGREGATS , * PEU POREUX, * * 1PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION
LOCALISEE , * * * 20PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , PIERRES, GRAVIERS , GRES QUARTZITE IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION
QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT,QUELCONQUE , A DISTRIBUTION
REGULIERE , NE PENETRANT PAS LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES, GALERIES , * LIMITE INFERIEURE ONDULEE , NETTE
HORIZON NO,  3       *
PROF,MIN 65CM,,PROF,MAX 65CM,,EPAISS, 30CM* SEC, * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 33, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE ,
* STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 80MM,, NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 5MM,, *
COMPACT, PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC,DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 5 YR 43, ASSOCIES AUX AGREGATS , * POREUX , *
FENTES-LARGEUR 2CM,,ECARTEMENT 8CM, * 1PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES ,
DISTRIBUTION LOCALISEE , * * * 1PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , GRES QUARTZITE IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION
QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT,QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE
, PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES, GALERIES , COPROLITHES, RACINES DECOMPOSEES, * LIMITE
INFERIEURE INTERROMPUE , GRADUELLE , * *
HORIZON NO,  4       *
PROF,MIN 90CM,,PROF,MAX 90CM,,EPAISS, 25CM* SEC, * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 25 YR 36, * DE 2 A 20 PC, DE TACHES, DE 0
A PLUS DE 15 MM,, 5 YR 42, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , SANS RELATION AVEC AUTRES ELEMENTS , *
NON ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 30MM,, NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE,
TAILLE 5MM,, * COMPACT, PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC,DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 25 YR 44, ASSOCIES AUX AGREGATS , * POREUX
, * FENTES-LARGEUR 2CM,,ECARTEMENT 3CM, * 1PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES ,
DISTRIBUTION LOCALISEE , * * * 1PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , GRES QUARTZITE IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION
QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE FAIBLE , SUR LE SQUELETTE , * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT,QUELCONQUE , A
DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES, GALERIES , * LIMITE INFERIEURE
REGULIERE, GRADUELLE , * *
HORIZON NO,  5       *
PROF,MIN 125CM,,PROF,MAX 999CM,,EPAISS, 35CM* FRAIS, * * 5 YR 68, * DE 20 A 50PC,DE TACHES, DE 0 A PLUS DE 15 MM,, 25 YR 58, 5 YR
78, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , SANS RELATION AVEC AUTRES ELEMENTS , * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 3MM,, NETTE , * COMPACT, FRIABLE, * * PEU POREUX, * * 20PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS,
DE 5 A 15MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 1PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , GRES
QUARTZITE IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES ABSENTES , *
PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES, RACINES DECOMPOSEES, * * *

CALCAIRE ASSOCIE AUX DEBRIS VEGETAUX,AGREGATS,FENTES,CONDUITS DANS H2 H3
ET H4 / CALCAIRE TENDRE ET DUR,PSEUDO-MYCELIUM ET AMAS EN H5 ,

**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL N   15*
**********************************************************************

                                    N   15 IDENTIFICATION-LOCALISATION
                                    ++++++++++++++++++++++++++++++++++

 DEPT DZ-R,SLIMANE TAOURGA ODEG, OMIN, OSEC,LONG ODEG, OMIN, OSEC,LAT, 0672 M,
+ CA,TOPO / - 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN DZ 0 0 0 0 1960 0 0
+ 4HOR, 4ECH,PAR ROCK ET DELAUNOIS LE 10011977

                                    N   15 ENVIRONNEMENT
                                    ++++++++++++++++++++
 LES JOURS PRECEDENTS , PLUIE , FORTE INTENSITE, VENT , * ECHELLE DU DM, , ONDULATIONS, IRREGULIER(E) , RAVINEAU , L,PENTE 100 M,
PROFIL SITUE SUR UNE BOSSE , PRES DU BORD DE LA FORME , 4 PC,PENTE, * * COUVERTURE PEDO CONTINUE , EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC
TRANSPORT , * SECHERESSE RELATIVE, * * * CULT,A JACHERE PROLONGEE , UTILISATION TRES ANCIENNE , * PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS
D'IRRIGATION , LABOUR , PARCELLE NON CLOTUREE , * BATTANCE , INTENSITE FAIBLE , *

CARTE TOPO 111 / X=537,0 Y=319,5 / ZIZYPHUS / 10% ELEM, GROSSIERS EN SURF
ACE : GCPR DE QU IRREGULIERS EMOUSSES /

                                    N   15 HORIZONS
                                    +++++++++++++++
SOIL UNIT FAO =     0

HORIZON NO,  1       *
PROF,MIN 15CM,,PROF,MAX 15CM,,EPAISS, 15CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX, * 75 YR 44, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE SUBANGULEUSE , TAILLE 2MM,, NETTE , JUXTAPOSEE A UNE 2E,STRUCT,, STRUCTURE GRUMELEUSE ,
TAILLE 1MM,, * PEU COMPACT, FRIABLE, * * POREUX , * * 1PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN
NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 5PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , GRES QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES ,
A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE MOYENNE , GENERALISEE, * RACINES PEU NOMBREUSES , TRES FINES , A
ORIENTAT,QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES, PAILLES ,
COQUILLES , * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO,  2       *
PROF,MIN 40CM,,PROF,MAX 40CM,,EPAISS, 25CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX, * 75 YR 44, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 50MM,, PEU NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE
ANGULEUSE, TAILLE 2MM,, * COMPACT, PEU FRIABLE, * * POREUX , * * 1PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES ,
DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 5PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , PIERRES, GRES QUARTZITE
IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES NOMBREUSES , TRES
FINES , A ORIENTAT,QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES,
COQUILLES , * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO,  3       *
PROF,MIN 65CM,,PROF,MAX 65CM,,EPAISS, 25CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX, * 75 YR 43, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 50MM,, NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE,
TAILLE 5MM,, * COMPACT, PEU FRIABLE, * * PORPUX , * * * * * 5PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , GRES QUARTZITE
IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES NOMBREUSES , TRES
FINES , A ORIENTAT,QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT,BIOLOGIQUES,
RACINES DECOMPOSEES, * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, GRADUELLE , * *
HORIZON NO,  4       *
PROF,MIN 105CM,,PROF,MAX 999CM,,EPAISS, 40CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX, * 75 YR 43, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 50MM,, NETTE , INTEGREE A UNE 2E,STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE,
TAILLE 3MM,, * COMPACT, PEU FRIABLE, * MOINS DE 20 PC,DE REVETEMENTS , ARGILEUX , MINCES, ASSOCIES AU SQUELETTE , * POREUX , * *
10PC,D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , TENDRES, EN PSEUDO-MYCELIUM , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * *
7PC,D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , PIERRES, CAILLOUX , GROS QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU
ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES TRES PEU NOMBREUSES, TRES FINES , A ORIENTAT,QUELCONQUE , A DISTRIBUTION
REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * * *
RACINES OBLIQUES ET PIERRES ENTRE H3-H4 / EN MARS, STRUCTURE MASSIVE DE H
2 ET FENTES DE RETRAIT DE 5MM JUSQU'A 40CM
```

