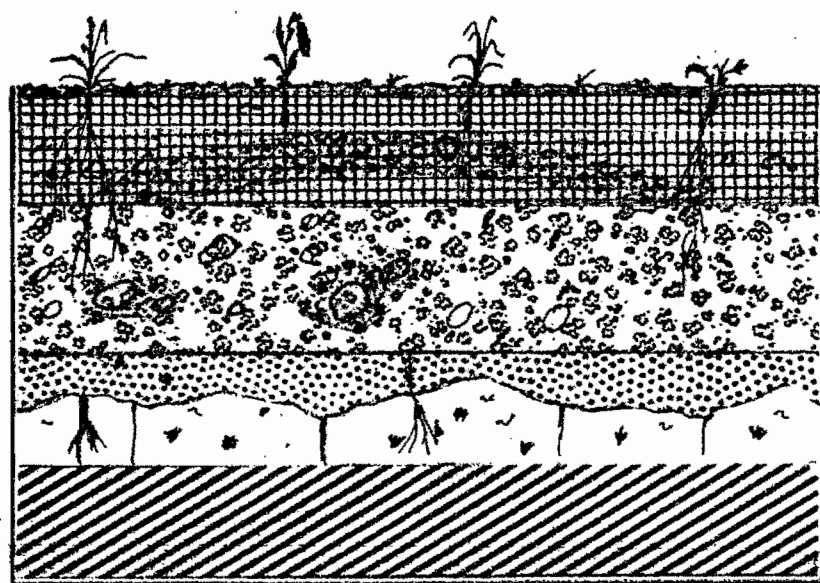


MEMOIRE

Explicatif de la Carte Pédologique des régions de Ben-Slimane (ZIAIDA, ARAB)

( Méséta Atlantique Marocaine )



PAR: H. GHANEM

In fine - Carte Pédologique

Ech: 1 / 100.000

Cartes de formations superfisielles, des aptitudes culturales

ETUDE COMPAREE DES SOLS

VI a - HARCH MERZAG, MEKZAZ ( Sols hydromorphes minéraux lessivés  
ou planosols )

VI b - LE CONCRETIONNEMENT ET LE CUIRASSEMENT SOUS CLIMAT  
MEDITERRANEEN

1° / Sols isohumiques et calcimagnésiques

2° / Les tirs et sols tirsifiés ( Vertisols )

3° / Les Hamris ( Sols à Sesquioxides de fer - fersiallitic - Soils )

- M E M O I R E S -

Explicatif de la carte pédologique des régions de . .  
Ben Slimane (ZIAIDA - et Sud ARAJ)  
(Mésita Atlantique marocaine)

Par : HADDOU GHANEM.

in fine : ETUDE COMPAREE DES SOLS

LES LOIS DE REPARTITION DES SOLS

LE CONCRETIONNEMENT ET LE CUIRASSEMENT SOUS CLIMAT  
MEDITERRANEEN (Xérothérique).

16 PLANCHE

Cartes Hors-Texte :

- Croquis de situation
- Cartes des formations superficielles, carte phréatique, carte pédologique (Ech. 1/100,000)
- Carte des aptitudes culturales (Ech 1/100,000).
- 16 Planches 10 photos

22, Mars 1970.

- PLAN -

Avant-propos :

- But de l'étude ..... 3-4
- Remerciements ..... 5

⚡:⚡:⚡:⚡:⚡

|                                                                                                                                                                                                                                                            |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| TOME I- Chapitre premier : LE MILIEU NATUREL                                                                                                                                                                                                               | 6       |
| I- Situation géographique                                                                                                                                                                                                                                  | 6       |
| II- Les facteurs de pédogenèse                                                                                                                                                                                                                             | 6       |
| II-I- LE CLIMAT                                                                                                                                                                                                                                            | 6-I5    |
| II-II- Données climatiques (période 1947-1965)                                                                                                                                                                                                             | 6-9     |
| I2- Indices climatiques et type de climat                                                                                                                                                                                                                  | 9-I4    |
| I3- Paléoclimat - <u>Conclusion</u> -                                                                                                                                                                                                                      | I5      |
| II-2- LA GEOLOGIE-GEOMORPHOLOGIE                                                                                                                                                                                                                           | I6-20   |
| II-2I- LE PALEOZOIQUE : Le Cambrien (Acadien<br>Schisteux et quartzitiques) l'Ordo-<br>vicien et le Silurien<br>(schiste "argileux" et quartzites) le Dévonien<br>(schiste et calcaire "silicieux") le Carbonifère<br>(schistes phylliteux. et quartzites) |         |
| II-22- LE PERMO-TRIAS.....                                                                                                                                                                                                                                 | I8      |
| Les basaltes doléritiques du trias, la série ar-<br>gileuse à attapuligite (et à sépiolite) et le<br>conglomérat ferrugineux                                                                                                                               |         |
| II-23- LE MOGHREBIEN- LE QUATERNAIRE.....                                                                                                                                                                                                                  | I9      |
| Calcaire "dunaire" et calcaire "silicieux"<br>Le Villafranchien : limons à pisolites<br>Les alluvions récentes "Gharbien récent"                                                                                                                           |         |
| Conclusions : esquisse des formations superficielles<br>(cartes hors-texte).....                                                                                                                                                                           |         |
| II- Annexe : Altération des roches et des minéraux<br>Hydro-géologie de l'Ouest de Ben Slimane<br>(bibliographie)                                                                                                                                          | 20a-20b |
| II-3- LA VEGETATION .....                                                                                                                                                                                                                                  | 2I      |
| - Principales espèces végétales et occupations<br>des sols.....                                                                                                                                                                                            | 2I-2I   |
| - Rôle de la végétation (-fossile et actuelle)<br>directe et indirecte dans la genèse et<br>l'évolution des sols.....                                                                                                                                      | 22-23   |
| II-4- Facteurs biologiques                                                                                                                                                                                                                                 |         |
| II-4I- Faune des sols (et microflore des sols)                                                                                                                                                                                                             |         |
| 42- Facteurs anthropique                                                                                                                                                                                                                                   |         |
| II-5- Facteur "limitant" ou "facteur de pédogenèse<br>externe".....                                                                                                                                                                                        | 24      |
| - l'érosion hydraulique et éolienne                                                                                                                                                                                                                        |         |
| II-6- CONCLUSIONS                                                                                                                                                                                                                                          |         |

Chapitre II- LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

26a

- II-I- MORPHOLOGIE des profils types  
(et Résumé)- Caractéristiques chimiques,  
physiques, minéralogiques, et biolo-  
giques des sols..... 26a
- 2- Les sols Brunifiés 29-30-3I-
- 3- Les sols calcimagnésiques et les sols  
isohumiques..... 3I-43
- 4- Les vertisols (Tirs et sols tirsifiés) 43-75-

°°°°°°°°

TOME II

- 5)- Les sols à sesquioxides de fer : sols rouges et bruns  
méditerranéens
- 6)- Les sols hydromorphes minéraux (ou peu humifères)  
Lessivés ..... 75-II2
- IV- APTITUDES CULTURALES DES SOLS : Les facteurs  
limitants ..... I63
- IV-I- Facteurs limitants extrinsèques..... I63
- IV- Facteurs limitants intrinsèques des sols I63-I64
  - Caractéristiques agropédologiques  
des sols..... I6Ia
  - Principales interventions agricoles I64-I65

Chapitre III - ETUDES PEDOLOGIQUES

- I- Les lois de répartitions de sols. I60
  - répartitions des sols sur les principales  
formations géomorphologiques. (coupes  
pédo-géologiques)..... I5ab
  - Lois de répartition mono, bi et plurifac-  
torielles: séquences et chaînes de sols I62.
- II- LE CONCRETIONNEMENT ET LE CUIRASSEMENT sous climat  
méditerranéen
- I- <sup>formes</sup> Formes ~~des~~ différentes d'accumulations des sesquioxides  
de fer I23-I24-I28abc
- 2- Le phénomène et le processus du concrétionnement  
et du cuirassement I25
- 3- Age des cuirasses I28
- 5- conclusions : la classification des sols hydromor-  
phes minéraux I29
  - Bibliographie I69-I73
  - Méthodes d'analyses I66-I68

°:°:°:°:°:°:°

RABAT, // e 3I MARS I970.

- AVANT-PROPOS -

- Au Maroc, la cartographie des sols fut considérée pendant les deux dernières décades comme "une représentation photographique" des principaux types de sols observés sur les terrain ; les cartes de reconnaissance des sols étaient alors dressées d'après de rapides prospections ~~sur les photographies~~ et d'après d'incomplètes interprétations des photographies aériennes, ces cartes étant ou non accompagnées de notices explicatives ou d'un rapport sommaire situant les sols dans leur cadre géographique -

- Quelques furent les critères de base ayant servi à dresser les cartes et leurs légendes, notamment les critères géomorphologiques, morphologiques voire même morphogénétiques ou des critères intrinsèques des sols, la cartographie des sols ne fut que partiellement et par ~~une~~ <sup>une</sup> de rares

*chercheurs* envisagée sous son aspect dynamique et synthétique, intégrant les diverses sciences de la terre - et comme science ayant pour objet non seulement la représentation exhaustive des principaux types - ou unités - de sols d'une région donnée, mais aussi et surtout l'étude approfondie des sols en vue de leur classification harmonieuse autant que de leur caractérisation agropédologique.

- De nombreux pédologues cartographes se heurtent au choix d'une classification de sols susceptible d'être adaptée dans sa totalité aux sols du Maroc, et ont cherché à établir à priori un ensemble de critères de base, différents d'ailleurs selon l'échelle des cartes dressées(?) - en s'inspirant des diverses classifications à caractère mondiale - (Classification de AUBERT G., P. DUCHAUFOR, clas. américaine, russe ou universelle de E.H. Del Villar) ou en se basant sur les principaux caractères intrinsèques des sols dont la texture, la couleur, la profondeur des sols, les bilans hydriques, la présence d'horizon "diagnostic"... et/ou extrinsèques des sols dont les NIVEAUX ou "facies géomorphologiques", les roche-mères, le drainage externe... cas divers critères étant pris séparément.

- Ces diverses méthodes, insuffisantes en <sup>elles mêmes</sup> ~~soit~~, font que la synthèse de nombreuses cartes qui ont été dressées au Maroc s'avère très difficile - voire impossible -

- La cartographie régionale des sols ne devrait pas se limiter au "diagnostic" des sols ou à leur répartition géographique, mais elle devrait être menée parallèlement aux études de phénomènes qui déterminent et orientent la genèse des sols et aux études de laboratoire (très rares) et ce, en vue de leur classification "en séries régulièrement et logiquement ordonnées dans les quelles chacun d'eux puissent être classé" (I). C'est dans cette optique que nous avons cartographié les régions des ZIADA et ARAB -Sud ainsi que les régions des ZAER (+) et rédigé ce présent mémoire, même si cette voie d'approche dans la connaissance des sols des régions citées apparaît prolyxe et nécessite de long délais - La classification des sols "adoptées" dans la première phase est celle de G. AUBERT (1965) à laquelle nous avons apporté quelques légères modifications, notamment aux niveaux des groupes et des sous-groupes. Les corrélations entre la classification adoptée et diverses classifications des sols dans le monde s'avèrent souvent délicates et ce du fait que :

- La classification étant morphogénétique - suppose donc la connaissance des conditions et des processus de formation et d'évolution des sols ; or le cadre bioclimatique et géomorphologique marocain, malgré les travaux récents de nombreux spécialistes des sciences de la terre, reste encore à élucider : et souvent une part de l'histoire des sols échappe au simple "diagnostic" des sols - Les phénomènes pédogénétiques tels : la vertisolisation, la ferruginisation ; l'hydromorphie - ou hydrogenèse - ect sont des (concepts) notions qui restent à définir pour les sols Maroc (quand ces mêmes concepts notions ne sont pas partiellement rejetées par les pédologues marocains) - Aussi dans certains cas avons-nous utilisé la terminologie mises au point au Maroc et notamment par E.H. D'EL VILLAR, G. BRYSSINE et par les pédologues ORSTOM quand elle ne contrevient pas la typologie des sols adoptée

La rubéfaction

- Les cycles morphologiques sont peu connus et les cycles morphogénétiques (cycles du calcaire, du fer, des sels) très complexes -
- La superposition de plusieurs caractères morphologiques qui traduirait l'interaction de deux ou plusieurs phénomènes pédogénétiques d'intensité analogue : tels : le lessivage et l'hydromorphie, le lessivage et la rubéfaction, la rubéfaction et l'isohumisme...ect ; rend ambiguë la typologie d'un sol et son affiliation aléatoire.

Cependant la très grande diversité des sols même dans une zone de superficie relativement faible permet d'envisager simultanément un grand nombre de critères de base de la classification des sols, et l'étude comparée des sols, tant du point de vue morphologique que génétique, de mieux comprendre les degrés de formation et d'évolution des sols.

Si les conditions matérielles ont restreint l'extension de nos travaux et ont prolongé les délais d'exécution, nous nous sommes efforcés de serier un certain nombre de problèmes pédologiques afin de mieux situer les données acquises et d'entrevoir pour les années à venir une ligne directrice souple mais cohérente.

La portée de ce présent mémoire est fort modeste et a pour objet :

- 1- La cartographie des sols d'une feuille topographique régulière au 1/50.000 (réduite au 1/100 000.)
- 2- La cartographie des formations superficielles et des aptitudes culturales des sols
- 3- L'étude comparée des sols et leur caractérisation pédologique et agropédologique
- 4- L'étude des phénomènes de concrétionnement et de cuirassement sous climat méditerranéen (cette étude sera complétée ultérieurement pour les régions des ZAERS)
- 5- Enfin un certain nombre de problèmes afférents à la typologie et l'agropédologie ont été abordés -

Cette étude est le fruit de la collaboration de nombreux chercheurs qui nous ont aidé à titres divers -

(1) G. Aubert. - La classification des sols (1965) : : : / : .

- REMERCIEMENTS -

En Novembre 1966 H. FARAJ alors chef du Service de Recherches Ecologiques de L'INRA, actuellement Directeur de la DRA, nous a confié l'étude et la cartographie des sols de la région des Zaers et la vérification de toutes les cartes de reconnaissance des sols qui couvrent cette région. Après l'excursion pédologique avec notre maître G. Aubert, nous avons subdivisé notre étude en deux étapes : la première consistait à cartographier une zone de superficie limitée et qui fait l'objet de ce présent mémoire qui s'inscrit dans le cadre du diplôme ORSTOM, la seconde étant la synthèse de tous les travaux de cartographie des sols des Zaers, de la Haute Chaouia et des Sehoul - Parallèlement aux études pédologiques générales des régions citées, nous avons porté notre choix sur les régions de Ben-Slimane (Ex-Boulhaut) Ziada et ARAB qui de part leurs variations géographiques, nous ont permis d'envisager outre la cartographie des sols proprement dite, l'étude des quelques phénomènes pédologiques tel l'hydrogenèse des sols "Harch et Merzag et mekzaz" ainsi que les lois de répartition des sols, ou l'étude comparée des sols ;

(sols halomorphes podzols et ferrallitiques exclus) - morphologique et génétiques en vue de leur classification et de leur caractérisation agropédologique - Au cours de nos travaux, nous avons contracté une dette de reconnaissance envers de nombreuses personnes qui nous ont aidé à titre divers : en premier lieu à mon ami le Directeur de la D.R.A. H. FARAJ qui n'a ménagé aucun effort pour nous assurer des conditions de travail adéquates et nous a encouragé à publier ce présent mémoire. Je dois une reconnaissance particulière à M. AGOUD qui a collaboré à nos travaux de prospection et d'analyses des sols, ainsi qu'à Mme Żakrzewka pour le soin qu'elle n'a cessé d'apporter aux analyses chimiques, à Mme Illièva et M. Lotfi pour les analyses physiques, à M. Deflandre pour les analyses minéralogiques (ATD) et à Mme I. Bryssine qui a contribué largement aux déterminations de la microflore des sols des Ziada et Arab, à M. Ionesco et ses collaborateurs pour les déterminations de la flore et enfin à tous les techniciens des laboratoires de chimie et de physique des sols de la D.R.A.

Je remercie également M. G. Bryssine qui m'a aidé dans mes premières recherches bibliographiques, ainsi que M. Beaudet qui a bien voulu m'accompagner sur le terrain malgré ses nombreuses occupations et nous communiquer ses travaux sur la géomorphologie des Zaers et de la Haute Chaouia

M. Ben Farès et les dessinateurs de la DED-) Ben Abdellah, Khobiza ont contribué à la mise au point définitive des maquettes de la carte pédologique et des formations superficielles, qu'ils trouvent ici l'expression de mes chaleureux remerciements -

Je ne saurais oublier que ce premier mémoire n'est que la concrétisation de tout ce que notre maître M. G. Aubert nous a enseigné tant à Grigon qu'à L'ORSTOM et qui nous a appris à aimer le dur, mais combien passionnant métier de pédologue.

Je remercie également Melle Noufissa qui a assuré la frappe de ce mémoire.

.../...

