

42 12812

**PEDOGENESE ET VOCATION FORESTIERE  
DES SOLS SUR MARNES MIOCENES  
DE LA REGION DE FES**

PAR

**B. LEPOUTRE**

*Docteur-Ingénieur*

*Directeur de recherches de pédologie O.R.S.T.O.M.*

ET

**A. SAUVAGEOT**

*Licenciée ès sciences*

*Chef de laboratoire de la S.R.F.*

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 4830

Cote z

B

ep 1

## SOMMAIRE

Introduction .....	23
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>Généralités</b>	
1. Le cadre géologique .....	25
2. La végétation .....	27
3. Le climat .....	30
<b>CHAPITRE II</b>	
<b>Les sols</b>	
I. Les sols minéraux bruts .....	34
II. Les sols peu évolués .....	36
III. Les vertisols .....	44
IV. Sols hydromorphes .....	52
V. Sols sodiques .....	53
<b>CHAPITRE III</b>	
<b>La pédogénèse</b>	
I. Introduction .....	56
II. Caractères fondamentaux des sols sur marnes et leur pédogénèse .....	56
1. L'homogénéité texturale .....	57
2. Les variations des teneurs en argile et en calcaire dans les différents profils .....	57
3. La saturation du complexe adsorbant .....	58
4. La répartition du gypse .....	61
5. Les sels solubles autres que le sulfate de calcium .....	63
III. La structure du sol .....	64
1. La stabilité structurale et le rôle du magnésium par rapport au sodium et au calcium .....	64
2. Interprétation de l'état structural des divers horizons .....	73
IV. Synthèse : rôle du drainage .....	77
<b>CHAPITRE IV</b>	
<b>Les problèmes de mise en valeur des sols sur marnes miocènes</b>	
I. Facteurs de base des vocations forestières .....	82
II. Comportement de quelques essences .....	89
— <i>Eucalyptus occidentalis</i> .....	89
— Pin d'Alep .....	91
— Autres essences .....	93
III. L'érosion et les types d'interventions .....	93
IV. Conclusions générales .....	99
Annexe. — Résultats d'analyses physiques et chimiques .....	104

# PEDOGENESE ET VOCATION FORESTIERE DES SOLS SUR MARNES MIOCENES DE LA REGION DE FES

par B. LÉPOUTRE et A. SAUVAGEOT

---

## INTRODUCTION

L'aspect typique des « bads-lands » qui se développent en particulier sur les marnes du miocène, fait partie du paysage de toute la bordure du Prérif central au nord-ouest, nord, et nord-est de Fès.

L'érosion s'y manifeste avec une telle ampleur que, très rapidement le Service forestier dut prendre l'initiative d'intervenir dans le cadre de la défense et restauration des sols. C'est ainsi qu'un certain nombre de périmètres de reboisement, qui ne couvrent d'ailleurs qu'une infime partie des marnes du Prérif central, ont été réalisés dans la région de Fès.

Le but essentiel de ces interventions fut donc, avant tout, la lutte anti-érosive, et c'est sans doute au caractère d'urgence de cette lutte qu'il faut attribuer certaines lacunes dans les programmes de reboisement, telles l'ignorance presque complète du milieu édaphique, ou les échecs d'adaptation de quelques essences utilisées, obligatoirement, à titre expérimental.

Les périmètres les plus anciens datent de 1953. Il est donc possible et même indispensable de tirer dès à présent les enseignements de ces premières réalisations. Cette mise au point paraît d'autant plus impérative d'ailleurs que les futurs programmes d'aménagement du bassin de l'Oued Sebou (Mission F.A.O.) prévoient aujourd'hui la réalisation d'une couverture forestière des versants du Prérif pour la protection des ouvrages de retenue d'eau dont la construction est projetée sur les oueds Sebou, Ouerha et Inaouen.

C'est le caractère évident des premiers échecs d'une part et le souci de poursuivre un programme de reboisement plus rationnel d'autre part, qui sont à l'origine de l'étude dont le présent travail fait l'objet.

On verra finalement que nos travaux débouchent sur des problèmes beaucoup plus vastes que la simple écologie comparée du pin d'Alep et des eucalyptus en sol marneux, mais bien sur la détermination des différents milieux édaphiques et de leurs vocations forestières.

---

## CHAPITRE I

### GÉNÉRALITÉS

---

#### 1. LE CADRE GÉOLOGIQUE

##### A. Le Prérif

Les terrains étudiés se situent en partie dans les formations constitutives de la nappe prériefaine. Il s'agit d'une vaste nappe de charriage constituant les premiers reliefs de la chaîne rifaine au sud.

Elle est composée de terrains divers, triasiques, jurassiques, crétacés, nummulitiques et miocènes qui se sont tous épandus en direction du sud en glissant sur une sole que l'on suppose triasique et en recouvrant les formations primaires, secondaires et miocènes inférieures.

Le front de cette nappe passe schématiquement au sud du Rharb, rejoint Sidi Kacem un peu plus au nord, puis s'étend vers l'ouest à la limite des formations lacustres du Saïs.

Au cours du miocène, la mise en place de cette nappe perturbe complètement la sédimentation et on peut distinguer des formations miocènes « anté-nappe » puis dans la nappe — la sédimentation s'étant poursuivie simultanément au charriage — un miocène charrié, et enfin un miocène post-nappe qui s'est épandu en couverture dans le sillon sud-rifain.

Les périmètres que nous avons eu à étudier sont situés à la fois dans le miocène charrié et le miocène post-nappe sans que nous puissions toutefois affirmer qu'il s'agisse toujours de matériaux charriés. Il importe de retenir que l'ensemble des terrains charriés comprend un mélange complexe de terrains salifères, crétacés, nummulitiques et miocènes inférieur, de nature le plus souvent marneux ou schisteux, donc extrêmement instables qui se sont « écoulés » vers le sud en entraînant avec eux des éléments plus résistants comme les éléments jurassiques. Plus au Nord les

facies deviennent plus résistants et la tectonique molle fait place à la tectonique « brisante » en même temps que les reliefs s'accroissent, la phase orogénique principale se plaçant au milieu du miocène. D'autres mouvements de moindre importance ont succédé créant d'autres remaniements.

Les mouvements post-miocènes ont ainsi modifié la bordure sud de la nappe (Moulay-Yacoub - Fès). Au sud du front de nappe, le miocène supérieur est constitué par les derniers épandages post-nappe du Tortonien et du Sahélien.

## B. Le miocène

Il faut distinguer le miocène sous la nappe appelé « anté-nappe » du miocène sur la nappe ou « post-nappe », le premier est habituellement considéré comme le miocène inférieur, le second comme le miocène supérieur, le plus souvent attribué à l'Helvétien et au Tortonien, mais les limites entre ces étages sont souvent imprécises du fait de la rareté de la faune et de la nécessité de détermination de la micro-faune.

Le miocène inférieur débute par des grès calcaires plus ou moins détritiques.

Puis vient le Burdigalien avec un facies molassique ou conglomératique marno-calcaire gréseux. Il se dispose en discordance sur le Jurassique ou l'Aquitainien.

L'Helvétien recouvre en concordance le Burdigalien ; ce sont les marnes blanches de Beni-Amar qui sont très calcaires, avec des interstratifications plus calcaires ou plus gréseuses ; puis le facies devient plus lourd avec des marnes gris foncé moins calcaires, ou jaunes.

Le miocène supérieur repose avec ou sans discordance sur le miocène inférieur :

Il est constitué en partie par des marnes helvétiques et surtout par des marnes tortoniennes bleues, peu calcaires et très argileuses. Quand s'amorce le retrait de la mer miocène, l'émersion n'est pas généralisée et il subsiste de grandes cuvettes où les marnes vindoboniennes gypseuses s'accumulent. Ailleurs, des affleurements gréseux marquent la phase régressive sahélienne.

On voit que la géologie du Prérif est très complexe, tant par les différents facies qui se succèdent apparemment de façon désordonnée, que par

l'échelonnement des phénomènes tectoniques et la disposition anarchique des nappes qui se chevauchent plus ou moins. Il sera donc toujours difficile en l'absence de documents cartographiques de déterminer exactement les niveaux où nous nous trouverons.

### C. Le relief du Prérif

C'est le relief habituel des milieux marneux, caractérisé par des formes molles où dominent les vastes croupes arrondies dont la régularité n'est rompue que par les pentes abruptes des bords-lands, les corniches de bancs gréseux interstratifiés dans les marnes, ou celles des formations tortoniennes terminales (Sahélien). L'absence de terrasses quaternaires semble aussi caractériser ces milieux où la vitesse du ruissellement est grande et où les matériaux transportés sont essentiellement des matériaux fins argileux et limoneux.

L'altitude est généralement inférieure à 500 m et supérieure à 100 m.

## 2. LA VÉGÉTATION

Lorsque la végétation naturelle subsiste elle est constituée presque uniquement par une strate herbacée. C'est le cas des marnes lourdes helvétiques ou tortoniennes. Si les marnes deviennent plus calcaires (certaines marnes helvétiques, tortoniennes plus sableuses et surtout oligocènes ou crétacées) quelques vestiges d'une végétation arbustive ou ligneuse peuvent être trouvés : *Ziziphus lotus*, *Chamareops humilis*, *Withania frutescens*, *Lycium intricatum*, *Caparis spinosa*.

Parmi les espèces herbacées relevées sur les marnes lourdes tortoniennes on peut citer (détermination J. MATHEZ, I.S.C., Rabat) :

- Composées
- *Bubonium aquaticum*
  - *Sarchus* sp.
  - *Reichardia picroïdes*
  - *Rhagadiolus stellatus*
  - *Scolymus hispanicus*
  - *Scolymus maculatus*
  - *Senecio leucantemifolius*
  - *Sonchus* sp.
  - *Centaurea pullata*
  - *Calendula algeriensis*

Boraginacée	— <i>Echium australe</i>
Convolvulacées	— <i>Convolvulus rhabensis</i> — <i>Convolvulus tricolor</i>
Aristolochiace	— <i>Aristolochia longa</i>
Crucifères, Aracées	— <i>Arisarum vulgare</i> — <i>Psychine stylosa</i> — <i>Sinapis arvensis</i> — <i>Diploxys</i> sp. — <i>Moricandia arvensis</i>
Graminées	— <i>Lygeum spartum</i>
Chenopodiacées	— <i>Beta maritima</i> — <i>Atriplex halimus</i> — <i>Atriplex hastata</i>
Labiées	— <i>Salvia-Mouretii</i> var. <i>Maroccana</i> — <i>Ballota hirsuta</i>
Cucurbitacées	— <i>Ecbalium elaterium</i> — <i>Phlomis herba-venti</i> — <i>Mandragora autumnalis</i>
Liliacé	— <i>Scilla autumnalis</i>
Rutacée	— <i>Ruta montana</i>
Caryophyllacées	— <i>Silene volubilitana</i> — <i>Erodium malacoïdes</i>
Euphorbiacée	— <i>Euphorbia medicaginea</i>
Valerianacée	— <i>Fedia cornucopiae</i>

Dans les marnes très calcaires, plus calcaires ou peut-être mieux drainées on trouve en plus la plupart des espèces ci-dessous :

- *Echinops spinosus*
- *Cichorium intibus*
- *Scandix pecten veneris*
- *Echium australe*
- *Pterantus dicotonus*
- *Reseda alba*
- *Teucrium polium*
- *Teucrium barbatum*
- *Withania frutescens*
- *Lycium intricatum*



Dans les marnes très salées souvent au contact du trias la végétation est uniquement composée de :

- *Sueda fruticosa*
- *Lygeum spartum*
- *Frankenia pulverulenta*
- *Aizoon hispanicum*

Il s'agit alors d'un groupement écologique très clair qui laisse la plus grande surface du sol à nu.

Sur les marnes plus sableuses, souvent de couleur jaunâtre on trouve :

- *Chamaerops humilis*

qui semble systématiquement absent des marnes lourdes tortoniennes.

Il est à remarquer que la plupart de ces espèces sont des argilophytes calcaricoles mais il est intéressant de noter que si certaines d'entre elles, comme :

- *Convolvulus rhabensis*
- *Aristolochia longa*
- *Arisarum vulgare*
- *Fedia cornucopiae*
- *Eryngium illicifolium*

traduisent la présence de milieux humides, d'autres comme :

- *Ballota hirsuta*
- *Pteranthus dicotonus*
- *Teuchrium barbarum*
- *Teuchrium polium*
- *Withania frutescens*
- *Lycium intricatum*
- *Lygeum spartum*

que l'on trouve en même temps, indiquent un milieu nettement semi-aride pouvant aller jusqu'à l'aride (*Lygeum spartum*).

Cette constatation trouvera son explication dans l'étude pédologique proprement dite où on sera obligé d'envisager dans la pédogénèse une succession de régimes pédo-climatiques, l'un très humide l'hiver et l'autre très sec l'été.

Il faut aussi attirer l'attention sur l'absence presque totale de végétation sur les pentes fortes, dans les « bads-lands » en particulier ; là aussi l'étude pédologique fournira l'explication, en montrant que les sols sont

toujours très secs du fait d'un coefficient de ruissellement très élevé (Heusch l'a évalué à 92 % dans un bad-land sur argile tortonienne). De ce fait, il ne peut y avoir d'enracinement profond et, en tous cas, qu'une alimentation en eau très réduite associée souvent à la salure des marnes en place.

Enfin, il faut se rendre à l'évidence de l'absence d'espèces arborées ou arbustives sur l'ensemble de toutes les marnes lourdes. *Cette absence quasi systématique ne peut être l'effet ni du hasard ni de l'action humaine*, car, précisément, c'est lorsque les sols deviennent plus légers et qu'ils sont donc plus faciles à mettre en culture que nous trouvons quelques vestiges d'une végétation ligneuse arbustive.

On doit conclure à l'inadaptation naturelle des espèces arbustives autochtones aux sols sur marnes lourdes. Cette conclusion n'est pas sans entraîner de graves difficultés pour la mise en valeur ou la lutte anti-érosive, comme on le verra par la suite.

### 3. LE CLIMAT

La région étudiée se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré d'EMBERGER.

Les relevés climatologiques ne peuvent être donnés que pour les postes de Fès à une altitude de 470-475 m.

Ces relevés sont les suivants <sup>(1)</sup> :

---

(1) D'après CHAPOND (G.) et ICHTER (J.P.).

## Pluviométrie

	Fès Aviation	Fès Agriculture		Fès ferme expér.
Altitude .....	410 m	415 m		410 m
Latitude .....	34° 02' N	34° 02' N		34° 04' N
Période d'observation ..	1943-1957	1925-1949	1929-1960	1917-1945
Nombre d'années d'obs.	14	25	35	28
Moyenne annuelle calculée sur les années d'observation (en mm) ..	460	545	548	587
Septembre .....	12	13	14	10
Octobre .....	38	51	50	56
Novembre .....	46	84	75	95
Décembre .....	73	83	89	87
Janvier .....	65	59	66	64
Février .....	58	64	62	76
Mars .....	64	68	71	78
Avril .....	61	69	68	65
Mai .....	32	37	36	32
Juin .....	7	14	13	18
Juillet .....	1	2	2	2
Août .....	3	1	2	4
Indice pluviométrique le plus élevé observé ...	717	—	800	846
Indice pluviométrique le plus faible observé ...	270	—	330	464
Ecart moyen annuel ....	—	—	90	—
Ecart maximum annuel	257	—	252	259

**Température**

A Fès (Altitude 410 m — Valeurs exprimées en degrés Celsius)  
Période retenue : 1920-1960 ; années incomplètes : 1920 et 1921

	Moyennes mensuelles	Moyennes mensuelles des températures journalières		Moyennes des températures mensuelles extrêmes	
		Maximums	Minimums	Maximums	Minimums
Janvier .....	9,8	15,4	4,3	20,8	-0,7
Février .....	11,3	17,1	5,4	23,3	-1,7
Mars .....	13,6	19,6	7,6	26,7	2,2
Avril .....	15,6	22,0	9,2	30,1	3,7
Mai .....	18,7	25,7	11,7	34,4	6,0
Juin .....	23,0	30,8	15,1	38,9	9,6
Juillet .....	26,7	35,8	17,9	43,4	12,6
Août .....	27,1	35,8	18,4	42,7	12,9
Septembre ...	23,9	31,6	16,2	39,1	10,6
Octobre .....	19,4	26,0	12,7	33,5	6,8
Novembre ...	14,2	20,0	8,5	26,3	3,1
Décembre ....	10,7	16,0	5,4	21,2	-0,9
Moy. annuelle	17,8	24,7	11,0	31,7	5,4
Ecart annuel	17,3	13,7		26,3	

**Evapotranspiration**

	Evapotranspiration potentielle en mm		Evapotranspiration réelle en mm	
Janvier .....	18		18	
Février .....	23		23	
Mars .....	40		40	
Avril .....	55		55	
Mai .....	80		80	
Juin .....	122		71	
Juillet .....	168		2	
Août .....	153		1	
Septembre .....	115		13	
Octobre .....	72		51	
Novembre .....	36		36	
Décembre .....	21		21	
Année .....	913		411	

## Aridité

Indices	Valeur	Classement climatique
Indice d'Emm. de Martonne ...	19,6	Climat sec avec écoulements temporaires.
Indice de H. Caussen (nombre de mois secs ou indice xérothermique) .....	4	
Indices de C.W. Thornthwaite		C1 B'3 b'4 (climat subhumide, mésothermique, à surplus d'humidité, modéré en hiver, à déficit d'humidité important en été, et à influence océanique assez marquée.
— Indice d'aridité .....	55	
— Indice d'humidité .....	14,7	
— Indice global de pluviosité .	18,3	
— Concentration estivale de l'efficacité thermique .....	48,8 %	
Indice d'Emberger .....	58	

## CHAPITRE II

## LES SOLS

Les sols, que nous avons pu étudier dans les différents périmètres de reboisement de l'Arrondissement de Fès, appartiennent aux cinq grandes classes suivantes :

- sols minéraux bruts
- sols peu évolués
- vertisols
- sols hydromorphes
- sols sodiques.

## I. LES SOLS MINÉRAUX BRUTS

Par définition ce sont des sols de profil (A)C ne contenant que très peu de matière organique dans les 20 cm supérieurs. La roche mère subit peu d'altération chimique, mais elle se désagrège sous l'action des facteurs climatiques et, soumis à l'érosion, les horizons supérieurs du sol n'ont pas le temps de se développer que déjà les matériaux désagrégés sont emportés par les eaux de ruissellement.

Les conditions de développement de ces sols sont celles des pentes fortes dénudées. On peut même dire que ces sols sont d'autant plus fréquents que la pente est forte. En général on les trouve sur n'importe quelle marne du miocène dès que la déclivité du terrain dépasse 40 %. Ceci ne veut pas dire que tous les sols développés dans ces conditions de pente sont des sols minéraux bruts comme nous le verrons. Ce sont cependant ces sols qui constituent tous les « bads-lands » caractéristiques des zones érodées.

Le profil-type est le suivant :

### Profil OM 3

Oued Mikkès. Bad Land de la partie ouest du périmètre forestier de N'Zala des Oudaïa sur marne présumée helvétique.

#### DESCRIPTION



- 0-5 Mulch minéral argileux à structure polyédrique fine anguleuse (5 Y 7/2).
- 5-30 Marne helvétique peu altérée et laissant apparaître des éléments structuraux de la roche-mère initiale. Traînées rougeâtres et gypseuses (5 Y 7/3).
- 30 Marne ressemblant assez à celle des niveaux tortoniens, un peu verdâtre à l'état humide, fissurée en une multitude de fissures qui isolent des blocs argileux pouvant atteindre la taille du poing. La cassure de ces blocs est souvent *conchoïdale* mais on y trouve des sortes de « noyaux » de forme arrondie et de plus forte résistance au cisaillement (5 Y 7/3).

#### RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau I, en annexe.)

#### COMMENTAIRES

Du point de vue granulométrique on peut constater une assez forte homogénéité texturale avec, peut-être, une légère diminution du taux d'argile dans les horizons supérieurs au profit des limons. Cette hypothèse paraît probable compte tenu que la pente est de 56 % et que les eaux de ruissellement ne peuvent altérer que les horizons de surface.

En effet, nous avons pu constater sur ces sols en hiver un ruissellement qui se situe entre 5 et 10 cm de profondeur. Ces horizons de surface laissent pénétrer l'eau qui vient imbiber la marne altérée. Celle-ci gonfle et crée très rapidement un horizon gorgé d'eau et imperméable, sur lequel l'eau ruisselle. On trouve ainsi tout le long de la pente du bad-land « un revêtement » de marne altérée d'une dizaine de centimètres, mais il est caractéristique de ne pas trouver d'accumulation en bas de pente, la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement étant sans doute suffisamment forte pour emporter la masse de matériaux fins (voir cliché 1).

Par ailleurs, on remarquera que les marnes possèdent beaucoup de sodium sur leur complexe. Comme il s'agit de la roche mère et non d'une

évolution pédogénétique, ce caractère doit s'inscrire au niveau de la famille de sol dans la systématique, la pédogénèse étant celle d'un régosol d'érosion.

On remarquera enfin qu'il y a une très légère recalcification en surface. Nous verrons celle-ci s'accroître dans d'autres types de sols plus évolués, mais il importe de souligner ici la faible importance du calcium par rapport au sodium et au magnésium échangeables dans la marne en place et dans les horizons de surface où il n'occupe au plus que 40 % de la capacité d'échange. Le gypse étant présent dans la marne en place, ces résultats prouvent qu'il n'est pas mobile dans ce milieu, et puisqu'il est soluble, que les horizons à *partir de 20 cm ne sont plus intéressés* par le ruissellement. On a donc ici un recoupement des observations faites sur le terrain en hiver et qui montrent que l'eau ne pénètre pas en profondeur dans ces sols. *On a donc affaire à des sols secs*. Cette conclusion est très importante du point de vue de leur utilisation comme on le verra plus loin.

Finalement on peut classer ces sols de bad-land parmi les sols minéraux bruts, non climatiques, d'érosion, sous-groupe des régosols.

## II. LES SOLS PEU ÉVOLUÉS

Ce sont des sols de profil A C pauvres en matière organique dans les horizons de surface. La roche mère a été fragmentée par des phénomènes de désagrégation et il n'est pas possible de distinguer d'horizon B ou même (B).

Ce manque d'altération peut être dû, soit à une cause climatique de trop longue sécheresse par exemple, soit à une durée trop courte d'altération, lorsque le sol est érodé régulièrement.

Dans les cas qui nous préoccupent il s'agit essentiellement de sol peu évolué, d'érosion, régosolique.

On peut néanmoins distinguer différents types suivant la nature de la roche mère.

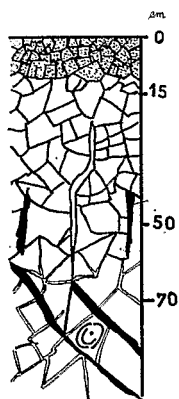


### A. Les sols peu évolués sur marne helvétique moyennement calcaire et gypseuse

#### Profil OMP 2 sur pentes de 52 %

Partie orientale du périmètre de reboisement  
de l'Oued Mikkès

#### DESCRIPTION



- 0-15 Argileux gris (2,5Y7/2) finement polyédrique à grenu.  
 20-50 Argileux gris (2,5Y7/2) à structure plus large laissant apparaître une sous-structure polyédrique moyenne à prismatique mais très peu cohérente.  
 50-70 Les quelques fissures verticales de l'horizon précédent vont en disparaissant, la structure est polyédrique moyenne très peu cohérente, le sol s'effrite facilement (2,5Y7/2). On trouve des éléments de marne intacts.  
 70-90 Argileux, la structure est celle de la marne en place avec des traînées gypseuses rougeâtres dans une masse d'éléments à cassure conchoïdale, imbriqués les uns dans les autres.  
 90 Marne à cassure conchoïdale en place (2,5Y7/2).

#### RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau II, en annexe.)

#### COMMENTAIRES

Du tableau d'analyses on peut tirer les conclusions suivantes.

Sur le plan textural, on constate une assez grande homogénéité de la surface vers la profondeur. La marne en place, seule, paraît nettement moins argileuse et plus sableuse, sans que l'on puisse fournir une explication valable de cette différence.

Du point de vue de la matière organique, le sol est pauvre, sans doute du fait de la faible couverture végétale avant le reboisement et la mise en défens.

Du point de vue chimique, le gypse est répandu dans le profil à partir de 40 cm de profondeur, les argiles sont nettement calciques, peu magnésiennes et très peu sodiques. Par contre, la marne en place montre une saturation magnésienne très nette. Peut-être faut-il voir, dans l'élévation du taux de calcium en surface et jusqu'à un mètre, une évolution pédologique et une resaturation calcique à partir des eaux chargées en  $SO_4Ca$ , mais ce n'est pas certain, compte tenu des variations possibles de compo-

sition de la roche-mère. On constatera d'ailleurs que le taux de sodium échangeable croît en même temps que celui du magnésium. Ce résultat semble assez courant et il est à confronter déjà avec les analyses de la marne en place du profil précédent.

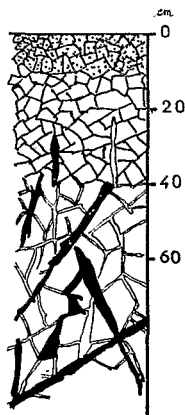
On constatera aussi que les argiles sont toujours saturées. La capacité d'échange est élevée.