```
**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL M    12*
**********************************************************************

                                        M   12 IDENTIFICATION-LOCALISATION
                                        ++++++++++++++++++++++++++++++++++

 DEPT 02 R SLIMANE TAOURGA ODEG. OMIN. OSEC.LONG ODEG. OMIN. OSEC.LAT. 0654 M.
+ CA,TOPO 87 / 0 - 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN DZ 0 0 0 1960 0 0
+ 4HOR. 5ECH.PAR ROCK ET DELAUNOIS LE 09011977

                                                  M   12 ENVIRONNEMENT
                                                  ++++++++++++++++++++
 LES JOURS PRECEDENTS , PLUIE , FORTE INTENSITE, VENT , * ECHELLE DE L'HM, SURFACE PLANE , DYNAMIQUE NON IDENTIFIEE , L.PENTE
 0500 M. PROFIL DANS UNE AIRE RECTILIGNE, AU BAS DE LA FORME , 1 PC.PENTE, * * COUVERTURE PEDO CONTINUE , EPAISSE, PAR ALTERATION
 AVEC TRANSPORT , * SECHERESSE RELATIVE, * * * CULT.A JACHERE PROLONGEE , UTILISATION TRES ANCIENNE , * PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS
 D'IRRIGATION , LABOUR , PARCELLE NON CLOTUREE , * BATTANCE , INTENSITE FAIBLE , *

X=537,7 Y=320,0 / CUVETTE PLANE / PUIT PROCHE NAPPE A 3M / STAGNATION EAU
DE PLUIE FOND PROFIL / 2% ELEM. GROSSIERS SURFACE ; GC DE QU ET MCAL

SOIL UNIT FAO =     0                             M   12 HORIZONS
                                                  ++++++++++++++++

HORIZON NO.  1       *
PROF.MIN 20CM.,PROF.MAX 20CM.,EPAISS. 20CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX FIN, * 10 YR 33, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE SUBANGULEUSE , TAILLE 3MM., NETTE , ASSOCIEE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE GRUMELEUSE ,
TAILLE 1MM., * PEU COMPACT, TRES FRIABLE , * * TRES POREUX, * * 3PC.D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE 5 A 15MM, DE CARBONATES ,
DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 1PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , GRAVIERS , QUARTZITE GRES CALCAIRE
IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES
 A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRI.ASSEZ REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, COQUILLES ,
GALERIES , PAILLES , * LIMITE INFERIEURE IRREGULIERE , GRADUELLE , * *
HORIZON NO.  2       *
PROF.MIN 40CM.,PROF.MAX 40CM.,EPAISS. 20CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX FIN, * 10 YR 32, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE MASSIVE , * TRES COMPACT , PEU FRIABLE, * * PEU POREUX, * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 5CM, *
3PC.D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * *
1PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , QUARTZITE GRES CALCAIRE IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION QUELCONQUE , ALTERES, *
EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES PEU NOMBREUSES , TRES FINES , OBLIQUES , A DISTRI.ASSEZ REGULIERE , PENETRANT LES
AGREGATS , * PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, COQUILLES , * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO.  3       *
PROF.MIN 110CM.,PROF.MAX 110CM.,EPAISS. 70CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX FIN , * 10 YR 31, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 50MM., NETTE , INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE,
 TAILLE 3MM., * TRES COMPACT , PEU FRIABLE, * * POREUX , * FENTES-LARGEUR 1CM.,ECARTEMENT 5CM. * 3PC.D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS,
DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 1PC.D ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS ,
CALCAIRE IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES PEU NOMBREUSES
 TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRI.ASSEZ REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES,
COQUILLES , GALERIES , * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, GRADUELLE , * *

HORIZON NO.  4       *
PROF.MIN 120CM.,PROF.MAX 999CM.,EPAISS. 10CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX FIN , * 10 YR 32, * PAS DE TACHES, * NON
ORGANIQUE , * STRUCTURE MASSIVE , * COMPACT, PEU FRIABLE, * * TRES PEU POREUX, * * 3PC.D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE
5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 1PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CALCAIRE
IRREGULIERS ANGULEUX , A ORIENTATION QUELCONQUE , ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES ABSENTES , * PEU
NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, COQUILLES , * * *

TRAINEES QUELCONQUES 7,5YR32 ASSOCIEES AUX FENTES DE RETRAIT / DEBRIS DE
COQUILLES / FENTES DE RETRAIT 2CM EN SURFACE LE 22 MARS

**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL M    8*
**********************************************************************

                                        M    8 IDENTIFICATION-LOCALISATION
                                        ++++++++++++++++++++++++++++++++++

 DEPT 02-R SLIMANE TAOURGA ODEG. OMIN. OSEC.LONG ODEG. OMIN. OSEC.LAT. 0658 M.
+ CA,TOPO 87 / 0 - 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN DZ 0 0 0 1960 0 0
+ 4HOR. 4ECH.PAR ROCK ET DELAUNOIS LE 14031977

                                                  M    8 ENVIRONNEMENT
                                                  +++++++++++++++++++

 LES SEMAINES PRECEDENTES , TEMPS SEC , INTENSITE MOYENNE , TEMPS ENSOLEILLE , * ECHELLE DE L'HM, PROFIL EN CUVETTE , MOUVEMENT
DE MASSE , L.PENTE 0500 M. PROFIL SITUE DANS UN CREUX , AU CENTRE DE LA FORME , 1 PC.PENTE, * * COUVERTURE PEDO CONTINUE ,
EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC TRANSPORT , * SECHERESSE RELATIVE, * * * CULT.A JACHERE PROLONGEE , UTILISATION TRES ANCIENNE , *
PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS D'IRRIGATION , LABOUR , PARCELLE NON CLOTUREE , * BATTANCE , INTENSITE FAIBLE , *