- I -

LES FACTEURS DE PEDOGENESE

## CHAPITRE I/

### - LE MILIEU NATUREL -

#### Résumé

#### I- Situation géographique :

Les zones cartographiées/<sup>se</sup> situent sur les bas-plateaux de la Méséta marocaine et s'inscrivent en longitude entre 7° 15' LW de Gr. et en Latitude entre 33° 30' et 33° 45'. Deux unités géographiques bien distinctes se partagent la feuille au I/50.000 de Ben Slimane:

a)- Au Nord : les bas-plateaux de Sud Arab: haute surface villafranchienne taillée respectivement à l'Ouest et à l'Est par les Oued Ari-mème et Korifla, ce dernier constitue une limite naturelle entre les Zaers et la haute Chaouia - Au Nord de la forêt de Ben Slimane, la monotonie des plateaux est rompue par les collines de "dunes consolidées quaternaire" qu'on retrouve sur toute la Méséta Atlantique du Maroc -

b)- Au Sud: les plateaux des daiyas et la haute surface finivillafranchienne constituent d'anciennes surfaces d'érosions taillées par l'Oued N'fifikh et son confluent l'Oued Dir qui s'enfoncent dans les terrains meubles triasiques et dessinent des vallées évasées -

Ces plateaux villafranchiens qui tronquent les terrains primaires schisteux et quartzitiques, et les bas-plateaux (miopliocène) sont caractéristiques de la Méséta Atlantique marocaine par leur relief, leur climat et les sols qu'on y trouve ./.

c) La superficie globale moyenne cartographiée est de 690 km<sup>2</sup> environ -

#### II- LES FACTEURS DE PEDOGENESE

- Climat
- Roche-mères et matériaux originels
- La topographie (Drainage)
- La faune et microflore

Ces divers facteurs de formation et d'évolution des sols ou facteurs épigéniques ont un rôle pédogénétique plus important que les facteurs hypogéniques - tel le rôle des nappes aquifères très profondes ( à plus de 30 mètres de profondeur en moyenne, sauf en bordure des daiyas) - Cependant, comme nous le verrons, les sols hydrohypogéniques autochtones actuels ou subactuels sont liés à la présence de nappes temporaires qui prennent naissance au niveau de la zone d'altération des schistes et remontent jusqu'en surface, en période de très fortes pluviosités -

\*--\*--\*--\*--\*--\*--\*--\*

#### II-I LE CLIMAT

##### \$ - Résumé :-

a- Le climat actuel des régions de Ben-Slimane - Ziaida et Sud-Arab est d'après la classification bioclimatique d'Emberger-du type Méditerranéen semi-aride, ou Xérothérique d'après la classification mondiale des climats de Gaussen- Il se caractérise par une longue période sèche égale à 3 à 5 mois et par l'inégale répartition des pluies (Les précipitations hivernales et printanières tombent généralement sous-forme d'averse) -

La pluviosité moyenne annuelle est environ de 490 millimètres, la température maximale moyenne du mois le plus chaud étant de 32°C et la température moyenne du mois le plus frais de 6°7 centigrades -

## b- Le paléo-climat

De nombreux auteurs, climatologues, géologues, géographes et pédologues ont abordé les problèmes que posent les fluctuations climatiques au cours du quaternaire et ont émis des hypothèses différentes - l'existence de périodes climatiques plus chaudes ou plus humides - "climat de la croûte et climat rubéfiant" (I3) est contestée actuellement par de nombreux spécialistes des sciences de la terre qui admettent que le climat marocain fut du type méditerranéen pendant le quaternaire avec des périodes de forte intensité pluviométrique ou pluviaux (correspondant aux glaciations en Europe) et de périodes relativement plus sèches ou interpluviaux (interglaciaire) (I4) alors que "le cadre bioclimatique marocain serait resté résolument du type méditerranéen pendant toute la période post-villafranchienne" (8)

♦-♦-♦-♦-♦-♦-♦

### II-I.1 - DONNEES CLIMATIQUES

#### II-I. - PLUVIOMETRIE

Les moyennes des précipitations mensuelles et annuelles ont été calculées pour la période 1947 - 1965 - Les hauteurs des précipitations ont été enregistrées à la station météorologique de Ben-Slimane (situé à 28,0 mètres d'altitude et à 33° 37 de Latitude). Ces hauteurs ne constituent que des valeurs approchées pour les régions cartographiées du fait des variations géographiques de ces régions et des variations microclimatiques qui en découlent. Ainsi les hauteurs des précipitations portées sur le tableau ci-après ne sont que des valeurs moyennes pour la région de Ziaida, au Sud de Ben-Slimane à climat plus continental que la région de Sud-Arab, au Nord, à climat méditerranéen atténué - ou Euméditerranéen - (3) par l'influence de l'Océan Atlantique

Tableau I : Hauteur des précipitations : période  
1947-1965.

== TABLEAU I Hauteurs des précipitations : période 1947-1965 ==  
§-§-§-§-§

|             | J     | F     | M     | A     | M    | J    | J   | A   | S    | O    | N     | D     | Moyenne an. |
|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|------|------|-------|-------|-------------|
| 1947        | 69,9  | 10,1  | 51,9  | 4,3   | 55,3 | NT   | NT  | NT  | 12,0 | 31,1 | 78,9  | 26,5  | 434         |
| 48          | 97,8  | 61,6  | 23,1  | 76,7  | 13,9 | NT   | NT  | NT  | NT   | 25,0 | NT    | 110,8 | 408,9       |
| 49          | 80,1  | 27,5  | 27,0  | 91,1  | 5,0  | NT   | 1,5 | TR  | NT   | NT   | 73,0  | 115,3 | 430,5       |
| 50          | 25,7  | 17,4  | 21,3  | 6,2   | 5,8  | NT   | NT  | TR  | 2,2  | 19,7 | 11,6  | 111,8 | 241,7       |
| 51          | 92,3  | 105,7 | 40,9  | 19,0  | 37,2 | NT   | NT  | NT  | 5,2  | 19,9 | 101,6 | 34,3  | 453,1       |
| 52          | 81,2  | 10,0  | 27,5  | X     | X    | NT   | TR  | NT  | 15,4 | 13,6 | 46,0  | 106,0 | -           |
| 53          | 79,5  | 22,9  | 35,9  | 23,5  | NT   | 2,2  | NT  | NT  | 54,3 | 22,3 | 5,7   | 29,1  | 275,4       |
| 54          | 107,0 | 63,1  | 112,3 | 26,2  | NT   | NT   | x   | NT  | NT   | 4,8  | 12,4  | 59,7  | 385,5       |
| 55          | 130   | 114,9 | 83,2  | 19,2  | 4,8  | x    | x   | x   | x    | 70,0 | x     | x     | -           |
| 56          | x     | x     | x     | x     | x    | x    | x   | NT  | x    | x    | x     | x     | -           |
| 57          | x     | x     | x     | x     | 11,3 | 3,5  | NT  | NT  | TR   | 43,4 | 70,9  | 176,7 | -           |
| 58          | 47,2  | 19,1  | 18,8  | 16,2  | 17,0 | 1,6  | NT  | 6,0 | NT   | 8,4  | x     | 113,4 | -           |
| 59          | 46,0  | NT    | 55,0  | 31,4  | 46,5 | 2,8  | 3,3 | NT  | 18,0 | 18,0 | 43,5  | 95,9  | 360,4       |
| 60          | 143,5 | 45,5  | 97,9  | 12,5  | 16,6 | 25,7 | TR  | NT  | x    | 97,9 | 45,1  | 219,6 | -           |
| 61          | 51,5  | 5,8   | 12,5  | 7,5   | 30,5 | 8,8  | TR  | NT  | 6,0  | 15,6 | 14,7  | 54,1  | 197,0       |
| 62          | 34,4  | 18,8  | 208,8 | 34,7  | 32,5 | 1,3  | NT  | NT  | 5,5  | 24,1 | 152,4 | 58,1  | 571,7       |
| 63          | 214,7 | 215,1 | 3,4   | 18,0  | 71,0 | 2,0  | NT  | 1,3 | 1,5  | 6,0  | 81,8  | 254,3 | 869,1       |
| 64          | 19,2  | 34,2  | 86,4  | 112,1 | 11,0 | NT   | NT  | NT  | NT   | 9,0  | 71,5  | 77,9  | 421,3       |
| 65          | 74,2  | 63,5  | 59,8  | 61,3  | NT   | 3,4  | NT  | TR  | 28,1 | 89,3 | 85,2  | 114,7 | 579,5       |
| Nomb. d'an. | 17    | 17    | 17    | 16    | 17   | 17   | 17  | 17  | 16   | 18   | 16    | 17    |             |
| Moy. an.    | 82    | 55,3  | 56,8  | 74,3  | 21,1 | 3,0  | 0,3 | 0,4 | 9,5  | 28,2 | 55,9  | 104,6 | 491,3       |

Nb : NT = néant, TR = traces, x = pas d'observations, ? = moyenne alléatoire

- Remarques -

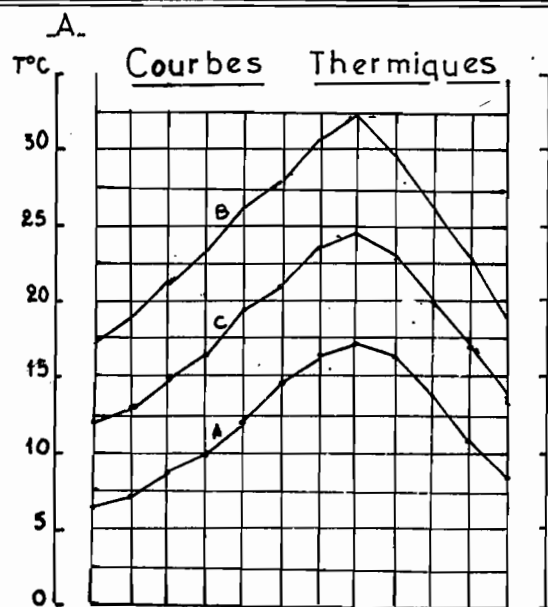
Les pluviosités moyennes mensuelles et annuelles sont très irrégulières d'une année à l'autre ; la presque totalité des pluies est répartie en six mois, le reste de l'année étant "biologiquement sec". -  $P \leq 2T$  -

La plus forte pluviosité a été enregistrée en 1963, soit  $H = 869,1$  millimètres, la plus faible pluviosité annuelle en 1961, soit  $H = 197$  millimètres. En général, la pluviosité moyenne annuelle varie de 450 à 500 millimètres.

Le caractère saisonnier des pluies et leur irrégularité sont propres au climat méditerranéen qui est défini d'après Gaussen par l'allure du diagramme ombrothermique. Ce diagramme présente une période biologiquement sèche égale à 3 mois pendant laquelle la valeur de  $P$  exprimée en millimètres de pluies est inférieure à deux fois la valeur de  $T$  exprimée en degré centigrades (V. Diagramme ombrothermique et climagrammes, P-lanche I).

Les fréquences des pluies - ou le nombre de jours de précipitation par mois et/ou par an, traduisent mieux ces caractéristiques du climat contrasté (v. tableau II). La  $F_p$  maximale est égale à 78 jours de précipitation par an ; elle est presque nulle de Juillet à Septembre et varie de 4 à 10 jours de précipitations par mois le reste de l'année.

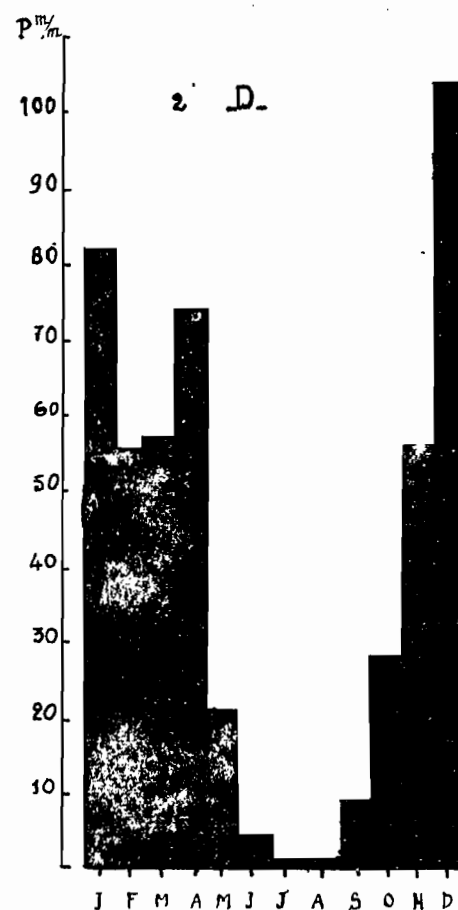
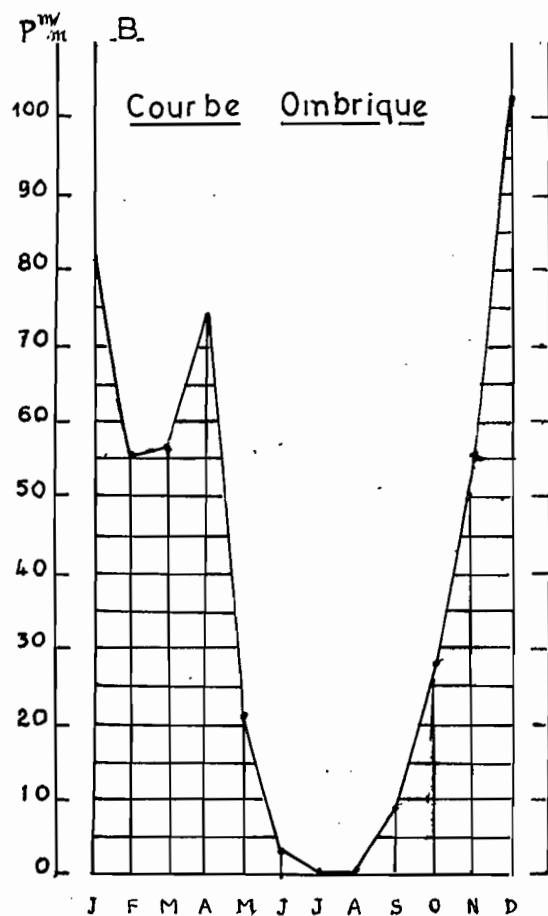
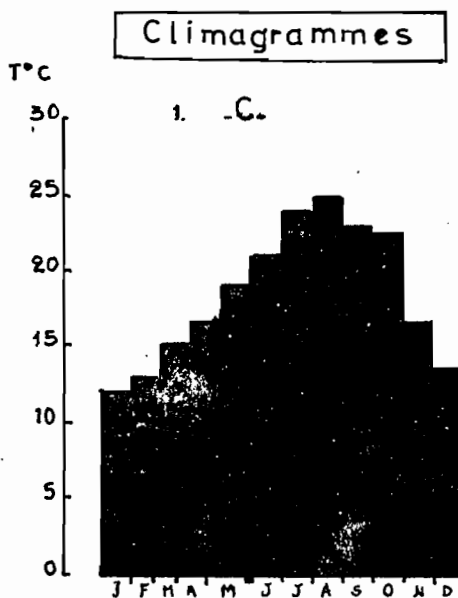
Tableau II - Fréquence des pluies.



$$A = m$$

$$B = M$$

$$C = \frac{M+m}{2}$$



Ben - Slimane (ex. Boulhaut)

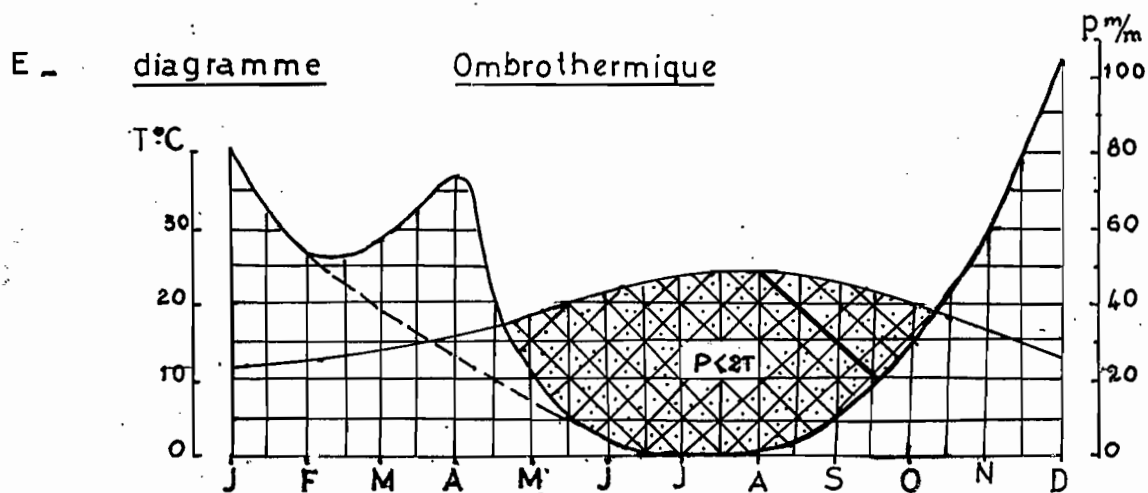


TABLEAU II - Fréquence des pluies

§=§=§=§

| Année    | J   | F   | M   | A  | M  | J  | J   | A   | S   | O  | N   | D   | Moyenne an. |
|----------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-------------|
| 1947     | II  | I6  | IO  | 3  | 6  | 0  | 0   | 0   | 3   | 4  | 4   | 5   | 62          |
| 48       | 9   | 4   | 3   | II | 3  | 0  | 0   | 0   | 0   | 3  | 0   | IO  | 43          |
| 49       | 6   | 5   | IO  | 2  | 0  | I  | 0   | 0   | 0   | 0  | 7   | I3  | 52          |
| 50       | 7   | 5   | 4   | 3  | 2  | 0  | 0   | 0   | I   | 4  | 2   | I3  | 4I          |
| 5I       | 8   | II  | 8   | 2  | 6  | 0  | 0   | 0   | 2   | 4  | 9   | 6   | 56          |
| 52       | I2  | 2   | 5   | x  | x  | 0  | 0   | 0   | 2   | 4  | 7   | 6   | 38          |
| 53       | I2  | 7   | 7   | 6  | 0  | 2  | 0   | 0   | 6   | 3  | 4   | 5   | 52          |
| 54       | 9   | 8   | I7  | 7  | 0  | 0  | x   | 0   | 0   | I  | 5   | 5   | 52          |
| 55       | I3  | I4  | 7   | 3  | 2  | x  | x   | x   | x   | IO | x   | x   | 48          |
| 56       | 56  | x   | x   | x  | x  | x  | x   | x   | x   | x  | x   | x   | x           |
| 57       | x   | x   | x   | x  | 3  | I  | 0   | 0   | 0   | 4  | 9   | IO  | 27          |
| 58       | 8   | 4   | 3   | 3  | 3  | I  | 2   | I   | 0   | I  | x   | I4  | 38          |
| 59       | 4   | 0   | 6   | 3  | 6  | 2  | 0   | 0   | I   | I  | 7   | IO  | 4I          |
| 60       | I2  | 7   | I2  | 3  | 3  | 3  | 0   | 0   | x   | 9  | IO  | I7  | 76          |
| 6I       | IO  | I   | 2   | 3  | 5  | 3  | 0   | 0   | I   | 3  | 7   | 6   | 4I          |
| 62       | 6   | 6   | I7  | I  | 2  | I  | 0   | 0   | 2   | 8  | II  | II  | 65          |
| 63       | I7  | 20  | 2   | 3  | 7  | 3  | 0   | I   | I   | 3  | 6   | I6  | 78          |
| 64       | 3   | 8   | II  | 4  | I  | 0  | 0   | 0   | 0   | 3  | 8   | I3  | 42          |
| 65       | II  | 8   | 7   | IO | 0  | 2  | 0   | 0   | 4   | I3 | I3  | IO  | 78          |
| Total    | I58 | I26 | I30 | 78 | 5I | I7 | 3   | 2   | 23  | 78 | IO2 | I70 |             |
| Nomb. an | I7  | I7  | I7  | I6 | I7 | I7 | I7  | I7  | I7  | I8 | I6  | I7  |             |
| Moy. an. | 8   | 7   | 7   | 4  | 3  | I  | 0,2 | 0,I | I,I | 4  | 6   | IO  |             |

Nb : x = pas d'observations, (?) = moyenne alléatoire .