Sur le plan du reboisement il faut noter que l'*Eucalyptus occidentalis* s'enracine bien dans ce type de sol et croît bien. On distingue dans le profil un système racinaire traçant qui se répartit dans les cinquante premiers centimètres, et un système racinaire profond composé de deux à trois pivots qui pénètrent verticalement dans les marnes en place.

#### Profil OMP 1 sur pente de 53 %

Partie orientale du périmètre de reboisement  
de l'Oued Mikkès

##### DESCRIPTION



- 0-20 Horizon à tendance grumosolique argileux gris (2,5 Y 7/2) à structure polyédrique fine, quelques efflorescences à 20 cm.
- 20-40 Horizon identique au précédent mais une sous-structure prismatique apparaît faiblement exprimée. De toutes façons, la cohésion est très faible et le sol s'effrite facilement (5 Y 8/2).
- 40-60 Horizon gris clair (2,5 Y 7/2) marneux où on trouve la marne en place non décomposée. Traînées verticales ou obliques de gypse, sinueuses et accompagnées d'une couleur jaunâtre à rougeâtre montrant une certaine individualisation du fer le long des faces marneuses.
- 60-80 Marnes grises, solides et argileuses, à cassure conchoïdale, à lames de gypse disposées dans les fissures. L'ensemble est très disloqué laissant de nombreux vides accessibles aux racines (2,5 Y 7/2).

Les pins d'Alep sur ce sol sont de très bonne venue avec de nombreuses racines semi-pivotantes qui pénètrent les marnes en profondeur en appliquant leurs racelles sur les faces des blocs marneux.

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau III, en annexe.)

## COMMENTAIRES

Comme pour le profil précédent, on constate une assez bonne homogénéité texturale, tant qu'on n'atteint pas la marne en place, non altérée, où le taux d'argile paraît plus bas et celui des limons plus élevé. Comme il s'agit en fait d'une roche, on peut se demander si l'analyse ne révèle pas une cimentation des particules inférieures à  $2 \mu$ , par le calcaire. L'analyse granulométrique du sol décalcarifié semble bien le prouver, d'abord par des résultats semblables à toutes les profondeurs, mais encore en montrant que le calcaire est localisé avant tout dans la fraction limoneuse.

Ici encore, on constate une faible teneur en matière organique et azote, avec une matière organique très humifiée et entièrement liée aux argiles (sans doute par le calcium).

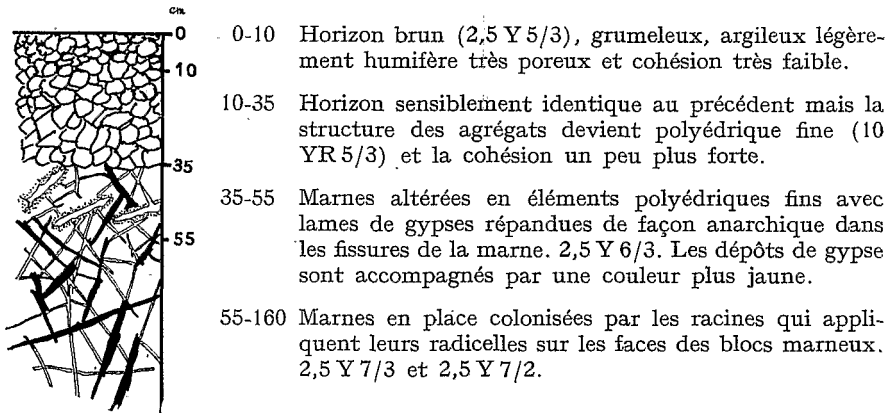
La marne n'est pas chlorurée, mais le gypse est présent partout. Les argiles sont très calciques, *sauf en profondeur dans les marnes en place* non altérées où le magnésium prend la place la plus importante sur le complexe. On remarquera d'ailleurs que le rapport Ca/Mg, du calcium échangeable au magnésium échangeable, est d'autant plus élevé que l'on s'approche de la surface du sol. Ceci semble bien montrer une circulation d'eau calcique (sulfatée sans doute) plus importante en surface qu'en profondeur.

Le rapprochement des valeurs de capacité d'échange et des taux d'argile montrent que celles-ci ont une capacité d'échange de l'ordre de 68 % en surface et 58 % en profondeur. Une évaluation grossière indique que la proportion d'argile type Montmorillonite serait voisine de 53 % et 42 % respectivement. Ces chiffres ramenés à la quantité d'argile dosée après décalcarification fixeraient la quantité totale de Montmorillonite à 22 % et 16 % avec une légère augmentation en conséquence vers la surface. Cette augmentation pourrait traduire un effet d'engorgement de surface.

**Profil OM5 sur replat sommital**

Partie orientale du périmètre de reboisement  
de l'Oued Mikkès : point géodésique.  
Marnes helvétiques.

## DESCRIPTION



Les *Eucalyptus gomphocephala* qui sont plantés sur ce sol ont un enracinement apparemment bon mais ils restent néanmoins à l'état buissonnant. On verra plus loin qu'en aucun cas l'*Eucalyptus gomphocephala* n'est adapté aux marnes. Il faut sans doute y voir une limite d'adaptation aux milieux secs ou au gypse.

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau IV, en annexe.)

## COMMENTAIRES

Il y a peu de commentaires nouveaux à apporter à ce tableau d'analyse par rapport au profil précédent sinon que la faible évolution du sol se traduit encore par l'absence d'horizon B ou (B) et par une homogénéité texturale constante dans le profil. On a toujours affaire à des argiles calcaïques peu sodiques et peu magnésiennes. Les capacités d'échange sont toujours du même ordre de grandeur.

## B. Les sols peu évolués sur marne crétacée

### Profil OLP 1 sur pente de 60 %

Périmètre de reboisement de l'Oued Leben.

En réalité, étant donné la profondeur du sol sur une pente aussi forte, il faut y voir un sol développé sur colluvium de marne crétacée remaniée.

#### DESCRIPTION



- 0-15 Argileux, gris clair (2,5 Y 6,5/2), à peine fissuré, structure micropolyédrique en surface puis polyédrique moyen très poreux et friable plus en profondeur.
- 15-50 Argileux, gris clair, quelques légères fentes de retrait verticales se distinguent. La structure est plus grossière et la compacité semble plus grande. On trouve quelques rares galets roulés.
- 50-80 Argileux, gris clair (2,5 Y 7/2), structure polyédrique assez large, mais toujours *très poreux* et avec une cohésion *très faible*.
- 80-130 Idem, mais nettement plus compact, la structure est fondue avec quelques rares fissures verticales qu'empruntent les racines pivotantes d'eucalyptus (2,5 Y 7/2).
- 130-200 On trouve dans la masse marneuse des éléments de marne orientés ou des nodules marneux. L'horizon est toujours très poreux et constitué d'agrégats polyédriques fins à moyens, qui semblent légèrement collés entre eux en laissant des vides, ce qui rend donc le sol très perméable et sans doute aussi très aéré (2,5 Y 7/2).

#### RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau V, en annexe.)

#### COMMENTAIRES

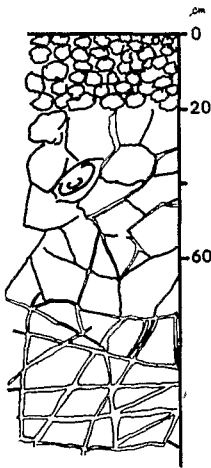
On constate, ici aussi, une remarquable homogénéité texturale avec des taux très semblables aux sols précédents pour les différentes classes granulométriques. Il semble que les taux de calcaire soient également très voisins.

La matière organique est en faible quantité et sa décomposition est très poussée. Elle est d'ailleurs très intimement liée à l'argile. Tout le long du profil on constate une saturation essentiellement calcique du complexe absorbant.

Les capacités d'échange totales sont très semblables à celles des sols sur marnes helvétiques mais il semble que la proportion d'argile du type Montmorillonitique est beaucoup plus faible, surtout dans les horizons de surface, ce qui ferait penser à une évolution du sol commandée par de bonnes conditions de drainage.

Au total, les taux d'argile à forte capacité d'échange dans le sol seraient de l'ordre de 15 à 16 %. Ce taux serait insuffisant pour provoquer des retraits considérables puisque nous n'en constatons pas dans le sol.

On notera enfin que, sur le plan forestier, les *Eucalyptus occidentalis* ou *gomphocephala* s'enracinent très bien dans ces sols. En effet, on peut encore trouver des pivots très puissants à 2,30 m de profondeur.



#### Profil AK 1 sur pente de 30 %

Périmètre d'Aïn Kanséra  
sur marne crétacée ou helvétique.  
Facies très calcaire.

#### DESCRIPTION

- 0-20 Gris clair (2,5 Y 7/2), grumeleux argileux-limoneux.
- 20-60 Gris clair (2,5 Y 7/2), tendance polyédrique argileux.
- 60-80 Apparition d'éléments marneux peu altérés (2,5 Y 7/2). La structure est polyédrique moyenne, constituée surtout par des éléments de marne.
- 80-100 Marne blanche en place (2,5 Y 7/2) à cassure conchoïdale... mais en blocs de petite taille qui s'effritent.

L'ensemble du sol est finalement très « caillouteux » à l'exception des horizons supérieurs. Les pins d'Alep réussissent bien dans ce type de sol.

#### RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau VI, en annexe.)

#### COMMENTAIRES

Il ressort des analyses que les marnes sont très calcaires. Il ne s'agirait même plus de marne mais bien de calcaires marneux. Les complexes absorbants sont très bien saturés en calcium, le pourcentage de montmorillonite est élevé mais, du fait de la forte proportion de calcaire dans la roche mère, la quantité totale d'argile à forte capacité d'échange du type montmorillonite est faible : 10 à 13 %, sauf dans les horizons de surface. Il est certain que la structure prismatique grossière ne peut s'exprimer dans ces conditions.

Encore une fois, l'homogénéité texturale révélée par les analyses granulométriques confirment la faible évolution du sol.

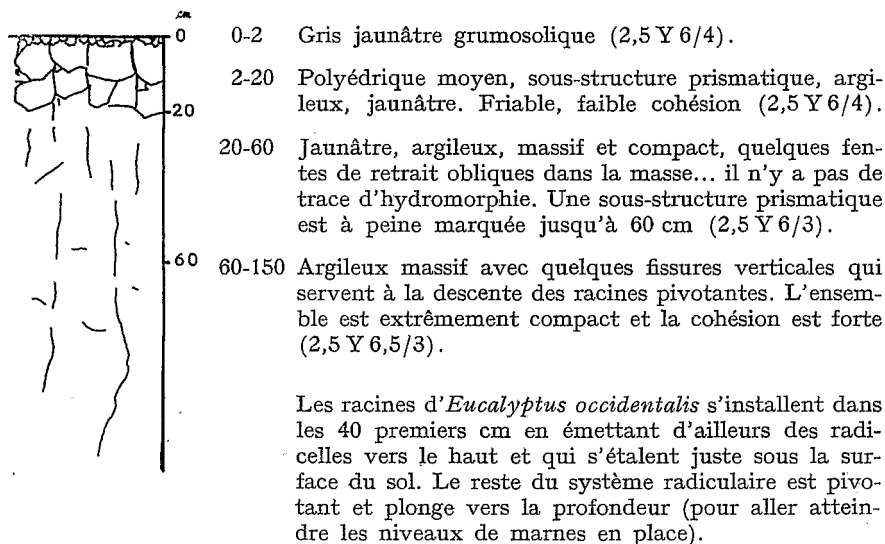
### c. Sol peu évolué sur marne jaune tortonienne

Il semblerait que ces marnes soient assez caractéristiques du tortonien terminal ; il s'agit vraisemblablement de remaniements sur pente.

#### Profil AJ 1

Périmètre forestier d'Ank Jmel, pente 35 %.

##### DESCRIPTION



#### RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau VII, en annexe.)

#### COMMENTAIRES

Aucun lessivage n'est décelable dans le profil, et les taux de calcaire sont eux-mêmes uniformes à toutes les profondeurs. Ce taux de calcaire faible semble caractéristique des marnes tortoniennes. On constatera par ailleurs une assez forte proportion de sables fins qui semblent bien indiquer un remaniement et une contamination de ces marnes par les séries tortoniennes terminales plus sableuses (ancien Sahélien) qui se trouvent ici en amont. La matière organique est toujours en faible quantité, très décomposée, et parfaitement liée à la matière minérale.

Le complexe absorbant est très calcique, et la capacité d'échange, élevée, dénote finalement des pourcentages d'argiles du type Montmorillonite de 40 à 45 %, tandis qu'une évaluation totale de ces argiles dans le sol donne des valeurs voisines de 15 à 17 %, ce qui rapproche ces sols de tous ceux que nous avons vu jusqu'à présent.

Il est remarquable de constater que les systèmes radiculaires de l'*Eucalyptus occidentalis* arrivent à pénétrer ces horizons extrêmement compacts. *Il est vraisemblable que les légères fissures verticales contribuent fortement à cette pénétration et finalement à l'installation du système racinaire profond* dans les marnes en place qui se situent à plus de deux mètres. A l'occasion d'un décrochement de terrain dont nous reparlerons, nous avons pu en effet constater que les marnes en place situées en profondeur étaient entièrement colonisées par les racines d'eucalyptus contrairement aux horizons compacts du sol.

### III. LES VERTISOLS

Ce sont des sols de profil A(B)C ou A(B)Cg, où la structure très grossière caractérise un horizon (B). Ils présentent dans cet horizon de larges fentes de retrait dues à la présence de fortes quantités d'argile dont une forte proportion est du type montmorillonite. Ils ne sont cependant pas très foncés du fait d'un taux de matière organique généralement très faible et d'une position topographique généralement en pente, peu propice à l'installation d'une couverture végétale dense du fait d'un drainage externe important.

Ce sont donc des vertisols à drainage externe qui peuvent avoir une structure arrondie dans les 15 cm supérieurs mais le sous-groupe modal est peu fréquent car on y distingue rarement des faces de glissement, même dans les horizons C. Le type modal se trouvant toujours sur des pentes plus faibles ou sur des vallons à pentes molles qui récoltent les eaux ; il est vraisemblable que la pluviométrie et la trop faible alimentation en eau sont insuffisantes pour développer de vrais vertisols. La plupart du temps on a donc affaire au sous-groupe vertique très bien caractérisé par l'horizon (B). Dans d'autres cas, la proximité des marnes en



place conduira à des vertisols hydromorphes en profondeur, voire à des vertisols halomorphes quand la marne sera salée ou quand le complexe sera partiellement saturé en sodium.

#### A. Vertisols à drainage externe modaux

##### Profil BA 3 sur pente de 28 %

Périmètre de reboisement de Bou Arrada 3 sur marnes présumées tortoniennes  
Profondeur

(cm)	DESCRIPTION
0-10	Argileux, nettement grumosolique en surface puis se termine à la base par une structure lamellaire fine (10 YR 5/3).
10-20	Argileux, début de structuration prismatique, sous-structure à éléments polyédriques aplatis qui font suite à la structure lamellaire de l'horizon précédent (2,5 Y 5/3).
20-40	Argileux, polyédrique grossier à faces de glissement mal orientées, efflorescences de gypse. Quelques galets transportés.
45-120	Horizon prismatique large à faces de glissement orientées légèrement en chevrons (10 YR 5/3). Les prismes se débitent en sous-prismes ou polyèdres grossiers qui ont quelques faces lisses. Individualisation du gypse en taches ou lamelles. A partir de 90 cm la couleur change et devient verdâtre (5 Y 5/1).
120-170	Les fentes de retrait vont en s'amincissant progressivement et la structure aurait tendance à devenir plus polyédrique. On peut trouver quelques noyaux de marne peu altérée.

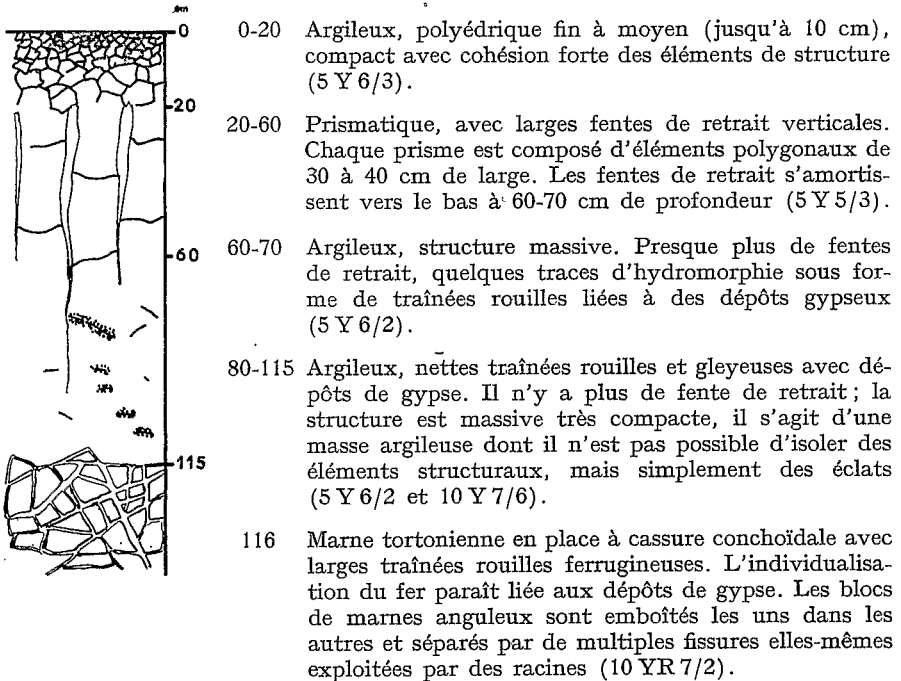
Les racines d'*Eucalyptus occidentalis* se développent bien horizontalement jusqu'à 80 cm de profondeur. Au delà les racines pivotantes empruntent les fentes de retrait pour descendre directement sans explorer les blocs prismatiques très compacts et cohérents. En fin d'hiver le sol est humide jusqu'au delà de 120 cm sans qu'il y ait excès d'eau.

## B. Vertisols à drainage externe vertiques

## Profil EA 1 sur pente de 35 %

Périmètre de reboisement d'El Amria  
sur marne tortonienne.

## DESCRIPTION



L'enracinement d'un eucalyptus de six ans qui fait 3,50 m de haut est le suivant :

- un système traçant occupe les 25 cm supérieurs du sol dans les banquettes de plantations et 40 cm dans l'interbanquette;
- un système pivotant qui *emprunte de préférence des larges fentes de retrait*. Une racine qui n'emprunte pas ces fentes s'atrophie subitement à 60 cm de profondeur. La masse du sol n'est pratiquement pas exploitée entre 25 et 115 cm;
- un système profond qui colonise la marne en place au delà de 115 cm en appliquant toutes ses radicelles sur les surfaces des blocs de marne.

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau VIII, en annexe.)

## COMMENTAIRES

Bien que la structure, la superposition des horizons, l'homogénéité texturale et le type d'argile soient typiques d'un vertisol on ne constate pas de faces de glissements. Pour cette seule raison nous avons classé ce sol dans le sous-groupe verticale.

Par ailleurs on constate une très bonne homogénéité texturale du profil ce qui interdit de voir dans l'horizon (B) autre chose qu'un horizon structural. Il n'y a aucun lessivage ni de l'argile ni du calcaire.

On constate cependant que l'individualisation du gypse en lamelle ne se produit qu'à partir de 60-70 cm de profondeur, c'est-à-dire sous la structure prismatique.

Le complexe absorbant d'abord nettement calcique en surface devient plus magnésien en profondeur pour être nettement magnésien dans la marne en place. Nous avons déjà eu cette variation de l'état du complexe dans les sols peu évolués. On remarque aussi une légère augmentation du sodium vers la profondeur.

La décalcarification du sol au laboratoire montre que le calcaire se répartit surtout dans les fractions limoneuses et peu dans les fractions argileuses. Parallèlement, elle nous permet d'évaluer la capacité d'échange des argiles et de voir qu'il y a environ 45 % d'argile à forte capacité d'échange dans les horizons de surface, contre seulement 30 % dans la marne en place.

La quantité totale d'argile à forte capacité d'échange reste néanmoins modeste et il ne semble pas que les horizons structuraux puissent se caractériser par une différence dans ces teneurs. On s'explique d'ailleurs mal les facteurs qui interviennent dans le développement de la structure prismatique quand on compare ce profil au profil A-J 1 (voir page 43) qui paraît très identique à tous les points de vue et qui ne comporte pourtant aucun horizon à structure prismatique. Nous reparlerons de cette question dans le chapitre suivant qui a trait à la pédogénèse.

Il faut enfin attirer l'attention sur la répartition des racines, qui se fait essentiellement dans les horizons meubles ou très structurés.

**Profil EA 6 sur pente de 15 %**

Périmètre de reboisement d'El Amria sur marnes tortoniennes

## Profondeur

(cm) DESCRIPTION

- 0-15 Argileux gris polyédrique fin anguleux (2,5 Y 5/2).
- 15-45 Argileux polyédrique moyen, une sous-structure prismatique large commence à se développer à 20 cm et s'accuse à 40. Peu cohérent et très poreux (2,5 Y 6/2).
- 45-95 Argileux, prismatique large (30 à 50 cm), quelques coquilles calcaires. Les fentes de retrait sont très larges puis s'effacent progressivement vers la base où le sol se débite en éléments informes, très cohérents et à faible porosité (2,5 Y 6/2).
- 95-180 Argileux massif avec du gypse diffus en petites lamelles disposées sans orientation préférentielle. Très légères marbrures plus jaunâtres diffuses mais toujours liées au gypse.

Un pin d'Alep de 6 ans et qui fait 0,50 m de hauteur montre une racine faible qui s'arrête à 1,30 m de profondeur après avoir emprunté une fente de retrait au départ.

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau IX, en annexe.)

## COMMENTAIRES

On remarquera d'abord que l'on n'a pas trouvé la marne en place en profondeur. Ceci tient à la position plus basse sur le versant et à une pente faible qui a permis le développement (?) ou le dépôt de matériaux sur une plus grande épaisseur.

Autrement, ce sol est très semblable au précédent :

Le calcaire est en faible quantité par rapport aux marnes helvétiques ou crétacées analysées dans les sols plus évolués ou régosoliques.

Il y a une grande homogénéité texturale et la succession des horizons structuraux est la même suivant la profondeur.

On remarque, à nouveau, que le complexe absorbant est très calcique en surface, puis l'est progressivement moins en profondeur, suivant, d'ailleurs, une décroissance semblable à celle de EA 1 si on excepte l'horizon de surface plus ou moins perturbé par les travaux de plantation. Parallèlement, on voit le taux de  $Mg^{++}$  croître tandis que le rapport  $Ca^{++}/Mg^{++}$  finit par passer en dessous de 1.

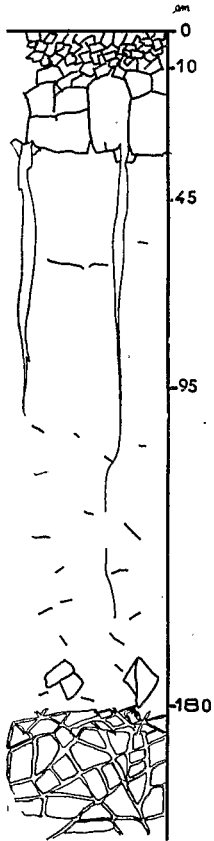
Les capacités d'échange sont assez élevées mais n'atteignent pas 35 meq.

La décalcarisation montre toujours une forte proportion du calcaire dans les limons et un peu dans le sable et les argiles. Elle permet aussi d'évaluer les quantités d'argile à forte capacité décharge : cette évaluation donne toujours les chiffres les plus forts que nous ayons rencontrés. Il semblerait donc qu'il faille au moins 18 à 20 % de montmorillonite par rapport à la quantité de terre fine avec un taux d'argile de 40 % pour que les larges fentes de retrait verticales, caractéristiques de la structure prismatique, puissent apparaître, du moins lorsque les argiles sont calciques.

### Profil EA 9 sur pente de 30 %

Périmètre de reboisement d'El Amria  
sur marnes tortoniennes.

#### DESCRIPTION



- 0-20 Argileux, d'abord polyédrique fin à grumeleux puis polyédrique moyen anguleux, 2,5 Y 5/2, très poreux.
- 20-100 Prismatique large avec d'énormes fentes de retrait qui vont en diminuant de largeur vers la profondeur; la cohésion est très forte et la porosité semble très faible (2,5 Y 6/2). La structure est toujours plus fine aux alentours de l'amorce des fentes verticales dans leur partie haute, comme si les angles supérieurs des prismes s'effritaient.
- 100-150 Toujours très argileux, mais très massif cette fois, les fentes de retrait verticales se poursuivent parfois par de très fines fissures qu'il est difficile de suivre et qui disparaissent généralement. Dans cette masse argileuse le gypse s'individualise en lamelles ou lentilles réparties de façon très anarchique. Leur taille est au plus de 1 cm (2,5 Y 6/4).
- 150-180 On commence à trouver des noyaux de marnes en place dans une masse argileuse et gypseuse identique à l'horizon précédent.
- 180 Marne en place. Ce sont des blocs emboîtés et imbriqués les uns dans les autres. Les blocs sont séparés par des fentes qui s'apparentent plus à des cassures qu'à des fentes de retrait. Elles sont d'ailleurs disposées de façon très anarchique. Certaines d'entre elles sont tapissées de gypse (2,5 Y 5/2).

Un pin d'Alep de 60 cm de hauteur et de 6 ans d'âge semble encore se maintenir sur ce sol au milieu de toute une zone d'échec. Ses racines arrivent à atteindre la marne en place et à y répandre une multitude de radicelles sur les blocs de marne. Une fois encore on constate que le sol n'est pratiquement pas exploité par les racines entre 30 cm et la marne en place.