X=536,4 Y=321,2 / AVERSE DE GRELE LA VEILLE / 25% ELEM. GROSSIERS EN SURF
ACE ; PROG DE QU IRREGULIERS EMOUSSES /

                                                  M    8 HORIZONS
SOIL UNIT FAO =     0                             ++++++++++++++++

HORIZON NO.  1       *
PROF.MIN 20CM.,PROF.MAX 20CM.,EPAISS. 20CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO LIMON ARGILEUX, * 5 YR 44, * DE 2 A 20 PC. DE TACHES, DE
0 A PLUS DE 15 MM., DE DECAPAGE, 75 YR 56, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , ASSOCIEES AUX FACES DES
AGREGATS , * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE GRUMELEUSE , TAILLE 1MM., NETTE , * PEU COMPACT, PEU FRIABLE, * * POREUX , * * *
1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION GENERALISEE , * *
20PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, CAILLOUX , GRAVIERS , PIERRES, QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU
ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT
LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO.  2       *
PROF.MIN 50CM.,PROF.MAX 50CM.,EPAISS. 30CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 5 YR 44, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 5MM., NETTE , * COMPACT, PEU FRIABLE, * MOINS DE 20 PC.DE REVETEMENTS , ARGILEUX , MINCES,
 ASSOCIES AU SQUELETTE , * POREUX , * * * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS ,
DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 70PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , PIERRES, QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A
ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A
DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, RACINES DECOMPOSEES, * LIMITE
INFERIEURE ONDULEE , NETTE , * *
HORIZON NO.  3       *
PROF.MIN 80CM.,PROF.MAX 80CM.,EPAISS. 30CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 44, * DE 2 A 20 PC. DE TACHES, DE 0 A
PLUS DE 15 MM., 75 YR 56, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , ASSOCIEES AUX VIDES, * NON ORGANIQUE , *
STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 30MM., NETTE , INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., *
COMPACT, PEU FRIABLE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 5 YR 43, ASSOCIES AUX AGREGATS , * POREUX , *
FENTES-LARGEUR 2CM.,ECARTEMENT 3CM. * * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS ,
DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 7PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , PIERRES, QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A
ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A
DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, RACINES DECOMPOSEES, GALERIES DE
LOMBRICS , NIDS , * LIMITE INFERIURE REGULIERE, DISTINCTE , * *
HORIZON NO.  4       *
PROF.MIN 120CM.,PROF.MAX 999CM.,EPAISS. 40CM* FRAIS, * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * * PLUS DE 50 PC.DE TACHES, DE MOINS DE
5 MM., POLYCHROMES, 10 YR 58, POLYCHROMES, 75 YR 58, DE FORMES IRREGULIERES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , SANS RELATION
AVEC AUTRES ELEMENTS , * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., TRES NETTE, * COMPACT, PEU FRIABLE, * DE
20 A 80PC.DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 5 YR 54, ASSOCIES AUX AGREGATS , * PEU POREUX, * * * 2PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX.
MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 3PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS ,
CAILLOUX , PIERRES, BLOCS, QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, *
RACINES PEU NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * * *

GRES PEU NOMBREUX ET PLUS ALTERES / ACCUMULATION DE RACINES DECOMPOSEES E
NTRE H1 ET H2
```

```
**********************************************************************
* BANQUE DE DONNEES PEDOLOGIQUES DE GEMBLOUX-DESCRIPTION DU PROFIL N    5*
**********************************************************************
```

M 5 IDENTIFICATION-LOCALISATION

DEPT DZ=R.SLIMANE TAOURGA ODEG. OMIN. OSEC.LONG ODEG. OMIN. OSEC.LAT. 0662 M.
+ CA.TOPO 87 / 0 - 0 PEDO 0 PHOTOS AERIENNES ORIGINE IGN DZ 0 0 0 1960 0 0
+ THOR. TECH.PAR PAHAUT-BOCK ET AL LE 12031977

M 5 ENVIRONNEMENT

LES SEMAINES PRECEDENTES , TEMPS SEC , INTENSITE MOYENNE , TEMPS ENSOLEILLE , * ECHELLE DU DM. , BOMBEMENT , RELIEF RESIDUEL, L.PENTE 100 M. PROFIL DANS UNE AIRE RECTILIGNE, AU TIERS SUP.DE LA FORME , 5 PC.PENTE, * * COUVERTURE PEDO CONTINUE , EPAISSE, PAR ALTERATION AVEC TRANSPORT , * SECHERESSE RELATIVE, * * * CULT.A JACHERE PROLONGEE , UTILISATION TRES ANCIENNE , * PAS D'ASSAINISSEMENT , PAS D'IRRIGATION , LABOUR , PARCELLE NON CLOTUREE , * RATTANCE , INTENSITE FAIBLE , *

X=536,4 Y=321,7 / BUTTE MONJAUSE / ZIZYPHUS / 15% ELEM. GROSSIERS EN SURF
ACE : GCPR DE QU + 1% DE NODULES CALCAIRES + 1 SILEX / SOUS-SOLAGE?

SOIL UNIT FAO = 0

M 5 HORIZONS

HORIZON NO. 1 *
PROF.MIN 20CM.,PROF.MAX 20CM.,EPAISS. 20CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 5 YR 46, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE SUBANGULEUSE , TAILLE 2MM., NETTE , ASSOCIEE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE GRUMELEUSE , TAILLE 2MM., * PEU COMPACT, PEU FRAGILE, * * POREUX , * * * * * 20PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES ET FINES, A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * PEU NOMBREUSES TRACES D'ACT.BIOLOGIQUES, RESIDUS DE RECOLTES, PAILLES , * LIMITE INFERIEURE ONDULEE , GRADUELLE , * *

HORIZON NO. 2 *
PROF.MIN 40CM.,PROF.MAX 40CM.,EPAISS. 20CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 36, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., NETTE , * COMPACT, PEU FRAGILE, * * PEU POREUX, * FENTES-LARGEUR 5CM.,ECARTEMENT 10CM, * * * * 20PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES ET FINES, A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE ONDULEE , GRADUELLE , * *

HORIZON NO. 3 *
PROF.MIN 55CM.,PROF.MAX 55CM.,EPAISS. 15CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 34, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 50MM., PEU NETTE , INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, ORGANO-ARGILEUX, MINCES, ASSOCIES AUX AGREGATS , * PEU POREUX, * FENTES-LARGEUR 5CM.,ECARTEMENT 10CM, * * * * 5PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , CAILLOUX , QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *

HORIZON NO. 4 *
PROF.MIN 70CM.,PROF.MAX 70CM.,EPAISS. 15CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 36, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 50MM., NETTE , INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, ORGANO-ARGILEUX, MINCES, ASSOCIES AUX AGREGATS , * POREUX , * FENTES-LARGEUR 5CM.,ECARTEMENT 7CM, * * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 1PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE NULLE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, DISTINCTE , * *

HORIZON NO. 5 *
PROF.MIN 90CM.,PROF.MAX 90CM.,EPAISS. 20CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 5 YR 36, * MOINS DE 2PC. DE TACHES, 5 YR 44, EN TRAINEES VERTICALES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , ASSOCIEES AUX VIDES ET RACINES, * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 25MM., TRES NETTE, INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, ARGILEUX, MINCES, ASSOCIES AUX AGREGATS , * POREUX , * FENTES-LARGEUR 3CM., ECARTEMENT 3CM, * 2PC.D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 1PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE MOYENNE , SUR LES ELEM.SECONDAIRES , * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE REGULIERE, GRADUELLE , * *

HORIZON NO. 6 *
PROF.MIN 115CM.,PROF.MAX 115CM.,EPAISS. 25CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE LOURDE, * 25 YR 46, * MOINS DE 2PC. DE TACHES, DE 0 A PLUS DE 15 MM., 5 YR 44, 5 YR 42, EN TRAINEES VERTICALES, MOYENNEMENT CONTRASTEES, PEU NETTES , ASSOCIEES AUX VIDES ET RACINES, * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE PRISMATIQUE , TAILLE 25MM., TRES NETTE, INTEGREE A UNE 2E.STRUCTURE, STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 2MM., * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, ARGILEUX , MINCES, 25 YR 46, ASSOCIES AUX AGREGATS , * POREUX , * FENTES-LARGEUR 3CM.,ECARTEMENT 3CM, * 3PC.D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE MOINS DE 5MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * 1PC.D'ELEMENTS A OX.-HYDROX. MOINS DE 5MM, DE FER ET MANGANESE, DURS , EN CONCRETIONS , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * 1PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , QUARTZITE GRES IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE FAIBLE , SUR LES ELEM.SECONDAIRES , * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * LIMITE INFERIEURE ONDULEE , DISTINCTE , * *

HORIZON NO. 7 *
PROF.MIN 130CM.,PROF.MAX 999CM.,EPAISS. 15CM* SEC. * TEXTURE CCSBM ,FAO ARGILE, * 25 YR 48, * PAS DE TACHES, * NON ORGANIQUE , * STRUCTURE POLYEDRIQUE ANGULEUSE, TAILLE 3MM., NETTE , * TRES COMPACT , PEU FRAGILE, * DE 20 A 80PC.DE REVETEMENTS, ARGILO-FERREUX , MINCES, 5 YR 34, ASSOCIES AUX AGREGATS , * PEU POREUX, * * 25PC.D'ELEMENTS CALCI-MAGNESIENS, DE 5 A 15MM, DE CARBONATES , DURS , EN NODULES , DISTRIBUTION GENERALISEE , * * * 1PC.D'ELEMENTS GROSSIERS, GRAVIERS , QUARTZITE IRREGULIERS EMOUSSES , A ORIENTATION QUELCONQUE , PEU ALTERES, * EFFERVESCENCE FORTE, GENERALISEE, * RACINES NOMBREUSES , TRES FINES , A ORIENTAT.QUELCONQUE , A DISTRIBUTION REGULIERE , PENETRANT LES AGREGATS , * * * *

HORIZONS SUPERIEURS SEMBLENT POLYCHROMES ; MATRICE ROUGE + ZONES BRUNATRE
S / PSEUDOMYCELIUM CALC. EN H2 / 1 NODULE CALC. INF.5MM EN H1 ET H3

Liste des illustrations

(avec référence aux documents utilisés)

LISTE DES TABLEAUX

1 Stratigraphie du Quaternaire s.l. continental et marin en Afrique du Nord.

2 Résumé synoptique de la bibliographie (Quaternaire et formations meubles colorées).

2 bis Résumé synoptique de la bibliographie (accumulations calcaires).

3 Hauteur en mm et nombre de jours de pluie - moyennes mensuelles et annuelles ...

4 Légende de la Fig. 25 pour la partie qui concerne le plateau (RAUNET, 1973, 1974).