## I.1 2 TEMPERATURE

Les températures minimales et maximales moyennes, (v. tableau T3), ont été calculées pour la même période que les pluviosités ; leurs valeurs sont cependant plus faibles en hiver et plus élevées en été dans les gorges du Korifla et dans le Horst de l'Oued Cherrat. Les variations microclimatiques selon l'exposition des versants ont un rôle important dans la différenciation de la végétation naturelle et orientent la genèse des sols ou leur érosion. Nous ne disposons pas de données climatiques relatives aux vallées des Oueds Cherrat et Korifla, cependant, "l'opposition des versants" a été signalée, par de nombreux botanistes et géographes. (8) - En effet, dans la zone cartographiée, la genèse des sols et leur répartition sont liées au type de couvert végétal des versants, notamment aux strates herbacées inférieures plus ou moins ~~développées~~ développées sous les forêts de chêne-liège (*Quercus suber*) ou de Thuya et d'oléastre (*Oléa europea* et *Pistacia lentiscus*), et aux strates herbacées sous mattorals. Or, les strates herbacées sont en général plus denses sur les versants exposés au Nord ou à l'Ouest. Sur ces versants, les sols fersiallitiques (sols rouges) et les sols brunifiés (sur schistes, quartzites) sont plus profonds et plus développés que sur les versants exposés à l'Est ou au Sud fortement érodés en "Badlands" (v. in répartition des sols...)

### - Remarques -

Les températures : La température maximale moyenne mensuelle la plus forte et la température minimale moyenne mensuelle la plus faible ont été enregistrées en 1962, soit  $M = 37^{\circ}3$  centigrades, et  $m = 5^{\circ}3$  centigrades.

La température moyenne maximale du mois le plus chaud est de  $32^{\circ}C$  et la température moyenne minimale du mois le plus froid de  $6^{\circ}7$  C pour la période 1947-65.

Les amplitudes thermiques sont en général assez fortes et varient de  $7^{\circ}C$  à  $18^{\circ}C$ , l'amplitude thermique moyenne mensuelle étant de  $12^{\circ}8C$ .

Les climagrammes pluviométriques et thermiques et le diagramme ombrothermique montrent que les variations des températures sont moins brutales que les variations des précipitations et que les courbes thermiques sont toujours positives. La surface limitée par la courbe thermique et la courbe ombrique, tel que P est inférieur à 2 T se situe au centre du diagramme, soit de Mai à Octobre, ce qui correspond à la période "biologiquement sèche" caractéristique du climat méditerranéen semi-aride ou xérothermique atténué (euméditerranéen).

--- --

## I. 2 INDICES CLIMATIQUES : Classification du climat de la région de Ben-Slimane

De nombreux climatologues ont établi des indices climatiques faisant intervenir soit la température moyenne annuelle et la pluviosité moyenne annuelle, soit la répartition des quantités de chaleur et d'eau au cours de l'année. Il en résulte que les classifications des climats dans le monde, basées sur divers critères, diffèrent selon les auteurs.

En vue de définir le climat des régions cartographiées et le rôle du climat dans la genèse ...

des sols et leur répartition, nous avons calculé quelques indices climatiques sans chercher à faire un inventaire exhaustif de toutes les classifications des climats qui font l'objet d'ouvrages plus spécialisés.

- I2.1 - Indice de LANG (6b)

$$I = \frac{P}{T} \left\{ \begin{array}{l} P : \text{pluviosité moyenne annuelle exprimée milli-} \\ \text{mètres.} \\ T : \text{température moyenne annuelle exprimé en de-} \\ \text{grés centigrades} \end{array} \right.$$

$$i_B = \frac{491,3}{18,3} = 26$$

soit

$$10 \leq i_B \leq 40$$

D'après l'indice de Lang, le climat de la région de Ben-Slimane est du type : Aride.

I2.2 - Indice de E. de Martonne (ou Indice d'aridité) (6a)

$$i_B = \frac{P}{T + 10}$$

$$i_B = 17 \text{ soit } 10 \leq i_B \leq 20$$

Le climat serait du type : Semi-aride

- I2.3 - Indice de Köppen (6a)

La limite entre le climat aride et semi-aride et le climat humide est définie par les valeurs de N ou pluviosité moyenne annuelle (en millimètres), de T ou température moyenne annuelle (en degrés centigrades) et de Y variable dépendant du régime pluviométrique ; d'après l'équation suivante :  $N \leq T + Y$ . La formule  $i = \frac{N}{T + Y}$  permet de différencier les sous-types climatiques. D'après les valeurs de N et de i calculées, le climat de Ben-Slimane serait du type : Semi-aride

- I2.4 - Quotient pluviométrique d'Emberger (5b)-

$$Q = \frac{1.000 P}{\left( \frac{M + m}{2} \right) (M - m)} \text{ ou } P = \text{Pluviosité moyenne annuelle (en millimètres)}$$

M = moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (en degré Kelvin "absolu")

m = moyenne des températures du mois le plus froid en degrés Kelvin.

Le quotient pluviométrique de L. Emberger et la valeur de la moyenne des minimum du mois le plus froid permettent de distinguer les principaux types de climat des régions méditerranéennes et le climagramme pluviométrique du coefficient d'Emberger, dressé par Ch. Sauvage de situer les étages bioclimatiques. Pour la région de Ben-Slimane ou la température moyenne minimale est de 6°7 et le quotient Q de 66, le climat est du type méditerranéen Semi-aride, à hiver frais (5b)

- I2.5 Indice de Gaussen et F. Bagnouls : Indice xérothermique (I°

.../...

L'indice xérothermique ou indice de sécheresse en rapport avec la chaleur de la période sèche est la somme des indices mensuelles des mois biologiquement secs. D'après les auteurs, le mois est biologiquement sec quand le total des précipitations mensuelles exprimées en millimètres est inférieur ou égale au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades -

$$\text{soit : } P \leq 2 T$$

Les régions de Ben-Slimane, ayant une période sèche telle que  $P \leq 2T$ , égale à 3 à 4 mois :

l'indice xérothermique est approximativement compris entre 100 et 150 ; par ailleurs la courbe thermique étant toujours positive (la température moyenne mensuelle est toujours supérieure à 0°C.) et les jours longs secs, jouissent d'un climat xérothermique atténué ou "Euméditerranéen".

En résumé, d'après les classifications des climats des auteurs cités, le climat présente une période sèche relativement longue, un régime pluviométrique hivernale et printannier et une aridité atténuée. Il est du type aride (Lang), aride sub-aride (de Martonne), semi-aride (Köppen), méditerranéen semi-aride à hiver frais (Emberger) ou xérothermique atténué (Gausson et Bagnouls). Nous retiendrons ces deux dernières classifications qui sont le plus couramment utilisées au Maroc.

#### - I2.6 - Indice pédoclimatiques

##### I2.6a - Indice énergétique de G. Bryssine (5Ib)

"La zonalité" des sols ou leur répartition en fonction des climats introduite par Sibirtzeff en 1898 est caractérisée d'après G. Bryssine par les diagrammes climatiques établis en utilisant conjointement l'indice de Lang  $P_t$  et l'indice énergétique  $E_c$ .

L'indice  $P_t$  (ou  $P/T$ ) représente la quantité d'eau (en millimètres) par unité de température (en degré centigrades) et permet de préciser quantitativement la nature des éléments constitutants des roches susceptibles d'être altérées et les possibilités de migration de leur produits de transformation (5Ib) :

- Si  $P/T$  (ou  $P_t$ ) est inférieur à 20, seuls les éléments les plus solubles migrent dans le sols, la matière organique est rapidement minéralisée, : domaine des processus désertiques -

- Si  $P_t$  est compris entre 20 et 100, les colloïdes minéraux migrent : domaine des sols lessivés.

- Si  $P_t$  est supérieur à 100, le fer "peu soluble" migre : domaine des podzols

L'indice  $E_c$  ou énergie climatique de transformation indique les réactions d'altération dans un lieu donné ou zone pédoclimatique : soit

a) celle ou l'énergie de transformation est faible :  $E_c$  inférieur à 10<sup>3</sup> zone de désagrégation des roches -

Voir page 11

(+) - Sibirtzev a introduit la division du premier ordre en sols "zonaux, intra-zonaux et azonaux" ~~de~~ E.H. d'EL Villar (classification universelle des sols tr : de l'Inst. Sc. Cher, Soc. des Sc. nat. du Maroc N° 2 1950 rejette déjà en 1950 cette première subdivision des sols qu'il considère comme étant schématique mais que la routine continue à répéter

b) - celle où l'énergie de transformation est faible  $E_c$  inférieur à  $10^3$  ou zone de désagrégation des roches.

c) - celle où l'énergie de transformation est moyenne :  $E_c$  compris entre  $10^3$  et  $10^4$  ou zone d'altération siallitique - et celle où  $E_c$  est supérieure à  $10^4$  ou zone d'altération siallitique - et celle où  $E_c$  est supérieur à  $10^4$  ou zone d'altération allitique.

Pour les régions de Ben-Slimane, l'énergie de transformation est de l'ordre de  $10^3$ , le Pf égale à 26 ; ce qui situe ces régions dans la zone d'altération siallitique où les processus de lessivage et de dissolution des carbonates seraient moyennement poussés -

#### - I2.7 - INDICE DE DRAINAGE CALCULE

- L'indice de drainage calculé D est la quantité d'eau qui traverse le sol (34). Il permet de situer la tendance du sol <sup>au</sup> lessivage dans une région donnée.

- L'indice D, établi par G. Aubert et S. Hemin, puis modifié par G. Aubert en 1945 et par Dupuis en 1952 (34) se calcule d'après la formule suivante :

$$D = \frac{x \cdot Y}{I + x \cdot Y \cdot P^2} ; \text{ avec } Y = \frac{I}{0,15 T - 0,13}$$

- P étant la pluviosité moyenne annuelle exprimée en millimètres

- T la température moyenne annuelle en degré Absolu, Y un coefficient global moyen exprimant l'action d'évaporation du milieu- Pour les régions de Ben-Slimane Y est de 0,382 -

Le Coefficient <sup>x</sup> permet de caractériser la nature des roches-mères et des matériaux originels et varie de 0,5 à 2 -, soit 0,5 pour les argiles compactes, 1 pour les limons et 2 pour les sables -

Au Nord de Ben-Slimane, pour les sols sur limons et sables pisolitiques villafranchiens,  $D_1$  calculé est de l'ordre de 0,045 ou 45 millimètres d'eau, et  $D_2 = 0,030$  soit 30 millimètres d'eau environ.

Au Sud de Ben-Slimane, pour les sols sur argile rouge ou foncée :  $D_{0,5} = 0,02I$ , soit 2I millimètres d'eau environ.

Pour que le lessivage des colloïdes minéraux soit possible, il faudrait que l'indice de drainage calculé soit compris entre 115 et 185 millimètres (34), et que la pluviosité moyenne annuelle soit au moins égale à 400 millimètres.

Les indices calculés, pour les régions de Ben-Slimane sont dans leur ensemble relativement faibles; mais ceci n'exclut pas toute évolution de sols lessivés du fait que le régime pluviométrique est essentiellement hivernale, le reste de l'année étant chaud et sec. Il en résulte que la quantité d'eau par unité de température et de temps est assez élevée : ce qui favorise les processus de lessivage et d'appauvrissement des sols en "éléments fins".(+)

±-±-±-±-±-±

- Remarque - : Le climat : facteur pédogénétique

- L'action du climat comme facteur de pédogénèse se traduit par la désagrégation et l'altération des matériaux originels et des roches-mères des sols, et par la décomposition des matières organiques ainsi que par la migration des éléments organiques ou minéraux mis sous formes mobiles. Cette action climatique peut être estimée

qualitativement par l'énergie de transformation  $B_c$  et quantitativement par les indices de drainage calculés et l'indice de Lang  $i$  (ou  $P_f$ ) Cependant ces approches de l'action climatique sont insuffisantes pour délimiter l'orientation fondamentale des processus pédogénétiques et des phénomènes qui régissent l'évolution des sols.

- L'estimation de la quantité d'eau par unité de température et de temps (ou  $E_c/T$ ), soit de l'énergie de transformation par unité de temps permet de mieux comprendre les cycles de transformation des roches et de matières organiques au cours des années et de mieux préciser l'action climatique non plus par les quantités de pluie ou de température moyenne annuelles, mais en tenant compte du régime pluviométrique d'une région donnée.

- L'étude des fluctuations climatiques au cours du quaternaire permet également d'estimer qualitativement les processus pédogénétiques "fossiles", tels: le cuirassement et la "ferruginisation" (v. Le cuirassement, et le concrétionnement sous climat méditerranéen).

(+) Lessivage (per descensum) ou appauvrissement (lessivage latéral des argiles)

- Les variations climatiques au cours du quaternaire, période post-villafranchienne, portent sur l'augmentation des précipitations et sur la diminution des températures moyennes pendant les pluviaux, ou sur l'augmentation de la sécheresse pendant les interpluviaux sans que le cadre bioclimatique n'ait subi des modifications profondes-

- Les périodes pluviales façonneraient les versants et édifieraient des terrasses et les interpluviaux engendreraient des croûtes calcaires, des carapaces et cuirasses ferrugineuses, les incisions des plateaux et des hautes surfaces villafranchiennes

- Les fluctuations climatiques auraient connu un maximum avant la fin du dernier pluvial il y a 8.000 ans environ, caractérisé par une aridité totale (4) et une augmentation des précipitations pendant la période qui s'étale de 5.000 à 2.350 ans AV. J.C passant par un climat plus rude à la fin du troisième millénaire. Le dernier climat primitif daterait du dernier millénaire av. J.C., depuis, le climat aurait oscillé autour d'une moyenne analogue à celle du climat actuel (6).

- Dans les régions de Ben Slimane, le Villafranchien correspond à un épandage généralisé de limons et de sables fins qui recouvrent les formations primaires schisteuses et quatzitiques et qui résulteraient de l'érosion aréolaire en glacis - Au Nord<sup>est</sup> au Sud Ouest de Ben-Slimane - à pente douce et généralement incliné vers la mer - Sur ce glacis d'érosion se sont développés des pédognénèses d'intensités variables; la succession de périodes humides et tempérées et de périodes chaudes et sèches aurait été un des facteurs de météorisation poussée des roches, de migration des éléments solubles, de lessivage et d'appauvrissement en éléments fins des horizons éluviaux des sols, et par suite, de leur immobilisation et de leur accumulation sur des épaisseurs pouvant atteindre plusieurs décimètres.

#### Annexe : Pluviométrie d'Aïn-Tizra

La station météorologique d'Aïn-Tizra situé dans la forêt de "Boulhaut" n'a enregistré que les hauteurs de précipitations - Ces hauteurs traduisent notamment l'inégale répartition de la pluviosité moyenne mensuelle et annuelle et permettent de comparer d'un point de vue agronomique les années "sèches" et les années relativement "humides" - C'est ainsi qu'en 1966 et 67, la pluviosité moyenne annuelle n'est que de 350mm, soit 150 millimètres en moins par rapport à la pluviosité moyenne annuelle calculée pour la période 1945-65; et de l'ordre de 580 mm en 1968, soit plus de 100mm par rapport à la pluviosité moyenne calculée pour la même période.

.../...

Ces variations dans la répartition des pluies au cours de l'année et d'une année à l'autre ont un effet direct sur les productions agricoles - céréales - légumineuses et vignes - dont les rendements baissent sensiblement tant en année "sèche" qu'en année de forte intensité pluviométrique -

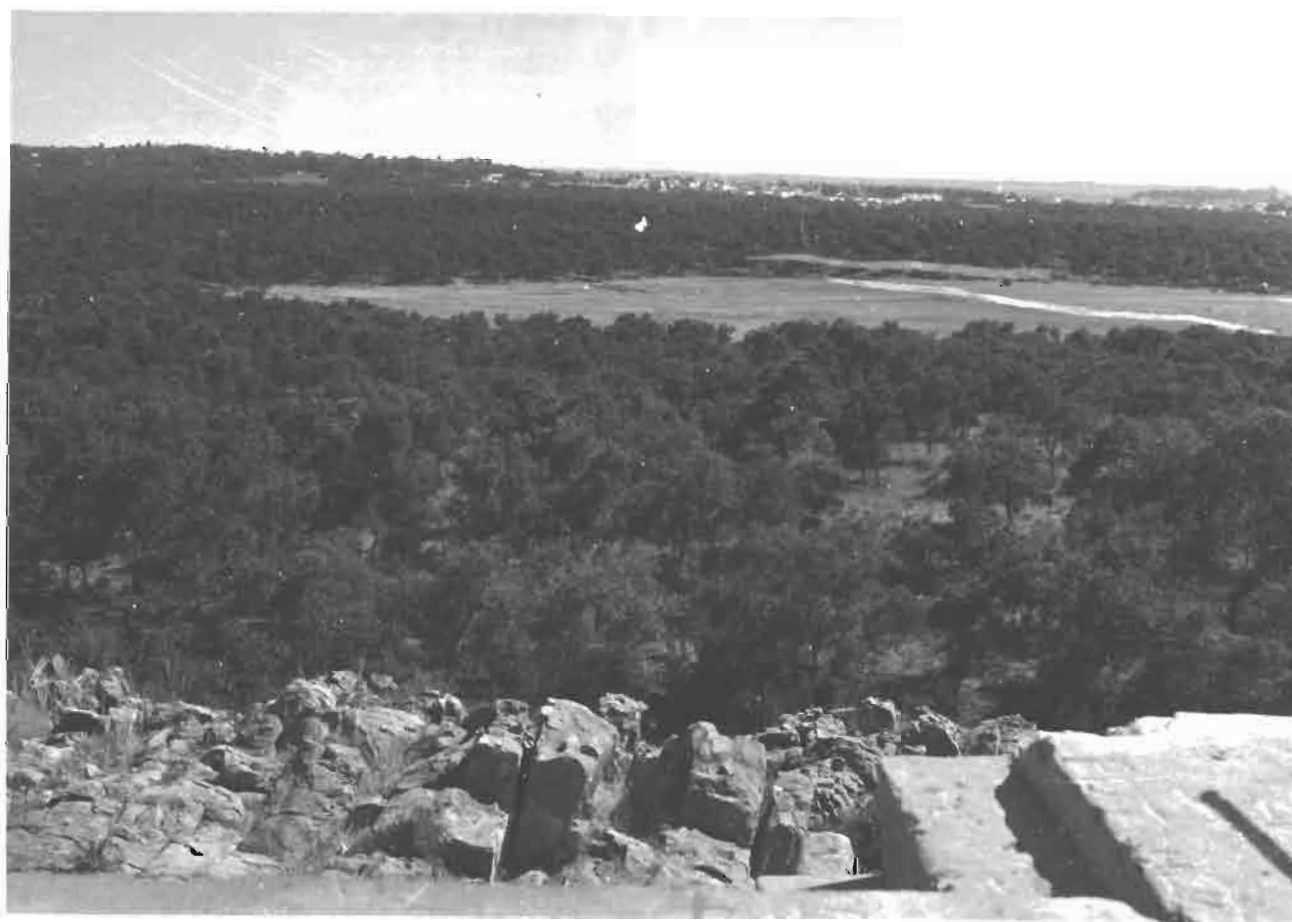
D'un point de vue pédologique, la genèse des sols serait orientée par des phénomènes de "pédogenèse externe" en période de forte intensité pluviométrique et qui se traduit par une érosion en nappe ou "sheet-flood" des sols et l'incisions des horizons humifères ainsi que par leur appauvrissement en éléments fins et la concentration en surface des pisolites et des concrétions ferrugineuses - les horizons illiviaux sont généralement engorgés d'eau et on peut observer des phénomènes de réduction de fer - En période relativement sèche, les phénomènes d'immobilisation des sesquioxides de fer et de minéralisation des matières organiques seraient plus poussés.