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau X, en annexe.)

## COMMENTAIRES

On peut constater la très grande analogie des textures dans les différents horizons mais aussi avec le profil précédent EA 6. Ceci montre bien une assez grande homogénéité des sédiments initiaux. Ici aussi on constate que le gypse n'apparaît qu'à une certaine profondeur soit sous les horizons à structure prismatique large. C'est également à partir de cette profondeur que le complexe absorbant commence à devenir franchement magnésien avec des rapports Ca/Mg nettement inférieurs à 1. On peut noter que la salure n'est pas excessive et ne peut être mise en cause dans la faible croissance des pins d'Alep.

Il semble donc finalement que l'évolution du sol se réduise à un lessivage des différents sels, au développement plus ou moins grand des horizons (B) et C et à la transformation du complexe absorbant qui, d'abord magnésien et sodique devient calcique dans les horizons supérieurs.

## c. Vertisols à drainage externe, sous-groupe halomorphe

## Profil AKP 1

Périmètre de reboisement d'Aïn Kanséra I ; sous olivier, pente 25 %  
Profondeur

(cm)	DESCRIPTION
0-2	Horizon grumosolique, argileux.
2-15	Argileux, gris, structure polyédrique fine puis progressivement moyenne et grossièrement cubique vers la profondeur.
15-90	Argileux gris, structure prismatique large, très cohérent et, semble-t-il peu poreux. Le gypse est épars en petites lentilles ou lamelles, fentes de retrait verticales très larges.
90-95 et au delà.	Traînées rougeâtres de gypse et de fer dans une marne plus ou moins altérée. Placage de gypse sur les faces marneuses dans les fissures qui isolent les blocs de marne. La coloration rougeâtre de la marne suit les dépôts gypseux.

Le système racinaire de la bouture d'olivier s'est à peine développé jusqu'à 50 cm de profondeur depuis la plantation.

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau XI, en annexe.)

## COMMENTAIRES

On constate toujours une bonne homogénéité texturale avec la majorité du calcaire réparti dans la fraction argileuse. La matière organique est en faible quantité ; les teneurs en calcaire sont parmi les plus faibles et le calcaire ne semble pas avoir migré dans le profil.

Le complexe absorbant est particulièrement calcique en surface et très rapidement magnésien vers la profondeur, mais c'est seulement lorsque la structure prismatique disparaît que le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  devient inférieur à 1.

Le sol est chloruré à partir de 20 cm de profondeur. Cette présence de sel ne semble pas influencer la morphologie du profil sauf peut-être à partir de 90 cm de profondeur où on trouve des traces d'hydromorphie très visibles. Cette hydromorphie paraît être en liaison avec la saturation sodique du complexe absorbant qui rend celui-ci beaucoup plus sensible à l'eau (gonflement et imperméabilisation).

Si on se réfère à la salure et au sodium échangeable le sol devrait être classé dans les sols sodiques à structure dégradée. Profil A, (B) C ; cependant l'horizon (B) est ici un horizon structural qui n'est plus issu d'une dégradation mais au contraire d'une calcification du complexe si on en juge sur tous les autres profils analysés. L'horizon (B) n'étant pas génétiquement formé sous l'action de  $\text{Na}^{++}$  ou de  $\text{Mg}^{++}$  il n'est plus possible de considérer le profil comme un profil génétiquement caractéristique des sols sodiques à moins d'introduire dans la classification un groupe de sols salé à alcali A (B) C à *structure non dégradée*.

Il semble donc préférable pour le moment de classer ces sols dans les vertisols à drainage externe, sous-groupe halomorphe.

## IV. SOLS HYDROMORPHES

## Profil EA 11 sur pente de 15 %

Périmètre de reboisement d'El Amria sur marne tortonienne

Profondeur

(cm)	DESCRIPTION
0-20	Argileux gris (2,5 Y 6/4) polyédrique moyen (5 à 10 cm).
20-40	Argileux gris (2,5 Y 6/2) polyédrique grossier sous-structure prismatique à peine marquée. Les éléments structuraux ont des faces obliques mais il n'y a pas à proprement parlé de face de glissement.
40-60	La structure polyédrique s'efface progressivement pour faire place à une structure fondue où on distingue des traînées subhorizontales de couleur gleyeuses ou ocres qui s'accroissent en profondeur jusque dans la marne en place. Présence de gypse.
60	Marne en place avec dépôts de gypse ou pellicules ferrugineuses sur les faces conchoïdales des cassures. Quelques lames de gypse s'insinuent dans les fissures de la marne.

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau XII, en annexe.)

## COMMENTAIRES

L'homogénéité texturale est parfaite. La saturation des argiles est du type habituel, calcique en surface et magnésienne en profondeur, dès l'apparition de l'horizon hydromorphe. L'hydromorphie provient donc de la proximité des marnes et elle se manifeste par des argiles à saturation magnésienne dominante.

Bien que le sol soit sur une croupe qui semble pouvoir être drainée, l'hydromorphie apparaît très proche de la surface, mais les dépôts ferrugineux relèvent-ils d'un phénomène de réduction et d'oxydation successives ou d'une précipitation liée au gypse et pouvant être du sulfate ? ou du carbonate. Quoi qu'il en soit c'est la présence de cet horizon massif à faible profondeur qui doit être mise en cause dans l'échec total auquel on assiste, aussi bien pour les pins d'Alep et les pins des Canaries, que pour l'*Eucalyptus gomphocephala* et l'*Eucalyptus occidentalis*.



## V. SOLS SODIQUES

Ils se sont formés généralement sur les marnes des séries géologiquement ou géographiquement voisines du trias, lui-même très salé. Il est commun de trouver des sols salés au voisinage des affleurements rouges triasiques.

Les sols sont alors dépourvus de végétation, ou portent quelques espèces caractéristiques :

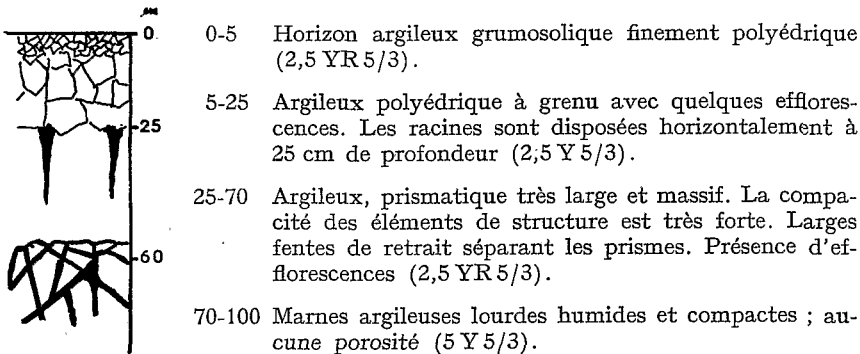
*Aizoon hispanicum*  
*Frankenia leavis*  
*Sueda fruticosa*  
*Atriplex halimus*.

Ils présentent souvent un horizon de surface grumosolique très particulier et très épais. Les deux sols que nous avons étudiés se classeraient dans le groupe des sols salins à alcali mais dans un sous-groupe qui resterait à créer à structure prismatique de l'horizon B.

## Profil OMP 3

Sur marne crétacée salée

## DESCRIPTION



## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

(Voir tableau XIII, en annexe.)

## COMMENTAIRES

Il s'agit d'un sol salé à alcali mais étant donné la salure et la très forte alcalisation de la roche mère les caractères salins sont donc hérités sans qu'on puisse véritablement invoquer une pédogénèse sodique. On notera d'ailleurs qu'il n'y a pas de lessivage d'argile.

On note une très forte salinité à partir de 25 cm en même temps qu'une alcalisation très poussée du complexe à partir de cette même profondeur.

Il s'agit bien entendu d'un sol salé à alcali (Solontchak-Solonetz) ou simplement Solonetz du fait de l'absence de sel en surface et de la présence d'un horizon à structure prismatique ou massive (B) mais il faut noter que les caractères de lessivage de l'argile et des cations sont absents. La raison en est que la pédogénèse de ces sols tout en aboutissant à des caractères morphologiques semblables ne relève pas du tout du processus de formation des solonetz proprement dit. En effet, nous verrons dans le chapitre suivant que le sulfate de calcium abondant dans ce sol se solubilise dans les horizons de surface perméables, et le calcium chasse le sodium initialement fixé sur la marne géologique. Il y a donc désalinisation avec descente des sels solubles en profondeur, mais il y a aussi disparition du sodium qui est évacué, par les eaux de ruissellement de surface ou dans le sol suivant la pente.

L'épaisseur du sol intéressée par ce processus dépend naturellement du drainage externe et interne.

Il faut enfin attirer l'attention sur l'échec total du reboisement en *Eucalyptus occidentalis* sur ces sols. On peut donc assurer qu'une conductivité de 16,9/mhos est incompatible avec la croissance de l'*Eucalyptus occidentalis*. En se basant sur le taux de Cl/Na la concentration de 7 ‰ serait incompatible également avec la croissance. En réalité on est aussi obligé de tenir compte de la structure extrêmement compacte des horizons inférieurs qui interdisent pratiquement l'accès des racines en profondeur.

On peut remarquer ici que la structuration prismatique se développe en présence d'argile très sodique contrairement à ce que l'on observe dans les vertisols. Cette structuration ne peut donc pas être rattachée au type de saturation de l'argile, il semble qu'il faille la faire dépendre du type d'argile en présence d'une alimentation en eau abondante et rythmique.

**Profil OM 1**

Sur marne crétacée salée

Profondeur (cm)	DESCRIPTION
0-5	Horizon grumosolique finement polyédrique (2,5 Y 5/3).
5-20	Horizon polyédrique moyen, argileux poreux, cohésion faible (2,5 Y 5/3).
20-50	Argileux, structure prismatique large, cohésion forte, porosité faible avec nombreuses efflorescences. Odeur sulfureuse. Présence de gypse.
70	Marne géologique en place (2,5 Y 5/4) à cassure conchoïdale et à lames de gypse.

**RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES**

(Voir tableau XIV, en annexe.)

**COMMENTAIRES**

Ce profil est du même type que le précédent mais en position topographique plus haute. A peu de distance on trouve des affleurements triasiques, ce qui explique la salure. Celle-ci doit sans doute s'accroître vers la profondeur.

Il n'y a aucune nappe présente en hiver mais au contraire un engorgement de surface.

On constate la présence du gypse à la profondeur où l'argile devient sodique comme pour tous les autres types de sols, et, à l'inverse, son absence là où le complexe est calcique (en anticipant, nous devrions dire « là où le complexe adsorbant est devenu calcique »).

Enfin, on peut constater, de toute évidence, la parenté certaine de l'horizon prismatique avec la roche mère marneuse en place. Il n'y a aucune désaturation, la structure de surface n'est pas dégradée, au contraire. Il faut donc admettre que l'on a ici aussi une morphologie de solonetz mais que le processus pédogénétique est en fait à l'inverse puisqu'il y a remplacement du sodium par le calcium sur le complexe adsorbant de surface.

La salure et la conductivité élevées expliquent l'échec des plantations d'*Eucalyptus occidentalis*.

Sur le plan de la systématique il faudrait classer ces sols dans la classe XII des sols sodiques, sous-classe des sols sodiques à structure non dégradée, mais dans un sous-groupe à profil A (B) C et à horizon superficiel essentiellement calcique.

## CHAPITRE III

**LA PÉDOGÉNÈSE**

## I. INTRODUCTION

Ce chapitre à caractère fondamentalement pédologique apparaît essentiel pour la compréhension des mécanismes qui président à la formation des sols, qui en déterminent l'évolution et qui finalement expliquent leur présence dans des conditions de milieu bien déterminées. Le type de sol étant directement en liaison avec la réussite ou l'échec des plantations il va de soi que la connaissance des conditions pédogénétiques est le préalable indispensable à l'interprétation des vocations forestières des sols et au choix des interventions.

II. CARACTÈRES FONDAMENTAUX DES SOLS SUR MARNES  
ET LEUR PÉDOGÉNÈSE

L'étude de différents types de sols, qui précède, fait apparaître un certain nombre de caractères essentiels dont il convient de déterminer la pédogénèse. Ce sont :

- une homogénéité texturale constante le long des profils alors que la structure permet de distinguer des horizons nettement différenciés ;
- une variation des teneurs en argile des différents types de sols, ainsi qu'une variation de teneur en calcaire suivant le type de roche mère ;
- une variation du type de saturation du complexe adsorbant à l'intérieur de chaque profil avec une proportion assez grande du calcium dans les horizons de surface et la présence de quantités plus ou moins importantes de magnésium et de sodium en profondeur ;
- une répartition caractéristique du gypse et des chlorures à l'intérieur des profils.

## 1. L'homogénéité texturale

Elle est l'un des caractères fondamentaux des vertisols et c'est pourquoi l'essentiel des types de sols s'y rattache. Il faut y voir la résultante d'un mouvement interne provoqué par le gonflement des argiles de type montmorillonitique dont la poussée s'exerce naturellement vers le haut tandis que les agrégats plus fins de surface tombent dans les fentes de retrait et vont s'incorporer aux éléments profonds. Nous avons pu vérifier ce mécanisme par le biais des revêtements observés dans les fentes de retrait, mais ceci est insuffisant, cependant, pour expliquer la constance texturale plus en profondeur, là où il n'y a plus de fente de retrait, et même dans la marne en place.

Il faut donc admettre parallèlement une faible évolution des argiles à partir de la marne et l'absence de lessivage de ces argiles.

L'analyse minéralogique effectuée sur certains profils confirme ces faits en montrant, elle aussi, une homogénéité parfaite de la surface vers la profondeur jusqu'à la roche mère.

La netteté des horizons structuraux dans les profils vertiques doit donc être rattachée à d'autres causes pédogénétiques que la variation des textures ou des types d'argile.

Il faut remarquer d'ailleurs que même les sols peu évolués présentent une homogénéité texturale et minéralogique identique.

## 2. La variation des teneurs en argile et en calcaire dans les différents profils

On peut constater que certains profils ont des teneurs en calcaire et en argile qui semblent très analogues. Ainsi, tous les sols formés avec certitude sur des marnes tortoniennes ont des teneurs en éléments fins (inférieur à 0,002 mm) de l'ordre de 45 à 50 % et des teneurs en calcaire total de l'ordre de 20 à 22 %.

Par contre, les sols sur marnes helvétiques ont des taux de calcaire total qui se situent autour de 30 % avec des taux d'argile souvent plus faibles. Enfin des marnes oligocènes ou crétacées peuvent posséder 40 à 50 % de calcaire total et seulement 30 % d'éléments fins inférieurs à 0,002 mm (voir profil OL 1 et AK 1).

Ces chiffres mériteraient cependant une vérification plus précise sur un plus grand nombre d'échantillons.

Il semble donc bien que les roches mères aient des caractères propres. Il ne fait pas de doute que la marne tortonienne est souvent plus lourde que les autres. Il faut cependant faire exception pour les marnes jaunâtres (voir profil AJ 1), qui peuvent être un peu plus légères. On constatera, sur ces mêmes marnes jaunes, qu'il ne se développe pas d'horizons aussi compacts en profondeur, que dans les profils BA 3, EA 1, EA 6, EA 9. Nous verrons que cette différence morphologique ne doit sans doute pas être attribuée seulement à la teneur en argile.

Tous ces caractères sont la plupart du temps en liaison avec la couleur Munsell :

- 2,5 Y 7/2 sur marne crétacée ou oligocène plus calcaire,
- 10 YR 5/3 ou 5 Y 6/3 à 5 Y 5/2 sur marne bleue tortonienne,
- 2,5 Y 6/4 à 2,5 Y 6/3 sur marnes tortoniennes jaunes.

En résumé on peut dire que les teneurs en argile supérieures à 40 % avec des taux de calcaire de 20 % favorisent le développement d'horizons profonds compacts lorsque les conditions topographiques le permettent.

### 3. La saturation du complexe adsorbant

#### a) *Sols vertiques*

Dans de nombreux sols et en particulier *dans les sols vertiques* on est frappé par l'évolution du type de saturation du complexe adsorbant de la surface vers la profondeur ; ce complexe est toujours saturé mais :

- en surface il est essentiellement calcique, avec des rapports de Ca/T toujours supérieurs à 80 % et souvent voisins de 90 %. Cette saturation correspond à un horizon de structure grumosolique ou polyédrique fine ;
- plus en profondeur, le taux de saturation calcique diminue un peu, mais reste toujours supérieur à 70 %. Ce sont les horizons à structure polyédrique moyenne à grossière.

Quand on aborde les horizons à structure prismatique large on a encore des taux de saturation calcique élevés mais ils ont cependant tendance à diminuer sans toutefois descendre sous des valeurs inférieures à 40 % de la capacité d'échange. Il faut noter également que, jusqu'à cette profondeur, il n'y a jamais de grandes quantités de sodium sauf dans les sols sodiques et le rapport Na/Ca ne dépasse pas 11 %.

Enfin en profondeur les horizons compacts qui surmontent les marnes voient généralement leur saturation calcique diminuer fortement, tandis que le complexe est saturé progressivement davantage en magnésium et en sodium.

En ce qui concerne les marnes en place, il faut souligner que leur type de saturation est souvent à forte proportion de sodium et de magnésium.

Puisque l'on admet que le sol en place se forme par altération de la roche-mère et comme celle-ci ne diffère des horizons qui la surmontent ni par sa teneur en argile, ni par la nature de ces argiles mais seulement par leur type de saturation, il faut donc admettre que la marne au cours de son évolution pédogénétique s'est trouvée dans des conditions qui ont joué *pour remplacer progressivement le magnésium et le sodium de son complexe par du calcium.*

Dès lors, ces conditions peuvent être facilement envisagées ; en effet, il faut pour cela que la solution du sol soit suffisamment calcique ; or toutes les marnes miocènes sont gypseuses d'une part, et on retrouve ce gypse dans les horizons profonds du sol alors qu'il a disparu des horizons de surface, d'autre part ; le rapprochement de ces observations nous conduit donc à envisager la solubilisation du gypse et son entraînement vers la profondeur. Durant ce processus, la solution du sol est nécessairement calcique et l'échange avec les ions du complexe peut se produire. Il en résulte une calcification des argiles dans les horizons de surface où le gypse a été mobilisé, et, au contraire, la présence en profondeur d'une argile dont les caractères se rapprochent de ceux de la marne en place, là où le sulfate de calcium s'immobilise sous forme de petites plaquettes ou lentilles.

Pour que cette pédogénèse ait lieu, et elle a eu lieu, il faut que le sol soit soumis à un régime hydrique suffisant pour lessiver le gypse. C'est ce qui se passe généralement sur des pentes moyennes à faibles, ou dans des vallons qui reçoivent les eaux d'un bassin versant important.

Lorsque la pente est forte, il n'y a plus percolation dans le sol ; seuls les horizons de surface peuvent être recalifiés par les eaux de ruissellement à moins qu'ils ne soient érodés. On aboutit alors aux régosols d'érosion dans lesquels la marne magnésienne sodique est toujours à proximité de la surface.

Connaissant maintenant le processus pédogénétique des sols sur marne gypseuse on est en droit de se demander quel est son rôle dans la morpho-

logie des types de sols et quel est son importance dans la systématique adoptée pour leur inventaire.

En effet, on peut, dès à présent, faire un rapprochement entre les caractères structuraux des sols vertiques sur marne, et le type de saturation du complexe adsorbant, en reliant les structures fortement exprimées (grumosoliques polyédriques ou prismatiques à une saturation fortement calcique et les structures fondues et compactes à la saturation plus forte, en sodium et en magnésium. Cette liaison est sans doute directe (de cause à effet) puisque nous connaissons le rôle flocculant du calcium et le rôle dispersant du sodium. Il reste néanmoins à déterminer le rôle du magnésium ce que nous verrons plus loin.

Une exception est à signaler cependant pour les horizons prismatiques des sols sodiques pour lesquels il faut sans doute invoquer le type d'argile.

On peut aussi se demander si l'absence de structuration, ou, plus généralement, la compacité des horizons ne peut pas trouver son origine dans la présence d'une roche-mère sodique et magnésienne. Cette hypothèse nous conduit à étudier le problème de la stabilité structurale des marnes en fonction de leur type de saturation mais également du type de saturation du complexe adsorbant dans le type de sols peu évolués ou moins évolués.

#### b) *Sol peu évolués*

Le cas particulier des sols jeunes peu évolués est à examiner en marge de ce qui vient d'être dit. En effet, on n'y trouve pas d'horizons structuraux caractéristiques comme dans les sols vertiques, tout au plus des horizons polyédriques fins à moyens peuvent se distinguer dans la partie supérieure du sol.

Autrement, sur tout le profil, on constate une très grande porosité. Parallèlement les complexes sont toujours calciques :

— *Sur marne crétacé* (voir profil OL 1) ou oligocène, on a souvent des sols qui ne présentent aucun horizon structural, et aucune variation des taux d'argile ou de calcaire ; par ailleurs, il existe une grande porosité tout le long du profil et parfois jusqu'à deux mètres ; la structure semble être faite de petits agrégats sans forme définie « collés » les uns aux autres, et laissant subsister des vides entre eux. On constatera que, parallèlement, les complexes sont fortement calciques tandis que *le type de saturation ne varie pas vers la profondeur*. Il faut remarquer que ce type de saturation calcique uniforme tout le long du profil, ainsi que les teneurs en calcaire



total plus élevées et la plus faible teneur en argile montmorillonitique sont les seuls caractères qui permettent de distinguer *analytiquement* ces sols des vertisols. Il est à noter que leur porosité et leur structure se rattachent à celles des horizons supérieurs des vertisols où les rapports Ca/Mg ou Ca/Na échangeables sont précisément très élevés comme dans le cas présent.

Sur le plan de la pédogénèse on serait donc amené à penser que ces sols sont essentiellement des sols peu évolués d'apport sur matériaux colluvionnés provenant de l'érosion des horizons calciques des sols situés en amont. Il faut reconnaître que leur position topographique est très souvent en accord avec cette hypothèse mais on ne peut cependant pas exclure la présence d'une roche-mère calcique qui pourrait en s'altérant, donner naissance à un tel type de sol.

— *Sur marnes tortonienne jaunâtre* on peut faire les mêmes remarques concernant la grande analogie de tous les résultats analytiques à l'exception des teneurs en argile un peu moins élevées et surtout d'une saturation calcique du complexe jusqu'à proximité de la roche-mère (comparer les profils A.J. 1 et E.A. 1). Parallèlement, on peut constater (A.J. 1) qu'il ne se développe pas d'horizons compacts en profondeur mais, au contraire, un horizon structuré légèrement prismatique à nombreuses fissures. Ici encore cette structuration nettement exprimée est à opposer à la structuration massive propre aux saturations du complexe où le sodium, (et le magnésium ?) prend une plus grande importance.

#### 4. La répartition du gypse

Parallèlement à ce qui a été dit, on constate que le gypse est le seul élément *mobile* des sols sur marnes miocènes avec les sels solubles.

On a vu que les horizons supérieurs des sols étaient lessivés en gypse jusqu'à des profondeurs variables, sauf si la pente est trop forte auquel cas, au contraire, les marnes en place sont généralement à faible profondeur et le gypse est présent jusque dans les horizons de surface (régosols).

On a vu aussi comment, dans ce mouvement la solution du sol arrivait à saturer le complexe absorbant en calcium jusqu'au moment où, par recristallisation, le gypse s'immobilise.

C'est cette individualisation dont on peut parler maintenant. Elle se fait sous deux formes :

— des petites plaquettes incluses dans la masse argileuse des horizons profonds et disposées sans aucune orientation apparente. Leur taille dépasse rarement le centimètre. Cette individualisation concerne plus particulièrement les horizons pédologiques ;

— des lames continues d'un demi-centimètre d'épaisseur qui s'établissent obliquement mais sans orientation préférentielle, sauf dans certains cas où elles se disposent en profondeur, parallèlement à la pente de surface. Elles traduisent alors l'effet des deux composantes du drainage, latérale le long du versant, et verticale à l'intérieur du profil. Elles provoquent sans discussion possible le mouvement du gypse à travers la masse argileuse.

On peut cependant s'étonner de voir le gypse s'individualiser à des profondeurs qui ne sont pas, ou sont très rarement, atteintes par les eaux de percolation, on peut se demander alors si dans beaucoup de cas ce lessivage n'est pas le résultat de phénomènes anciens qui se seraient manifestés sous des régimes de précipitations beaucoup plus importantes que ceux d'aujourd'hui. Cette hypothèse paraît, en tous cas, pouvoir s'accorder avec les faits.

Enfin, il faut signaler que les dépôts marneux en place (roche-mère) sont véritablement hachés de lames gypseuses qui se sont installées entre les faces des blocs marneux fissurés en formant de grandes surfaces continues à l'image des grandes faces de glissement que l'on trouve dans les horizons profonds des vertisols modaux.

Cet aspect, joint aux fentes en coin des blocs marneux, fait penser à une énorme masse visqueuse qui s'est desséchée progressivement au retrait des eaux, en se contractant et en créant dans sa masse des faces de glissement continues ; celles-ci ont été occupées par le gypse solubilisé dans les couches supérieures et réalisent alors de vastes plans obliques de  $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Cette fois-ci, il ne fait pas de doute qu'il s'agit véritablement de phénomènes fossiles car cette disposition peut se retrouver jusqu'à six-sept mètres de profondeur au moins.