5 Présentation synthétique des profils de la séquence n° 1.

6 Présentation synthétique des profils de la séquence n° 2.

7 Présentation synthétique des profils de la séquence n° 3.

8 Présentation synthétique des profils de la séquence n° 4.

9 Relevé synoptique des principaux échantillons sélectionnés pour le laboratoire.

10 Pourcentage en calcaire total (t1) de quelques roches-mères et accumulations calcaires.

11 Résultats et indices des analyses de base.

12 Les indices complémentaires de la matière minérale.

13 Les indices complémentaires de la matière organique.

14 Domaines reconnus, principales investigations pédologiques réalisées et fourchettes des valeurs obtenues.

15 Pourcentages des principaux minéraux denses transparents.

16 Les résultats d'analyses de la fraction argileuse

17 Etude pétrographique des accumulations calcaires - légende des micrographies.

18 Domaines reconnus, principales investigations minéralogiques réalisées et fourchettes des valeurs obtenues.

19 Résultats polliniques du Continental supérieur et de quelques croûtes calcaires.

20 Résultats du ^{14}C.

21 Synthèse chronomorphopédologique.

LISTE DES FIGURES

(AVEC REFERENCE AUX DOCUMENTS UTILISES.)

1 Schéma structural simplifié de l'Afrique du Nord (Maghreb) avec localisation des références citées.

2 Formation, d'après GIGOUT (1958), de limon rouge en place dans les lapiez, par lessivage du calcaire qui forme une croûte zonaire.

3 Schéma montrant, d'après DURAND (1959-1973), la genèse des terra rossa, des limons à nodules farineux, des limons rouges, des calcaires pulvérulents et des croûtes zonaires ainsi que leur succession dans le temps.

4 Schéma théorique de la constitution d'un remblaiement continental, d'après BEAUDET, MAURER et RUELLAN (1967).

5 Passages latéraux, d'après RUELLAN (1971 a), entre les divers types d'horizons Bca dans les sols de la Basse Moulouya.

6 Quelques exemples, d'après RUELLAN (1971 a), de la répartition des divers types d'horizons Bca en fonction du relief.

7 Les sous-groupes des sols fersiallitiques à réserve calcique d'après BOTTNER (1972) - organisation morphologique des profils - profils calcaire et calcique.

8 Représentation schématique des tendances de l'évolution sur calcaire en milieu méditerranéen d'après VERHEYE (1973).

9 a Formations qui sous-tendent le glacis moulouyen des auteurs dans la coupe de la Draa Tamoudjret (piedmont Nord des Aurès) d'après BALLAIS (1981).

10 Datations radiométriques et données sur les environnements d'après ROGNON (1979) ...

11 Schématisation de la formation et de l'évolution dans le temps des sols à croûte calcaire à horizon laminaire (Quaternaire moyen) sur un matériau homogène (argiles sableuses rouges du Tertiaire continental) et sous une végétation de steppe, d'après POUGET (1980).

12 Répartition des divers types de redistributions carbonatées, d'après FREYTET et PLAZIAT (1978) ...

13 Interprétation génétique du pseudo-microkarst d'après PLAZIAT et FREYTET (1978) ...

9 b Schéma pétrographique, d'après VOGT (1983), de la dalle sommitale prélevée dans la coupe de Tamoudjret (Fig. 9 a) - grandeur naturelle.

14 Schéma des cinq types d'évolution des sols en fonction du facteur temps, d'après DUCHAUFOUR (1977) qui s'est partiellement inspiré de BOS et SEVINK.

15 Chronoséquence des sols calfersiques à horizon K_{2m} du Chélif, d'après BOULAINE (1978).

16 Relevés pluviométriques en mm de quelques stations météorologiques (SELTZER, 1944) suivant l'axe d'Alger (Nord) - Laghouat (Sud).

17 Coupe composite schématique Sud-Nord des Atlas tellien et saharien le long du méridien de la Grande Kabylie, d'après CAIRE (1971).

18 Schéma de situation de la dépression des Beni Slimane réalisé à partir de la carte routière de l'Algérie au 1/1.000.000 (SONATRACH, 1976).

19 Schéma tectonique de la zone des Beni Slimane accompagnant la carte géologique au 1/200.000 de TORRENT (1973) partiellement présentée à la Fig. 20.

20 Carte géologique et hydrographique schématique du terroir d'El Omaria réalisée à partir du découpage, du tramage et de l'adaptation de la carte géologique coloriée au 1/200.000 de la Zone de Rénovation Rurale des Beni Slimane de TORRENT (1973) pour le compte du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

21 Montage topographique du plateau de la Taourga réalisé à partir du découpage des 4 cartes topographiques au 1/50.000 de Médéa (86), Beni Slimane (87), Berrouaghia (110) et Souaghi (111) (IGN).

22 Coupe du flanc Sud des Biban d'après les levés de COURRIER repris par KIEKEN (1975).

23 Coupe du Barrémo - Aptien de Bouskène d'après KIEKEN (1975).

24 Présentation morphopédologique du plateau de la Taourga réalisée à partir du découpage et du tramage de l'esquisse en couleurs au 1/200.000 de KALMS (1972).

25 Présentation morphopédologique semi-détaillée du plateau de la Taourga, d'après le découpage de la carte en couleurs du terroir d'El Omaria au 1/50.000 de RAUNET (1973, 1974).

26 La région de Djendel (ex Lavigerie) d'après la carte pédologique en couleurs de la plaine d'El Khemis Miliana (ex Affreville) au 1/50.000 de BOULAINE (1956, 1957).

27 Coupe du Continental ...

28 Exemples de corrections à apporter à la carte de RAUNET (1974) et localisation des accumulations calcaires les plus complètement étudiées.

29 Coupe schématique d'interprétation du plateau de la Taourga.

30 Présentation des principales caractéristiques macromorphologiques des profils de la séquence n° 1.

31 Schéma topographique de la séquence n° 2.

32 Coupe topographique et présentation des principales caractéristiques ma-
33 cromorphologiques des profils de la séquence n° 2.

34 Schéma topographique de la séquence n° 3.

35 Coupe topographique et présentation des principales caractéristiques ma-
36 cromorphologiques des profils de la séquence n° 3.

37 Schéma topographique, coupe topographique et présentation des principales
38 caractéristiques macromorphologiques des profils de la séquence n° 4.
39

40 Légendes des schémas, coupes topographiques et profils.

41 Les différentes formes du fer d'après la synthèse bibliographique de BASCOMB (1968).

42 Evolution du phosphore avec le temps d'après WALKER et SYERS (1976).

43 Organigramme du fractionnement chimique de la matière organique d'après la méthode DUCHAUFOUR-JACQUIN (1966) simplifiée, adaptée et complétée par la méthode MERLET (1971).

44 Composition de la terre fine (0-2 mm) sèche.

45 Courbes granulométriques cumulatives - massif (30 et 29) et glacis de piedmont (26).