**T**ableau 4 Hauteurs des précipitations mensuelles

|      | J    | F     | M    | A    | M    | J   | J  | A  | S   | O     | N     | D    | My.   | an. |
|------|------|-------|------|------|------|-----|----|----|-----|-------|-------|------|-------|-----|
| 1966 | 20,2 | 56,8  | 25,2 | 15,3 | 4,6  | NT  | NT | NT | 2,5 | 109,9 | 89,8  | 4,7  | 322,0 |     |
| 1967 | 23,1 | 59,2  | 7,4  | 40,7 | 6,2  | 3,3 | NT | NT | 2,8 | 34,0  | 116,0 | 83,3 | 376,0 |     |
| 1968 | 8,2  | 136,0 | 54,1 | 16,2 | 28,7 | 4,7 | NT | NT | NT  | 24,3  | 215,0 | 92,7 | 579,9 |     |

**T**ableau 5 Fréquences des pluies (nombre de jours de pluie par mois)

|      |   |    |    |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|------|---|----|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1966 | 5 | 7  | 6  | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | I | IO | 5  | 2  |
| 1967 | 5 | 7  | 3  | 8 | 4 | 2 | 0 | 0 | I | 4  | II | 9  |
| 1968 | 3 | I3 | I3 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | I  | I3 | II |



1) Haute surface villafranchienne au Su-Ouest de Ben Slimane

2) **Subéaie** : Fôrêt : (Quercus Suber) Daiyas (Erme hygrophile) de la forêt de Ben Slimane.

## II-2- : GEOLOGIE-GEOMORPHOLOGIE

### Résumé/ :

2) - Les régions cartographiées s'inscrivent en latitude entre 33°30' et 33°45' et en Longitude entre 7° et 7°15' L.W. de Greenwich et se subdivisent en deux unités bien distinctes :

Au Nord : le Plateau de Sud-Arab s'étend en glacis qui tronque les terrains primaires schisteux et quartzitiques, fortement plissés, arrasés et pénéplanisés, auxquels se surimposent les dunes consolidées quaternaires gréso-calcaires qui s'estompent au Nord de la région Arab (régions de Bouznika) - Ce plateau faiblement ondulé et ~~est~~ inclin~~é~~ en pente douce vers la mer est taillé à l'Est et à l'Ouest respectivement par les Oueds Cherrat et Neffifikh qui s'encaissent dans des gorges profondes et rajeunissent constamment le paysage - L'Oued Cherrat "s'enfonce dans le Dévonien vertical où alternent schistes, quartzites et calcaires récifal (+) et dessine un relief du type appalachien (+). Les versants du Horst de l'Oued Cherrat sont fortement érodés et taillés par de nombreux talwegs" "en Chaâbats et en Kefs" -

A l'Ouest , l'Oued Neffifikh traverse les schistes et les quartzites Ordoviciens et dessine des gorges profondes aux versants à pentes fortes, recouverts de forêts claires ou de mattorals, Au Nord, l'Oued Arimène et l'O. Rhbar traversent respectivement le Cambrien et l'Acadien trachy-andésitique.

- La presque totalité du plateau de Sud-Arab est recouvert d'un manteau de limons, de sables très pisolitiques, d'âge probablement Villafranchien, sur lequel se sont formés et évoluent divers types de sols - Le plateau est relativement mal drainé et découpé par de nombreux talwegs - ou incisions, secs pendant plus de la moitié de l'année et qui s'anastomosent en un réseau hydrographique dense découpant le plateau en collines douces et en dollines ou Daiya-s.

- Au Sud de Ben-Slimane : la région des ziaida-s se présente comme une "ancienne surface d'érosion, régulière à l'Est et au Sud-Est de Ben-Slimane et qui tronque les terrains primaires subverticaux de la Méséta marocaine où sont conservés les placcages de grès-calcaire du pliocène marin" (15) - Cette seconde unité géographique est drainée par les Oued Dir et Sefrou, confluent de l'Oued Neffifikh, qui traversent les terrains tendres triasiques et dessinent des vallées évasées, aux versants à pente généralement douce surmontée d'une corniche, en bordure du plateau de Ben-Slimane

A l'Est et à l'Ouest de l'Oued Dir, sur les plateaux des Ziaidas on rencontre une multitude de Daiyas-ou dollines - inondées pendant la saison des pluies, - de formes variées, généralement subcirculaires - et formées sur des substratum divers ; schistes, quartzites, calcaire "lacustre" ou marneux, basalte doléritique (v.p.l...)-

- La répartition des sols dans les régions des ZIAIDA et ARAB Sud varient essentiellement en fonction de la nature lithologique des divers substratum sur lesquels se sont formés et évoluent les sols - La superposition de la carte des formations superficielles et de la carte pédo-  
logique permet d'une part de situer les principales formations quaternaires et primaires et les principaux types de sols dans leur cadre géographique et d'autre part de dégager le rôle des roches-mères et des matériaux originels dans la genèse des principaux types de sols - (voir répartition des sols).

2 - Résumé : Stratigraphie et nature lithologique des roches et des matériaux originels

A - Le socle primaire :

- L'Acadien: (Ks<sub>I</sub>): schistes en formation puissante, de couleur variée, vert-foncé, ou bleu-foncé, finement psammitique avec des lits alternés de quartz détritiques très fins et de micas ( Lieu: Rhabet Enabet, Rhenoug, gorges de l'O. Arimène)

(Ks<sub>2</sub>): Quartzites en bancs épais

- L'Ordovicien: (Or) moyen et inférieur: psammites plus ou moins gréseux ou schisteux avec des intercalations de grès et de minerais de fer ( Lieu: Rhabet Bir El Kelb)

- Le Silurien: schistes zonés au S.O. de Ben Slimane

- Le Dévonien : (Di): Schistes de couleur ardoisée avec des bancs de minerais de fer et de calcaire en bandes anticlinales (calcaire récifal): Lieu: Arab Ouest)

- Le Carbonifère (Hv) Schistes diversement colorés contenant des bancs de quartzites dont les diaclases sont fortement jalonnées de filonets de quartz et d'oxydes de fer. Ils forment une bande Nord-Sud qui affleure depuis le front de l'Oued Cherrat jusqu'aux abords de Ben Slimane pour s'en-  
noyer au Sud sous les sédiments triasiques.

B- Les terrains secondaires et tertiaires

- Le Permo-trias : argile rouge gypsifère souvent interstratifiée dans sa partie supérieure de coulées de basalte "doléritique" fréquemment altéré et ses vacuoles remplies de chlorite et de concrétions de calcédoine-

- Le Pliocène : calcaire "saccharoïde" de couleur jaune, dur et peu épais - (lieu: Sud Ouest de Ben Slimane)

C- Moghrébien et quaternaire

- Le Moghrébien: (Calabrien) : cordons de dunes consolidées grésocalcaire au Nord de Ben Slimane et placages de calcaire dur "siliceux" au Sud et à l'Ouest de Ben Slimane-  
(Ziaida)

.../...

x Voir carte de formations superficielles hors-texte

## -II-2. NATURE DES ROCHES ET LEUR REPARTITION DANS LES PRINCIPALES UNITES GEOMORPHOLOGIQUES-

- Les Ziaida et Arab Sud, sans relief accusé, présente<sup>nt</sup> une diversité de roches, basiques et acides, sur lesquelles évoluent plusieurs types de sols- L'altitude relative ne dépasse guère 330 mètres - Au Nord de Ben Slimane les forêts de "bir el Kelb" et de "boulhaut" recouvrent le plateau Villafranchien, ancienne surface d'érosion qui tronque les terrains primaires fortement plissés et pénéplanisés; s'inclinant en pente douce et régulière vers la mer ~~et~~ surmontée ça et là par des skhour-s bancs de quartzites en formation puissante - ou par les "dunes consolidées moghrébienes" - Au Sud de Ben Slimane, Les Ziaida forment un plateau taillé par les Oued Dir et Sefrou en deux sous-unités bien distinctes: à l'Est, le plateau des Daiya-s et à l'Ouest le plateau des Moualine l'Outa.

- Plateaux-Faiblement ondulés, horst ou gorges profondes, vallées évasées, skhour-s et dunes consolidés "collines à pente faible", daiyas ou dollines, talwegs ou incisions constituent les principales formes de relief des régions cartographiées :-

### I-Le plateau Villafranchien-

- Les limons gris de la surface villafranchienne recouvrent le socle primaire, plissé et faillé par l'orogénèse hercynienne puis pénéplanisé et relativement stable pendant les périodes post-villafranchiennes-

On y rencontre les schistes "Acadien" qui affleurent dans les gorges de l'Oued Arimène, du moyen Oued Nefifikh et dans les talwegs/Rhbar et confluent. Ce sont des "schistes à pâte argileuse, verdâtre, finement psammitique montrant des grains de quartz détritiques anguleux" (15) et riches en oxydes de fer et en pyrite- les quartzites et les tracy-andésites du même âge affleurent dans le Horst de l'Oued Rhbar "bled el Mrijla" A l'Ouest de Rhabet Bir El Kelb, les quartzites feldspathiques, lités et ferrugineux,

renferment des micro-conglomérats à ciments ferrugineux hématisés.

Les trachy-andésites de l'Oued Rhbar sont des sédiments volcaniques d'un vert sombre recoupés par des filons de barytine.

Les formations schisteuses et quartzitiques des Oulad Bahloul, des Aït Ali, de Bled Lahcen sont des roches d'âge Ordovicien, essentiellement siliceuse avec peu d'éléments secondaires; les grès et les quartzites sont ferrugineux et rubanés; les schistes sont argileux et micacés- Les Skhour-s sont compactes, gréso-quartzitiques-

- Les dunes consolidées d'El koudia, d'amplitude relativement faible se rattachent aux cordons de dunes consolidées de la côte atlantique de la meseta marocaine-Elles sont

.../...

constituées d'argile rouge reposant sur des grés calcaires durs, compacts et très peu perméables - La diagénèse de ces dunes ou la lapidification du matériau silico-calcaire qui leur aurait donné naissance est controversée : Certains auteurs lient la formation de ces dunes à la pédogénèse des sols rouges qui les recouvrent, d'autre au contraire considèrent que la grésification des dunes se serait faite à l'air libre ( ) - et que les niveaux rouges, jaunes et gris argileux ~~ou~~ limoneux ou sableux auraient une origine allochtone (v.P. 1. : les sols à sesquioxides de fer) -

## 2- Le plateau des Daiya-s (Ziaida)

C'est une ancienne surface d'érosion dominée par la haute surface mio-pliocène et les Skhours quartzitiques - A l'Est des Ziaida, elle est constituée de calcaire dur, de calcaire marneux et de calcaire lacustre (d'âge pliocène et Moghrébien) et qui reposent en discordance sur le primaire schisteux et quartzitique

Les calcaires sableux marins, déposés au cours de la dernière transgression Moghrébienne sont peu épais - A l'Ouest des Ziaida, El Gouassem, Bled Si-barka et d'El Kriker El Aounes, on rencontre les grés calcaires à grains sableux, durs, jaunâtres) et des calcaires lacustres limités par les roches triasiques qui affleurent dans les vallées des Oueds Dir et Sefrou.

## 2- Les vallées - les Horsts - les Talwegs

Le Horsts de l'Oued Cherrat, du N'fifikh, et de l'Arime ~~ne~~ rompent la monotomie du plateau, limitant à l'Ouest et à l'Est la région de Sud-Arab de la Haute Chaouia des régions des Zaer - l'Oued Cherrat a taillé dans le dévonien schisteux quartzitique et calcaire des gorges profondes aux pentes assez fortes et aux versants découpés par des interfluvies en chaâbat dessinant ainsi un relief du type appalachien - Les Oued Nefifikh, à l'Ouest et Arimen au Nord Ouest traversent les terrains primaires - Ordovicien et acadien - essentiellement schisteux et quartzitiques et s'enfoncent dans des vallées profondes en V étroit, de pentes moyennes à fortes selon l'exposition des versants.

Les terrasses des fonds de vallées sont de faibles importances et généralement constituées <sup>des</sup> de dépôts du Gharbien récent limone-sableux.

Les vallées des Oueds Dir, Sefrou et les confluents des principaux Oueds cités, <sup>sont taillées dans</sup> traversent des terrains tendres permotriasiques, ce qui explique l'évasement des vallées. - V large - Sur les versants à pente, généralement douce on peut distinguer les séries lithologiques suivantes :

"Au sommet et disposés en corniches peu épaisses : les calcaires Moghrébien et pliocène qui sont des calcaires sableux, puis la série argileuse rouge supérieure

.../...

à attapulгите ((2)) du Trias (et la série argileuse inférieure à Sépiolite, situées sous les basaltes doléritiques et riches en évaporite ((2)); la sépiolite étant le constituant argileux le plus dominant (3); puis le conglomérat ferrugineux de base, (qui n'affleure pas) et, repose en discordance sur le socle paléozoïque - L'érosion en rigoles (Rills) en ravins (Bad-Lands) ou généralisée limite l'évolution des sols <sup>sur</sup> les versants, les découpant et déposant la masse minérale sur les terrasses actuelles des Oued Dir et Sefrou- Les alluvions et les colluvions arrachés, "de texture complexe"-argile" limon et calcaire - forment des terrasses plus larges que celles des Oued Néfifikh et Cherrat.

#### 4 - Les skhour-s

Les Skhours (plus de Sokhrat) sont des affleurements de grès quartzitiques en bancs puissants - d'âge Strunien : Sokhrat El Hajiba, El Hafsa et Sokhrat Nemra, d'âge Ordovicien, Skhirat Aït Ali Skhirat de Bled Amid chta .

En périphérie des skhour-s, sur les hautes surfaces miopliocène quartzitiques et schisteuses et sur les cônes déboulis, les sols sont très anciens, voire fossile (v. In Cuirassement) <sup>ph</sup> ~~et~~ les ~~daiyas~~ <sup>ph</sup> ~~sont~~ particulièrement larges de superficie ~~plus élevées~~ <sup>plus grande</sup> que les daiya-s sur les hautes surfaces villafranchiennes (Arab)

#### 5 - Les Daiya-s

Ce sont des dépressions (ou dollines) de forme subcirculaire, de quelques mètres à 1-2km de diamètre, inondées en hiver et complètement sèches en été. Selon leur origine on distingue

Deux types de daiya-s (15) .

a- Les daiya-s sur le Moghrébien ont été définies (I) comme des formes Karstiques se rapprochant des dollines, notamment les daiya-s sur calcaire dur (dalle calcaire, moghrébienne) La dissolution karstique est plus ou moins poussée surtout quand elle se trouve en bordure du relief de Skhour-s Les principales daiyas sur dalle calcaire se trouvent au Sud et au Sud-Est de "Boulhaut" : Daiya EL Jmamera, daiya El Guettaba, Daiya El Kriker El Aounes, Daiya ech Choum etc...

b- Les daiya-s encaissés dans la surface villafranchienne, installées sur des roches grés-schisteuses du socle paléozoïque (16) <sup>ph</sup> ~~et~~ sont des chapelets de lacs temporaires s'ordonnant le long d'anciens axes hydrographiques ~~qui~~ <sup>ph</sup> ~~qui~~ résulteraient de l'ancien réseau fuvial.

Cette double origine des daiyas explique la diversité des sols qu'on y trouve et qui ~~sont~~ <sup>peuvent</sup> souvent confondus sous le même nom de "sols de daiya" ou sols des "merjas" (v. répartition des sols.

.../...

Il en est de même des sols sur le socle paléozoïque qui varient en fonction de leur site topographique, du drainage externe, du micro-climat - ou de l'exposition des versants - de la faune et de la flore.

En résumé, notons l'importance et la richesse en fer des terrains primaires de la région de Sud ARAB - forêt de Ben-Slimane et Rhabet Bir El Kelb- dont le substratum géologique est essentiellement schisteux et quartzitique, ou grésocalcaire à "El Koudia", Bled Ejjebouja" et "Bsabes" ( Cordons de dunes consolidées) - alors que les Ziada se situent sur des roches basiques : calcaire pliocène et Moghrébien et calcaire lacustre, basaltes doléritiques et ces argiles rouges triasiques.