On retiendra finalement la présence du gypse là où les argiles sont magnésiennes ou sodiques, et son absence là où l'argile est calcique. Cette relation peut paraître paradoxale, en fait elle est parfaitement logique, si on sait que la calcification du complexe doit se faire par l'intermédiaire de la solution du sol. Elle traduit cependant le caractère non actuel du processus.

Enfin, dans le même ordre d'idées, on peut souligner que le type de saturation du complexe absorbant est indépendant des taux de calcaires pourtant importants du sol. Ceci met bien en évidence l'immobilité du  $\text{CO}_3\text{Ca}$  contrairement à la mobilité du  $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ .

### 5. Les sels solubles autres que le sulfate de calcium

Il s'agit essentiellement des chlorures et principalement des chlorures de sodium ; il faut souligner pour ces sels une localisation pratiquement identique à celle du gypse. Leur grande solubilité fait penser qu'un lessivage important les a conduits en profondeur. Toutefois, comme pour le gypse d'ailleurs, on les trouve présents dans les marnes et il semble alors que leur répartition géographique aussi bien que les teneurs soient assez anarchiques.

Tout au plus peut-on dire que leur présence est fréquente dans les séries marneuses voisines des affleurements de trias et plus fréquents dans les niveaux tortoniens qu'helvétiques. L'helvétien, le crétacé et l'oligocène(?) sont souvent exempts de salure, du moins quand ils ne reçoivent pas les eaux d'un bassin versant salé.

A l'intérieur des profils, la localisation du sel se fait en profondeur dans les horizons massifs et on la retrouve au sein de la roche mère avec des taux variables. Comme les sols sont plus ou moins épais, la profondeur à laquelle on trouvera le sel est variable. Cette salure dépendra donc surtout de la proximité de la roche mère, qui en possède toujours dans les séries tortoniennes par exemple. On pourra donc avoir des régosols salés (voir profil OM 3) aussi bien que des vertisols vertiques salés (voir profil AKP 1). Le caractère salin ne détermine généralement ni la classe, ni la sous-classe, ni le groupe. Tout au plus peut-on le faire intervenir au niveau du sous-groupe si la structuration en est dépendante, mais le plus souvent au niveau de la famille puisque c'est un caractère de la roche mère.

## III. LA STRUCTURE DU SOL

## 1. La stabilité structurale et le rôle du magnésium par rapport au sodium et au calcium

On a vu que la saturation des argiles a été évoquée dans presque tous les traits essentiels de la pédogénèse. C'est en effet elle qui peut expliquer la morphologie des profils et mettre en évidence le rôle présumé des différents cations échangeables  $\text{Ca}^{++}$  —  $\text{Mg}^{++}$  —  $\text{Na}^+$  — du complexe.

On a montré, par ailleurs, qu'il existait un certain parallélisme entre la structure fortement marquée et la dominance du calcium sur le complexe ; de même entre l'absence de structure et la présence de  $\text{Na}^{++}$  et

## Quelques résultats de stabilité structurale sur matériaux marneux

N° d'enregistr.	Agrégats stables à l'eau %	Agrégats stables à l'alcool %	Agrégats stables au benzène %
146,1	49,13	75,76	4,00
146,6	41,46	68,31	3,36
152,1	35,78	72,35	5,46
152,6	2,60	32,81	1,07
189	43,67	3,04	21,03
151,2	47,76	65,28	10,36
151,4	43,46	62,91	2,39 (G)
152,3	59,86	72,08	32,27
1511	50,80	74,92	17,03
1513	56,96	74,12	10,95
1531	57,29	75,30	39,40
2	60,23	72,22	42,54
3	24,68	5,92	16,32
4	11,22	9,39	8,27
1631	39,03	75,46	2,51
2	25,89	44,00	3,62 (G)
3	13,00	14,82	7,74 (G)
4	2,97	2,71	1,40 (G)
5	0,71	1,09	0,84
1921	44,28	73,04	2,13
2	41,47	69,29	1,30

N° d'enregistr.	Agrégats stables à l'eau %	Agrégats stables à l'alcool %	Agrégats stables au benzène %
1931	62,33	78,61	1,93
2	44,10	61,27	1,86
1941	56,51	78,96	3,61
2	24,84	48,59	1,52
1881	3,24	0,33	1,45
2	0,29	12,75	
1951	15,68	52,59	1,00
2	5,80	25,95	
1971	46,76	76,16	11,76
2	59,06	80,92	7,64
3	37,46	73,26	1,02
4	51,10	72,83	0,33
1591	47,03	69,25	3,37
2	41,80	63,87	3,34
3	41,12	53,48	2,60
4	9,66	7,57	4,52 (G)
1525	21,12	59,56	6,89 (G)
1851	54,10	73,71	13,89
2	44,42	69,35	0,84
1901	69,13	82,87	21,24
2	17,67	71,02	0,45
1961	21,85	63,92	1,51
2	3,05	18,63	0,43
3	8,71	23,81	0
1091	11,60	56,94	3,02
2	21,24	57,13	1,84
3	19,94	53,45	2,61
4	17,93	38,16	1,59
1981	37,97	72,22	6,25
2	45,33	74,44	2,41
3	22,65	69,55	1,08
1991	39,80	68,58	3,51
2	57,05	77,29	9,59
3	63,19	76,69	24,15 (G)

Mg<sup>++</sup>; il reste à chiffrer l'influence relative de ces différents cations sur la stabilité structurale pour montrer qu'ils sont bien la cause des différences morphologiques observées dans le profil. Pour cela, nous avons appliqué la méthode Henin à différents échantillons de sols (horizons caractéristiques) et à différentes marnes. Seuls des tamisages avec prétraitement à l'air, à l'alcool et au benzène, ont été faits à l'aide de l'appareil de Féodorof. Nous avons renoncé aux mesures de perméabilité devant les difficultés soulevées par les fortes teneurs en argiles montmorillonitiques.

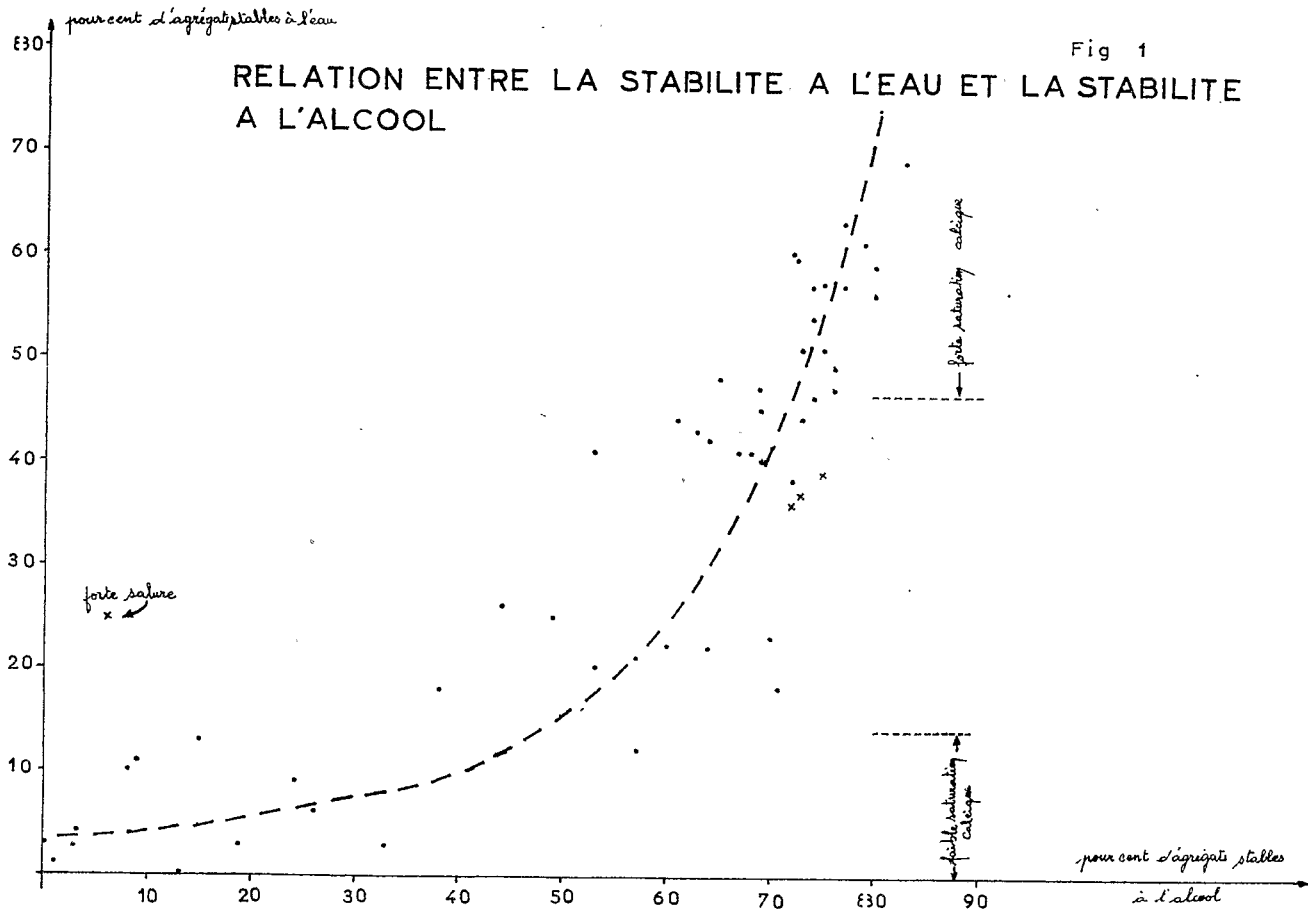
Parmi les résultats que l'on trouvera dans les tableaux ci-contre on constatera d'abord que le tamisage avec prétraitement au benzène nivelle tous les échantillons puisque tous sont totalement instables. Pour distinguer de plus fortes variations de stabilité nous avons donc préféré ne considérer que les taux d'agrégats stables à l'eau et à l'alcool. Le graphique 1 illustre les variations de stabilité des différents échantillons.

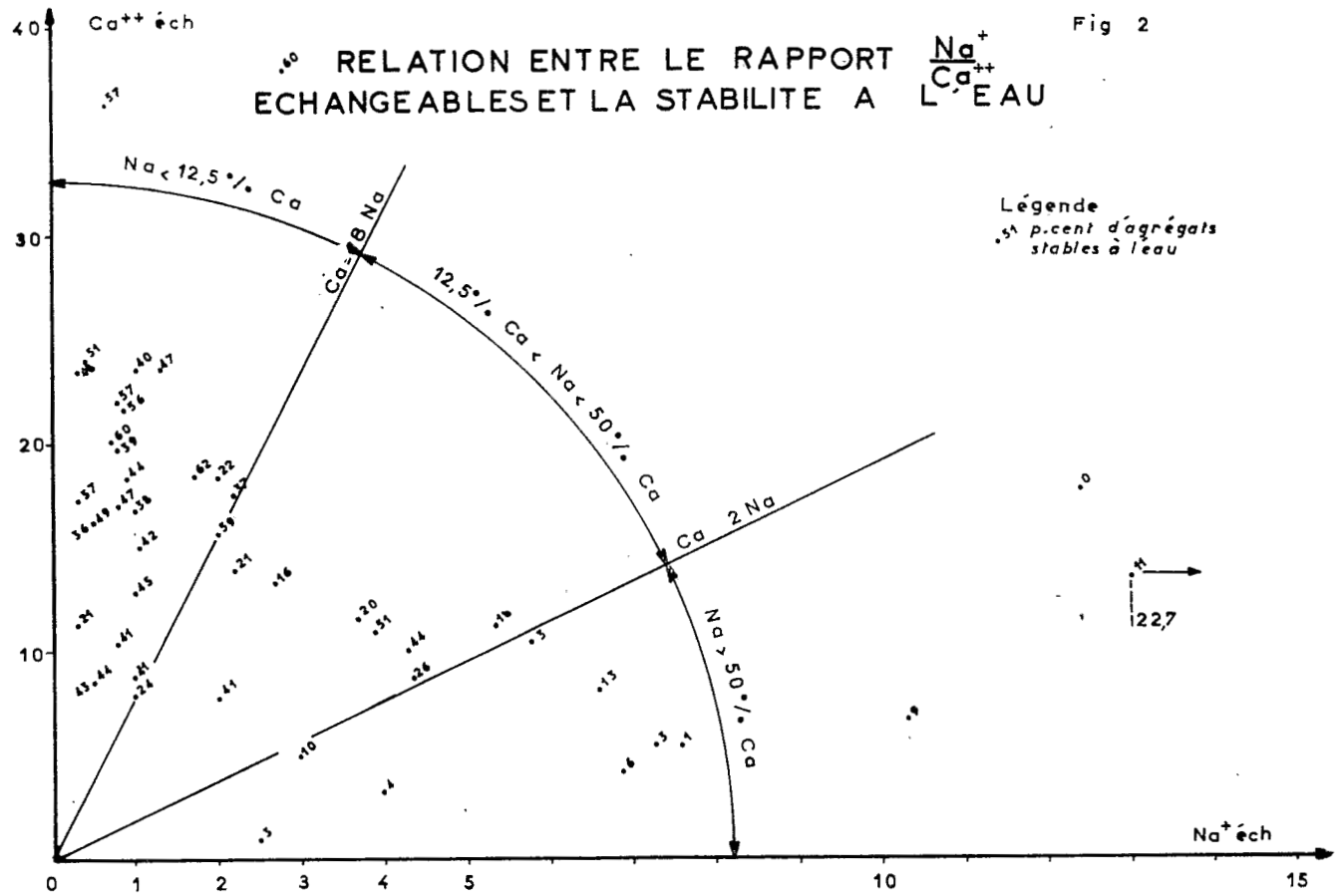
On peut les classer en deux groupes assez nets. L'un, pour lequel les stabilités à l'air et à l'alcool sont très élevées avec une plus grande sensibilité au prétraitement à l'air : il s'agit de complexes fortement calciques. L'autre pour lesquels les stabilités à l'eau sont très basses et celles à l'alcool un peu moins basses : ce sont les échantillons dont le complexe est très sodique.

Cette première constatation n'est pas nouvelle en elle-même, mais la vérification étant faite pour notre échantillonnage, nous avons dressé les abaques donnant la stabilité structurale, en fonction des deux rapports  $\text{Na}^{++}/\text{Ca}^{+}$  d'une part et  $\text{Na}^{+}/\text{Ca}^{++} \text{Mg}^{++}$  d'autre part (voir fig. 2 et 3). Pour cela chaque point est placé en fonction de ses coordonnées rectangulaires  $\text{Na}^{+}$  et  $\text{Ca}^{++}$  échangeables ou  $\text{Na}^{+}$  et  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ , tandis qu'il est affecté de son pourcentage d'agrégats stable à l'eau. Nous avons choisi la stabilité à l'eau car c'est elle qui conditionne le sol sur le terrain, mais c'est elle, aussi, qui fournit des variations plus progressives de la stabilité au laboratoire. La matière organique toujours en faible quantité a été négligée. De toutes façons, on sait qu'elle agit dans le même sens que le calcium et c'est précisément là où le calcium est en forte quantité que ces taux de matière organique sont un peu plus importants.

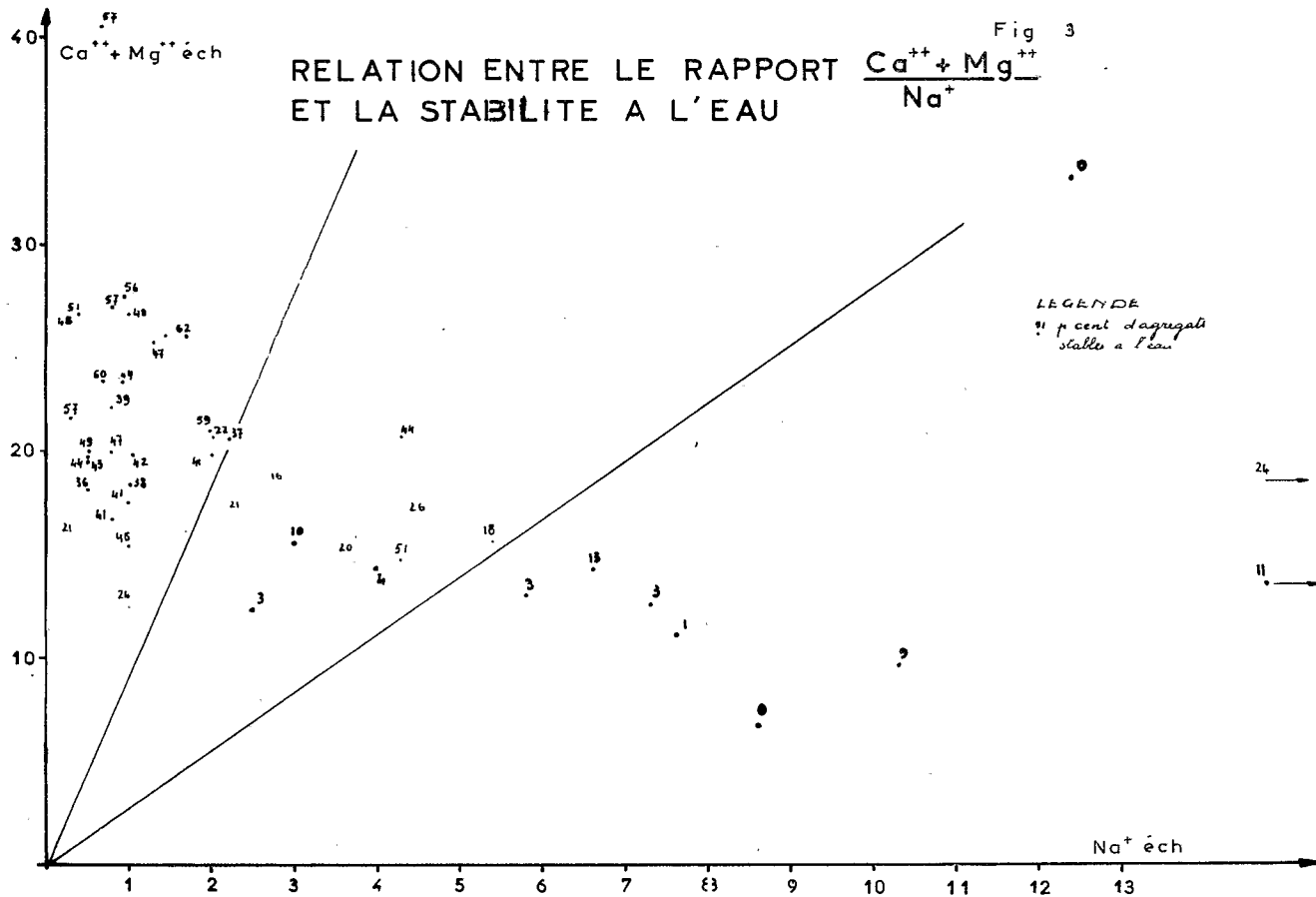
La figure 2 permet de distinguer des secteurs limités par des droites issues de l'origine :

— un secteur correspondant à un rapport  $\text{Na}^{+}/\text{Ca}^{++}$  supérieur à 0,50 et où les taux d'agrégats stables à l'eau sont inférieurs à 13 % ;









— un secteur intermédiaire où les taux de stabilité chutent rapidement sous la valeur 20 ;

— un secteur correspondant à un rapport  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$  inférieur à 0,125 et où les taux d'agrégats stables à l'eau sont presque tous supérieurs à 40.

On notera qu'il est intéressant de retrouver sensiblement ici la limite du rapport  $\text{Na}/\text{Ca}=0,12$  qui définit les sols à alcalis. Par ailleurs, la possibilité de faire une telle distinction entre tous les échantillons, et malgré la présence de quelques points aberrants, prouve que les facteurs mis en cause,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Na}^+$  en l'occurrence, sont déterminants pour caractériser la stabilité structurale de ces sols marneux. Néanmoins, on peut être frappé par la présence simultanée du magnésium et du sodium sur le complexe absorbant, et on peut se demander le rôle qu'il faut attribuer à chacun de ces cations.

Une approche de cette détermination peut être faite de la façon suivante :

Il était intéressant d'étudier la stabilité en fonction du rapport  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$  étant donné le rôle stabilisant du  $\text{Ca}^{++}$ , et, au contraire, le rôle dispersant du sodium. Nous étions certains à l'avance de l'antagonisme des influences des deux cations à l'égard de la stabilité structurale.

Si, à présent, nous voulons étudier l'influence du  $\text{Mg}^{++}$  on peut par exemple lui attribuer à priori une action floculante. Dans ce cas et comme précédemment, nous devons obtenir une répartition des échantillons par zones si on étudie la stabilité structurale en fonction du rapport  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ .

La figure 3 traduit cette nouvelle représentation. On peut y constater par rapport à l'abaque précédent que *les échantillons de grande stabilité structurale restent groupés* ; il semble donc que pour eux l'influence du calcium soit suffisante pour assurer cette forte stabilité.

Le secteur intermédiaire groupe également les mêmes points, mais sont venus s'y adjoindre trois points de grande instabilité structurale (3, 10, 4). Ces trois points ne sont visiblement plus dans leur classe de stabilité. On peut donc dire que le magnésium n'a pas, à l'égard du sodium le même rôle antagoniste que le calcium en ce qui concerne son influence sur la stabilité structurale.

En ce qui concerne le troisième secteur, on y trouve toujours les mêmes échantillons à forte instabilité à l'eau. Il semble donc que dans ce cas aussi le magnésium ne modifie pas l'influence prépondérante du sodium.

Cherchant alors l'influence plus précise de  $Mg^{++}$  nous avons étudié directement les influences du rapport  $Na^{+}/Ca^{++}$  sur le taux d'agrégats stables à l'eau, puis successivement, et l'influence des rapports  $Na^{++}Mg^{++}/Ca^{+}$  en considérant  $Mg^{++}$  comme dispersant, et l'influence du rapport  $Na^{+}/Ca^{++}+Mg^{++}$  en considérant  $Mg^{++}$  comme flocculant. Les relations sont données dans les graphiques ci-joints : elles sont de la forme : Stabilité =  $R^k$ .

On obtient les résultats suivants :

- a)  $\text{Log. stabilité} = -0,55 \log. Na/Ca+Mg + 1,93$   
avec  $r = -0,72$
- b)  $\text{Log. stabilité} = -0,62 \log. Na+Mg/Ca + 2,46$   
avec  $r = -0,70$
- c)  $\text{Log. stabilité} = -0,52 \log. Na/Ca + 2,00$   
avec  $r = -0,78$

Si on recherche une corrélation linéaire on obtient :

- a) stabilité =  $-0,45 Na/Ca+Mg + 42,6$   
avec  $r = -0,66$
- b) stabilité =  $-0,04 Na+Mg/Ca + 38,1$   
avec  $r = -0,49$
- c) stabilité =  $-0,25 Na/Ca + 43,1$   
avec  $r = -0,74$

La comparaison des coefficients de corrélation qui donne l'intensité des liaisons entre les facteurs considérés est donnée dans le tableau suivant :

	Na/Ca	Na/Ca+Mg	Na+Mg/Ca
Corrélation linéaire . . . . .	-0,74	-0,66	-0,49
Corrélation exponentielle . . . .	-0,78	-0,72	-0,70

On peut constater que la liaison est toujours meilleure entre la stabilité structurale et le rapport  $Na/Ca$ , en particulier dans le cas d'un ajustement linéaire direct. Il est donc vraisemblable que l'intervention du magnésium telle qu'elle a été envisagée c'est-à-dire aussi bien dans le sens de la flocculation que dans le sens de la dispersion, détériore la corrélation.

Par ailleurs si on considère l'ajustement exponentiel qui paraît meilleur, on peut constater un certain parallélisme des droites de régression logarithmique.

On est donc en droit de supposer que la nature de la liaison reste la même dans le cas des trois rapports de cations considérés.

Il faut conclure finalement que le magnésium ne joue pas de rôle direct dans l'état de stabilité de la structure.

En résumé on peut dire que du point de vue de l'influence des cations adsorbés sur la stabilité des argiles, tout se passe comme si le sodium et le calcium étaient seuls en présence, la stabilité étant déterminée par le rapport  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ , avec un seuil de 0,125 au-dessus duquel l'instabilité s'accuse brutalement.

En ce qui concerne le magnésium, il faudrait donc considérer qu'il n'a qu'un rôle « passif », sa présence en grande quantité n'intervenant que pour limiter la place occupée par le calcium et donc pour provoquer indirectement une élévation du rapport  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ . Les sols étant tous saturés, il faut pour admettre cette dernière conclusion, supposer qu'une place occupée sur le complexe, par le magnésium, est une place que pourrait occuper le calcium plus facilement que le sodium.

Nous avons donc étudié les deux corrélations :

calcium - magnésium  
et sodium - magnésium

dans tous nos échantillons.

En effet, si la fixation du calcium ou du sodium se fait aux dépens du magnésium nous devons trouver des corrélations négatives : lorsque l'un des cations augmente l'autre doit diminuer. Il faut toutefois exclure les échantillons de marne en place non altérée et pour lesquelles les phénomènes pédogénétiques ne sont pas intervenus.

Le calcul donne les résultats suivants :

corrélation Ca-Mg :  $r = -0,43$

corrélation Na-Mg :  $r = -0,17$ .

On peut donc conclure que dans les sols considérés, tout se passe comme si effectivement le magnésium jouait un rôle d'occupant des lieux, contribuant à faire varier le rapport  $\text{Na}/\text{Ca}$  et donc contribuant seulement par voie indirecte, aux variations de stabilité structurale.