46 Courbes granulométriques (suite) - glacis de pente (24 et 18), glacis-cône (15) et cuvette (12).

47 Courbes granulométriques (suite) - chenal (8), glacis de plateau (5), milieux d'accueil (G1, G7 et 11.5).

48 Diagramme triangulaire des textures (formations meubles colorées).

49 La capacité d'échange cationique (T1) de la terre fine en relation quantitative avec les constituants colloïdaux.

50 Capacité d'échange cationique ($T_1 = CH_3COONH_4$, $T_2 = BaCl_2$) et tendance de leur rapport.

51 Rapports Mg/K et Al/Fe de la terre fine.

52 Fer total et formes extractibles (Ox_2, D.C.B., OxD : formes cryptocristallines et cristallines) ...

53 Courbes d'extraction cinétique du fer "mobile et complexable".

54 Représentation synthétique du fractionnement de la matière organique ...

55 Essai d'analyse granulométrique par sédigraphe ...

56 Exemples d'enregistrements RX.

57 Exemples d'enregistrements A.T.D. sous atmosphère contrôlée d'oxygène.

58 Diagramme triangulaire des principaux minéraux denses transparents.

59 Proportions relatives des "minéraux" argileux.

60 Rapports Mg/K et Al/Fe de la fraction argileuse.

61 Spectres polliniques simplifiés.

62 Essai de reconstitution chronospatiale ...

Documents utilisés complémentairement :

- plan topographique au 1/5.000 du plateau de la Taourga (COTEZOR, s.d.),
- carte des sols d'Algérie au 1/500.000, feuille d'Alger N.j. 31-SE (complétée en 1949),
- Times Atlas, plate 88.

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

(AVEC REFERENCE AUX DOCUMENTS UTILISES)

1 Présentation de l'arrière-pays d'Alger au 1/1.684.000 réalisée à partir d'images satellite (Eros data Center, 1980).

2 Présentation de la dépression des Beni Slimane au 1/673.000 (agrandissement 5 X) réalisée à partir d'une image satellite (Eros data Center, 1980).

3 Vue panoramique du terroir d'El Omaria ...

4 Matorral sur le versant Nord du Djebel Daïa (massif des Biban, à 800 m d'altitude).

5 Mechtats (maison ou hameau), jardins et cultures, à 700 m d'altitude, sur les glacis de piedmont ...

6 Le massif des Biban avec le raccordement du haut glacis de piedmont et les affleurements de marnes du Crétacé ...

7 Affleurement du Continental post-nappes, terminal ou supérieur à la confluence des oueds Besbès et Yagour ...

8 Séquence supérieure avec dalle calcaire saumonée.

9 Couverture aérienne du plateau de la Taourga obtenue à partir de la mosaïque non contrôlée des clichés 226 et 227 au 1/50.000 (IGN, 1960).

10 Interprétation de l'échelle des grisés avec un analyseur d'images.

11 Quelques exemples d'accumulations calcaires continues (croûtes) en face polie.

12 Raccordement du glacis de piedmont avec le massif dans le secteur Sud Ouest ...

13 Les glacis de pente vus du massif ...

14 Le glacis de plateau ...

15 Du glacis de pente à l'argile calcaire jaune du Continental ...

16 Profil 30 du massif riche en éléments grossiers.

17 Profil 26 sur/à accumulation calcaire continue (croûte) de piedmont.

18 Profil 23 de glacis de pente présentant une nette superposition de matériaux différents et une accumulation calcaire discontinue.

19 Profil 21 de chenal colmaté et nivelé.

20 Profil 17 de glacis de pente : structures massive et prismatique.

21 Profil 16 de glacis de pente : limite graduelle avec l'accumulation calcaire discontinue.

22 Profil 15 peu chargé de glacis-cône avec pseudomycélium calcaire à la base.

23 Profil 11 de terre noire sur/à accumulation calcaire friable et argile calcaire du Continental.

24 Fentes de retrait de 2 cm en surface du profil 12 au mois de mars (!)

25 Profil 7 de glacis de plateau ...

26 Micrographie de l'échantillon 5.3, virgation fragmentée d'argilane.

27 Micrographie de l'échantillon 5.3, papules.

28 Micrographie de l'échantillon 5.5, structure elliptique desquamée.

29 Micrographie de l'échantillon 5.5, séparations bimasépiques.

30 Micrographie de l'échantillon 5.5, convergence de trois fonds matriciels différents.

31 Micrographie de l'échantillon 5.6, fragment micritique carié d'accumulation calcaire ...

32 Nanographie de l'échantillon G12, attapulgite à longues fibres.

33 Nanographie de l'échantillon C13fa, attapulgite à courtes fibres.

34 Nanographie de l'échantillon 5.7, illites dominantes.

35 Nanographie de l'échantillon 12.4, smectites dominantes.

36 Micrographie de l'échantillon G7.7, micrite quartzeuse avec dendrites (Mn).

37 Micrographie de l'échantillon G7.5, litharène avec revêtements argileux.

38 Micrographie de l'échantillon G7.3d, invagination de pellets (?)

39 Micrographie de l'échantillon C19, sparite palissadique.

40 Micrographie de l'échantillon C4d, édifice stromatolithique en choux-fleurs.

41 Micrographie de l'échantillon G7.3d, curvilinéation ou fissuration courbe.

42 Micrographie de l'échantillon C5, différents types d'ooïdes.

43 Micrographie de l'échantillon C5, noyau et cortex d'un grand ooïde.

44 Micrographie de l'échantillon C5, agglomération sphérique de pellets (?).

46 Micrographie de l'échantillon C13fb, faciès de vase.

46 Micrographie de l'échantillon C29, lublinite.

47 Micrographie de l'échantillon C19, grès quartzitique envahit par de la micrite.

48 Panorama de synthèse.

Table des matières

TABLE DES MATIERES

Pages

INTRODUCTION

STRUCTURE DU TEXTE 5

ITINERAIRE DE LECTURE 6

PREMIERE PARTIE :

ANALYSE HISTORIQUE (1946 - 1983) ET CRITIQUE DES CONCEPTIONS GÉNÉTIQUES (CADRE QUATERNAIRE) SUR LES ACCUMULATIONS CALCAIRES, EN MILIEU (PRINCIPALEMENT) SUBTROPICAL.

REMARQUES PRELIMINAIRES 7

CHAPITRE 1 : LES NOMBREUSES SUPPOSITIONS DU CONGRES DE PEDOLOGIE DE MONTPELLIER-ALGER (1947) 13

1.1. Généralités sur la connaissance du Quaternaire continental 13

1.2. Les accumulations calcaires 13

1.2.1. Un premier essai de synthèse 13

1.2.2. La conception hydrogéologique 15

1.2.3. La conception pédologique 16

1° Le mouvement per descensum 16

2° Le mouvement per ascensum 16

1.2.4. La conception mixte 16

1.2.5. En marge du Congrès 17

1.3. Les formations meubles colorées 18

1.3.1. Concepts généraux 18

1.3.2. Terres rouges 18

1° La relation des formations 18

2° La relation des évènements 19

3° Terra rossa et limons rouges 19

1.3.3. Terres noires ou tirs 20

1.4. Commentaires 20

Pages

CHAPITRE 2 : L'AFRIQUE DU NORD, FOYER DES PREMIERES GRANDES ETUDES DE TERRAIN (1948-1962) 23

2.1. Généralités sur la connaissance du Quaternaire continental 23

2.1.1. Un bouleversement dans le schéma de la morphologie quaternaire 23

2.1.2. Un proposition d'échelle chronostratigraphique 23