L'altération des roches primaires va s'accompagner de mobilisation du fer et de méoformation d'argile "en profondeur des sols" alors que les horizons de surface sont de texture limons-sableuse (épandage limoneux au Villafranchien ou appauvrissement poussé des sols en éléments fins : v. Sols hydromorphes) d'où la discontinuité texturale des horizons des sols et la formation de nappe temporaire au niveau imperméable argileux - L'altération des roches basiques (35) donne lieu à des sols de texture plus homogène et régulière : ainsi l'altération des basaltes doléritiques du Trias va donner lieu à une "continue néoformation de minéraux argileux du type Montmorillonite, Chlorite et Vermiculite, à de la Séladomite (altération de l'olivine), l'altération des calcaires moghrébien donne lieu à des minéraux argileux analogues aux précédents alors qu'ilite et interstratifiées proviennent de l'altération des argiles triasiques (V. 35 et Analyses minéralogiques in fine). La néo-formation de minéraux secondaires des sols dépend aussi des conditions de drainage externe (36), leurs proportions et leurs natures varient selon que les sols évoluent sur le plateau Villafranchien ou Moghrébien, sur les dollines ou sur les versants des vallées. Cette évolution des sols, longue et complexe sous un climat méditerranéen tantôt humide, tantôt sec et sous une végétation arborée, puis arbustive et réduite à des herbes cultivées donne lieu à une diversification des sols sur les superficies relativement très faibles.

## II- 2 b- Hydrologie : Nappes aquifères, Oueds et interfluvies des Ziada et Sud-Arab-

L'altération en surface des différentes roches favorisent "une accumulation d'eau relativement importante qui est à l'origine de la nappe phréatique (67) .

La profondeur de la nappe aquifère dépend de la topographie : en bordure des daiyas, l'eau peut se trouver à 1,50 mètres de profondeur, au fond d'un Oued à 2,5 mètres environ, sur les versants, à 3,5 mètres et sur les surfaces élevées à plus de 7 mètres, soit environ de 8 à 30

.../...

mètres de profondeur - La nappe aquifère (voir carte phréatique fine) est en général très profonde, et de ce fait, joue en rôle pédogénétique nul - sauf en bordure des Dālyas où l'eau peut remonter jusqu'en surface pendant les périodes "humides" et avoir un rôle dans la génèse des sols - (dissolution "karstique", mobilisation des sesquioxides etc.,)

La pente de la nappe aquifère suit en s'estompant l'allure générale de la surface topographique qui descend en glacis à pente douce vers la mer - l'eau de la nappe n'est pas saumâtre, mais les débits sont faibles : d'où l'irrigation des terres est limitée dans les régions de Sud-Arab à quelques grandes exploitations agricoles.

Les Oueds - notamment l'Oued Cherrat, Neffifikh et Dir, Sefrou, Arimême s'encaissent très profondément dans le socle paléozoïque et ont des débits très irréguliers et faibles de l'ordre de 5 à 8 m<sup>3</sup>/s. Leur rôle dans l'alimentation en eau pour l'irrigation des terres est presque nul (et réduit aux basses terrasses gharbiennes)

Les interfluves, en nombre assez élevé surtout sur le plateau Villafranchien, ont des débits très faibles et sont pratiquement secs sauf en hiver - Les principaux sont : l'Oued Rhbar et ses "affluents", l'Oued Timjirt, l'Oued Mahsar.

- Le débit des interfluves, actuellement très réduit, a dû être pendant les pluviaux assez élevé, ce qui expliquerait l'importance des alluvions et des stériles que l'on rencontre dans la forêt de Ben-Slimane et notamment les sols fersiallitiques "entérés" sous les carapaces et cuirasses et qui, quand les conditions topographiques sont favorables, ont conservé leur "horizon rouge" (soit que la rubéfaction de ces sols pourrait se continuer dans le cadre bioclimatique actuel). Citons comme exemple les sols fersiallitiques de la Chaâbat Es Sbaâ dans la forêt de Ben-Slimane et des sols fersiallitiques entérés "fossiles" de Aïn Tizra - Bled Mahjar (v. profils N° SLI 109).

- En période de forte intensité pluviométrique, des nappes temporaires prennent naissance au niveau de l'altération des schistes (de la haute surface Arab, les diayas sont inondées et offrent un paysage en petits lacs à l'Est et au Sud de Ben-Slimane. L'inondation temporaire des dālyas favorisent le développement de strates herbacées denses du type Erme hygrophile.

.../...

## II-3 LA VEGETATION-

L'examen de la carte de la végétation de "Rabat-Casablanca" dressée par A. Théron et J. Vindt" montre que la végétation actuelle de Arab et Ziaida est essentiellement méditerranéenne, les principales "espèces climax" sont représentées par le Chêne-liège sur roche dure, le thuya, l'oléastre et le Lentisque, l'Erme avec doum et une bande étroite du jujubier sur les versants de l'Oued Mah : ces espèces correspondent à des nuances climatiques de l'étage de la végétation semi-aride d'Emberger et se répartissent en forêt, matorral, Erme et ripisilve - (24).

### a- Forêt-Matorral

I- La série du Chêne-liège (*Quercus Suber*) ou "Fernane" couvre la forêt de Boulhaut" et "Rhabet Bir El Kelb" au NE au NO de Ben-Slimane.- La chêne-liège, espèce calcifuge, était limité à l'isoyète de 400 m/m et se localise sur le plateau Villafranchien limoneux sableux et disparaît sur les sols "à texture lourde" des Ziaida. Il est remplacé par le Thya de barbarie (*Tetraclinis articulata* ou *callitris*) ou "A' ARAR" sur les versants des horsts du Nefifikh et du Cherrat.

Le chêne-liège forme à l'Est de Ben-Slimane une forêt assez clairessemée, à sous-bois peu touffu à base de Tizra (*Rhus pentaphyllum*) de cytise (*Cytisus longistifolius*) de doum ou palmier nain (*Chamerops humilis*) de lavande (*Lavandula Stoechas*) ou d'asperge (*Asparagus aphyllis*) et d'asphodèles (*Asphodelus micro-carpus*) de myrtes, de cistes(+) etc...; qui forment une strate ligneuse arbustive et moyenne et une strate herbacée inférieure peu développée. La forêt de chêne-liège ne serait d'après Théron et Vindt que le reste de peuplements plus vast. qui devaient couvrir toute la haute surface villafranchienne - La rupture de l'équilibre "climacique", l'action érosive des agents météoriques, la Sur-exploitation des forêts par l'homme seraient à l'origine du recul de la forêt, d'autant plus que la régénération du chêne-liège est faible dans les zones cartographiées.

### 2 - Série du Thuya de Barbarie (*Tetraclinis callitris*)

Le thuya de barbarie est localisé sur les versants de pente assez forte du N'fifikh et de l'Oued Cherrat. La callitriaie est une futaie assez claire à sous-bois peu dense à base de Tizra, d'oléastre, de Lavande, Rumex, *Phyllirea* et de Lentisque.

Elle joue un rôle protecteur contre l'érosion des sols bruns des versants qui sont, du fait de la dégradation de la callitriaie (anthropique ou par la faune(?) ou par l'érosion hydrique) dégradés en lithosols et en sols lithiques.

### 3 - La Série de l'Oléo-Lentisque (*Oléa Europea* et *Pistacia lentiscus*).

L'Olivier sauvage et le lentisque couvrent l'ensemble des versants ayant un micro-climat

◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

(+) Détermination au Laboratoire de botanique (D.R.A)

relativement plus chaud, et sec et constituent les matorrals types des versants du Cherrat et du Nefifikh.

- Le sous-bois est souvent une strate herbacée inférieure à base de diplotaxis, ferula communis, Urginea maritima, calendula algériensis, etc... dont le rôle pédogénétique est analogue à celui des sous-bois des callitriales ou des ermes : Les apports de matières organiques fraîches de la strate herbacée étant plus riches en cellulose que les apports de matières organiques des strates ligneuses arborées, arbustives ou inférieure; les sols ne présentent d'horizons à humus doux ou "Mull" bien structurés que sous les matorrals ayant au moins une strate herbacée inférieure - La décomposition des feuilles, des brindilles et des racines de l'oléastre, du doum et des Eucalyptus est plus longue et d'intensité moyenne, cependant l'action mécanique ou physico chimique des racines de la strate arbustive est plus importante (v.p.l. les sols hydromorphes).

#### 5- Les ripisilves :

Les lits majeurs des Oueds Cherrat et Nefifikh sont occupés de forêts-galeries à base de peupliers (populus alba) ou d'Eucalyptus et essentiellement de lorier rose (Nerium oleander). Les ripisilves des Oueds Dir et Sefrou sont défrichées et remplacées par des agrumes.

~~from~~

#### 6- La végétation des daiyas et des skhours.

Sous-forêts, les daiyas sont colonisées de myrtes et de graminées qui constituent des "prairies temporaires" (+), mais ne supportent jamais de végétation arbustive ou arborée naturelle. Certaines daiyas ont été drainées et reboisées en Eucalyptus ou cultivées en céréales dans les Ziaida. En général, les daiyas sont occupées par des ermes hygrophiles représentées par de nombreuses espèces qui pourraient être subdivisées en deux groupes : Les hydrophiles mésophiles des daiyas encaissées dans le plateau Villafanchien.

#### 7- Les terres cultivées

Elles sont diversement exploitées : Au Nord de Ben-Slimane (Arab), les céréales (orge, blé, maïs et sorgho) dominant - au Sud (Ziaida), les céréales et les légumineuses sont utilisées dans les rotations bisannuelles. Enfin, sur des superficies très réduites, on rencontre quelques cultures fourragères telles le maïs fourrager ou le nappier ou des agrumes sur les terrasses de l'Oued Dir.

\*\*\*-\*\*\*-\*\*\*-\*\*\*-\*\*\*

(+) Le terme de prairie n'est pas utilisé ici au sens écologique comme étant une formation naturelle herbacée d'hémicryptophytes, de géophytes mésophiles et hygrophiles pouvant atteindre I à I,5 mètres de hauteur (24b) mais plutôt en fonction de leur utilisation comme étant des formations naturelles herbacées exploitées par les animaux au moins pendant une période de l'année.

.../...

## II-3-2 - ROLE PEDOGENETIQUE DE LA VEGETATION

- Au Maroc, les études "classiques" des sols mentionnent rarement le rôle de la végétation comme facteur pédogénétique d'autant plus que le rôle direct de la végétation dans la genèse et l'évolution des sols est plus nuancé que celui de la topographie - (drainage) des sols, des roches-mères et des matériaux originels ou du mésoclimat<sup>et</sup> qui auraient orientés essentiellement les processus fondamentaux de formation et d'évolution des sols tels : la rubéfaction, l'hydrogenèse, la vertisolisation ou tirsifications etc. Or l'action directe et indirecte de la végétation (forêt, mattoral, erme, culture...) des régions de Ben-Slimane se traduit par des différenciations plus ou moins poussée des horizons des sols, notamment des horizons humifères ou par l'apparition de caractères morphologiques secondaires dans les horizons illuviaux (phénomènes de réduction du fer, d'accumulation de matières organiques ou d'argile particulièrement développées au niveau des systèmes racinaires ( v.p.l. : les sols hydromorphes).

Nous avons vu que le chêne-liège est une espèce calcifuge qui craint les terres "lourdes" ; sa localisation au Nord de Ben-Slimane permet de situer les limites et l'extension des sols à **texture** limono-sableuse relativement plus riches en concrétions, rognons et amas ferrugineux.

Le rôle direct de la végétation se traduit par l'action mécanique ou physico-chimique des racines ainsi que par les apports de matières organiques fraîches et le rôle indirect "écran protecteur et antiérosif" des sols peut-être illustré par la répartition des sols sur les versants des gorges du Korifla où la "brunification" des sols - ou genèse de sols brunifiés ou lessivés- est intimement liée à la présence d'une strate herbacée inférieure bien développée et aux matorals non dégradés alors que la "pédogenèse externe" des sols ou leur érosion est intense quand les matorals /sont dégradées et les strates herbacées.

Le rôle de la végétation "fossile" est souvent moins net, cependant la présence dans les amas et carapaces ferrugineuses de canalicules racinaires laissent penser que les systèmes racinaires des strates arborées ont favorisé la mobilisation du fer et son accumulation. (v.p.l.)

De même sous-culture, les horizons humifères s'amenuisent alors que sous forêt ils sont épais et assez riches en matières organiques totales.

.../...

Rappelons également que la "steppisation" est essentiellement liée à une végétation dense dont les apports en matières organiques sont élevées ; ce phénomène de steppisation ou d'iso-humisme (pénétration des matières organiques en profondeur) fut généralisé à plusieurs types de sols, notamment aux sols isohumiques, aux sols rouges méditerranéens, aux vertisols et mêmes aux sols bruns sur schistes...

(...) Les climats actuel ou "ancien" des régions cartographiées, caractérisés par la succession de périodes chaudes et sèches et de périodes humides et fraîches entrecoupées de périodes chaudes et relativement pluvieuses, entraîne une décomposition assez rapide des matières organiques fraîches et leur minéralisation assez poussée quelque soit le type de végétation, tel que les sols se caractérisent dans leur ensemble par leur horizon à humus doux du type <sup>Mull</sup> ou hydro-mull et l'absence d'humus acide ou grossier du type Mor ou hydro-mor susceptible de dégrader les complexes absorbants. Il en résulte que la formation de podzols ou de sols podzoliques est très réduite dans les zones cartographiées, alors que les cartes à petite échelle - citons pour mémoire la carte de W. Cavalar (66) présentent ces régions comme des "zones à podzols" ; à moins que la notion de podzol ne fut pour l'auteur analogue à celle d'un lessivage poussé des sols...

---#---#---#

<sup>12</sup>  
(+) Steppisation : <sup>se rapporte à l'origine</sup> ~~signifie~~ l'origine steppique ou forestière des matières organiques des sols (au sens large du terme) et non <sup>à</sup> l'iso-humisme (condensation des humus).

II-5 - Facteurs limitants la genèse des sols ou "facteurs de pédogenèse externe".

- Sur les surfaces planes "villafranchienne", l'érosion hydraulique est de faible intensité, ~~soit du type~~ "sheet-flood" ou érosion en nappe. En période hivernale, quand la pluviosité est forte et que la fréquence des pluies est assez élevée, l'érosion en nappe ou en rills- petites rigoles de moins de 20 cm. d'envergure - entraîne l'appauvrissement des sols en éléments fins-minéraux argileux et limons fins- et favorise l'accumulation en surface d'éléments grossiers tels les pisolites, les concrétions et les amas ferrugineux - Ces accumulations constituent un "self-mulching" et réduisent la dessiccation brutale des sols en période de sécheresse.

- Sur les surfaces fini-villafranchienne-Ziaida, l'érosion est presque nulle du fait que les sols sont en général de texture argileuse (Tirs) et que les pentes sont faibles. Par contre sur les versants des vallées et des gorges des Oueds, l'érosion sévit et peut atteindre son maximum sur les versants exposée au Sud et à l'Est et sans couvert végétal : l'érosion hydraulique est du type "bad-lands" sur les terrains triasiques ou "généralisée" sur les versants taillés dans le socle primaire. Sur ces versants, les sols sont très pauvres en argile, peu profonds voire "squelettiques".

- La dégradation des sols par l'érosion hydraulique essentiellement des sols brunifiés -sols bruns et sols lessivés - et des sols calcimagnésiques ou isohumiques <sup>et</sup> telle qu'il ne subsiste sur les versants érodés que des "pochettes" de sols.

- L'érosion éolienne est de faible intensité : les vents Nord-sud, desséchant sont de courtes durées et leur vitesse assez faible. Les phénomènes de saltation peuvent ~~être observés~~ <sup>au période</sup> sur les plateaux villafranchiens quand le "chergui" : ~~souffle~~ <sup>est</sup> -i (vent desséchant- Cependant le nombre annuel de jours de chergui dépasse rarement 5 à 6 jours.

- La dégradation anthropique des forêts et des mattorals, la surexploitation des terres cultivées, les variations climatiques ou rupture de l'équilibre climacique ont été les principales causes de l'érosion poussée des sols par les eaux météoriques. La texture des sols, leur site topographique ou leur répartition géographique ainsi que le degré d'érodibilité de chaque type de sols font que l'érosion hydraulique a limité la genèse "normale" des sols : ainsi les sols lessivés ont été dégradés en sols lithiques ou régiques sur les versants du Cherrat et Nefifikh ; les sols isohumiques ou calcimagnésiques ont été décapés des versants tel que les roches-mères affleurent sur plus de la moitié de la surface des sols, les sols hydromorphes ont été fortement appauvris  
.../...

en argile et ont été décapés dans certains cas de leur horizon humifère tel que la carapace ou la cuirasse affleure enfin les sols à sesquioxides de fer montrent une inégale profondeur de leurs horizons selon leur répartition sur les "dunes consolidées".

- Le reboisement des versants, l'exploitation rationnelle des terres cultivées et le choix judicieux de méthodes de lutte biologiques contre l'érosion hydraulique pourraient limiter la dégradation des sols, (v.p.l aptitudes culturales).

## II-6 - CONCLUSIONS

- L'étude des facteurs de pédogénèse fait apparaître la diversité des roches et des matériaux sur lesquels ont évolué les sols, les variations topographiques qui conditionnent le drainage externe ou "en grand" des sols, les variations des quantités de pluie et de chaleur ainsi que les fluctuations climatiques au cours de la période post-villafranchienne et enfin les variations des strates herbacées et ligneuses dans l'espace et dans le temps, ces facteurs ayant orienté soit les processus de solubilisation des sels et des cations métalliques, leur mobilisation (ou individualisation et migration) soit les processus d'immobilisation et d'accumulation notamment du clacaire et des sesquioxides de fer et/ou de manganèse

- Cette diversité des facteurs de pédogénèse explique la répartition et les variations des types de sols dans les régions des Ziaida et d'Arab-Sud, leur hétérogénéité texturale et structurale, leurs compositions chimiques et minéralogiques très différentes. - Dans ce qui suit, nous examinerons les principaux caractères morphologiques des sols et leur composition physique, chimique, minéralogique et biologique en vue de dégager, d'une part, leurs aptitudes culturales, et d'autre part de les classer en "séries logiquement et régulièrement ordonnées" en nous basant sur les classifications couramment utilisées au Maroc, notamment la classification de G. Aubert (1965) - ~~en~~ en la complétant au niveau des groupes et sous-groupes en fonctions de nos observations sur le terrain.

- Puis nous essayerons de dégager les principales lois de répartition des sols dans les Ziaida et Arab, sans que ces lois ne soient nécessairement généralisables à d'autres régions du globe.

\*--\*--\*--\*--\*

### III.- LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS.

#### III.I- MORPHOLOGIE DES SOLS.PROFILS TYPES-

#### III.I.II- MORPHOLOGIE DES SOLS MINERAUX ET DES SOLS PEU EVOLUES NON CLIMATIQUES-

##### A- LES SOLS MINERAUX BRUTS : Non climatiques d'érosion : LITHOSOLS et RECOSOLS

###### a) - Facteurs de pédogenèse :

Climat : Méditerranéen semi-aride à hiver frais ou xérothérique atténué P = 490 m/m, T= 18°C.