Il faut noter que cette conclusion ne concerne que les types de sols avec, en particulier, des taux de magnésium atteignant rarement 50 % de la capacité d'échange et se situant généralement en dessous de 30 %.

Enfin, on a pu noter dans le tableau analytique que les différents types d'horizon se répartissent de la façon suivante :

Marnes en place tortoniennes : taux d'agrégats stables à l'eau : 20 %.

Horizons massifs ou base des horizons prismatiques larges : taux d'agrégats stables compris entre 40 et 10 %.

Horizons à structure polyédrique ou grumosolique : taux d'agrégats stables supérieur à 40 %.

Un cas particulier doit être fait pour les marnes helvétiques qui se révèlent plus stables que les marnes tortoniennes grâce à une teneur en sodium plus faible.

De même les marnes crétacées de l'Oued Leben se révèlent aussi très stables et sans doute pour les mêmes raisons.

On voit donc que pour ces sols l'instabilité à l'eau s'accuse avec la profondeur. Nous verrons plus loin l'incidence capitale que ce caractère aura sur le plan agricole.

Il est important de souligner ces résultats, car ils vont permettre de comprendre les variations de comportement des arbres sur les différents types de sols, et d'étudier les différents types d'intervention.

## 2. Interprétation de l'état structural des divers horizons

La stabilité structurale est l'un des points essentiels du comportement de ces sols à l'égard de l'eau, et nous verrons son incidence sur le plan de l'érosion.

L'état structural, tout en exerçant son action sur le mouvement de l'eau par l'intermédiaire des fissures de la macroprosité ou des capillaires de la microprosité, joue cependant aussi un rôle très important à l'égard de l'enracinement. On peut donc se demander dans le cas présent comment ont pu se développer des types de structure aussi différenciés que ceux décrits dans les sols sur marne.

Rappelons qu'il s'agit des structures suivantes :

polyédrique	fine à moyenne	en surface
polyédrique	moyenne à grossière	à une dizaine de cm de profondeur
prismatique	large	dans l'horizon B structural
continue	massif	en profondeur

Après les résultats obtenus sur les causes essentielles de la stabilité structurale on pouvait se demander si les mêmes causes entraînent en jeu dans l'élaboration d'une structure déterminée.

On a donc classé les horizons par type de structure et on y a ajouté la roche mère, c'est-à-dire la marne en place. Le classement étant fait, on a cherché à caractériser chaque type d'horizon par le type de saturation des argiles.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus concernant la caractérisation des horizons par les valeurs Na/Ca, Ca, Ca/Mg.

La comparaison statistique fournit les éléments d'interprétation suivants :

**Saturation du complexe adsorbant des différents types de structure**

	Nombre d'échant.	M o y e n n e		
		Na/Ca	Ca	Ca/Mg
Structure polyédrique				
— fine à moyenne . . . . .	7	4,73	20,4	6,2
— moyenne à large . . . . .	6	6,9	18,9	4
Structure prismatique large	6	6,2	18,3	3,2
Structure continue massive	11	37,7	7,7	0,82
Roche-mère, marne torton.	7	182	3,6	0,4

a) *pour le calcium*

	Somme des carrés	Degré de liberté	Variance	F
Variation totale . . . . .	1 916	36		
Variation des traitements . . . . .	1 086	4	271,5	$\frac{V_1}{V_2} = 10,5$
Variance de l'erreur . . . . .	830	32	25,9	F = 3,97

Pour P=0,01 d=9,75 (plus petite différence significative)  
 P=0,05 d=7,42

On constate donc que les trois premiers types de structure ne sont pas significativement différenciés par le taux de calcium du complexe.

Par contre la structure continue massive et la marne en place sont significativement différentes des trois premiers types de structure.

b) pour le rapport Ca/Mg

	Somme des carrés	Degré de liberté	Variance	F
Variation totale ....	249	36		
Variation des traitements ...	167	4	41,6	$\frac{V_1}{V_2} = 16,2$
Variance de l'erreur .	82	32	2,56	F = 3,97

Pour P=0,01 d=3,24  
P=0,05 d=2,4

Les conclusions sont les mêmes que pour le calcium.

c) pour le rapport Na/Ca

	Somme des carrés	Degré de liberté	Variance	F
Variation totale ....	424 035	36		
Variation des traitements ...	157 720	4	39,430	$\frac{V_1}{V_2} = 4,23$
Variance de l'erreur .	266 315	32	8,322	F = 3,97

Pour P=0,01 d=184  
P=0,05 d=138  
P=0,10 d=116

Seule la marne en place est donc significativement différente des horizons à la probabilité 0,05.

Analyses minéralogiques de quelques profils

			Prof. (cm)	I	C	V	M	I-S	K	At	calcite	Q
MY 92	1244	1325	40-50	f	f	abs	F	mf (M)	tr	tr	tr	tr
	1245	1328	100-120	f	f	abs	F	mf (M)	tr	f	tr	tr
	1246	13211	200-210	f	f	abs	FF	f (M)	tr	tr	tr	tr
OM	1247	1522	20-40	f	f	abs	F	f (M)	abs	tr	tr	tr
P11	1248	1523	50-70	f	f	abs	F	f	tr	tr	abs	tr
	1249	1526	100-200	f	f	abs	F	f	abs	tr	tr	tr
D	1250	892	30-40	f	f	abs	mF	f	tr	abs	abs	abs
EA1	1251	894	80-90	f	f	abs	F	f	tr	abs	abs	tr
	1252	895	130	f	f	abs	FF	f	tr	abs	abs	abs
AK	1253	8221	0-20	f	f	abs	FF	f	?	tr	abs	tr
	1254	8223	40-60	f	f	abs	FF	f	abs	tr	abs	tr
	1255	8225	80-100	f	f	abs	FF	f	abs	tr	tr	tr

Légende :  
 tr = trace  
 abs = absence  
 ff = très faible  
 f = faible  
 mf = moyennement faible  
 F = forte  
 FF = très forte



En éliminant du calcul la marne en place, en raison de sa non-évolution pédologique et de ses teneurs particulièrement fortes en sodium, on aboutit à la différenciation significative de l'horizon à structure continue massive par rapport aux autres structures.

On peut donc conclure que les structures polyédriques fines à moyennes, moyennes à larges, ou prismatiques larges ne peuvent pas être différenciées par le type de saturation du complexe adsorbant à l'inverse de la structure continue massive qui est sans doute induite par le rapport Na/Ca plus élevé. Que la structure continue massive soit provoquée par la présence du sodium, il n'y a pas lieu de s'en étonner ; par contre l'absence d'influence du facteur chimique sur la structuration polyédrique large est plus surprenante.

On a cherché une autre cause dans la nature chimique ou minéralogique des sols mais nous n'avons pu en trouver, ni en ce qui concerne la matière organique totale ni en ce qui concerne la nature des argiles comme en témoigne le tableau annexé. On est donc amené à conclure que ce sont des facteurs physiques qui créent cette structure et l'hypothèse qui peut être invoquée devant mettre en jeu des facteurs différentiels entre la surface du sol et la profondeur, il est logique d'incriminer *le rythme d'humidification et de dessiccation successives*.

Cette conclusion est capitale du point de vue agronomique car elle permet, en liaison avec la stabilité structurale, de suggérer un travail intense du sol en profondeur qui permettrait de mettre plus facilement à la disposition des racines les matériaux constitutifs des énormes blocs prismatiques de profondeur.

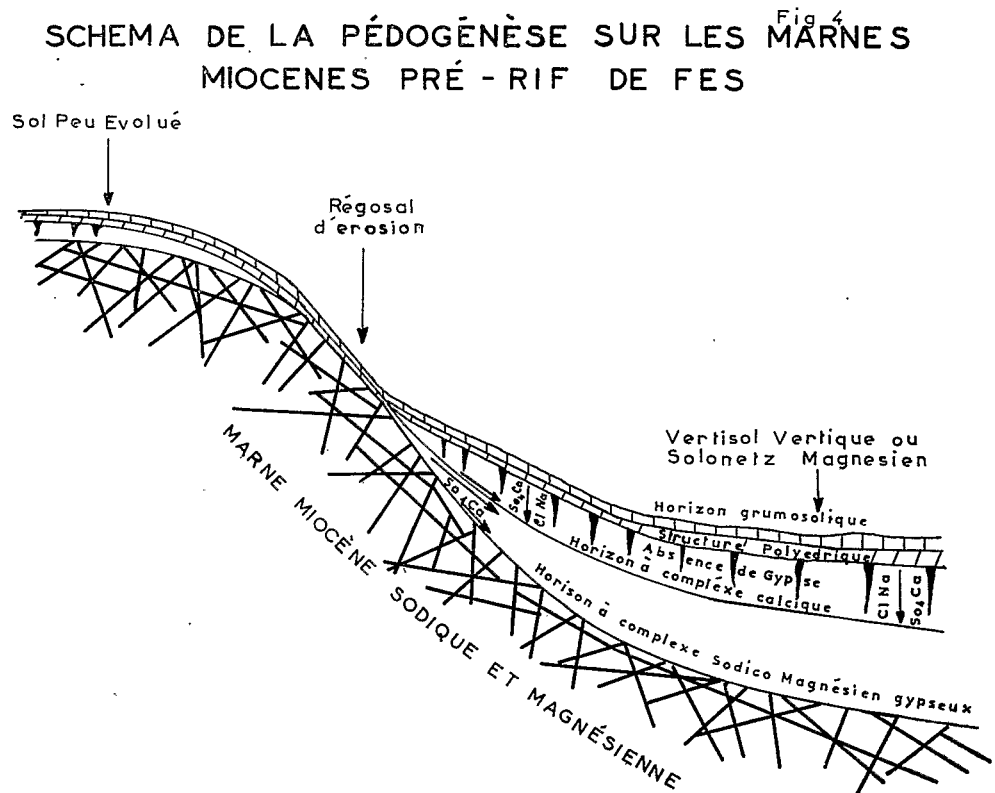
#### IV. SYNTHÈSE : RÔLE DU DRAINAGE

##### Pédogénèse schématique

La pédogénèse de tous les sols étudiés est finalement dominée par un seul phénomène : le lessivage du gypse et, avec lui bien entendu, celui des sels solubles lorsque ceux-ci existent, ainsi que le déplacement du sodium et du magnésium.

Ce phénomène est à l'origine de toutes les morphogénèses et de toutes leurs variations dans l'espace.

SCHEMA DE LA PÉDOGÉNÈSE SUR LES MARNES  
MIOCÈNES PRÉ - RIF DE FES



En effet, le lessivage va s'intensifier lorsque le ruissellement diminuera et inversement : le rôle de la pente va donc être fondamental. Les horizons du sol où le gypse pourra être solubilisé sont évidemment ceux dans lesquels l'eau peut circuler ; la texture étant très argileuse, et les précipitations faibles, la profondeur des horizons intéressés par les précipitations hivernales dépasse rarement 80-100 cm. Si la pente croît nous verrons cette profondeur diminuer.

a) En d'autres termes, les horizons grumosoliques ou polyédriques très calciques existeront sans doute partout puisque, même dans le cas de pentes fortes les eaux de ruissellement se chargeront en gypse et satureront les complexes des horizons de surface en calcium. Dans ce dernier cas, toutefois, ils auront une épaisseur très réduite.

b) Les horizons prismatiques et sodiques se développeront de plus en plus profondément au fur et à mesure que la pente deviendra faible.

c) Les horizons compacts et sodiques se développeront dans les mêmes conditions que les précédents avec, en plus, la possibilité de récupérer le sodium des horizons supérieurs ou des sols en amont.

d) Enfin, la marne en place sera d'autant plus proche de la surface que la pente sera forte, et qu'elle sera elle-même imperméable.

On voit donc les sols s'approfondir vers les bas de pente ou, plus généralement, dès que la topographie est plus douce. En même temps, cet approfondissement des sols se traduit par la présence de deux types d'horizons, l'un prismatique large, l'autre massif compact et souvent sodique ou magnésien.

Il faut rappeler que dans presque tous les cas, les horizons à structure prismatique sont dépourvus de gypse, contrairement aux horizons massifs. Comme le gypse est à l'origine de la saturation calcique du complexe argileux il faut admettre que cette saturation est liée à la solubilisation du  $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ . Inversement, on peut conclure que les horizons massifs, où le gypse est individualisé, et où le complexe est encore sodique, ne sont pas habituellement humidifiés par les précipitations d'hiver, c'est d'ailleurs ce que nous avons vérifié sur le terrain au cours des précipitations de l'hiver 1967-68.

### Les Bad-Lands

Dans le cas de pentes fortes, l'eau ruisselle en surface, et ne s'infiltre pas. Tout au plus, une dizaine de centimètres vont s'humidifier, et l'eau va s'écouler au niveau de cette profondeur, entraînant avec elle une cer-

taine quantité d'éléments fins. Il va se produire des rigoles d'érosion puis des véritables griffes qui vont cisailer la pente ; c'est la naissance du « Bad-Land ». Bien entendu, le sol ne peut évoluer dans de telles conditions, la marne étant écorchée chaque hiver : on obtient un régo-sol. Le mécanisme est d'autant plus facilité que la marne est sodique ou magnésiennes. C'est pourquoi les « Bad-Lands » se forment de préférence sur des marnes salées.

Il faut enfin ajouter que le profil du Bad-Land résulte de deux mécanismes :

- 1° le ruissellement de surface qui décape la marne progressivement,
- 2° le ravinement proprement dit qui approfondit les fonds de thalwegs (voir cliché 1). Dans ce cas le versant du Bad-Land se met en équilibre et les horizons superficiels marneux glissent sur le plan du Bad-Land par simple gravité.

Les pentes souvent très fortes montrent bien que le deuxième mécanisme est prédominant sur le premier.

On notera qu'à moins d'être dans le fond d'une véritable vallée d'oued, il n'y a que très rarement des cônes de colluvionnement du fait que les matériaux emportés par les eaux sont des matériaux fins, et que les pentes sont fortes.

Sur les croupes enfin, et suivant la nature de la marne on trouve des conditions d'évolution du sol en place. On n'a généralement pas d'horizon compact, et les horizons à structure prismatique sont peu développés, sans doute du fait d'un drainage intense vers les pentes.

### Cas particuliers

A l'intérieur de ce schéma des mécanismes de la pédogénèse, il faut cependant signaler un certain nombre de cas particuliers.

— Tout d'abord, il n'est pas impossible, quoique peu courant, de trouver du gypse dans les horizons prismatiques de surface. Cette présence n'est nullement incompatible avec les processus pédogénétiques précédemment décrits. Elle traduit simplement un stock initial de la roche mère en gypse, particulièrement important. On peut affirmer par contre qu'il n'y a jamais d'exception à la présence du gypse dans les horizons compacts.

— Lorsque le sol se trouve en position drainée comme sur une croupe par exemple, il est soumis à la seule pluviosité verticale et l'altération de la roche mère sera essentiellement fonction de la perméabilité. Il apparaît que dans ces conditions l'altération est lente et, dans la plupart des cas, on a affaire à des sols peu évolués où les horizons lessivés en gypse sont peu épais.

— On peut trouver sur des bas de pente des sols peu évolués qui proviennent sans doute de l'érosion des horizons supérieurs des sols en amont, si on en juge par la nature très calcique du complexe absorbant et l'absence de gypse. Il n'est pas impossible dans ces cas précis que la roche mère soit initialement dépourvue de gypse.

— Les sols salés ou à alcali souvent situés en bas de pente où ils reçoivent de l'amont les solutions salines. On peut cependant les trouver dans n'importe quelle position topographique si la roche mère est elle-même salée (v. profil OM 3, clichés 1 et 2). On peut encore les trouver dans certains thalwegs où les eaux de ruissellement amènent les sels du bassin versant amont.

## CHAPITRE IV

## LES PROBLÈMES DE MISE EN VALEUR DES SOLS SUR MARNES MIOCÈNES

---

Comme nous l'avons vu la mise en valeur des marnes du Prérif est axée avant tout sur la lutte antiérosive. La reforestation doit donc d'abord s'efforcer d'atteindre cet objectif, avant toutes considérations d'ordre économique.

Néanmoins, même si on n'envisage pas la rentabilité des plantations, il n'en demeure pas moins que l'objectif antiérosif ne peut être atteint si les essences utilisées présentent une adaptation insuffisante aux sols considérés. C'est en effet de cette adaptation que dépendra la densité de la couverture du sol, et la bonne fixation des terrains par des systèmes radiculaires normalement développés.

Il nous faut donc examiner en premier lieu le problème de la vocation forestière des différents sols. Nous verrons ensuite les solutions à adopter dans les différents cas en fonction des essences.

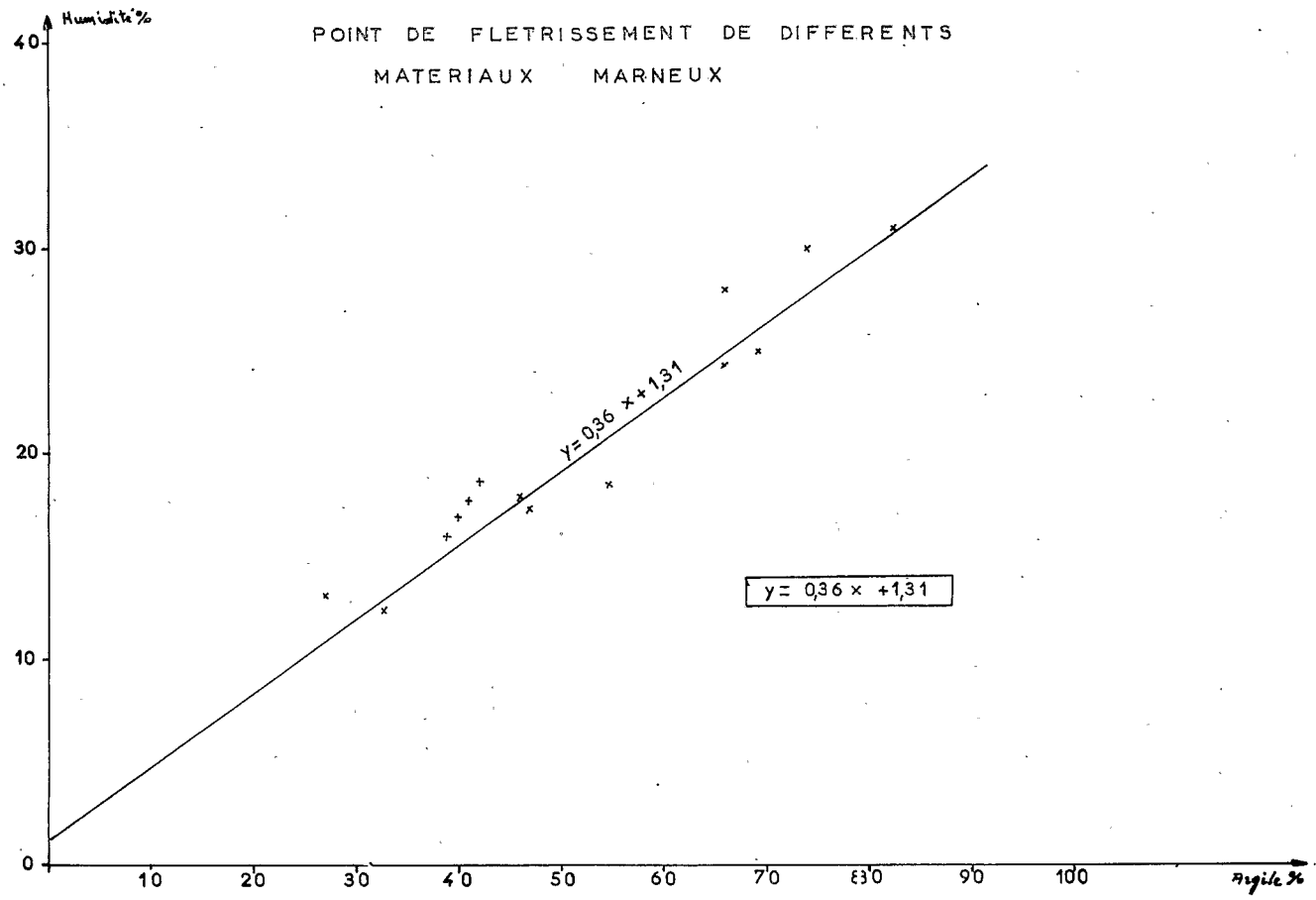
### I. FACTEURS DE BASE DES VOCATIONS FORESTIÈRES

#### A. Caractères « agrolologiques » des sols

La connaissance précise des types de sols sur marne, et de leur pédogénèse, permet de mettre en évidence un certain nombre de caractères essentiels qui se répartissent suivant les sols avec une intensité variable.

Rappelons ces caractères qui sont les suivants :

- 1° teneur en argile, forte, homogène et de type montmorillonitique tout le long de chaque profil pris isolément ;



- 2° forte structuration ou absence de structuration des différents horizons, en relation avec une saturation particulière du complexe absorbant fortement calcique dans le cas des fortes structures et plus sodique ou magnésienne dans le cas de structure massive ou de marnes en place ;
- 3° passage plus ou moins rapide vers la profondeur du type de saturation calcique ou du type de saturation sodico-magnésienne ;
- 4° individualisation du gypse en profondeur ;
- 5° forte teneur en calcaire dans tous les profils ;
- 6° caractère presque toujours sodico-magnésien de la roche mère marneuse toujours fissurée.

L'évolution de ces sols se manifeste par la présence de la marne en place à plus ou moins grande profondeur et par le développement d'horizons à saturation calcique plus ou moins importants en surface.

## B. Développement radiculaire des arbres

Si on examine le développement radiculaire d'un pin d'Alep normalement développé sur un sol vertique (EA 1 par exemple) on peut faire les observations suivantes :

On constate d'abord l'existence d'un important système racinaire traçant dans les trente premiers centimètres puis quelques racines pivotantes qui descendent verticalement en empruntant les fentes de retrait. A partir de 60 cm, il devient difficile de les suivre, mais nous arrivons cependant à les retrouver passagèrement dans les minces fissures qui prolongent les grosses fentes de retrait, à l'intérieur de l'horizon compact.

Certaines de ces racines s'atrophient à l'intérieur de l'horizon compact et se terminent subitement. Il faut attirer l'attention sur la localisation exclusive de ces racines pivotantes dans les fissures qui isolent les éléments structuraux, alors que ceux-ci sont toujours inexploités et inexplorés.

Enfin, dès qu'on aborde la marne en place on observe un développement considérable des racines à l'intérieur des fissurations de la roche sur toutes les faces conchoïdales des blocs marneux et même sur les nappes de gypse qui tapissent celle-ci.

On peut donc dire que l'horizon à structure polyédrique fine et polyédrique moyenne de surface sont des milieux particulièrement favorables



au développement racinaire et que les fentes de retrait sont des voies de passage pour les racines pivotantes ; les horizons compacts sont de véritables obstacles à la pénétration des racines et enfin, la marne en place complètement fissurée et disloquée est un milieu à nouveau favorable pour le développement racinaire.

Ces observations ont pu être généralisées, dans tous les types de sols que nous avons étudiés d'une part, et pour l'eucalyptus d'autre part.

En effet :

— *Dans les sols peu évolués, régosoliques sur marne helvétique* (voir profils OM 1 et OM 5), la marne en place est très proche de la surface, il n'existe pas d'horizons compacts profonds ; parallèlement, on voit les systèmes radiculaires se développer dans toute la marne. Les arbres prennent alors un développement normal.

— *Dans les sols peu évolués, régosoliques sur marne salée* la morphologie du sol est la même que précédemment mais dans ce cas les échecs importants (voir cliché 2) sont dus à la salinité.

— *Dans les sols peu évolués sur marnes tortoniennes jaunâtre* la morphologie est quelque peu différente puisque l'on passe à la marne en place en profondeur par l'intermédiaire d'un horizon lourd mais structuré avec de nombreuses petites fissures séparant des éléments structuraux à tendance prismatique. Ces fissures sont discontinues mais les racines d'eucalyptus par exemple, arrivent, malgré un cheminement laborieux, à descendre jusqu'à la roche mère.

— *Dans les vertisols vertiques*, nous venons de voir comment le système racinaire n'exploite que la partie supérieure du sol ou la marne en place, abandonnant pratiquement les horizons compacts intermédiaires. Si ces horizons compacts viennent à être trop épais, les racines pivotantes sont stoppées dans leur développement, qu'il s'agisse du pin d'Alep ou de l'eucalyptus.

— *Dans le cas d'hydromorphie*, il semble que l'horizon hydromorphe joue le même rôle que les horizons compacts sans qu'il soit toutefois possible de faire la part des choses entre la compacité et l'hydromorphie, les deux caractères étant le plus souvent associés. On notera tout de même dans le profil AK 1 PI que la salure ne peut être en cause dans la mauvaise venue des oliviers constatée sur le terrain ( $\text{ClNa} = 2,5 \text{ ‰}$ ).

10  
↑  
Hauteur des Ec.  
en m.

CROISSANCE D'EUC. OCCIDENTALIS SUR MARNES  
TORTONIENNES

86

Pèrimètre MOULAY YACCOUB 1  
Plantation de 9-10 ans

9.

8.

7.

6.

5.

4.

3.

2.

1.