2.1.3. L'importance des phénomènes périglaciaires 25

2.1.4. Les arguments du ^{14}C et de l'analyse palynologique 26

1° L'actualité du Rharbien 26

2° Un changement dans la végétation 26

2.2. Les accumulations calcaires 27

2.2.1. L'approche géomorphologique 27

1° Niveaux de croûtes et surencroûtements 27

2° Structure de croûtes et phase climatique 28

2.2.2. L'approche pédologique 30

1° Originalité de la démarche, nomenclature vernaculaire et rôle de la végétation 30

2° Une confirmation nuancée 33

2.2.3. L'approche mixte géomorphologique et pédologique 35

1° Premier essai de nomenclature et interprétation biorhexistasique 35

2° Des observations pertinentes, des interprétations semblables, un désaccord dans la synthèse chronologique 40

2.3. Les formations meubles colorées 42

2.3.1. Concepts généraux 42

1° Un classement basé sur la couleur des terres 42

2° Un classement basé sur l'âge des sols 43

3° Un classement basé sur les facteurs et les processus 43

2.3.2. Terres rouges 44

1° Une des premières localisations de la rubéfaction sur le terrain 44

Pages

2° La notion du profil calcaire 45
3° Le sol rouge méditerranéen 46
2.3.3. Terres noires 47
2.4. Commentaires 48
CHAPITRE 3 : L'AUDIENCE DE L'APPROCHE PEDOLOGIQUE (1963-1974) 53
3.1. Généralités sur la connaissance du Quaternaire Continental 53
3.1.1. Evènements périodiques et signification paléoclimatique 53
3.1.2. L'importance de la zonalité climatique, des manifestations éoliennes récentes et des interférences tectoniques 55
3.1.3. Modification ou adoption de l'échelle chronostratigraphique de 1956 56
3.1.4. Les arguments de ^{14}C et de l'analyse palynologique 58
1° Un premier inventaire 58
2° Une précision floristique 59
3.2. Les accumulations calcaires 59
3.2.1. L'approche géomorphologique 59
3.2.2. L'approche pédologique 61
1° Horizon K 61
2° Un actualisme clairement exprimé 64
3° Une interprétation embarrassée, un finalisme pratique 65
4° Horizon Bca et profils calcaires différenciés, une recherche dans les processus de mise en place 66
a) Le profil calcaire 66
b) Le profil textural 70
c) Le profil du fer et de la matière organique (p.m.) 71
d) Les facteurs influençant la répartition des sols 71
e) Les processus de mise en place 72

Pages

5° L'outil micromorphologique, la difficulté de respecter les normes 74

3.2.3. L'approche mixte morphopédologique 75

1° Une interprétation hâtive 75

2° Une observation raisonnée 75

3.2.4. L'approche géochimique ou de l'attapulgite 76

1° L'attapulgite, minéral de néoformation pédologique 76

2° Un essai de géochimie paysagique 77

3° L'attapulgite, minéral de néoformation sédimentaire 78

4° Fragilité ou résistance de l'attapulgite à l'altération 79

3.2.5. L'approche expérimentale physico-chimique 80

1° Décarbonatation et désilicification 80

2° Les effets de la température 80

3.3. Les formations meubles colorées 81

3.3.1. Concepts généraux 81

3.3.2. Terres rouges 83

1° Des processus lents d'une zonalité climatique presque parfaite 83

2° Sol fersiallitique et brunification 84

3° Fer amorphe et sol fersiallitique 86

4° Horizon "B argillic" et rhodoxeralf 89

3.3.3. Terres noires 92

1° Tirs et toposéquence 92

2° Des processus rapides 92

3° Topomorphie et lithomorphie, montmorillonites magnésiennes et ferrifères 93

4° Les difficultés et les pièges de l'interprétation 94

3.4. Commentaires 95

CHAPITRE 4 : L'APPEL A LA PLURIDISCIPLINARITE DU COLLOQUE DE STRASBOURG (1975-1983) 101

4.1. Généralités sur la connaissance du Quaternaire continental 101

4.1.1. De nombreuses remises en question, une coupe classique 101

Pages

4.1.2. Des propositions de révisions chronostratigraphiques appliquées au Quaternaire récent 104
1° Pour le Soltanien et le Rharbien 104
2° Pour l'Holocène 104
4.1.3. Origine climatique et/ou anthropique de l'érosion actuelle 105
4.1.4. Les arguments du ^{14}C et de l'analyse palynologique 106
1° Un inventaire récent 106
2° L'histoire holocène de la végétation du Rif 109
4.2. Les accumulations calcaires 110
4.2.1. L'approche géomorphologique 110
4.2.2. L'approche pédologique 111
1° Horizon laminaire et calcite en bâtonnets 111
2° Macromorphologie, micromorphologie et nanomorphologie 112
4.2.3. L'approche mixte morphopédologique 115
4.2.4. L'approche géochimique 119
1° La notion d'épigénie 119
2° Phyllitisation et calcitisation 120
3° Une antithèse renouvelée, une adaptation dans le temps 121
4.2.5. L'approche sédimentologique 123
1° Un schéma de synthèse très explicite 123
2° Pseudo-microkarst et rhizocrétion 125
3° L'outil pétrographique 127
4° Structure stromatolithique et microbienne 131
5° Protosols pelliculaires de discontinuités subaériennes 132
4.2.6. L'approche expérimentale 133
1° La voie microbiologique 133
2° La voie mécanique 134
4.2.7. Le fruit d'une réflexion commune 135
1° Proposition de nomenclature - classification 135
2° Définitions 136
a) Accumulations calcaires continues 135/136
b) Accumulations calcaires discontinues 136/137

Pages

4.3. Les formations meubles colorées 138
4.3.1. Concepts généraux 138
4.3.2. Terres rouges 140
1° Hématite et sol fersiallitique 140
2° Suspensions solides et sol fersiallitique 140
3° Une nouvelle étiquette de sol à profil calcaire 141
4° Paysage et sol fersiallitique 143
4.3.3. Terres noires 144
4.4. Commentaires 144

DEUXIÈME PARTIE :

LE TRAVAIL DE TERRAIN

REMARQUES PRELIMINAIRES 151
CHAPITRE 5 : LE CADRE GENERAL DE L'ETUDE 155
5.1. L'Afrique du Nord 155
5.1.1. Le climat 155
5.1.2. La géologie 157
5.2. L'arrière-pays d'Alger 157
5.2.1. Le climat 158
5.2.2. La géologie 158
5.3. L'Atlas tellien 161
5.3.1. Le climat 161
5.3.2. La géologie 162
5.4. La dépression des Beni Slimane (niveau régional) 164
5.4.1. La situation géographique 164
5.4.2. Le climat 165
5.4.3. La géologie 167
5.5. Le terroir d'El Omaria (niveau sous-régional) 170
5.5.1. La situation géographique 170
5.5.2. Le climat 170
5.5.3. La géologie 170
5.5.4. Le réseau hydrographique et la tectonique 173
5.6. Le plateau de la Taourga et ses bordures immédiates (niveau de projet) 175
5.6.1. La situation géographique 175

Pages

5.6.2. L'hydroclimatologie 177
5.6.3. La géologie 177
1° Les séries autochtones du massif des Biban 177
a) Coupe de COURRIER 177
b) Coupe de KIEKEN 179
2° Les séries post-nappes du Continental 179
5.6.4. L'hydrogéologie 181
5.6.5. La végétation 182
5.6.6. L'aspect humain 183
5.7. Les programmes d'aménagement 184
5.7.1. Le rapport de terminaison FAO-Algérie 16 184
5.7.2. Le rapport général et l'esprit de travail sur la zone de rénovation des Beni Slimane 185