Roche mère : Schistes et quartzites peu altérés, argile rouge triasique, et crêts" calcaires.

Végétation : Erme et mattoral très dégradés.

###### b) - Morphologie :

Tout affleurement rocheux a été cartographié en lithosols (skhours et corniches) conformément à la classification de G. Aubert. En effet, tout affleurement rocheux est soumis aux actions des agents météoriques, de la flore et du monde animal.

est susceptible d'évoluer en sol plus profond et mieux différencié. Citons pour exemple les sokbrat d'El hafsa, d'En nemra, skhours de Ben-Slimane, sokhrat Chleuh, Kef el Hamman.

Les lithosols peuvent être associés à des sols hydromorphes en périphérie des skhours et sur les versants des oueds Mah, arimène Rhbar et Timjirt- (v sols hydromorphes)

b- Les versants fortement érodés de l'Oued Nefifikh, de l'Oued Cherrat présentent des associations de sols minéraux bruts et de sols peu évolués typiques : les sols minéraux bruts évoluent sur un substratum schisteux ou quartzitique, sous une végétation dégradée (mattoral trouée) et sur des pentes de plus de 35%. Ces sols ont un horizon A peu humifère et peu épais ; mal structuré, limoneux finement argileux, souvent caillouteux ou riches en débris de pellites et de flysch ou de pisolites en périphérie des plateaux villafranchiens.

Quand l'Horizon (A) repose directement sur des schistes ou des quartzites non ou très peu altérés, les sols ont été cartographiés en lithosols ou sols lithiques modaux, si les schistes ou les quartzites sont altérés en un horizon (B) textural, les sols ~~ont été~~ cartographiés en régosols ou en sols régiques, ces derniers dérivent généralement de sols brunifiées anciens fortement érodés. La répartition de ces sols n'est pas régulière, ~~sur~~ du type des toposéquences, les sols ne formant que des "pochettes de sols" sur les versants exposés à l'Est ~~ou~~ au Sud.

#### c- Les sols minéraux bruts d'apport alluvial :

Généralement répartis sur les basses terrasses ou lits majeurs des oueds, de faible étendue, les sols alluviaux sont de texture limoneuse, très caillouteux, sans horizon différencié. Ils sont colonisés par les lauriers roses (Nerium Oleander) ou rarement reboisés en Eucalyptus. Les sols sur les terrasses moyennes sont plus évolués et présentent des caractères vertiques ou d'hydromorphie.

#### B- LES SOLS PEU EVOLUES d'érosion ou d'apport alluvial.

a) Les sols évoluant sur les versants des Oued Cherrat, Nefifikh, Arimène sont essentiellement des sols à "pédogenèse externe" (+). La différenciation de ces sols est limitée par une érosion hydraulique particulièrement intense sur les versants exposés à l'Est ou au Sud, ou sur les versants sans couvert végétal. Les sols régiques et lithiques sur schistes et quartzites sont peu profonds, humifères et présentent un horizon (B) textural de couleur jaune ou rougeâtre quand les sols dérivent de sols lessivés ou de sols rouges méditerranéens. Les sols régiques sur les argiles rouges du trias sont plus profonds, mas fortement dégradés en

.../...

"bad-Lands".

Dans leur ensemble ces sols sont associés aux sols lessivés, aux sols bruns entropes aux sols rouges méditerranéens ou aux sols calcaires agnésiques sur calcaire et se répartissent comme précédemment pour les lithosols et les sols lithiques. Leurs caractères morphologiques se traduisent par une physiologie du paysage en "ravins", et "en -bad-lands".

b- Les sols peu évolués des basses et moyennes terrasses.

Les sols évolués d'apport alluvial répartis sur les terrasses des Oued Dir, Sefrou, Cherrat et Nefifikh, présentent des variations texturales en relation avec les substratum drainés par les Oueds et leurs affluents.

I- De texture limoneuse, sablo-limoneuse ou limono-sablo-argileuse peu humifère, non calcaire, les sols d'apport alluvial des terrasses subactuelles (Gharbien moyen et ancien) des Oued Cherrat et Nefifikh, présentent des caractères d'hydromorphie ou de vertisolisation en profondeur (traînes filiformes de pseudogley, pisolites et tâches ferri-manganiques ou Slikensides (facettes de glissement de faible étendue), sans que les phénomènes d'hydrogenèse ou de vertisolisation n'affectent l'ensemble du profil. Les horizons de ces sols sont peu différenciés, peu humifères en surfaces, limono-argileux en profondeur reposant soit directement sur les schistes et quartzites, soit sur des lits de cailloux et de graviers.

Les sols évoluant sur les basses terrasses des Oued Dir et Sefrou sont plus riches en calcaires et en matières organiques et leur texture est plus équilibrée. Ce sont des "Dhess" légers typiques où à caractère iso-humique. Ces sols évoluent généralement d'aval en amont en sols isohumiques ou vertiques.

Exemple : Sols alluvions récentes de l'Oued Dir (v. Planche N° I)

a- Facteurs de pédogenèse : PROFIL N° SLI I27

Climat : Méditerranéen semi-aride (Xérothérique atténué) P = 690 m/m T = 18°C.

Topographie : Basse terrasse plane (P = 2% ).

Végétation : Ripisilve (Laurier rose : Nérum Oleander) - Agrumes

Lieu : Confluent de l'Oued Dir et Nefifikh (coordonnées Lambert ; x = 334,75)

y = 330,00 Z = 130 n

Morphologie :

.../...

De 0 à 30 cm : Horizon brun-noir, humifère, limoneux, peu calcaire (7,5 YR 4/2). La structure est polyédrique moyenne émoussée, la cohésion est bonne, la compacité est faible, la consistance moyenne. Bonne porosité. Présence de galets quartzeux, de grains de quartz et de débris de coquilles. Le chevelu racinaire est bien développé. Transition progressive.

De 30 à 90 cm : Horizon brun-grisâtre (10 YR 4/3) peu humifère, limoneux-argileux (plus argileux à la base). La structure est polyédrique moyenne bien développée. La cohésion est bonne, la consistance moyenne, la porosité est assez bonne. Quelques tâches et granules calcaires (différenciation localisée du calcaire)

De 90 à 120 cm : Limons gris, calcaire : puis stone-line (discontinue) et Limon jaunâtre à tâches de pseudo-gley ; puis Stone-line (discontinue) ; Sur Limon gris beige, à tâches rougeâtres et grises, stone line....

#### Cycle morphologique. Classification

Le sol étant situé sur le lit mineur de l'Oued Dir est entièrement inondé en période de crue. En été, il présente l'ensemble des caractères morphologiques cités ci-dessus. Quand le sol subit une forte dessiccation, le limon gris est fondillé verticalement (sur-structure à tendance prismatique). Evoluant sur des apports alluviaux, le sol est profond, relativement bien structuré et présente en profondeur quelques caractères des sols iso-humiques, notamment des sols bruns subarides iso-humiques, mais la genèse du sol est dominée par le phénomène d'apport (et/ou d'érosion) fluviatil : le facteur de pédogenèse dominant est un facteur de pédogenèse externe. D'où sa classification en sol peu évolué d'apport (alluvial) à caractère iso-humique.) ou Intergrade : sol peu évolué d'apport - Sol Brun isohumique subaride.

#### Exemple 2.-

- Sols sur alluvions et colluvions de l'Oued Sefrou. Ces sols évoluent sur des apports-alluviaux et sur des colluvions arrachés aux versants. Ils présentent un profil calcaire et argileux peu différencié. La vertisolisation est faible (texture lourde, fentes de retrait peu larges mais absence de facettes de glissement). Ces sols tirsifiés ont été cartographiés en sols évolués d'apport, alluvial (et colluvial). Tirsifié ou vertique

... Ils se distinguent des vertisols et des vertiques des terrasses anciennes de la vallée de l'Oued Dir par leur faible profondeur

.../...

leur texture assez équilibrée (argile et limon) leur structure moyennement développée - polyédrique moyenne et prismatique peu développée. et l'absence de slikensides.

### Exemple 3-

- Les sols sur alluvions de l'Oued "Ain et Dekla" : Ces sols sont moyennement humifères sur les 30 premiers centimètres. "iso-calcaires" sur plus de 60 cm (gradient calcaire). - Leur texture est limon-argileuse, leur structure polyédrique moyenne : l'isohumisme et la vertisolisation de ces sols sont peu poussés, leur genèse étant dominée par les phénomènes d'apport : alluvial et/ou colluvial ; Ils ont été classifiés en sols peu évolués calcimorphes ou tirsifiés ou "Dhess calcaires" et/ou humifères.

Remarques : Ces trois groupes de sols (I, 2 et 3) situés sur les terrasses moyennes des Oueds Dir, "Ain Dekkla" et Sefrou se distinguent des sols sur les alluvions et colluvions des basses terrasses du Cherrat, Nefifikh et Arimène, par leur richesse en matières organiques, en calcaire et en argile. Cette richesse en calcaire ou en argile des sols alluviaux I, 2, et 3 serait essentiellement due au fait que les Oued Dir et Sefrou drainent des terrains calcaires pliocène et argileux triasique. La pauvreté des sols alluviaux sur les terrasses des Oued Cherrat et Nefifikh en calcaire serait due au fait que ces oueds traversent essentiellement des terrains primaires schisteux quartzitiques peu altérés.

Ce dernier groupe de sols, de texture limono-sableuse ou limoneuse en surface et argileuse en profondeur présentent des tendances à l'hydromorphie ou à la tirsification : présence de pseudo-gley "filiforme" ou de slikensides en profondeur - sans que ces phénomènes n'affectent l'ensemble du profil.

La classification de ces sols en "sols peu évolués d'apport est basée sur le rôle dominant des "facteurs de pédogenèse externe (49) - apport alluvial ou colluvial, qui rajeunissent constamment le sol et limite la différenciation de leurs horizons.

Cependant, quand celle-ci est poussée, les sols ont été rattachés aux sols isohumiques si les sols présentant un gradient calcaire et de matière organique, aux sols vertiques si les sols sont riches en argile "gonflante" et présentent des facettes de glissements ou des fentes de retrait et enfin aux sols hydromorphes quand les sols présentent des tâches de pseudo-gley en profondeur et des pisolites en surface.

- Les sols peu évolués d'érosion dont le facteur de pédogenèse dominant est l'érosion hydraulique des sols ont été rattachés aux sols brunifiés quand l'érosion des sols est atténuée par la strate herbacée et que l'altération des schistes et des  
.../...

quartzites donne lieu à la formation d'un horizon B  
textural ou structural (voir Carte pédologique)

- PROFIL N° SLI I27 - Caractéristiques physique et chimiques (voir Tableau I)

PROFIL N° SLI I27      Analyse Physiques et Chimiques

| Profondeur | GRANULOMETRIE |            |             |                       | Cal-<br>caire | PH<br>H2 O Ko l | C%  | N%  | C/N  | MO%      |
|------------|---------------|------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------------|-----|-----|------|----------|
|            | Argile        | Li-<br>mon | sale<br>fin | sale<br>gros-<br>sier | H%            |                 |     |     |      |          |
| 0, 30      | 41,0          | 23,5       | 9,4         | 9,4                   | 5,2           | 8,5             | 6,5 | 5,6 | 1,06 | 40,11110 |
| 30, 20     | 40,1          | 19,8       | 13,9        | 13,9                  | 3,4           | 6,5             | 6,9 | 5,9 | 0,43 | 10,061   |
| 90, 120    | 33,9          | 11,6       | 37,9        | 37,9                  | 3,1           | 5,5             | 7,9 | 6,5 | 0,43 | 10,061   |
|            |               |            |             |                       |               |                 |     |     |      |          |

B- LES SOLS BRUNIFIES- sols à Mull-

Les sols bruns eutrophes et les sols lessivés (Inseptisols et Alfisol) se répartissent sur les versants des Oued Cherrat et Neffikh et sont en général associés aux sols lithiques ou régiques ou aux sols rouges méditerranéens sur schistes et quartzites.

a) Conditions de formations

La genèse des sols brunifiés est liée à un microclimat tempéré - climat méditerranéen relativement frais - et à une végétation du type matorral ou forêt dense à sous-bois composé d'une strate herbacée assez développée. Ces sols se rencontrant sur les schistes ou quartzites sur des versants exposés au Nord et à l'Ouest à pente moyenne à forte permettant un bon drainage externe. la rupture de l'équilibre climacique consécutive à une forte dégradation de la forêt ou des matorrals entraîne une évolution régressive des sols bruns en sols lithiques et régiques.

b) Processus

.../...

suite - 30 -

La genèse des sols bruns ou des sols lixivés ou "brunification" est liée à la présence de complexe argile-humus-oxyde de fer à l'état flocculé qui constitue le ciment des agrégats qui serait à l'origine de la couleur brune des sols" (34) - la décomposition rapide des matières organiques et la minéralisation de l'humus entraîne la formation d'un horizon A<sub>1</sub> relativement peu épais, de couleur brune et bien structuré.

(structure polyédrique moyenne) - La migration de l'argile en profondeur est faible. Les sols lessivés par contre ont un horizon illuviale de couleur beige ou brun-jaunâtre ou "horizon argillaire" : le lessivage des colloïdes argileux, étant essentiellement un entraînement mécanique sans altération ou dégradation du complexe absorbant. (Absence d'un horizon blanchi "podzolique").

Cependant, quand l'entraînement mécanique des argiles est poussé - sols sur pentes très fortes et sous mattorals clairs, on peut observer un horizon "blanchi" mais à complexe non dégradé. (horizon blanc-grisâtre, limoneux à structure polyédrique émoussée).

Les sols bruns eutrophes sur schistes et quartzites des versants des Oueds Cherrat et Neffifikh sont groupés en "Sols bruns méditerranéens" (34) qui évoluent sous des climats méditerranéens dans des zones microclimatiques fraîches.

Les sols lessivés ont un profil du type AI -A-B-R, soit un horizon A humifère A humus doux peu stable qui résulte de la décomposition de la strate herbacée "acidiphile" et de débris végétaux de la callitriche, un horizon A-B plus proche de A que de B, peu humifère, limoneux et peu structuré et un horizon B illuvial, argileux, beige, à structure polyédrique grosse ou moyenne. Cet horizon peut être "marmorisé" au niveau de l'altération des schistes et présenter des traînées filiformes de pseudo-gley, ou rubéfié : dans ce dernier cas, les sols ont été classifiés en sols rouges lessivés (v. p. I.).

Exemple : Profil N° SLI 126 b (X= 330,150 ; Y= 333,200 ; Z= 260 m)

#### a- Morphologie :

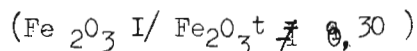
de 0 à 20 cm : Horizon brun limoneux finement argileux humifère, non calcaire, à structure polyédrique moyenne émoussée ("subangulaire"). porosité assez bonne, faible compacité, bonne cohésion. Les racines et radicelles sont nombreuses et bien développées. Présence de Crotonovines, de débris de schistes et de quartzites. Humus du type mull. La limite est tranchée.

de 20 à 40 cm : Horizon brun clair, limono-argileux, plus argileux en profondeur, non calcaire - A l'état sec, la micro-structure est polyédrique émoussée, la macro-structure à tendance prismatique. Les recouvrements de matières organiques sont assez nets au niveau des types de racines, les revêtements argileux sont moins nets. Quelques crotonovines et des débris de schistes de quartzites en voie d'altération. Transition progressive.

à plus de 50 cm : Schistes primaires (carbonifère).

#### b- Quelques caractéristiques chimiques :

Les teneurs en matières organiques sont faibles, de l'ordre de 1 % à 2 % le C/N est de 11-12 et décroît rapidement en profondeur. Le sol n'est pas saturé (S/T : inférieur à 40 %) les rapports de fer libre sur fer total sont faibles. ( $\text{Fe}_{2\text{O}_3^1} / \text{Fe}_{2\text{O}_3^t} / (0,4)$ )

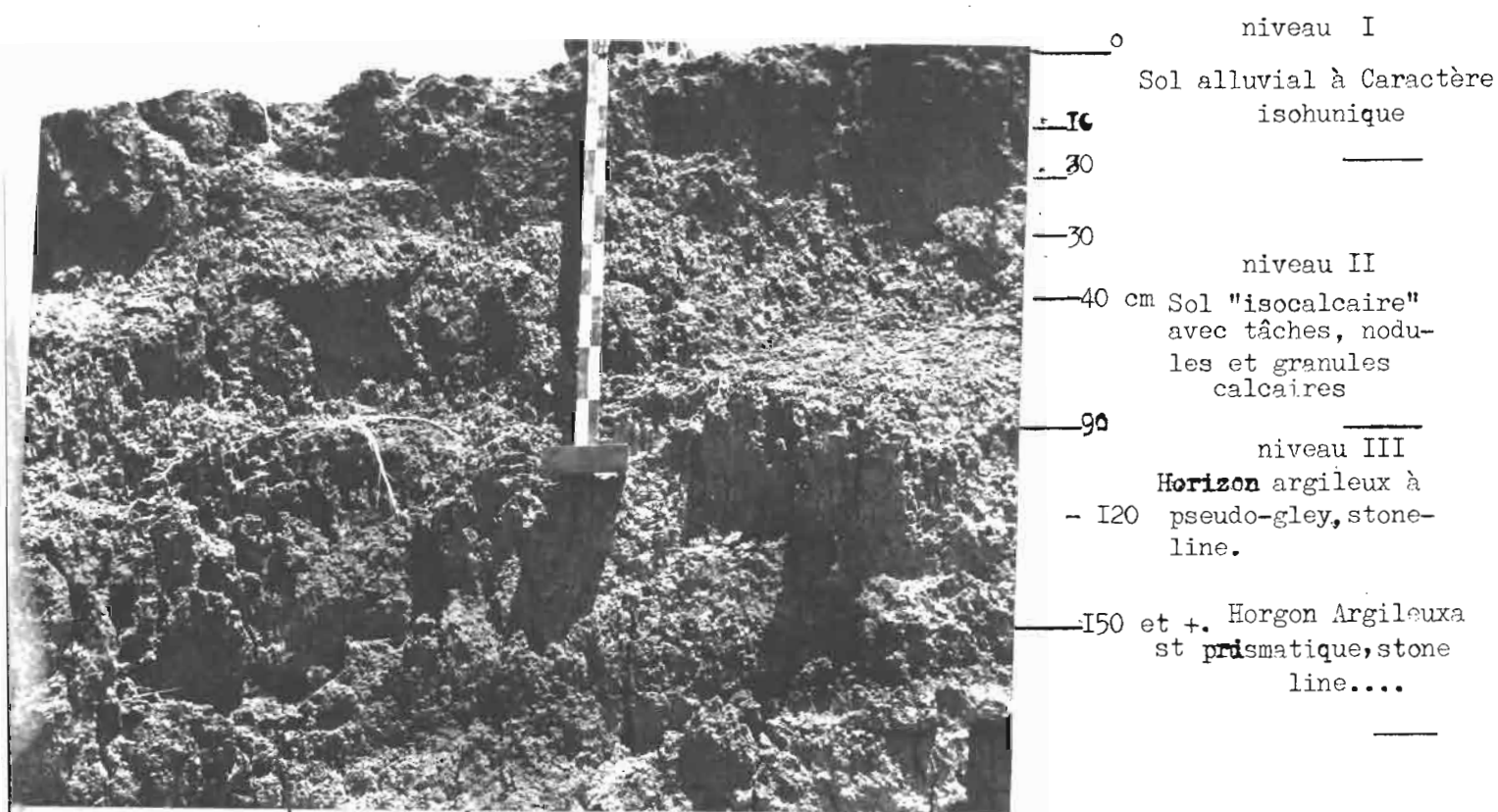


N.B. : le profil N° SLI 126b est un sol brun faiblement lessivé typique. Le lessivage vertical ou oblique peuvent être plus poussés ainsi que l'altération des schistes en minéraux argileux (type Illite, Montmorillonite) tel que l'horizon illuvial est mieux différencié, relativement plus saturé et plus riche en fer libre-

N.B.- Les sols brunifiés des régions à climat méditerranéen frais des Zaer font l'objet d'études particulières (V. Les sols des Zaer-s. (4)).