0.

x

x

+

10

20

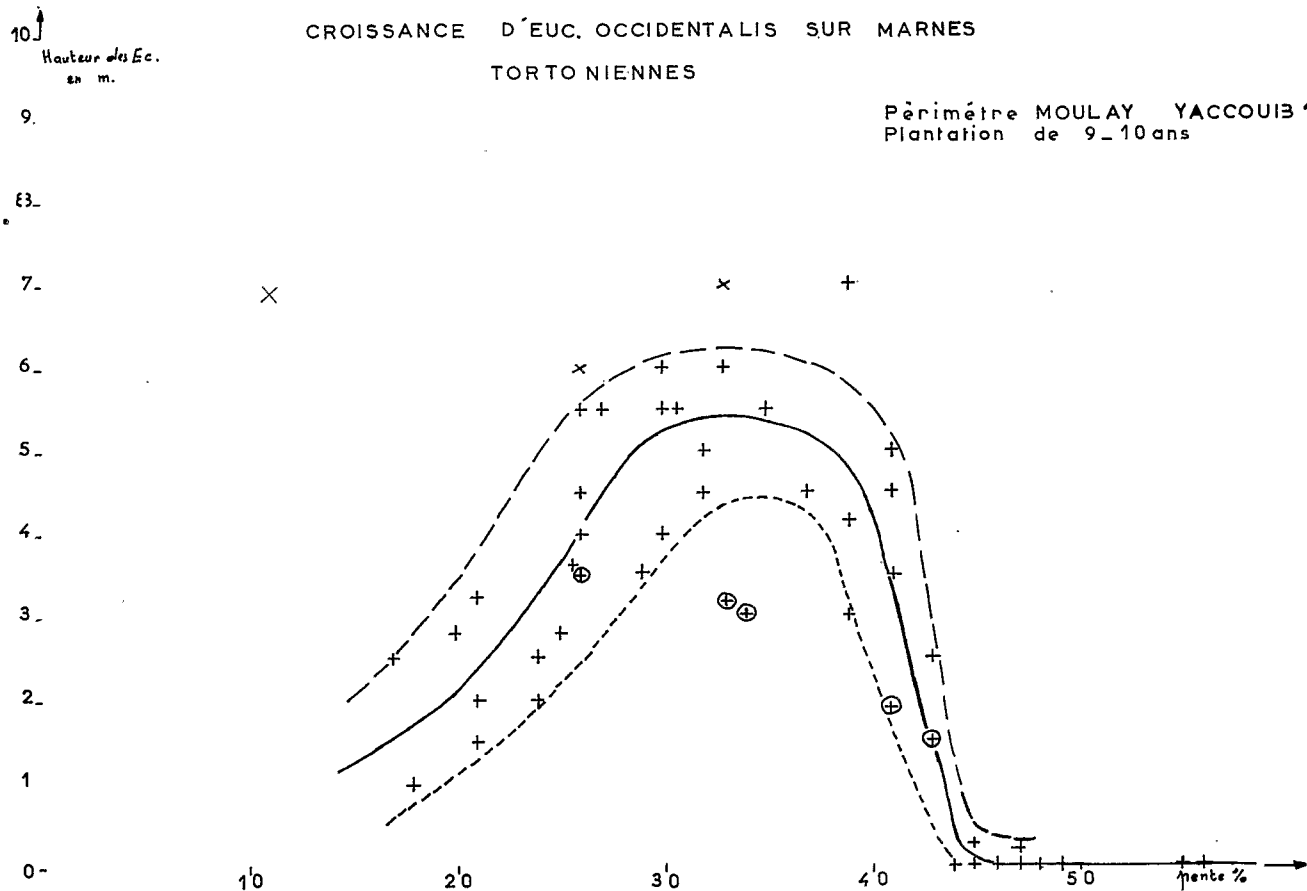
30

40

50

pende %

B. LEPOUTRE ET A. SAUVAGEOT



↑  
10- Hauteur des Euc. en m.

CROISSANCE DE QUELQUES ESSENCES  
SUR MARNES TORTONIENNES

9-

8-

7-

6-

5-

4-

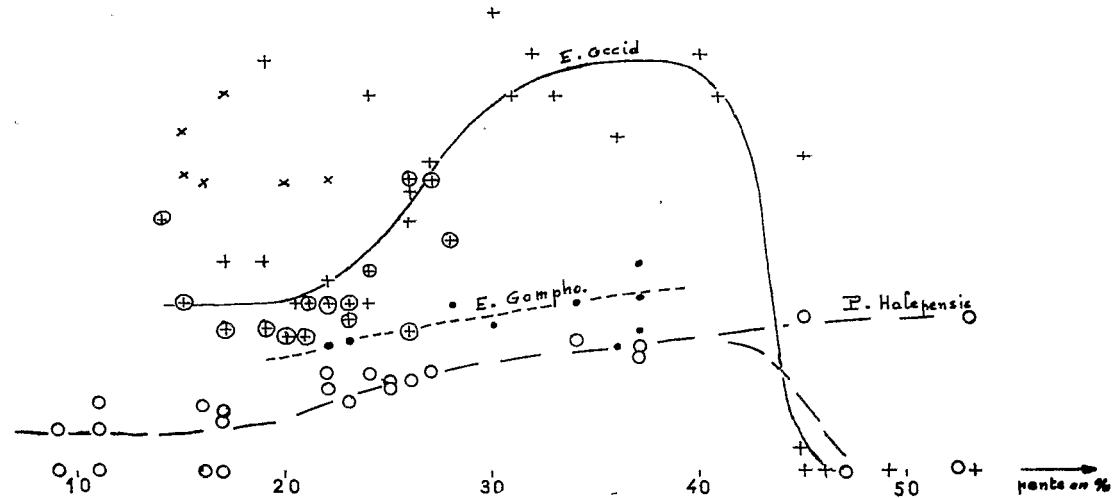
3-

2-

1-

0-

Périmètre de Kermet Sefra  
x + Euc. Occidentalis 5-6 ans  
• Euc. Gomphocephala 5-6 ans  
o P. Halepensis 5 ans



— *Dans les sols halomorphes.*

Dans ce cas la salure est à l'origine des échecs (voir clichés n<sup>os</sup> 2, 3 et 4). Il faut cependant noter qu'il s'agit avant tout de sols chlorurés (profils OMP 3, OM 1, OM 3) avec de très fortes salures.

La salure critique pour les différentes essences est difficile à déterminer, car elle est le plus souvent d'origine géologique (marnes salées du Trias) aussi, les taux de chlorures s'accroissent-ils très rapidement en profondeur.

Les chiffres que nous possédons ne concernent en tous cas que l'*Eucalyptus occidentalis* et la limite se situe aux alentours de 3 ‰, à 80 cm de profondeur avec des conductivités critiques qui se situent entre 9 et 11,5 mmhos. On notera que les systèmes racinaires ne sont nullement gênés par le gypse.

### c. Répartition géographique de ces différents caractères

Il faut dire tout de suite qu'il sera toujours très difficile de les localiser dans l'espace :

- la nature géologique des séries charriées est difficile à déterminer ;
- la pente du terrain et extrêmement variable ;
- la salure est très anarchiquement répartie.

Il en résultera toujours une grande hétérogénéité dans la réussite ou l'échec des plantations, et seule une observation détaillée des profils peut laisser prévoir la proportion de la réussite.

### d. Le facteur pente

On a vu que les systèmes racinaires des arbres avaient tendance à aller se loger profondément dans les marnes pour échapper à la sécheresse, ou parce que la structure de la roche facilite leur développement.

Lorsque les marnes en place sont proches, on peut donc s'attendre à une certaine réussite des plantations et inversement lorsqu'elles sont loin ; c'est du moins ce que l'on peut observer, mais il y a une exception qui concerne les sols peu évolués ou les sols régosoliques sur les fortes pentes.

En effet, l'excès de pente correspond naturellement à un excès de drainage. On a vu, ainsi, que sur ces pentes et celles des bad-lands en particulier le sol ne pouvait se développer tandis que les eaux ruissellent en surface. Dans ce cas la marne en place est effectivement très proche de la surface, mais l'arbre ne peut en profiter car le sol est sec. Des mesures faites sur le terrain montrent que la pluie, en plein hiver, ne descend jamais au delà de 30 cm.

L'excès de drainage interdit alors toute installation et toute croissance des arbres. C'est ce que l'on constate lorsque la pente dépasse 40 % comme le montre les graphiques n<sup>os</sup> 5 et 6 ci-contre et les clichés n<sup>os</sup> 1 et 2.

## II. COMPORTEMENT DE QUELQUES ESSENCES

La figure 6 montre les résultats de quelques mensurations faites sur le périmètre de Kermet Sefra et sur marnes tortoniennes.

### *L'Eucalyptus occidentalis*

On peut constater une forte hétérogénéité dans les croissances de *E. occidentalis* pour des pentes inférieures à 40 %. Cette hétérogénéité provient des difficultés d'enracinement des arbres dans des sols très fissurés ou à horizon compacts profonds. Elle se traduit d'ailleurs aussi par de nombreux manquants puisque le taux d'échecs à la plantation atteint assez régulièrement 60 %.

Les archives ne précisent malheureusement pas toujours la nature des essences utilisées ; elles se limitent généralement aux indications « feuillus » ou « résineux » ; il en résulte des difficultés d'interprétation souvent insurmontables. Nous citerons quelques chiffres concernant *E. occidentalis* pour illustrer ce qui vient d'être dit :

Périmètre	Nombre d'arbres plantés	Regarnis	
		1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
Kerma Sefra ...	26 533	15 728	4 570
El Amria .....	52 221	29 048	35 000
Moulay Yacoub .	37 162	7 805	19 250

Le périmètre de Moulay Yacoub est visible dans son état actuel sur le cliché n° 3. La majorité des échecs se situe sur des pentes très fortes et ces échecs sont encore traduits dans la fig. 5.

Plus dans le détail, l'*Eucalyptus occidentalis* ne s'installe pas lorsque les sols sont épais et comportent des horizons compacts qui rendent les marnes en place inaccessibles. L'épaisseur du sol est alors de l'ordre de 1,80 - 2,00 m. Sur des marnes tortoniennes bleues d'épaisseur inférieure à cette limite c'est-à-dire dans des conditions d'adaptation normales, les croissances d'*E. occidentalis* sont les suivantes :

Age .....	14 ans
Nombre d'arbres mesurés .....	26
Hauteur moyenne .....	5,77 m
Ecart type de la moyenne .....	1,37 m
Intervalle de confiance :	0,1517    5,47 < m < 6,07

La croissance est toutefois meilleure si on a affaire à des marnes jaunes bien que l'hétérogénéité de la plantation soit toujours grande.

En ce qui concerne les marnes crétacées du type de l'Oued Leben, il ne semble y avoir aucune difficulté d'installation mais les arbres chlorosent vers l'âge de 7 ans du moins dans le cas de pentes fortes. Cette chlorose ne peut être rattachée à aucun facteur pédologique précis et en particulier elle n'est pas causée par la salure.

L'emploi de *E. occidentalis* sur ces types de marne reste donc très aléatoire.

Enfin, il semble que les marnes helvétiques soient assez favorables à l'installation et à la croissance d'*E. occidentalis*, du moins quand le facies ne permet pas le développement de sols compacts. Certaines pentes fortes sont néanmoins défavorables sans doute du fait d'un trop fort drainage, mais sans que nous ayons pu le vérifier de façon précise. Les seuls indices en notre possession seraient la meilleure réussite sur terrasse que sur élément de banquettes d'une part, et une dessiccation partielle du feuillage chez quelques individus, après une année particulièrement sèche.

En ce qui concerne la salure, l'*E. occidentalis* se révèle effectivement résistant à des salures modérées, mais la conductivité du sol ne doit sans doute pas excéder 9 à 10 mmohs avec des teneurs en ClNa de 3 à 4 ‰. L'*E. occidentalis* s'adapte au gypse même en grandes quantités. Il faut toutefois penser que la présence de ce sel élève la pression osmotique et détériore les conditions d'alimentation hydrique en saison sèche.

### Le pin d'Alep

On peut dire que le pin d'Alep répond aux mêmes critères que ceux qui viennent d'être examinés pour *E. occidentalis* avec une sensibilité plus grande toutefois. Les plantations sont souvent éparses et il est difficile de fournir des résultats précis.

La croissance du pin d'Alep jusqu'à 5 - 6 ans est illustrée sur les clichés n<sup>os</sup> 7 et 8 et sur la figure n<sup>o</sup> 6.

Il ne s'adapte pas du tout aux sols compacts sur marnes tortoniennes de plus de 1,80 m, moyennant quoi il disparaît souvent sur pentes inférieures à 20 %, là où précisément les sols sont épais ou engorgés en hiver.

On peut dire que son système racinaire affectionne particulièrement les marnes en place lorsque celles-ci sont accessibles. C'est sans doute la raison pour laquelle il réussit bien sur marnes helvétiques. Son adaptation à la sécheresse et sa rusticité le font aussi conseiller sur marnes crétacées, du type de celles de l'Oued Leben, sous réserve bien entendu d'un sol convenable (absence d'horizons compacts épais).

La plantation la plus âgée (1954) se situe à Moulay Yacoub ; elle avait 14 ans au moment des mensurations qui sont les suivantes (voir cliché n<sup>o</sup> 6) :

Pente	Nombre d'arbres mesurés	Hauteur moyenne m	Ecart type de la moyenne
12 %	81	4,04 m	0,5431
Intervalle de confiance = 0,024 (P = 0,05) 4,00 < m < 4,09			
20 %	163	3,98 m	0,5482
Intervalle de confiance = 0,042 (P = 0,05) 3,90 < m < 4,06			

Il s'agit de marnes tortoniennes dont on trouvera le profil pédologique ci-après.

## Résultats d'analyses physiques et chimiques

Moulay Yacoub Profil P 1

Profond. cm	N° échantillon	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable gr. %	Chlorure ‰ ClNa	Gypse	Ca éch. méc. %	Mg éch. méc. %	T méc. %
20-30	7 1292	44,1	27,1	19,9	1,6	0		19,7	3,0	27,3
30-40	7 1293	47,4	28,0	20,6	1,1	0		18,8	6,2	28,9
50-60	7 1294	45,9	26,9	20,8	1,0	0		16,8	5,7	24,7
60-70	7 1295	44,7	28,4	22,1	0,8	0		13,7	6,2	22,9
70-80	7 1296	43,0	28,4	23,3	0,5	0		14,5	5,2	22,1
90-120	7 1297	gypse	gypse	gypse	gypse	0,175	×××			
140	7 1298	40,0	33,4	24,7	0,2	0,409		6,3	7,7	19,3
170	7 12910	36,6	29,4	28,7	1,4	0,321	×××			
390	7 12911	38,2	31,0	28,8	0,3	0,351	×	6,0	10,8	16,7
440	7 12912	38,0	31,0	30,4	0,3	0,380	××	10,3	10,8	19,3
500	7 12914	39,8	32,3	26,8	0,3	0,614	××	6,6	8,7	16,9
540	7 12916	34,2	28,0	31,8	0,1	0,555	××			
600	7 12918	37,0	31,0	37,3	0,1	0,468	××			
650	7 12919	37,0	31,4	29,7	0,2	0,526	××			
700	7 12920	37,0	29,8	29,7	0,2	0,555	××			



Il est remarquable à ce sujet de constater l'enracinement jusqu'à 6-7 m de profondeur en dépit de lames de gypse très importantes qui sillonnent la marne.

Il est extrêmement peu probable que l'eau s'infiltré jusque là et le problème de l'alimentation en eau en été reste entier. Il faudrait supposer une certaine hygroscopicité de la marne, qui s'alimenterait par l'intermédiaire de l'atmosphère du sol suivie en été d'une exudation sur la face des blocs marneux là où les racines viennent s'appliquer. Peut-être aussi pourrait-on invoquer des phénomènes de condensation de l'atmosphère du sol.

La nature montmorillonitique des argiles est sans doute en cause dans ce processus.

Enfin, comme pour l'*E. occidentalis*, le pin d'Alep s'adapte particulièrement aux marnes helvétiques, non salées, du moins quand le sol est peu épais (inférieur à 1,80 m). Il atteint alors des hauteurs de 5-6 m à 7 ans.

Les seuls sols salés où le pin d'Alep a été planté titrent plus de 30 mmhos de conductivité. C'est bien entendu l'échec.

Le pin d'Alep paraît indifférent aux teneurs en gypse.

#### Autres essences

L'*E. gomphocephala*, l'*E. cladocalyx* et le pin des Canaries sont à proscrire de tous les sols sur marnes tortoniennes : ceux-ci ne leur conviennent absolument pas.

L'*E. cladocalyx* et l'*E. torquata* ont été trouvés bien venants sur marnes crétacées de l'Oued Leben, sans gypse, sans complexe sodico-magnésien, et sans chlorures.

L'olivier semble répondre aux mêmes critères édaphiques que le pin d'Alep. Son étude n'a pas été systématique.

### III. L'ÉROSION ET LES TYPES D'INTERVENTIONS

Des conclusions précédentes, il ressort qu'aucune plantation sur marne ne peut être envisagée sous l'angle de la production, les résultats étant trop médiocres et presque toujours hétérogènes, surtout lorsqu'il s'agit de vastes périmètres couvrant des surfaces topographiques très variées, voire même des substratums géologiques différents.

Tout au plus, peut-on envisager dans ce sens des reboisements sur certains facies de marnes helvétiques ou sur marnes très calcaires pour le pin d'Alep. En tous cas, la prospection des terrains s'impose préalablement.

Il n'est donc possible d'envisager le problème du reboisement des marnes du prérief que sous le seul angle de la lutte antiérosive.

### 1. Les sols où les interventions forestières sont impossibles ou à déconseiller

Dans ces conditions, sont d'ores et déjà à rejeter tous les sols dont la pente est inférieure à 20 %, ces sols sont avant tout des sols à vocation agricole. Dans ces terrains, l'érosion est bien sûr possible et elle existe, mais la lutte réside davantage dans la mise au point de méthodes culturales précises que dans le reboisement.

L'érosion s'y manifeste essentiellement sur les jachères nues abandonnées. L'imperméabilité des horizons superficiels facilite la saturation en eau des agrégats de surface et le glaçage se produit très rapidement. Il en résulte un ruissellement qui crée alors de petites rigoles superficielles dont le creusement va en s'accroissant pour arriver aux « rills » classiques. Dès lors, l'énergie érosive va en s'accroissant, les formes d'érosion peuvent atteindre des dimensions maximales et dépasser les limites au delà desquelles il devient pratiquement impossible, non seulement de les réduire, mais aussi de les arrêter.

Ce type d'érosion est toujours visible sur les terres abandonnées ; au contraire il apparaît moins sur champ labouré, c'est pourquoi la première condition de la lutte antiérosive devrait résider dans le travail du sol régulièrement et opportunément exécuté *avant les premières pluies*. Ce n'est malheureusement pas le cas, même pour les terres qui vont être mises en culture puisque le labour succède aux semis sur terre humide. On peut d'ailleurs souligner en passant l'hérésie qui consiste à enfouir la semence à la charrue araire dans des sols aussi lourds.

Ces méthodes, qui nécessitent tout un programme de vulgarisation agricole, devraient bien entendu tenir compte aussi de l'importance des réserves en matière organique, réserves qui sont à la base de la stabilisation de la structure du sol. En tous cas il est fondamentalement nécessaire d'éviter tous terrassements ou interventions qui réduiraient les surfaces cultivables.

Accessoirement on peut envisager l'implantation de rideaux d'arbres fruitiers ou forestiers, le long des courbes de niveau, mais ils ne suffiront sans doute pas pour enrayer les phénomènes qui viennent d'être mentionnés si une agriculture organisée n'est pas elle-même mise en place.

Nous avons vu également que les pentes supérieures à 40 % devenaient impropres à l'installation de toutes les essences rencontrées sur les marnes tortoniennes bleues. Il ne doit donc pas y avoir d'intervention dans de telles conditions. On peut attirer l'attention du lecteur sur le périmètre du cliché n° 3 où des regarnis ont été faits pendant dix ans en ignorant les conditions de l'échec et où *E. occidentalis*, *Pistacia atlantica*, *Olea europaea* ont été essayés sans succès.

Il faut aussi signaler d'autres échecs dans les mêmes conditions de pente concernant *A. cyanophylla*, *E. gomphocephala*, *Pinus halepensis*. Les seuls cas de réussite se situent dans les marnes helvétiques pour *E. occidentalis* et *Pinus halepensis*.

Enfin il est à peine utile de rappeler ici que la salure doit être contrôlée avant toute plantation. Elle se répartit en fonction du substratum géologique avec une plus grande probabilité au voisinage des affleurements de trias. Elle facilite l'érosion, mais malheureusement elle interdit aussi toutes cultures et toutes plantations. Dans les cas que nous avons pu observer, il est pratiquement impossible de déterminer une limite de salure (ClNa) à respecter car les enracinements se faisant en profondeur c'est jusqu'à plusieurs mètres qu'il faudrait considérer les teneurs en sel. On peut simplement dire que des conductivités dépassant 8 à 10 mmohs à moins d'1,80 m interdisent toute plantation, à moins de s'adresser à des espèces botaniques particulièrement adaptées et à enracinement peu profond. Il n'est donc pas question d'envisager les reboisements dans ces sols. Signalons que c'est le cas de beaucoup de « Bad-Lands » dans lesquels le facteur salure vient s'ajouter au facteur sécheresse dont nous avons parlé dans la pédogénèse.

Les données conduisent donc l'aménagiste à n'envisager pour la lutte antiérosive que des travaux de génie civil du type de ceux pratiqués dans la correction de l'écoulement torrentiel. Ceci sort du cadre de notre objectif et de notre compétence.

## 2. Les sols où il est possible d'intervenir

Ce sont les marnes helvétiques lorsque le faciès ne développe pas des sols profonds et lourds, et certaines marnes tortoniennes bleues ou jaunes. Dans ce dernier cas, il importe que l'épaisseur des horizons compacts ne

soit pas trop importante, qu'elles ne soient pas salées et que la pente n'excède pas 40 %. Enfin ce sont aussi les marnes crétacées très calcaires.

a) *Sur marnes helvétiques*

Il semble que ces marnes donnent des sols généralement favorables au pin d'Alep du fait que la roche mère est souvent assez proche de la surface. Néanmoins, il se peut que dans les bas de pentes des matériaux fins colluviaux, soient venus s'épandre ; ils forment alors un relief à pente beaucoup plus faible, et là, des sols épais et lourds se développent ; on retrouve alors des conditions identiques à celles des marnes tortoniennes bleues donc défavorables à la plantation.

Dans les conditions de pentes plus fortes, inférieures ou égales à 50 % et supérieures à 20 %, il apparaît que la réussite d'*E. occidentalis* et de *Pinus halepensis* soit souvent meilleure sur banquettes que sur éléments de banquettes. Comme il n'y a généralement pas d'horizons épais à structure fortement prismatique et que l'on passe rapidement à une marne en place, dont l'altération est plus difficile, la fabrication de banquettes ne paraît pas avoir d'inconvénients sur le plan de l'érosion. Elle facilite l'infiltration et c'est pourquoi on peut conseiller d'adapter ce mode d'intervention dans ces milieux.

Il n'est pas impossible que la teneur plus élevée en calcaire de la marne helvétique soit en cause dans cet état de fait en freinant les phénomènes de gonflement des agrégats ou des blocs de marne. Il en résulterait alors une certaine difficulté à la constitution d'horizons compacts. Par ailleurs la marne helvétique apparaît comme étant peu sodique, ceci entraîne une moindre facilité à la dispersion, et donc une difficulté supplémentaire à la constitution d'horizons massifs mal structurés. On verra qu'il n'en est pas du tout de même dans le cas des sols sur marne tortoniennes bleues.

b) *Sur les marnes tortoniennes jaunes (2,5 Y 6/3 à 6/4)*

Ces marnes donnent des sols différents des précédents, mais on peut leur trouver des caractères communs quant aux teneurs plus élevées en calcaire, aux teneurs moins élevées en argile, à l'absence d'horizons prismatiques larges à fortes fissures verticales, à l'absence d'horizons sodiques et il faut convenir que la réussite des pins d'Alep et des *E. occidentalis* est assez comparable. On peut donc leur appliquer les mêmes méthodes de plantation tant que le sol ne prend pas l'aspect vertique. La compacité

relativement plus grande des horizons supérieurs comparativement aux sols sur marnes helvétiques nous incite cependant à donner la préférence à *E. occidentalis* ou *A. cyanophilla* plutôt qu'à *Pinus halepensis*.

c) *Sur marnes tortoniennes grises à bleues* (5 Y 5/3 à 2,5 Y 5/3)

Le problème de la mise en valeur des marnes tortoniennes bleues est sans doute le plus délicat du fait de la nature même de la roche mère, très argileuse, peu calcaire, presque toujours sodique et magnésienne.

Comme on l'a vu dans le chapitre pédogénèse, ces caractères se traduisent par la formation de deux horizons caractéristiques :

— un horizon B1 textural à large structure prismatique, et à fentes de retrait larges et verticales,

— un horizon BC sodique et magnésien à structure continue, massive, sans fissure d'aucune sorte. Ces deux horizons s'interposent dans l'ordre du haut vers le bas entre les horizons grumosoliques ou polyédriques de surface et la roche mère marneuse non altérée.

On sait que les systèmes radiculaires profonds des arbres pénètrent dans le sol par les voies d'accès que représentent les fissures. Par contre, les systèmes radiculaires traçant utilisent essentiellement les horizons polyédriques de surface. Compte tenu que les blocs prismatiques de l'horizon B1 ne sont pas exploités dans leur masse par les racines, qu'ils représentent un milieu à très grande macroporosité, il est vraisemblable que leur perméabilité est du type « perméabilité en grand ».