5.7.3. Les fiches techniques d'aménagement du plateau de la Taourga 186
5.8. Résumé 188

CHAPITRE 6 : L'APPROCHE MORPHOPEDOLOGIQUE 191
6.1. La définition du concept 191
6.2. L'analyse des documents existants 192
6.2.1. L'esquisse morphopédologique des Beni Slimane au 1/200.000 de KALMS 192
1° Justification, légende et application au plateau de la Taourga 192
2° Appréciation 195
6.2.2. La carte morphopédologique semi-détaillée du terroir d'El Omaria au 1/50.000 de RAUNET 195
1° Justification, légende et application au plateau de la Taourga 195
2° Appréciation 199
6.3. Application personnelle 201
6.3.1. La reconnaissance lithologique 201
1° Justification 201
2° Observations 202
a) Le massif des Biban 202
b) Les tranchées d'oueds et de chenaux 203

Pages

3° Discussion 207

6.3.2. L'analyse des photographies aériennes 209

1° Justification 209

2° Description du modelé (niveau oro-hydrographique) 209

3° Interprétation de l'échelle des grisés avec un analyseur d'images 211

4° Discussion 213

6.3.3. Le retour au terrain 214

1° Justification 214

2° Description du micro-modelé (niveau morphopédologique) 214

3° Discussion 220

6.4. Résumé 221

CHAPITRE 7 : LA DESCRIPTION DES PROFILS 225

7.1. Le choix des toposéquences 225

7.2. La méthode de description 226

7.3. L'analyse des toposéquences 229

7.3.1. Séquences n° 1 229

1° Les observations 229

2° Les faits essentiels 229

3° Discussion 229

7.3.2. Séquences n° 2 231

1° Les observations 231

2° Les faits essentiels 235

3° Discussion 237

7.3.3. Séquence n° 3 238

1° Les observations 238

2° Les faits essentiels 238

3° Discussion 243

7.3.4. Séquence n° 4 245

1° Les observations 245

2° Les faits essentiels 245

3° Discussion 248

7.4. Résumé 248

Pages

TROISIÈME PARTIE :

LE TRAVAIL DE LABORATOIRE

REMARQUES PRELIMINAIRES 253

CHAPITRE 8 : LES TECHNIQUES DE LA PEDOLOGIE 257

8.1. Le choix des analyses et des méthodes 257

8.1.1. Les analyses de base 257

1° Le rappel du pourcentage des éléments grossiers (E.G.) 257

2° La détermination de l'humidité résiduelle (Hr) 257

3° Les mesures de pH 258

4° Le test de la conductivité de l'extrait au 1/5, les éléments en suspension et le test du gypse à l'acétone (p.m.) 258

5° Les dosages du calcaire 259

a) Le calcaire total ($CaCO_3$ t) 259

b) Le calcaire actif ($CaCO_3$ ac) 260

6° L'analyse granulométrique 261

7° La matière organique totale 264

8° La capacité d'échange cationique (T) et la somme des bases échangeables 264

8.1.2. Les indices complémentaires de la matière minérale 267

1° Les éléments totaux 267

2° Les différentes formes du fer et de l'aluminium 269

3° Le fractionnement du phosphore (p.m.) 273

8.1.3. Les indices complémentaires de la matière organique (le fractionnement) 277

8.1.4. L'étude micromorphologique 281

8.2. Le dépouillement des données 283

8.2.1. Les roches-mères et les accumulations calcaires 283

8.2.2. Les formations meubles colorées 284

1° Dans le massif 284

a) Les paramètres géopédologiques 284

b) Les paramètres écopédologiques 295

Pages

c) Le paramètre synthétique de la capacité d'échange cationique 298

2° Sur les glacis 298

a) Les paramètres géopédologiques 298

b) Les paramètres écopédologiques 302

c) Les paramètres synthétiques de la capacité d'échange cationique et de la micromorphologie 303

3° Sur les glacis-cônes et dans les chenaux 307

a) Les paramètres géopédologiques 307

b) Les paramètres écopédologiques 308

c) Le paramètre synthétique de la capacité d'échange cationique 308

4° Dans la cuvette 308

a) Les paramètres géopédologiques 308

b) Les paramètres écopédologiques 309

c) Le paramètres synthétique de la capacité d'échange cationique 310

8.3. Les faits essentiels et leur interprétation 310

CHAPITRE 9 : LES TECHNIQUES DE LA MINERALOGIE ET DE LA PETROGRAPHIE 317

9.1. Le choix des analyses et des méthodes 317

9.1.1. L'étude de la fraction sableuse 317

1° Les minéraux denses transparents 317

a) Préparation 317

b) Expression des résultats 318

2° La morphoscopie (p.m.) 319

9.1.2. L'étude de la fraction argileuse 319

1° L'intérêt 319

2° Le prélèvement 320

3° La couleur 321

4° Les minéraux argileux cristallins par diffractométrie des Rayons X (RX) 321

a) Préparation 322

b) Tests de routine 322

c) Tests complémentaires 323

Pages

1° Etat de la question 357
2° Réalisation 358
10.1.2. Un essai exploratoire de datation au ^{14}C 359
1° Etat de la question 359
2° Réalisation 364
10.2. Le dépouillement des données 366
10.2.1. Le Continental supérieur 366
10.2.2. Les accumulations calcaires 366
10.2.3. Les formations meubles colorées 369
10.3. Les faits essentiels et leur interprétation 369

QUATRIÈME PARTIE :

SYNTHÈSE, CONCLUSIONS, ANNEXES

ET INFORMATIONS D'USAGE

REMARQUES PRELIMINAIRES 375

SYNTHESE ET CONCLUSIONS 377

BIBLIOGRAPHIE 385

ANNEXES

Exemple d'un livret de terrain pour la description de profil (cf. 7.2.) 411
Exemple d'un livret de retranscription en vue de la perforation (cf. 7.2.) 417
Sortie de la description informatisée des profils retenus pour le laboratoire (cf. 7.2.) 421

LISTES DES ILLUSTRATIONS (avec référence aux documents utilisés)

Liste des Tableaux 427
Liste des Figures 429
Liste des Photographies 433

TABLE DES MATIERES 437

Pages

d) Traitements et prétraitements particuliers (p.m.) 323
e) Fractionnement en classes granulométriques 323
f) Interprétation qualitative des diffractogrammes RX 324
g) Interprétation semi-quantitative des diffractogrammes RX 328
h) Expression des résultats 328
5° La détermination des palygorskites par la microscopie électronique à transmission (M.E.T.) 329
a) Réalisation 329
b) Expression des résultats 329
c) Observations complémentaires 330
6° L'analyse thermique différentielle (A.T.D.) 330
a) Réalisation 331
b) Expression des résultats 332
7° Les substances amorphes organiques (ct) 332
8° La capacité d'échange cationique totale (T) 334
9° Les éléments totaux 334
9.1.3. L'étude pétrographique des lames minces réalisées dans les accumulations calcaires 335
9.2. Le dépouillement des données 336
9.2.1. Les roches-mères (du domaine étudié) 336
9.2.2. Les accumulations calcaires 339
9.2.3. Les formations meubles colorées 348
1° Dans le massif 348
2° Sur les glacis 349
3° Sur les glacis-cônes et dans les chenaux 350
4° Dans la cuvette 351
9.3. Les faits essentiels et leur interprétation 351
CHAPITRE 10 : LES TECHNIQUES SPECIALISEES DE LA PALEOECOLOGIE 357
10.1. Le choix des analyses et des méthodes 357
10.1.1. Un essai exploratoire de détermination pollinique 357