Planche I.

PROFIL N° SLI 127



"Intergradé": - Sol peu Evolué D'Apport à caractère Isohumique.  
sur alluvions limono-argilo-sableux calcaire.  
des Oueds Dir et N'fifikh.  
est - Sol Brun Isohumique Subtropical.

- II -

LES SOLS CALCIMAGNESIQUES et ISOHUMIQUES

les sols minéraux bruts , les sols peu évolués et les  
sols brunifiés sur  
schistes et quartzites

-Les sols sur les versants des vallées des Oueds Dir,  
Sefrou et Ain Dekka

III-I.2 SOLS CALCIMAGNESIQUES ET ISOHUMIQUES

\$- Facteurs de pédogenèse :

Climat : Euméditerranéen (semi-aride) :  
P = 540 m/m ; T = 18°C

Roche-mère Basalte doléritique du Trias  
(et/ou argile rouge gypsifère) ou Calcaire  
dur saccharoïde (Plipène)

Végétation actuelle : céréales et légumineu-  
ses (terres partiellement dédoumées) ; fossi-  
le (?) Steppe et pseudo-steppe (Chamaero-  
paie)

Topographie : versant à pente moyenne à for-  
te (P = 15 à 25%)

- Géomorphologie : Versants de vallées évasées, à profil convexe et esposés NORD-OUEST.
- Érosion hydraulique : Décapage au sommet, ravin et rills non généralisés
- Lieu dit : Ziaida des Moualime Louta (Chaouia - Mésé-  
ta Marocaine)
- Coordonnées Lambert : : : =

Profil N° SLI 47 :

X = 338,00                      Y = 326,60                      Z = 210 m

Profil N° 62b :

X = 341,650                      Y = 326,550                      Z = 260 m

Profil N° SLI 128:

X = 342,600                      Y = 327,200                      Z = 270 m

A - MORPHOLOGIES

a) Profil N° SLI 47 : (V. et Planche II et Photo P1 ci-  
après)

De 0 à 25 cm : Horizon brun-noirâ-  
tre - 10 YR 3/4, humifère, argileux limoneux finement  
calcaire. La structure est grenue moyenne bien déve-  
loppée.

A l'état sec, la structure est plus  
grossière, à tendance mottuleuse.

La porosité et la cohésion sont bon-  
nes, la consistance et la compacité sont moyennes. Les  
racines et les radicelles sont nombreuses et bien déve-  
loppées ; présence de bulbes (d'asphodèles) et de raci-  
nes mortes (de chamaerops) et de nombreuses "Crotovines"  
donnant une sous-structure "construite" ou faunique  
(déjections de Lombrics).

.../...

Limite tranchée.

De 25 à 35 cm : Basalte dolé-  
rique fortement altéré, entouré de calcaire "secondai-  
re", friable, quelques débris de racines mortes. Nom-  
breuses tâches verdâtres (Chlorite fortement altérée)  
et calcédoine rose - puis basalte doléritique en voie  
d'altération.

b- Classification : (4.8) (53)

A- SOL CALCOMAGNESIMORPHE

S/C : Rendziniforme

G: Rendzine vraie

- A -

s:g noire

Série : Rendzine noire "calcique"  
et argileuse

Facies : Faiblement vertique  
(tirsifiée)

B- SOL CALCIMAGNESIQUE

Sols Carboratés

Rendzines

( - B -

( pauvre en calcaire

( fin

ou "Sol Brun Calique

C- MOLLISOL mélanis-  
que

( Rendolls

( Vertic Rendolls

D- SOL à régime Aéropédique, Type Homo-cyclique: (sols  
holo-calcaire : rendzine et à Cycle calcaire)

A-Classification de G. Aubert (1965-66) B- Du CPCS  
Bondy-France 1967

B- Classification américaine (7° Approximation et  
Supplément 1967)

C- De H.E. D'El Villar (clas. universelle). E- proposi-  
tion : rendzine noire calcique (additif de A). (49)

Remarques :

Les rendzines calciques et ar-  
gileuses qui évoluent sur les versants des vallées des  
Oued Dir et Sefrou forment des chaînes de sols avec les  
sols isohumiques et les vertisols (v. Pl. II..)- Elles  
diffèrent des vertisols et des sols vertiques (Tirs et  
sols tirsifiés des côtes) et sont situés en bas de pente et  
des sols isohumiques subtropicaux situés à mi-pente par  
leur profondeur, leur texture, leur structure et leur  
teneur en calcaire et en argile.

- De texture argilo-argileuse,  
limoneuse, les rendzines calciques argileuses ne présen-  
tent ni facettes lisses (ou slikensides) ni fentes de  
retrait pendant les périodes de dessiccation des sols,  
même quand la néoformation de minéraux argileux au dé-  
pens des minéraux du basalte est poussée et l'argile  
du type Montmorillonite (45) (Sch-). Ceci étant proba-  
blement dû à la structure grenue des sols différente de  
la structure "granulaire à grains argileux des tirs en rapport avec  
(v;pl;), à leur régime hydrique essentiellement aéropé-  
dique et à leur forte activité biologique.

.../...

Les rendzines calciques, pauvres en calcaire fin (v analyse) se différencient également des sols isohumiques par leur faible épaisseur, l'absence d'horizon argillique (B) ou pétrocalcique (Bca ou BK), leur profil étant du type A-R, avec une limite tranchée entre A et R (ou C).

Sur les calcaires durs pliocène, les rendzines calcaires (rendzines vraies noires ou grises) sont de texture limono-sablo-argileuse, plus riches en calcaire et généralement de couleur moins foncée. Ces rendzines présentent soit une accumulation calcaire diffus (Bca) et un horizon B texturale (cas des Sols Brun Calcaires) - soit une croûte peu épaisse lamellaire (ou rubanée) (Rendzine encroûtée) ; dans ce cas la distinction entre les rendzines et les sols isohumiques est plus délicate du fait qu'en périphérie des corniches, les sols sont dégradés par l'érosion hydrique-décapés ou colluvionnés - tel qu'il ne subsiste que des pochettes de sols calcimagnésiques ou isohumiques -

**b- PROFIL N° SLI I28 - Morphologie -**

- de 0 à 23 cm : Horizon noir, humifère, limono-argileux et calcaire.  
 La structure est grenue moyenne et fine très bien développée, la cohésion et la porosité sont bonnes, la compacité est faible. Les radicelles et les racines sont nombreuses (racines de chamaerops et de "chiendent") - Mélange intime des matières minérales et organiques: humus du type Mull calcique. Les Croto-vines (déjections des Lumbriscus terrestres) forment une sous-structure grenue "ou structure construite" - quelques granules calcaires - Limite progressive.
- A<sub>II</sub>
- de 23 à 41 cm: Horizon brun-noirâtre, humifère, limono-argileux et calcaire la structure est grenue moyenne, la cohésion est bonne - les granules et nodules calcaires sont plus abondants à la base - pseudo-mycelium calcaire le long du système racinaire - Les racines sont plus rares - quelques croto-vines -
- A<sub>I2</sub>
- de 40 à 60 cm: Pénétration des matières organiques sous-formes de "languettes" (digitations) - Granules, rognons et croûte calcaire discontinue.
- A-B<sub>K</sub>
- R-A<sub>A</sub> plus de 60 cm : calcaire pliocène en voie d'altération.

**Principaux caractères morphologiques**

- Gradient de matières organiques et de calcaire (faible décarbonatation des horizons de surface) pénétration régulière de la matière organique en profondeur - accumulation de calcaire en profondeur sous-forme de pseudo-mycelium, de nodules, granules et enfin de croûte).

- horizons humifères profonds et bien structurés
- couleur noire (Épipédon mollique) des horizons A11 et A1 2
- colluvionement (lien génétique avec les sols calcimagnésiques en périphérie de la corniche)

Classification (s) -

A- SOL ISOHUMIQUE

B- SOL ISOHUMIQUE

à pédoclimat frais pendant la saison des pluies

idenz

saturés principalement en calcium

- SOL BRUN "Subtropical" encroûté -SOLS MARRONS

Série - SOL Brun à croûte localisée

" à épipédon mollique"

Famille - calcaire pliocène et colluvions

Facies : remanié-"colluvioné"

Phase - cultivé partiellement dédoumé.

C- MDLLISOL, Calcixeroll - Petrocalcic calcixeroll (ou petrocalcixeroll)

D- Sol à régime sub amphigénique (?) ou aeropédique - Cycle calcaire - (hétéro-calcaire)-

PROFIL N° SLI 62 b Morphologie

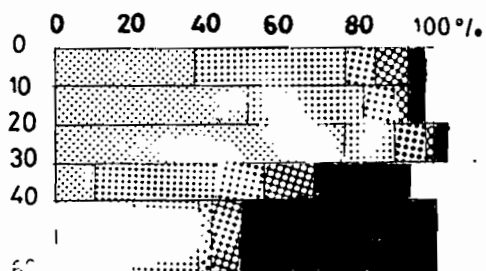
De 0 à 10 cm : Horizon brun-foncé, argilo-limoneux, très peu calcaire, humifère. La structure est grumeleuse moyenne-Bonne cohésion, faible compacité. Nombreuses racines et radicelles, quelques bulbes et Croto vines Transition progressive.

A11

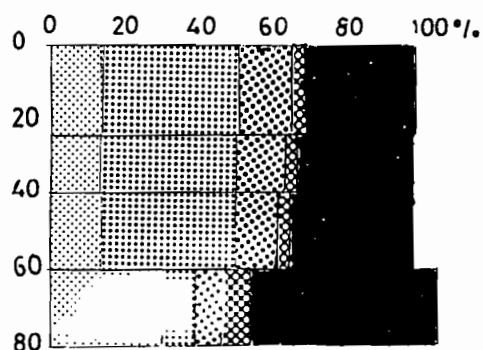
De 10 à 30 cm : Horizon brun-rougeâtre très foncé, humifère, peu calcaire, argilo-limoneux. La structure est polyédrique émoussée (sous structure à tendance mottuleuse) la sur-structure est prismatique-cubique (état sec) ou massive (état humide). Bonne cohésion, porte compacité (l'argile est collante et plastique à l'état humide) - limite progressive.

.../...

# SOLS ISOHUMIQUES



Sli 62 bis



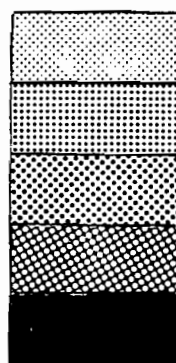
Sli 128

## Echelle

Profondeurs 1cmp-20cm

Texture : 1cmp - 2%

A , L , Sg . sG



Argile

Limons

Sables fins

Sables grossiers

Calcaires

De 30 à 46 cm : Horizon rouge-brun, argileux, très calcaire, peu humifère : individualisation et accumulation du calcaire sous-forme de pseudo-mycelium calcaire filiforme et très dense - à la base, l'horizon devient plus riche en "amas pulvérulents calcaires "ou white eyes"

B  
s,t,k,

C-R à plus de 46 cm : argile rouge "gypsifère" du Trias, fortement altérée.

Principaux caractères morphologiques :

- Gradient de calcaire et de matière organique -
- Forte décarbonatation (décalcari-  
sation) des horizons supérieurs  
et accumulation du calcaire en  
profondeur sous-forme de pseudo-  
mycelium et d'amas pulvérulents  
calcaires.
- Lessivage verticale (du calcaire?)  
et de l'argile : horizon B textu-  
ral (ou argilification préféren-  
cielle) (Voire : genèse)
- Structure prismatique en profon-  
deur
- Héritage "lithochrome" : sols évo-  
luant sur matériau rouge.  
( couleur dérivant de la roche-  
mère triasique).

Classification

A- Sol ISOHUMIQUE, évoluant sous un pédoclimat frais pendant la saison des pluies, saturé en cal-  
cium - Sol CHATAIN "rouge" subtropical

Facies : verticale

Phase cultivé -

B- Voir profil précédent : SOL Marron (?)

C- Mollisol - Xeroll Argixeroll-Calcaire argixeroll ou  
vertic calixeroll-

D- Sol à régime aéropédique - Cycle calcaire - Type  
Hétérocyclique -

B- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES  
SOLS CALCIMAGNESIQUES et ISOHUMIQUES.

B- Caractéristiques physiques et chimiques

I) Texture - Calcaire

basalte - Les rendzines noires "calci-ques" sur/doléritique (Trias) sont très argileuses (50 - 70% d'argile), non calcaires (mais calciques) - Les proportions d'argile du type montmorillonite seraient assez élevées (35). Ces caractéristiques les rapprochent des sols bruns calciques mélaniques (Decs

- Les rendzines noires ou grises sur calcaire (pliocène) sont une texture équilibrée (coefficient de surface CS = 40). Les rendzines à horizons (B) textural ou à croûte peu épaisse, sont plus sableuses en surface (CS = 30) et les sols bruns calcaires sur loehms sont sablo-limoneux, et calcaires en (B)

- Les sols châtain-rouges "sub-tropicaux" sur Trias (argile-rouge) sont argileux dès la surface et présentent un horizon "argile" et calcaire (B textural et structural). Ils sont fortement décarbonatés en surface (3 à 4% de calcaire total en A), calcaire en profondeur (30 à 60% de calcaire) mais ne sont pas encroûtés : Accumulation du calcaire sous-forme de pseudo-mycelium ou de "white eyes" ou amas pulvérulents.

- Les sols bruns "subtropicaux" sont limono-argileux et calcaires sur l'ensemble du profil (25 à 35% de calcaire en A et 60% au niveau de l'encroûtement calcaire). Leur coefficient de surface CS est moyen et de l'ordre de 18 à 20.

Par leur texture et le type d'argile (gonflante), les rendzines calciques se rapprochent des sols tirsifiés (sols vertiques) des côtes, leur structure grenue les différencie essentiellement des Tirs, même, si quelques rendzines présentent en période de dessiccation du sol une tendance à former des mottes (structure mottuleuse). Ils forment des chaînes de sols sur les versants, et selon la topographie, les caractères de l'un ou de l'autre type de sols dominent (soit au sommet, les Rendziniiformes et en bas de pente les vertisols) : D'où la dénomination de "rendzines vertique" attribuées par des pédologues (Maroc) aux rendzines noires calciques sur basalte ; quand ces deux groupes de sols ne sont pas confondus systématiquement.

Les rendzines grises et noires sur calcaire sont moins bien structurées, les éléments structuraux fondamentaux étant les croûtes qui forment une "sous-structure construite". Elles sont plus riches en carbonates de chaux, peu profondes (15 à 25cm), et reposent soit directement sur du calcaire peu altéré, soit sur une croûte rubanée discontinue. Ils se différencient des sols isohumiques par la répartition dans le profil, du calcaire et de la matière organique, par leur profondeur et le degré d'accumulation ou de différenciation de "leur profil calcaire".

## 2) Matières organiques

- Les sols Isohumiques des Ziadas sont très riches en matières organiques (4 à 4,5% de matière organique totale pour les sols châtain et 6 à 6,5% pour les sols bruns).

ooo/ooo

\* Sols bruns calciques "mélanique" (classification SPSC 1967)

Les teneurs en matières organiques décroissent régulièrement en profondeur, mais dans de faibles proportions (au niveau de l'encroûtement les teneurs restent égales à 3,5 ou 3%), ce qui les distingue des sols isohumiques subtropicaux des régions Semi-arides du Maroc (vpl).

Le quotient C/N est analogue pour les 3 types de sols, soit C/N = 12 ou 13. Les taux d'humification ( $\frac{AH + AF}{Ct}$ ) sont de l'ordre 15 à 17. Les taux d'acides humiques sont plus élevés par rapport aux acides fulviques :  $0,15 \leq \frac{AF}{AH} \leq 0,3$ . Les taux en d'humification (quotient des  $\frac{AF}{AH} \times (AH + AF)$  et carbone total  $Ct$  (ct) x 100) est constant. Alors que le taux des acides humiques et fulviques varient avec la profondeur ( $AH \gg AF$ ); ce qui traduirait une plus grande humification et une polymérisation des matières humiques (3I) (ou condensation de l'humus en profondeur) Voir Résultats des Analyses.

- Ces caractéristiques (MO, C/N, taux d'humification, AF/AH) sont "curieusement" analogues à celles des sols calcimagnésiques (Rendzines forestières) et des sols isohumiques (cherozem et Brunizem) des climats "froids" ou tempérés.

### 3) pH - Taux de Saturation (V)

La réaction des rendzines, des sols châtaîns et bruns subtropicaux est basique. Le pH eau varie de 8 à 8,3 et pH ca de 7 à 7,3. Les taux de saturations sont analogues pour tous les horizons et tous les profils et proches de 100%. Capacités d'échange des sols sur basalte sont plus fortes (74 meq/100g. pour les rendzines noires calciques et 45 à 50 meq/100g pour les sols châtaîns sur argile triasique, 42 meq/100g pour les sols bruns sur calcaire pliocène). Ces valeurs de T et S sont en relation avec les teneurs et la nature des minéraux argileux des sols (Montmorillonite dans le cas des rendzines calciques, interstratifiés et Illite pour les sols sur calcaire.)