Dans ces conditions :

— En ce qui concerne le développement des arbres, ceux-ci doivent vivre dans le plus jeune âge sur leur système racinaire traçant. Il est donc *nécessaire* de laisser à leur disposition les horizons qui se prêtent naturellement à ce développement. Pour se faire, il paraît indispensable de n'effectuer aucun des travaux qui suppriment ces horizons.

— En ce qui concerne le mouvement de l'eau dans le sol on peut assurer que toute suppression des horizons de surface dont l'épaisseur peut atteindre jusqu'à 30-40 cm va faciliter la descente de l'eau en masse vers l'horizon BC. En effet, les horizons de surface bien structurés constituent un volant d'absorption des eaux de précipitation qui diminue la percolation vers les profondeurs et par ailleurs, les horizon B1, très fissurés verticalement vont permettre cette percolation massive des eaux. On a vu que l'horizon profond, massif, BC était presque toujours sodique et magnésien

donc facilement dispersable ; s'il reçoit brutalement beaucoup d'eau son argile va se disperser et elle constituera une sole de glissement en même temps qu'un milieu peu favorable au développement des racines.

Il résulte de ces considérations que le décapage ou les travaux de terrassement habituellement faits sur ces sols en pente ont pour conséquence :

- 1° de supprimer les horizons du sol les plus intéressants pour l'arbre ;
- 2° de mettre les systèmes radiculaires dans des horizons difficilement exploitables ;
- 3° d'accroître la quantité d'eau qui percole par les fentes de retrait vers la profondeur ;
- 4° de créer une dispersion de l'horizon BC.

Nous pensons que c'est à la dernière conséquence qu'il faut attribuer l'apparition de certains phénomènes d'érosion comme les arrachements : la masse de sol supérieure glisse sur les horizons profonds lubrifiés, une large fissure s'ouvre dans le sol en un point plus particulièrement instable et se développe vers l'aval en arc de cercle. Dès l'instant où le phénomène est déclenché il va en s'accroissant, et nous avons vu de ces larges fentes s'ouvrir progressivement au point de permettre dans certains cas l'accès d'un homme.

L'explication que nous donnons de ce type d'érosion s'appuie sur les caractères pédologiques des horizons du sol, mais aussi sur quelques observations de terrain qui montrent que les arrachements sont effectivement déclenchés par la confection de banquettes sur l'ensemble d'un bassin versant ; les mêmes observations ont également montré que ces types d'arrachement ne se rencontraient jamais, ou rarement, sur terrain cultivé et labouré.

Enfin, il est remarquable de constater la très forte dispersion des argiles sur certains éléments de banquettes installés sur régosol ou sur sols peu profonds. L'intervention dans ce cas a consisté à mettre à jour des horizons sodiques. C'est le cas extrême, mais il faut se souvenir de cette apparition plus ou moins rapide des complexes sodiques magnésiens en profondeur pour se rendre compte du danger d'un terrassement fait sans contrôle préalable de la nature du sol.

Finalement il ne fait pas de doute que la suppression des horizons supérieurs du sol est une opération néfaste dans ces conditions.

Nous pensons pouvoir conseiller en conséquence qu'aucune banquette ne soit faite dans de pareilles conditions, mais que les arbres soient plantés en plein suivant des courbes de niveaux. Cette méthode peut paraître en contradiction avec la nécessité habituellement admise d'accumuler de l'eau dans les sols pour la saison estivale. Or, les mesures que nous avons effectuées sur le terrain ont, toutes, montré que l'arbre bénéficiait d'une plus grande épaisseur de sol humide hors des banquettes que sur banquette. Ce résultat a été vérifié sur banquettes non plantées pour éliminer l'influence des racines.

Il faut y voir un très mauvais équilibre de l'alimentation hydrique du sol dans les matériaux très lourds et mal structurés. Les horizons polyédriques de surface absorbent l'eau facilement. Les horizons prismatiques laissent l'eau s'écouler par leurs fentes de retrait, les éléments très grossiers de la structure restant secs. On peut sans doute penser que le mode de plantation est à l'origine du nombre important des manquants dans des conditions où, ni le sol, ni la salure ne sont en cause. Ces manquants sont sans doute des plants qui n'ont pas trouvé de fissures pour accéder aux horizons profonds, des plants qui n'ont pu s'enraciner en surface, ou enfin des plants qui se sont fait noyer par l'accumulation d'eau sur des horizons sodiques mis à nu.

La plantation en plein, en même temps qu'elle éviterait une grande partie de ces difficultés, diminuerait l'érosion du type « glissement de terrain » et aurait en outre l'avantage de permettre un entretien mécanique des jeunes arbres, entretien qui paraît indispensable compte tenu du caractère extrêmement lourd de ces terres. Aucune surface ne serait soustraite à l'agriculture et il serait sans doute plus facile de faire de l'amélioration pastorale entre les lignes de plantation.

#### IV. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

La mise en valeur des sols sur marne du préif à Fès doit être orientée suivant des principes bien différents suivant les types de sol et la pente topographique.

Les zones de pente faible inférieure à 20 % doivent être réservées à l'agriculture compte tenu des sols qui s'y développent, généralement défavorables à la plantation d'arbres forestiers. Cette agriculture doit néan-

moins se faire avec des méthodes propres à protéger le sol contre l'érosion : cultures en courbes de niveau et préparation du sol qui évite le ruissellement de surface.

Les zones de pente supérieures à 20 % et inférieures à 40 % nécessitent une reconnaissance préalable en vue d'en définir exactement les sols.

Les sols de profondeur moyenne (inférieure à 1,80) sans horizons hydromorphes ou salés à moins de 50 cm peuvent être utilisés pour la plantation forestière avec :

- le pin d'Alep pour les sols les moins épais,
- l'*E. occidentalis* pour les sols plus compacts.

La plantation doit se faire de deux façons suivant la nature du terrain :  
*sur banquettes* dans les sols peu évolués avec proximité d'une marne non sodique (marne helvétique en particulier) ;

*en plein* dans les sols plus évolués avec présence des deux horizons prismatiques larges et compacts à saturation sodico-magnésienne.

Dans les deux cas, le travail du sol doit être fréquent aux premiers stades de la plantation et de croissance.

Les zones de pente supérieure à 40 % peuvent se diviser en deux catégories.

Sur marnes helvétiques il est possible de planter *E. occidentalis*, *P. Halepensis*, et sans doute aussi *A. cyanophilla*, de préférence sur banquette et jusqu'à des pentes de 50 %.

Sur les autres marnes il faut abandonner tout espoir de faire croître des arbres et c'est en particulier le cas des « Bad-Lands » qui sont toujours des milieux trop secs et souvent des milieux salés. La lutte antiérosive réside alors dans la mise en place d'ouvrages de génie civil.

Ce schéma répond essentiellement au choix des zones d'intervention et des vocations forestières. Dans la réalité, il ne faut pas se faire d'illusions sur les possibilités de reboisement de ces types de marne car il existe une très grande hétérogénéité du milieu tant du point de vue géologique que pédologique et également topographique, et cette hétérogénéité entraînera le plus souvent une impossibilité d'obtenir de grandes surfaces uniformément reboisées d'abord, l'interdiction de toute spéculation sur la production forestière proprement dite, ensuite et enfin, des résultats très faibles sur le plan de la lutte antiérosive compte tenu du très faible développement des espèces forestières.



Ajoutons à cela que les superficies qu'il faudrait traiter sont tellement vastes que l'espoir de supprimer, voire d'enrayer l'érosion de ces immenses étendues nous semble une véritable gageure.

Tout au plus, peut-on espérer obtenir quelques résultats, localement, si les travaux sont entrepris soigneusement à la suite d'une étude détaillée des terrains susceptibles de convenir à des plantations. Dans cet esprit, la recherche des sols sur marne calcaire ou sur calcaire marneux des séries Burdigaliennes, Helvétiques ou crétacées est celle qui peut être la plus efficace. A un premier stade d'investigation la carte géologique quand elle existe est le premier outil de travail ; l'aspect de ces marnes souvent beaucoup plus blanches et l'existence de quelque végétation ligneuse arbustive, (*Withania*, *Teuchrium*, *Chameorops*, *Capparis*) seront les premiers indices des sols favorables.

Rabat, janvier 1969

## RÉSUMÉ

Après avoir étudié les différents types de sols développés sur marnes du Tortonien ou de l'Helvétien de la région de Fès, l'auteur tente d'expliquer les différents processus de formation pédogénétiques.

Il aboutit à montrer que ces processus se résument essentiellement à une transformation progressive du type de saturation des argiles. Les argiles des marnes en place sont magnésiennes et sodiques ; sous l'influence des solutions du sol saturées en sulfate de calcium le type de saturation devient de plus en plus calcique tandis que se développent en surface des horizons à structure polyédrique ou prismatique.

En profondeur là où les eaux de percolation descendent moins souvent les argiles sont encore sodiques dans un horizon compact.

Parallèlement à cette pédogénèse l'auteur cherche à caractériser les structures typiques de ces sols et ses résultats tendent à montrer que celles-ci sont influencées par le régime hydrique du sol en présence d'argiles gonflantes.

Enfin, l'étude des reboisements artificiels réalisés sur ces sols montre que la réussite n'est possible que dans des conditions de pente inférieure à 40 % d'une part et en l'absence d'horizons sodiques profonds compacts qui s'opposent à l'enracinement.

Il en résulte finalement que seules des marnes non sodiques (helvétien-nes ou crétacées) peuvent convenir à des reboisements d'*Eucalyptus occidentalis* ou de *Pinus halepensis*. Dans le cas de marnes sodiques (le plus souvent tortoniennes) les résultats sont toujours décevants ou nuls du fait d'une topographie très variable et de sols souvent défavorables.

## SUMMARY

Having studied the different types of soils formed on geological Tortonian and Helvetian marns of the Fes area, the author attempts to explain the various progresses of soil formation.

He succeeds to show that these progresses are essentially summed up in a progressive transformation of the clay-saturation type. The clays of geological marns are magnetian and sodic : under the influence of soil solutions saturated with calcium sulphate, the type of saturation becomes more and more calcic, while on the surface, horizons of polyedric or prismatic structure are developed.

In depth, where percolation waters are less frequent, clays are still sodic in a compact horizon.

Simultaneously with this pedogenesis the author seeks to distinguish the typical structures of these soils and the results are showing a tendency that they are influenced by the hydrous regimen of the soil where swollen clays are present.

Finally, the study of reafforestations carried out on these soils, is showing that a successful result is only possible under conditions that on one hand the slope should be inferior to 40 %, and, on the other hand on the absence of deep sodic compact horizons preventing rooting.

The final results are proving that only non-sodic marns (Helvetian or Cretacean) are convenient for reafforestation with *Euc. occidentalis* or *Pinus halepensis*, in the case of sodic marns (mostly tortonian) the results are always deceiving or nil owing to a very changeable topography and often unfavourable soils.

## ANNEXE

## RÉSULTATS D'ANALYSES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Tableau I — Profil OM 3

(p. 35)

Profondeur cm .....	0-10	10-20	20-30	50-60	170
N° d'échantillon .....	8181	8182	8183	8184	8185
Argile p. 100 .....	50,7	50,0	53,0	57,1	55,4
Limon p. 100 .....	38,4	41,0	39,0	36,2	36,3
Sable fin p. 100 .....	6,1	5,3	5,8	4,2	6,1
Sable très fin p. 100 .....	0,9	1,0	0,7	0,5	0,7
Sable grossier p. 100 .....	2,4	1,4	0,2	0,3	0,2
Argile .....	44,5	41,4	40,3	42,2	41,9
Limon .....	18,8	18,8	18,0	17,6	17,9
Sable fin .....	2,9	2,4	2,1	2,9	2,8
Sable grossier .....	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1
Matière organique p. 100 ..	0,40	0,41	0,41	0,52	0,31
Carbone p. 100 .....	0,23	0,24	0,24	0,30	0,18
Azote p. 1 000 .....	0,64	0,55	0,55	0,62	0,48
C / N .....	3,6	4,3	4,3	4,8	3,7
Couleur (sec) .....	2,5Y6/2	2,5Y6/2	2,5Y6/3	2,5Y6/3	2,5Y6/3
Carbonate p. 100 .....	26,4	28,1	30,6	30,6	31,0
Conductivité mo-mohs ..	8,2	38,4	29,4	18,5	16,6
pH saturé .....	7,7	8,0	8,2	8,3	8,4
pH eau .....		8,0	8,2	8,2	
Chlorure p. 1 000 .....	10,0	16,3	12,9	7,5	4,8
Ca éch. méq. p. 100 .....	7,2		0,6	2,1	1,7
Mg éch. méq. p. 100 .....	5,0	3,4	4,5	5,4	6,5
Na éch. méq. p. 100 .....	4,0	17,2	12,6	10,0	8,3
K éch. méq. p. 100 .....	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0
S méq. p. 100 .....	17,5	21,9	19,0	18,5	17,5
T méq. p. 100 .....	17,5	18,0	19,0	18,5	17,5
Na / Ca × 100 .....	55		2 100	475	490
Ca / Mg .....	1,44		0,13	0,38	0,26

## ERRATA

Dans les tableaux de l'annexe page 104 et suivantes la deuxième analyse granulométrique est faite après décalcarification et exprimée par rapport à l'échantillon brut.

Tableau II — Profil OMP 2  
(p. 37)

Profondeur cm .....	0-15	20-40	50-70	70-90	90-100	100-120
N° d'échantillon .....	7 1521	7 1522	7 1523	7 1524	7 1525	7 1526
Couleur .....	2,5Y7/2	5Y8/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2
Argile p. 100 .....	43,2	44,6	41,2	38,2		30,3
Limon p. 100 .....	26,6	38,8	34,2	33,4		31,3
Sable fin p. 100 .....	14,8	6,4	11,2	16,0		21,6
Sable très fin p. 100 .....	9,8	4,9	8,0	10,4		13,8
Sable grossier p. 100 .....	3,3	3,2	3,2	0,8		0,9
Mat. organique p. 100 .....	0,89	0,21	1,34	0,62		
Carbone p. 100 .....	0,52	0,12	0,78	0,36		
Azote p. 100 .....	0,69	0,25	1,33	0,77		
C/N .....	7,5	4,8	5,9	4,7		
Carbonate p. 100 .....	36,4	30,7	33,7	33,7	33,3	37,7
pH .....	7,5	7,5	8	8,1	8,2	
Chlorure p. 1000 .....					0,170	0,625
Sulfate .....			+	+	+++	+++
Ca éch. méq. p. 100 .....	15,7	11,8	21,3	17,0	11,4	1,0
Mg éch. méq. p. 100 .....	2,5	7,7	3,3	3,0	4,4	11,3
Na éch. méq. p. 100 .....	0,52	0,80	0,80	0,61	0,31	2,5
K éch. méq. p. 100 .....	0,75	0,31	0,57	0,31	0,44	0,59
S méq. p. 100 .....	18,9	20,61	25,9	20,92	16,55	15,39
Na/Ca × 100 .....	18,9	5,8	3,7	3,6	2,7	250
Ca/Mg .....	6,3	1,56	6,1	4,6	2,59	0,09
T méq. p. 100 .....	19,5	21,0	26,0	20,5	16,5	15,5

Tableau III — Profil OMP 1

(p. 38)

Profondeur cm .....	0-20	20-40	40-60	60-100
N° d'échantillon .....	1511	1512	1513	1514
Argile p. 100 .....	46,7	51,0	45,6	29,4
Limon p. 100 .....	34,9	32,1	40,6	48,8
Sable fin p. 100 .....	10,2	9,4	8,8	9,5
Sable très fin p. 100 .....	5,2	4,5	2,9	5,0
Sable grossier p. 100 .....	1,3	0,6	1,0	5,5
Argile .....	41,4	41,8	38,5	
Limon .....	14,6	13,1	19,6	
Sable fin .....	5,3	5,1	4,6	
Sable très fin .....	2,7	2,4	1,5	
Sable grossier .....	0,6	0,3	0,5	
Couleur .....	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/3	2,5Y7/2
Matière organique p. 100 ..	1,24	0,88	0,52	0,52
Carbone p. 100 .....	0,72	0,51	0,30	0,30
Azote p. 1 000 .....	0,99	0,84	0,52	0,40
C / N .....	7,2	6,0	5,7	7,5
Carbonate p. 100 .....	27,6	28,8	38,2	26,3
pH saturé .....	7,3	7,4	7,4	7,5
Chlorure p. 1 000 .....	0,222	0	0	0
Sulfate p. 1 000 .....	++	+	++	++
Ca éch. méq. p. 100 .....	24,0	23,5	17,3	8,5
Mg éch. méq. p. 100 .....	2,5	3,5	4,3	11,3
Na éch. méq. p. 100 .....	0,4	0,3	0,26	0,51
K éch. méq. p. 100 .....	1,0	0,74	0,60	0,60
S méq. p. 100 .....	27,9	28,04	22,46	20,91
T méq. p. 100 .....	28	28,5	22,5	21,0
T par g d'argile .....	0,68	0,68	0,58	
Montmorillonite % d'argile	52,7	52,7	41,8	
Montmorillonite totale .....	21,8	22,1	16,1	
Na / Ca × 100 .....	1,66	1,28	1,5	6,0
Ca / Mg .....	9,6	6,4	4,0	0,75

Tableau IV — Profil OM5  
(p. 40)

Profondeur cm .....	0-10	10-35	35-50	50-70	150
N° d'échantillon .....	8201	8202	8203	8204	8205
Couleur .....	2,5Y5/3	10YR5/3	2,5Y6/3	2,5Y7/3	2,5Y7/2
Argile p. 100 .....	51,9	54,8	55,0		58,5
Limon p. 100 .....	35,5	32,8	33,4		35,0
Sable fin p. 100 .....	3,2	6,3	5,7		4,7
Sable très fin p. 100 .....	2,4	2,1	2,7	4,7	0,7
Sable grossier p. 100 .....	3,1	1,9	1,4	7,6	0,2
Argile .....	42,6	42,7	42,0		44,4
Limon .....	13,7	12,4	12,0		16,8
Sable fin .....	3,5	3,8	3,2		2,5
Sable grossier .....	0,3	0,2	0,2		0,1
Matière organique p. 100 ..	2,27	1,55	1,37	0,34	0,31
Carbone p. 100 .....	1,32	0,94	0,80	0,20	0,18
Azote p. 1 000 .....	1,62	1,15	0,99	0,36	0,50
C / N .....	8,1	8,1	8,0	5,5	3,6
Carbonate p. 100 .....	33,1	36,5	37,3	35,7	31,0
Chlorure p. 1 000' .....	0	0	0	0	0,163
Ca éch. méq. p. 100 .....	21,8	22,0	21,1	22,5	12,5
Mg éch. méq. p. 100 .....	3,3	3,9	4,4	3,8	2,5
Na éch. méq. p. 100 .....	1,0	1,2	1,2	1,0	1,0
K éch. méq. p. 100 .....	1,1	0,8	0,9		
S méq. p. 100 .....	27,2	27,9	27,6		
T méq. p. 100 .....	26,0	27,0	27,0	27,8	16,0
Na / Ca × 100 .....	4,6	5,4	5,7		
Ca / Mg .....	6,6	5,6	4,8		



Tableau V — Profil OLP 1

(p. 41)

Profondeur cm .....	0-15	20-50	50-80	80-130	130-160	160-200
N° d'échantillon .....	7 1461	7 1462	7 1463	7 1464	7 1465	7 1466
Couleur .....	2,5Y6,5/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2
Argile p. 100 .....	46,7	47,2	47,8	48,2	48,4	46,2
Limon p. 100 .....	34,7	33,6	32,8	32,8	34,8	35,2
Sable fin p. 100 .....	7,8	9,6	9,4	9,4	6,4	7,8
Sable très fin p. 100 .....	6,1	6,1	5,8	5,8	6,0	6,4
Sable grossier p. 100 .....	2,7	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
Argile .....	41,3	41,3	43,6	37,2	35,8	35,4
Limon .....	11,3	13,4	12,9	10,4	10,4	10,8
Sable fin .....	3,1	3,7	3,4	2,6	2,9	2,4
Sable grossier .....	3,1	3,5	3,2	1,3	1,3	1,4
Sable grossier .....	1,7	1,8	1,7	0,7	0,8	0,8
Mat. organique p. 100 .....	1,34	1,24	1,03	0,52		
Carbone p. 100 .....	0,78	0,72	0,60	0,30		
Azote p. 100 .....	0,83	0,91	0,63	0,39		
C/N .....	9,4	7,9	9,5	7,7		
Carbonate p. 100 .....	38,1	37,6	37,2	40,3	42,0	44,2
Chlorure p. 1000 .....	0	0	0	0	0	0
Sulfate .....	0	0	0	0	0	0
Ca éch. méq. p. 100 .....	16,2	16,0	14,7	14,0	12,6	10,5
Mg éch. méq. p. 100 .....	3,8	3,8	4,5	5,4	5,3	6,2
Na éch. méq. p. 100 .....	0	0	0	0	0,6	0,8
K éch. méq. p. 100 .....					0,24	0,42
S méq. p. 100 .....					18,74	17,92
T méq. p. 100 .....	23,2	21,5	21,5	23,0	22,4	22,2
Na/Ca × 100 .....					4,7	2,5
Ca/Mg .....	4,25	4,2	3,26	2,78	2,38	1,69
T par g argile .....	0,56	0,52	0,49	0,61	0,63	0,63
Montmorillon. % arg. .....	39,6	35,3	32,0	45,1	47,3	47,3
Montmorillon. totale .....	16,3	14,6	14,0	16,8	16,9	16,7

Tableau VI — Profil AK 1  
(p. 42)

Profondeur cm .....	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
N° d'échantillon .....	8221	8222	8223	8224	8225
Couleur .....	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/2
Argile p. 100 .....	42,4	48,0	51,2	50,9	45,6
Limon p. 100 .....	39,5	37,5	37,4	39,5	40,7
Sable fin p. 100 .....	9,5	6,9	5,3	4,2	6,5
Sable très fin p. 100 .....	5,7	4,8	4,3	3,9	5,1
Sable grossier p. 100 .....	1,8	1,3	0,9	0,7	0,7
Argile .....	30,2	32,8	31,6	32,4	28,8
Limon .....	14,8	13,9	16,0	15,3	15,4
Sable fin .....	4,5	3,4	3,5	3,4	3,7
Sable très fin .....	3,2	2,6	2,9	3,0	4,0
Sable grossier .....	1,5	1,0	0,7	0,5	0,6
Montmorillonite % d'argile	60,4	41,8	42,9	32,0	37,5
Montmorillonite totale ....	18,1	13,7	13,5	10,4	10,8
Matière organique p. 100 ..	1,67	1,55	1,06	0,65	0,44
Carbone p. 100 .....	0,97	0,94	0,62	0,38	0,26
Azote p. 1 000 .....	1,23	1,18	0,74	0,49	0,33
C / N .....	7,9	7,9	8,3	7,9	7,8
Carbonate p. 100 .....	45,1	45,5	47,2	49,4	52,8
Cl Na p. 1 000 .....	0	0,232	0,374	0,544	0,749
Cl <sub>2</sub> Ca p. 1 000 .....	0	1,110	2,331	1,998	1,332
Ca éch. méq. p. 100 .....	19	15,6*	14,8*	12,5*	11,3*
Mg éch. méq. p. 100 .....	1,8	1,9	2,8	2,4	3,6
Na éch. méq. p. 100 .....	0,5	0,8	0,4	0,5	
K éch. méq. p. 100 .....	1,2	0,7	0,5	0,6	0,6
S méq. p. 100 .....	22	19,0	18,5	16,0	15,5
T méq. p. 100 .....	22,5	19,0	18,5	16,0	15,5
T par g d'argile .....	0,75	0,58	0,59	0,49	0,54
Ca / T × 100 .....	81	82	80	78	73
Na / Ca × 100 .....	2,4	5,1	3,4	4	0
Ca / Mg .....	10,6	8,2	5,3	5,2	3,7

\* par différence.

Tableau VII — Profil AJ 1

(p. 43)

Profondeur cm .....	1-10	10-25	25-40	40-60	150
N° d'échantillon .....	1571	1572	1573	1574	1575
Couleur .....	2,5Y6/4	2,5Y6/4	2,5Y6/4	2,5Y6/3	2,5Y5/3
Argile p. 100 .....	43,8	43,2	46,0	44,6	44,0
Limon p. 100 .....	25,6	24,6	26,1	25,5	27,9
Sable fin p. 100 .....	10,0	10,9	9,5	11,0	8,4
Sable très fin p. 100 .....	15,6	16,4	13,4	13,8	14,3
Sable grossier p. 100 .....	4,1	3,7	2,7	3,0	2,5
Argile .....	39,1	38,0	38,4	36,2	36,2
Limon .....	12,1	13,2	14,8	13,8	14,1
Sable fin .....	6,6	6,6	5,3	5,7	6,6
Sable très fin .....	10,7	10,7	8,6	9,6	6,7
Sable grossier .....	3,1	3,0	2,1	2,1	1,9
Matière organique p. 100 ..	1,53	1,41	0,82	0,62	
Carbone p. 100 .....	0,90	0,84	0,84	0,36	
Azote p. 1 000 .....	1,24	1,00	0,91	0,70	
C / N .....	7,2	8,4	5,3	5,1	
Carbonate p. 100 .....	21,9	22,3	21,9	22,8	21,9
Ca éch. méq. p. 100 .....	16,3	15,7	15,8	12,2	10,3
Mg éch. méq. p. 100 .....	4,3	5,3	5,8	6,2	6,0
Na éch. méq. p. 100 .....				0,7	1,5
K éch. méq. p. 100 .....				0,11	0,36
S méq. p. 100 .....				19,21	18,16
T méq. p. 100 .....	23,2	22,0	23,9	21,3	23,0
Ca / T × 100 .....	70	71	66	57	45
	23,2	22,0	23,9	21,3	23,0
Na / Ca × 100 .....				5,7	15
Ca / Mg .....	3,78	2,96	2,72	1,97	1,72
T par g d'argile .....	0,59	0,58	0,62	0,59	0,63
Montmorillonite % d'argile	42,9	41,8	46,0	42,9	47,3
Montmorillonite totale ....	16,7	15,9	17,6	15,5	17,1

Tableau VIII — Profil EA 1  
(p. 46)

Profondeur cm .....	0-20	30-40	60-70	80-90	130
N° d'échantillon .....	891	892	893	894	895
Argile p. 100 .....	51,1	51,3	48,8	46,9	47,9
Limon p. 100 .....	31,0	31,6	35,3	33,6	39,0
Sable fin p. 100 .....	11,4	12,1	11,4	8,6	8,6
Sable très fin p. 100 .....	4,6	4,5	4,9	4,3	2,4
Sable grossier p. 100 .....	0,5	0,3	0,3	5,5	0,8
Argile .....	40,8	39,4	39,0		39,7
Limon .....	18,9	17,4	20,2		21,0
Sable fin .....	6,0	6,1	6,5		6,1
Sable très fin .....	2,6	2,4	2,7		1,3
Sable grossier .....	0,3	0,2	0,2		0,2
Montmorillonite % d'argile	44,0	46,0	33,1		30,8
Montmorillonite totale .....	18,0	18,1	12,9		12,2
Matière organique p. 100 ..	0,84	0,79	0,58	0,46	0,46
Carbone p. 100 .....	0,49	0,46	0,34	0,27	0,27
Azote p. 1 000 .....	0,82	0,72	0,69	0,61	0,70
C / N .....	6,0	6,3	5,0	4,4	3,8
Carbonate p. 100 .....	23,3	23,3	23,0		22,9
Gypse .....			+	++	++
Chlorure p. 1 000 .....	—	—	—	tr	0,187
Sulfate de Na p. 1 000 .....	—	—	—	0,234	0,880
Sulfate de Mg p. 1 000 .....	—	—	0,180	0,474	1,416
Ca éch. méq. p. 100 .....	20,0	18,4	13,3	8,9*	5,0*
Mg éch. méq. p. 100 .....	3,1	5,0	4,8	8,6	12,1
Na éch. méq. p. 100 .....	0,74	0,90	0,80	1,00	1,35
K éch. méq. p. 100 .....	0,96	0,60	0,59	0,55	0,55
S méq. p. 100 .....	24,80	24,90	19,49	19,05	19,00
Na / Ca × 100 .....	3,7	4,9	6,1	11,1	27
Ca / Mg .....	6,45	3,68	2,77	1,03	0,41
T méq. p. 100 .....	24,5	24,5	19,5	19,0	10,9
T par g d'argile .....	0,60	0,62	0,50		0,48
Ca / T × 100 .....	82	75	68	47	26

\* par différence.

Tableau IX — Profil EA 6  
(p. 48)

Profondeur cm .....	0-15	15-45	45-95	140-150
N° d'échantillon .....	8121	8122	8123	8124
Argile p. 100 .....	55,4	54,3	56,0	55,3
Limon p. 100 .....	28,3	30,3	30,3	28,7
Sable fin p. 100 .....	9,7	9,5	8,2	8,4
Sable très fin p. 100 .....	4,7	4,4	4,5	4,5
Sable grossier p. 100 .....	0,7	0,6	0,6	1,3
Argile .....	42,6	44,6	47,4	45,4
Limon .....	15,9	15,8	15,6	16,2
Sable fin .....	14,8	5,3	5,4	5,8
Sable très fin .....	2,7	2,5	2,6	2,2
Sable grossier .....	0,3	0,4	0,2	0,1
Matière organique p. 100 ..	1,10	1,10	1,10	0,84
Carbone p. 100 .....	0,64	0,64	0,64	0,49
Azote p. 1 000 .....	0,83	0,91	0,78	0,56
C / N .....	7,7	7,0	8,2	8,7
Carbonate p. 100 .....	20,8	21,2	21,9	21,0
Gypse .....				++
Chlorure p. 1 000 .....	0	0	tr	1,287
Sulfate de Na p. 1 000 ....	0	0	0	2,059
Sulfate de Mg p. 1 000 ....	0	0	0	0,906
Ca éch. méq. p. 100 .....	19,8	21,7	18,4	8,3*
Mg éch. méq. p. 100 .....	7,1	5,8	8,6	10,0
Na éch. méq. p. 100 .....	1,1	0,9	1,2	6,7
K éch. méq. p. 100 .....	1,2	1,4	1,1	1,0
S méq. p. 100 .....	29,2	29,8	29,3	26,0
T méq. p. 100 .....	27,0	28,5	27,5	26,0
Ca / T × 100 .....	73	76	67	32
T par g d'argile .....	0,63	0,64	0,59	0,57
Montmorillonite % d'argile	47,3	48,4	42,9	40,7
Montmorillonite totale ....	20,1	21,6	20,3	18,5
Na / Ca × 100 .....	5,55	4,29	6,5	80,6
Ca / Mg .....	2,79	3,60	2,14	0,83

\* par différence.

Tableau X — Profil EA 9  
(p. 49)

Profondeur cm .....	0-20	40-50	80-90	120-130	160
N° d'échantillon .....	8141	8142	8143	8144	8145
Argile p. 100 .....	56,0	56,0	54,0		53,2
Limon p. 100 .....	28,8	29,9	35,1		37,6
Sable fin p. 100 .....	10,4	10,1	6,2		7,0
Sable très fin p. 100 .....	3,9	3,7	2,2		0,8
Sable grossier p. 100 .....	0,5	0,4	0,4		1,2
Argile .....	46,5	48,1	45,2	41,0	42,6
Limon .....	18,3	17,7	20,3	21,4	23,0
Sable fin .....	8,0	8,0	5,4	4,3	3,9
Sable grossier .....	0,3	0,2	0,2	1,5	0,5
Matière organique p. 100 ..	1,37	1,32	0,77	0,36	0,46
Carbone p. 100 .....	0,80	0,77	0,45	0,21	0,27
Azote p. 1 000 .....	0,94	0,78	0,75	0,64	0,77
C / N .....	8,5	10,0	6,0	3,2	3,4
Gypse .....				++	++
pH eau .....	7,5	8	8,2	8,4	8,5
Chlorure p. 1 000 .....	0	0	0,187	0,386	0,608
Ca éch. méq. p. 100 .....	19,6	18,4	10,0	3,8*	4,2*
Mg éch. méq. p. 100 .....	6,1	7,8	10,0	9,2	11,0
Na éch. méq. p. 100 .....	1,8	1,8	2,2	2,5	2,3
K éch. méq. p. 100 .....	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0
S méq. p. 100 .....	28,9	29,1	23,0	16,5	18,5
T méq. p. 100 .....	28,0	28,5	22,5	16,5	18,5
Ca / T × 100 .....	70	65	45	23	23
Na / Ca × 100 .....	9,2	9,8	22	65,6	54,8
Ca / Mg .....	2,3	2,36	1,0	0,41	0,38

\* par différence.

Tableau XI — Profil AKP I  
(p. 50)

Profondeur cm .....	0-15	20-30	40-50	80-90	100-120
N° d'échantillon .....	7 1631	7 1632	7 1633	7 1634	7 1635
Argile p. 100 .....	51,8	54,4	54,0	54,6	50,4
Limon p. 100 .....	35,4	30,7	30,4	33,2	36,6
Sable fin p. 100 .....	7,8	7,8	8,4	7,4	9,5
Sable très fin p. 100 .....	1,3	2,4	1,9	1,9	2,0
Sable grossier p. 100 .....	1,1	2,6	2,7	1,4	0,3
Argile .....	43,0	42,4	42,4	40,4	40,0
Limon .....	18,6	18,2	18,2	19,7	21,2
Sable fin .....	4,1	3,8	3,9	3,8	6,0
Sable très fin .....	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5
Sable grossier .....	0,4	0,6	1,0	0,3	0,2
Matière organique p. 100 ..	0,62	0,40	0,31	0,21	
Carbone p. 100 .....	0,36	0,23	0,18	0,12	
Azote p. 1 000 .....	0,76	0,55	0,59	0,60	
C / N .....	4,74	4,18	3,0	2,0	
Carbonate p. 100 .....	24,1	22,7	22,3	22,8	24,1
pH .....	7,5	7,6	7,9	8,0	8,1
Chlorure p. 1 000 .....	0	1,92	1,60	1,50	2,03
Sulfate de Na p. 1 000 ....	+	1,06	1,91	2,41	2,34
Sulfate de Mg p. 1 000 ....	+	0,58	0,55	0,60	0,55
Ca éch. méq. p. 100 .....	19,8	8,9	8,1	5,5	5,6
Mg éch. méq. p. 100 .....	2,3	8,0	6,1	7,1	5,5
Na éch. méq. p. 100 .....	0,8	4,4	6,6	7,3	7,6
K éch. méq. p. 100 .....	1,0	0,67	0,73	0,67	0,77
S méq. p. 100 .....	23,9	21,97	21,53	20,57	19,47
T méq. p. 100 .....	24,0	22,0	21,5	20,5	19,5
Na / Ca × 100 .....	4	49	81	133	136
Ca / Mg .....	8,6	1,11	1,33	0,77	1,02
T par g d'argile .....	0,56	0,52	0,51	0,51	0,49
Montmorillonite % d'argile	39,6	35,3	34,2	34,2	32,0
Montmorillonite totale ....	17,0	15,0	14,5	13,8	12,8

Tableau XII — Profil EA 11  
(p. 52)

Profondeur cm .....	0-10	20-40	35-60
N° d'échantillon .....	8151	8152	8153
Argile p. 100 .....	48,8	48,4	48,0
Limon p. 100 .....	28,8	29,0	30,8
Sable fin p. 100 .....	11,5	10,9	11,0
Sable grossier p. 100 .....	0,8	1,2	1,7
Argile .....	42,2	42,8	40,4
Limon .....	16,7	17,5	20,2
Sable fin .....	11,0	12,0	10,0
Sable grossier .....	0,6	0,5	0,6
Matière organique p. 100 .....	0,77	0,77	0,67
Carbone p. 100 .....	0,45	0,45	0,39
Azote p. 1 000 .....	1,32	1,28	0,77
C / N .....	3,4	3,5	5,0
Carbonate p. 100 .....	23,5	23,5	22,7
pH .....	7,5	8	8,5
Chlorure p. 1 000 .....	0	0	0
Ca éch. méq. p. 100 .....	20,0	18,5	3,7*
Mg éch. méq. p. 100 .....	3,5	3,8	8,3
Na éch. méq. p. 100 .....	1,4	1,5	1,7
K éch. méq. p. 100 .....	1,0	1,0	0,8
S méq. p. 100 .....	25,9	24,8	14,5
T méq. p. 100 .....	25,5	24,0	14,5
Na / Ca × 100 .....	7,0	8,1	46
Ca / Mg .....	5,7	4,87	0,45

\* par différence.



Tableau XIII — Profil OMP 3

(p. 53)

Profondeur cm .....	0-15	15-25	25-45	70-85
N° d'échantillon .....	1531	1532	1533	1534
Argile p. 100 .....		60,9	68,8	66,2
Limon p. 100 .....		14,1	22,8	24,2
Sable fin p. 100 .....		3,5	2,4	5,3
Sable très fin p. 100 .....		1,7	2,2	2,0
Sable grossier p. 100 .....		1,2	2,8	1,0
Conductivité mo-mohs ..	0,9	0,7	3,0	16,9
pH .....	7,4	8,1	7,6	8,0
	7,6	7,8	7,8	7,9
Chlorure p. 1 000 .....			2,866	7,254
Sulfate p. 1 000 .....		+	3,55	3,76
Ca éch. méq. p. 100 .....	36,4	39,1	18,8*	13,6
Mg éch. méq. p. 100 .....	4,4	4,1	5,9	5,1
Na éch. méq. p. 100 .....	0,7	2,8	18,0	29,7
K éch. méq. p. 100 .....	1,38	1,35	1,25	1,0
S méq. p. 100 .....	42,9	47,4	42,9	49,4
T méq. p. 100 .....	42,9	46,5	44,0	48,0
Na / Ca × 100 .....	1,9	7,2	96	218
Ca / Mg .....	8,3	9,5	3,2	2,7

\* par différence.

Tableau XIV — Profil OM 1  
(p. 55)

Profondeur cm .....	0-10	10-20	20-50	60-70
N° d'échantillon .....	8161	8162	8163	8164
Argile p. 100 .....	75,8	75,2		
Limon p. 100 .....	17,0	18,5		
Sable fin p. 100 .....	3,0	2,2		
Sable très fin p. 100 .....	1,0	1,3	1,1	1,1
Sable grossier p. 100 .....	0,5	0,9	2,0	1,2
Argile .....	76,0	75,2	74,7	65,0
Limon .....	13,0	14,0	13,0	21,1
Sable fin .....	3,0	3,0	3,5	4,8
Sable grossier .....	0,3	0,5	0,6	0,5
Matière organique p. 100 ..	0,82	0,67	0,57	0,36
Carbone p. 100 .....	0,48	0,39	0,33	0,21
Azote p. 1 000 .....	0,52	0,42	0,37	
C / N .....	9,2	9,2	9,0	
Carbonate p. 100 .....	3,9	3,9	3,3	3,4
Conductivité mo-mohs ..	0,7	3,8	11,5	17,2
pH eau .....	8,3	7,7	7,9	
pH saturé .....	7,6	7,7	8,0	
Chlorure p. 1 000 .....	0,0	0,0	2,55	3,63
Sulfate p. 1 000 .....			++	++
Ca éch. méq. p. 100 .....	42,1	36,6	7,4	5,7
Mg éch. méq. p. 100 .....	4,5	4,8	7,9	7,2
Na éch. méq. p. 100 .....	2,1	7,3	34,4	39,2
K éch. méq. p. 100 .....	1,8	1,8	1,8	1,4
S méq. p. 100 .....	50,5	50,5	51,5	53,5
T méq. p. 100 .....	50,5	50,5	51,5	53,5
Na / Ca × 100 .....	5	20	465	686
Ca / Mg .....	9,35	7,61	0,936	0,79

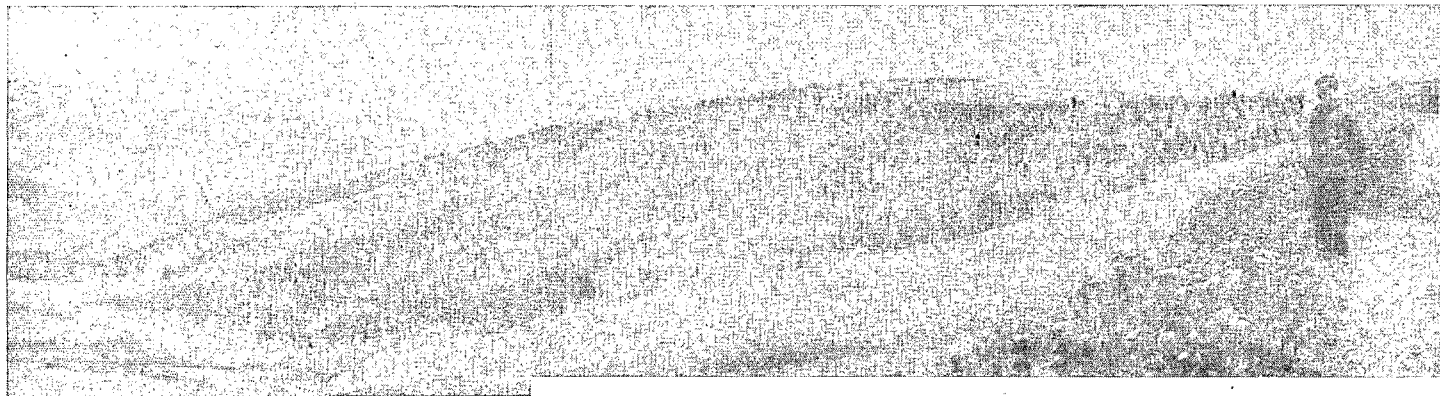


CLICHÉ N° 1. — Différence fondamentale *au premier plan* entre le versant de droite où la marne sodique est à nu sans couvert végétal, et le versant de gauche sur marne calcique où le développement du sol permet une végétation et le succès des plantations d'*Eucalyptus occidentalis* au deuxième plan.

*Au troisième plan* : un aspect des reliefs marneux du préif.

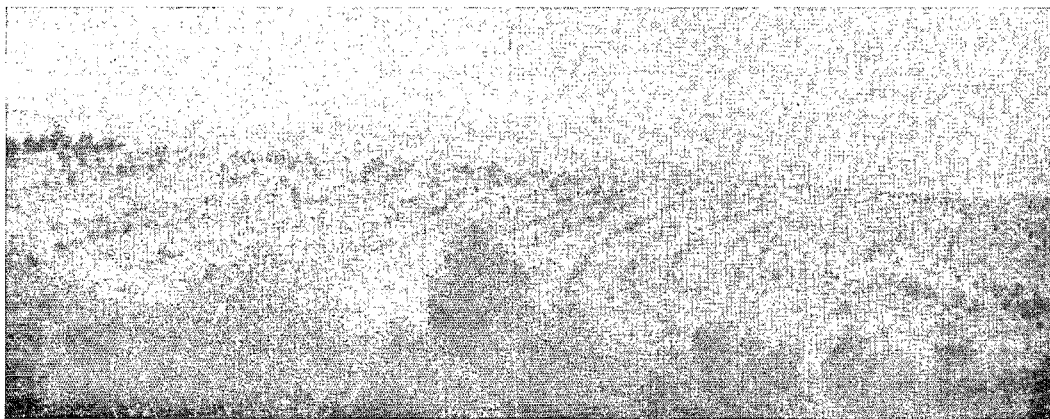


CLICHÉ N° 2. — Au voisinage du profil OM 3, tout ce versant a été planté il y a 6 ans en *Eucalyptus occidentalis*, sur régosol d'érosion, avec la marne sodique et salée à proximité de la surface du sol ou écorchée dans le bad-land à gauche. C'est l'échec total.



CLICHÉ N° 3. — Vue panoramique du périmètre de Moulay-Yacoub II, 10 ans après la première plantation. Les arbres réussis sont des *Eucalyptus occidentalis*; les sols sont des régosols d'érosion; la roche mère est une marne tortonienne bleue. On peut distinguer la liaison entre l'échec et les pentes les plus fortes.

A l'arrière-plan le prérief marneux sans couvert forestier.

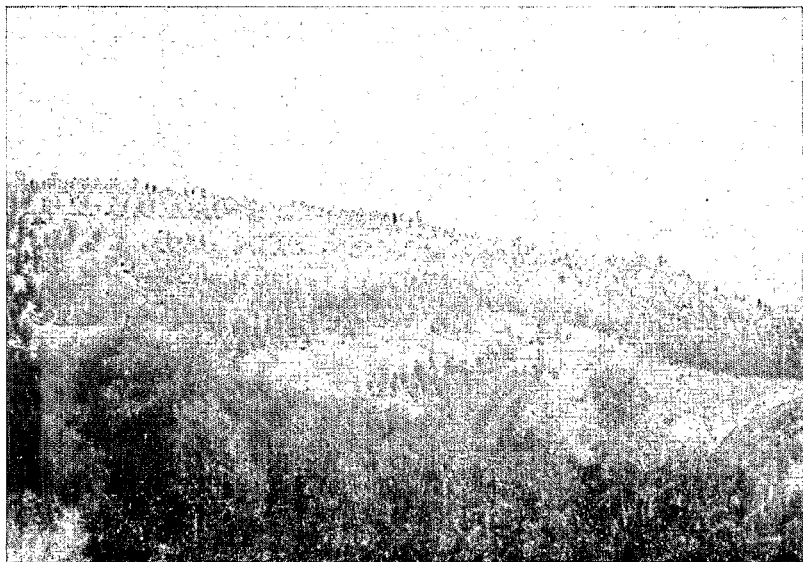


CLICHÉ N° 4. — Vue panoramique du périmètre de Sidi Harazem.

Au premier plan réussite d'*Eucalyptus occidentalis* sur marne sableuse.

Au deuxième plan échec presque total sur marne tortonienne bleue : la plupart des taches sur les courbes de niveau sont des cuvettes de plantation vides d'arbre. Sur ces pentes faibles les sols lourds vertiques sont épais et s'opposent à un enracinement profond.

Au troisième plan à droite le lit du fleuve Sebou et au fond le préif.



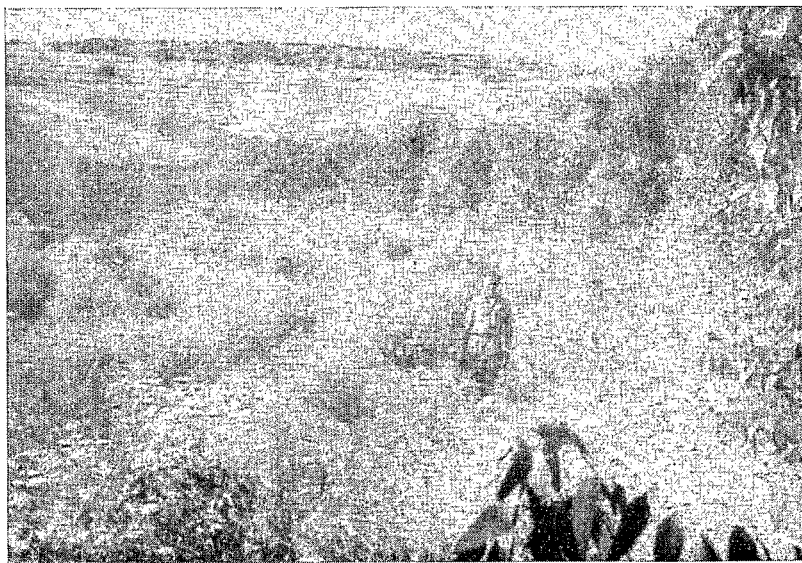
CLICHÉ N° 5. — Vue du périmètre de l'oued Mikkès sur marne de l'Helvétien non sodique. La réussite d'*Eucalyptus occidentalis* peut être considérée comme moyenne mais on notera cependant sa grande hétérogénéité.



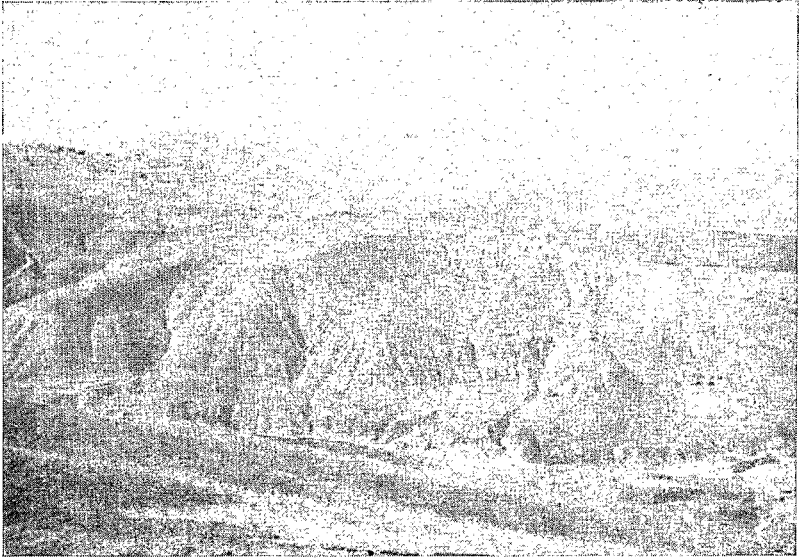
CLICHÉ N° 6. — *Pinus halepensis* de 14 ans sur marne bleue du tortonien dans les meilleures conditions : hauteur moyenne 4 mètres.



CLICHÉ N° 7. — *Pinus halepensis* de six ans dans les mêmes conditions de sol qu'au cliché n° 6.



CLICHÉ N° 8. — Un aspect du boisement dans le périmètre de El Amria dans les bonnes conditions de sol sur marnes bleues du Tortonien. A droite, *Eucalyptus occidentalis* de six ans; à gauche *Pinus halepensis* du même âge. On notera le port en boule de *Pinus halepensis* et la différence de croissance avec *Eucalyptus occidentalis* pour le même âge.



CLICHÉ N° 9. — Un exemple de l'érosion sur marnes miocènes dans la région de Moulay-Yacoub.



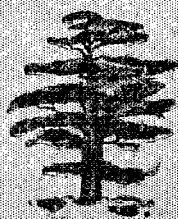
ROYAUME DU MAROC  
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE  
ADMINISTRATION DES EAUX ET FORÊTS  
ET DE LA CONSERVATION DES SOLS

المملكة المغربية  
وزارة الفلاحة  
إدارة المياه والغابات  
والمحافظة على الأرض

# ANNALES DE LA RECHERCHE FORESTIERE AU MAROC

TOME 11

RAPPORT  
1968-69



B4830  
B 4831

STATION  
DE RECHERCHES FORESTIERES  
DE RABAT

مركز الأبحاث المتعلقة  
بالغابات بالرباط

Éditions Techniques Nord-Africaines  
RABAT - NOVEMBRE 1970

المطبوعات المغربية الفنية  
الرباط - رمضان 1390