Le complexe absorbant est essentiellement saturé par le calcium (et par le magnésium dans de faibles proportions  $3 \frac{Ca}{Mg} \leq 5$ )

Complexe Absorbant  
=====

.../...

|                         | (Cations échangeables |                  |                 |                |                                    |                                  |                       |                      | capacité: |            | Taux de sa-      |              |
|-------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|------------|------------------|--------------|
|                         | Ca <sup>++</sup>      | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup> | K <sup>+</sup> /Mg <sup>++</sup> | Ca <sup>++</sup><br>T | Na <sup>+</sup><br>T | T         | Sx100<br>T | Pro-<br>fondeur: | Hon-<br>zons |
| Rendzine<br>et Argileux |                       |                  |                 |                |                                    |                                  |                       |                      |           |            |                  |              |
| et                      | 62,5                  | 11,2             | 1,28            | 1,2            | 5,58                               | 0,10                             | 0,85                  | 0,17                 | 74,2      | 102        | 0,10             | A            |
| Calciques               | 60,3                  | 11,4             | 1,21            | 0,9            | 5,28                               | 0,07                             | 0,85                  | 0,16                 | 71,2      | 102        | 10-20            | A-R          |
| Sols bruns              | 37,7                  | 5,6              | 1,2             | 1,4            | 6,73                               | 0,25                             | 0,85                  | 0,20                 | 43,1      | 106        | 0-23             | A            |
| Sub-tropi-<br>caux      | 38,2                  | 4,5              | 1,1             | 0,8            | 8,48                               | 0,17                             | 0,86                  | 0,02                 | 44,0      | 101        | 23-40            | A,2          |
| Sols châtain            | 34,4                  | 12               | 1,06            | 1,7            | 2,86                               | 0,01                             | 0,67                  | 0,21                 | 49,3      | 99         | 0-10             | A            |
| Sub-tropi-<br>caux      | 33,3                  | 10               | 0,9             | 0,56           | 3,33                               | 0,05                             | 0,73                  | 0,01                 | 45,6      | 108        | 30-40            | B            |

Le taux de saturation du complexe absorbant par le sodium est très faible, et par le potassium de l'ordre de 2 à 3 pour cent (diminue en profondeur, et n'est que 1% à 30-40cm). Les taux de Mg échangeable sont très élevés pour les Calcimagnésiques, 10-12 meq/100g que pour les sols bruns isohumiques (4 - 5 meq/100g).

#### 4°) Le calcaire actif

Les rendzines "calciques" sont pauvres en calcaire fin (d'où leur classification en Rendzine Carbonatée pauvre en calcaire fin. Par contre les sols bruns "subtropicaux" ont des teneurs élevées (100 à 130%) à partir desquelles et d'après Gallet, la chlorose peut se manifester pour quelques rosacées (voire aptitude culturale, chap III).

Il est probable que le calcaire fin serait dominant dans le complexe absorbant et serait une des causes de l'augmentation des taux de saturation réels T des sols (légèrement supérieur à 100) (+).

#### Quelques caractéristiques Physiques:

#### 5) Les Densités, Porosités et Stabilité structurale

Les sols calcimagnésiques et isohumiques "des Ziaida" se caractérisent par leur faible densité apparente ( $D_a$  1,1), des densités moyennes (1,4-1,5) et des densités réelles élevées (2,9 à 3). Il en résulte que les porosités totales des sols sont de l'ordre de 60 à 65% réparties en microporosités (porosité fine) de l'ordre de 25 à 30% et en macroporosités voisine de 30 à 35%...

\* Résultats donnés à titre indicatif

- Les quotients  $\frac{Lsp}{Pt} \times 100$   
(Rapport des limites de plasticité aux  $Pt$  porosités totales) des sols sont légèrement supérieur à 100  
soit :

- |                 |                                   |                                        |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| a) Rendzine     | $\frac{Lsp}{Pt} \times 100 = 117$ | (LF (limite de fluidité) $Lsp > P_f$ ) |
| "argileuse"     |                                   |                                        |
| calcaïque en A" | II < 100                          | { $Lsp > P_f$                          |
|                 |                                   |                                        |
| b) Sol châtain  | $\frac{Lsp}{Pt} B'' Ca < 100$     | { $Lsp > P_f$                          |
| subtropical     | en A" II < 100                    |                                        |
| c) Sol brun :   | $\frac{Lsp}{Pt} en A'' I_2 < 100$ |                                        |
| subtropical     |                                   |                                        |

Par ailleurs les indices de Plasticité  $Ip = (Lsp - Lip)$  et de maniabilité  $(LA - Lip)$  sont (~~élevés~~) tels que le sol travaillé ; ou qui subit une force, aura tendance à donner une structure grenue. ( )

La  $Lsp$  étant supérieure à la porosité capillaire, les agrégats sont "stables" jusqu'à la capacité de Rétention.

Les agrégats ne se transforment pas en boue, mais peuvent se déplacer sous l'action d'un choc (travail du sol).

D'après les valeurs des Porosité ( $P_g$ ), de la  $Lsp$ , du quotient  $\frac{Lsp}{Pt}$  il en résulte que les sols ont une bonne stabilité structurale. La méthode directe (Is Henin) donne des résultats analogues ( $0,5 \leq Is \leq 1$ ). Cependant, l'horizon A, des rendzines "argileuses" serait moins stable ( $\frac{Lsp}{Pt}$  légèrement supérieure à 100) alors que l'indice  $Is$  de cet horizon reste très faible).

#### Les éléments nutritifs (N, $P_2O_5$ , $K_2O$ , CaO, MgO, $K_2O$ )

Nous avons vu que les sols calcimagnésiques et isohumiques ont, du point de vue agronomique, de bonnes caractéristiques physiques (textures, structure, porosité, stabilité structurale). En plus de ces caractères, ces sols

(+) in 65 et communication orale de Mme Zakrzewzka)

*en élément nutritif*

sont des "terres riches" / soit :

des teneurs en Azote de 0,1 à 0,3%, et en Phosphore total de 0,5 à 0,9% et de 1,5 % (Rendzines).

Les taux de saturation du complexe absorbant par le potassium sont de l'ordre de 2 à 3 pour cent en surface, et 1 pour cent en profondeur de Sodium / physiques et chimiques, les sols bruns "stropicaux" (non encroûtés seraient analogues aux sols steppiques de Russie (ou aux meadow soils) ou prairie soils) du point de vue de leur fertilité potentielle. Cependant leur répartition sur de faibles superficies d'une part et leur localisation sur des versants à pente forte d'autre part font que ~~les~~ leurs vastes aptitudes culturales ~~en leurs vocations culturales~~ sont très limitées dans l'espace. par ailleurs l'encroûtement où les croûtes constituent un des plus grands facteurs limitants (cf. aptitude culturales des sols in-fine) *intrinsèques des sols*

### C. Genèse et Répartition

#### a) les matières organiques

Les sols calcimagnésiques (rendzines vraies et/ou à horizon) sont d'après la classification adoptée (48) "des sols à profil A-R ou A (B) R à calcium et magnésium dominant la pédogenèse" (34), évoluant sur des roches-mères basiques. (basaltes du trias et calcaire dur pliomène) en périphérie du plateau des Ziaida et sur les versants des vallées taillées dans les terrains triasiques. Ces zones jouissent d'un microclimat ~~en~~ méditerranéen ou Xérotherique atténué. La végétation actuelle est dégradée par l'érosion hydrique tel qu'il ne subsiste que des tâches de chamaerops h ou doum qui aurait occupé de vastes ~~étendues~~ (pseudo-steppe).

A mi-pente des versants, les rendzines évoluent en sols bruns subtropicaux profonds (colluvionés) sur pliocène, ou en sols châtain-rouges sur trias. Sur les corniches elles sont associées aux lithosols forment des pochettes de sols de Rendzines initiales" (34).

Les rendzines se caractérisent par un mélange intime d'origine biologique et mécanique de l'humus, des matières minérales et du calcaire. Le calcaire proviendrait essentiellement de la roche-mère (cas des rendzines vraies) ou d'apport latéral (Rendzines à horizon). La structure grenue (ou sous-structure "construite") traduit une forte activité biologique qui entraînent une humification poussée des matières organiques fraîches.

- La minéralisation plus lente de l'humus est due probablement à la stabilité du mull-calcaire (Formation de complexe floculé argilo-humique stabilité par le calcaire fin et faiblement dégradé par la microflore).

*échangeables sont  
très faibles min de  
2 meq / 100 gr*

En bordure du plateau pliocène des Ziaida. Les rendzines grises "sableuses" sont fortement dégradées par l'érosion hydrique (voir chaîne de sol planche II) et présentent un horizon A très peu épais reposant soit directement sur la roche-mère, soit une pellicule calcaire (croûte rubanée). Celle-ci résulterait d'un double processus : a) du ruissellement intense et des migrations latérales des carbonates ou de la décarbonation (lessivage verticale du calcaire) b) des horizons A très perméables (sableux). Ces deux processus sont peu intenses et l'accumulation de calcaire limitée. (Croûte rubanée).

Les rendzines calciques sur basalte doléritique du trias résulteraient<sup>ent</sup> et de l'altération poussée des minéraux des basaltes et de néoformation de minéraux argileux du type montmorillonite et illite. La nature des minéraux argileux leur confère~~ent~~ des caractères vertiques moyennement accentués (structure à tendance mottuleuse et propriétés hydriques des sols vertiques). Ces rendzines sont riches en matières organiques totales (3 à 4%) même sous-culture. (ou herbacée)

La richesse du sol en humus résulterait de l'humufication assez poussée et de la minéralisation faible des matières organiques d'origine "steppique".

La minéralisation de l'humus est probablement limitée par la stabilité du "mull calcique" complexe floculé stabilisé par le calcium, sous un micro-climat "frais" des versants exposés au Nord ou au Nord-Ouest.

La dégradation poussée des rendzines initiales ou grises entraîne un décapage de l'horizon A et son accumulation à des niveaux plus bas (à mi-pente ou sur les bas-fonds des vallées), enrichissant les sols isohumiques ou vertiques.

2. Les sols isohumiques "subtropicaux" se caractérisent par la répartition régulièrement décroissante en profondeur de la matière organique d'origine "steppique" et la répartition régulièrement croissante du calcaire en profondeur. Les sols bruns et châtaîns subtropicaux des Ziaida sont, par rapport aux mêmes types de sols des régions semi-arides du Maroc, plus riches en matières organiques totales (de 4 à 5%)

La décarbonation (ou décalcarification) des horizons A<sub>II</sub> et A<sub>I2</sub> des sols châtaîns est plus poussée que pour les sols bruns.

La couleur brun-rougeâtre des sols châtaîns est due à un "héritage lithochrome" de la couleur rouge du matériau originel et non à la rubéfaction du sol soit la surimposition du noir (due aux matières organiques) au rouge (roche-mère).

Les sols bruns subtropicaux ne sont pas décalcarifiés en surface, mais l'individualisation et l'accumulation du calcaire en profondeur sont plus poussées, (nodules, granules, rognons et croûtes ou encroûtements) alors que les sols châtaîns ne présentent que des accumulations sous forme de pseudo-mycelium calcaire ou de "White eyes" (amas pulvérulents). Les sols bruns subtropicaux ont des teneurs en matières organiques les plus élevées <sup>par rapport aux</sup> des sols des régions cartographiées (soit 6 à 6,9%). Cette matière organique se caractérisant par le quotient C/N égal à 12, Le taux d'humification égal à 17 et des taux d'acides humiques plus élevés que les acides fulviques (AH > AF) - Ce qui traduirait "une humification et une polymérisation poussée de l'humus": sols à humus condensé (53).

La richesse des sols isohumiques des Ziaida en matières organiques totales et en humus stable résulterait a) de la décomposition de matières organiques fraîches d'origine steppique, (la végétation ayant été de type chamaërophaie) et non à la dégradation d'une végétation acidiphile du type Suberaie, Callitriæ qu'on retrouve soit sur les plateaux, soit sur les versants taillés dans le paléozoïque schisteux et quartzitiques; les principales strates arborées étant calcifuges.

b) De la stabilité de l'humus (mull calcique), le microclimat étant relativement plus frais que sur les plateaux (climat xérothérique atténué). Les sols bruns sur les versants exposés N-O sont généralement plus riches et plus profonds que les sols bruns sur les versants exposés au Sud et à l'Est.

:  
B) : Le calcaire:

Deux aspects : -Encroûtement et genèse des croûtes des sols bruns subtropicaux isohumiques?

Décarbonation - Décalcarisation des sols châtaîns et argilification en profondeur ?

L'individualisation et l'accumulation du calcaire ont été étudié par de nombreux auteurs qui ont émis plusieurs hypothèses divergentes

HYPOTHESES - a) Pour les géographes (40), la genèse des croûtes et des encroûtements calcaires par descensus, et précisément par ruissellement est généralement l'hypothèse la mieux admise.

- b). E.H. D'EL Villar met l'accent sur le lessivage épigénique du calcaire et sur les phénomènes de calcification par hydro-hypogenèse (49) Les accumulations de calcaire résulteraient alors dans le premier cas du lessivage vertical du calcaire sous l'action des facteurs épigéniques (eaux météoriques) puis de

.../...

(son) individualisation et de l'accumulation du calcaire au niveau des racines sous forme de pseudo-mycélium, puis de nodules, granules et de croûtes, et dans le second cas, l'accumulation du calcaire résulterait des phénomènes de "prise" due à la descente du niveau de la nappe aquifère (d'où l'origine hydrohypogénique) et non par évaporation et dissiccation dues à un climat chaud et sec. (49)

Les hypothèses de H. Durand (33) sur la genèse des croûtes portent sur la précipitation du calcaire dans les lacs en période de biostase et de recouvrement des croûtes en période de réxhystase ; par les sédiments qui proviendraient de l'érosion des sols formés autour des lacs. Etant donné l'évolution géomorphologique des versants au cours du quaternaire (soit du régime lacustre qu'on ne peut évaluer pour la région des Ziaïda), Les hypothèses de Durand ne peuvent se concorder pas avec la formation des encroûtements et des croûtes calcaires des sols bruns subtropicaux.

Pour G. Aubert ; un double processus conduit à l'accumulation du calcaire sous ses différentes formes.

1)- Le lessivage vertical du calcaire

2)- La remontée (capillaire ou biotique) d'eau chargée de calcaire au dépens des nappes aquifères ou des zones d'enfouissement

D'après les études récentes sur l'Individualisation et les accumulations de calcaire, notamment dans les sols isohumiques subtropicaux par A. Ruellan, le calcaire ne serait pas fourni uniquement par la roche-mère, mais résulterait essentiellement d'apport latéral de calcaire : d'une part par ruissellement superficiel d'une eau chargée en calcaire qui pénètre dans le sol et traverse les horizons superficiels sans les lessiver, ou par circulation diffuse de l'eau calcaire dans le sol, et d'autre part par les nappes phréatiques d'où l'eau calcaire peut remonter... ( ).

Les hypothèses qui nous semblent être en accord avec nos observations sont celles de G. Aubert, H d'El Villar et A Ruellan qui ont de nombreux points communs.

I. La décarbonatation (ou décalcarisation) des sols châtain-rouges (non rubéfiés) serait un processus épigénique de lessivage vertical du calcaire et de son accumulation progressive au niveau du système racinaire (précipitations des carbonates et bicarbonates par le  $\text{CO}_2$ ), sans que les sols soient désaturés principalement en calcium même dans les horizons supérieurs ( $A_{II}$  ;  $A_{I2}$  et  $A_{Ca}$ )

.../...

(2). Les apports latéraux de calcaire, soit par ruissellement superficiel, soit par circulation diffuse d'eau chargée de calcaire dans le sol sont fondamentaux (rôle dominant) dans la formation des encroûtements et des croûtes calcaires des sols bruns subtropicaux, : l'amont étant calcaire (sols calcaires ou sols en périphérie des crêts).

(3). Les remontées "biotiques" ou capillaires d'eau chargée de calcaire aux dépens de la nappe aquifère temporaire perchée (au niveau de la discordance Pliocène-Trias). - jouent un rôle important, les rochers mères étant calcaires ou basiques.

(4). L'accumulation d'argile dans les horizons profonds des sols châtaîns résulterait d'une "argilification préférencielle" plus que de lessivage verticale de l'argile du fait que les sols sont saturés dès la surface (Argile-Calcaïque stable (?) et entraîne la formation d'horizons B<sub>1</sub>-Ca (Horizon structural calcaire) Classifications. (et textural)

La distinction entre les sols bruns et châtaîns subtropicaux est (actuellement) discutée par de nombreux pédologues qui ont tendance à en faire un groupe commun de "sols marrons". Nous avons gardé les deux groupes de sols (Classif. de G. Aubert 1966) du fait que l'évolution des sols isohumiques et la différenciation des horizons "calcaires" ou "argilic", soit de la dynamique du calcaire dans le sol et de l'argilification plus ou moins poussée propre à chacun de ces deux groupes de sols - Les caractéristiques physiques, chimiques et hydriques et leur morphologie (notamment leur structure) présentent des différences assez notoires qui traduisent des intensités plus ou moins poussées des (phénomènes processus) de formation des sols (voir p.1 : critère de classification des sols et Morphologie)

#### D- Age des sols

Les sols calcimagnésiques. Rendzines initiales noires, calcaïques et bruns calcaïres. seraient des sols actuels. Les Rendzines encroûtées et les sols isohumiques seraient actuel-subactuels (quaternaire moyen et récent).

## (Correlations entre les différentes classifications.

| I                                                   | 2                    | 3                                           | 4                               | 5                             | 6                      | 7                                                                |
|-----------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Classification Française Aubert (1965)              | CCS. Grignons France | Classif ; Américaine                        | Cl. Universelle E.H. D'a Villar | Noms vernaculaires Maroc      | Divers DuDal- (FAO)    | A Ruelles (+)                                                    |
| SOLS CALCIMAGNESIQUES RENDZINIFORMES                | Rendzines vraies     | Rendzines carbonatée pauvre en calcaire fin | Mollisol Rendoll                | "Sols tirsifiées" des côteaux | Sols CALCI Magnésiques | Sols accumula-                                                   |
|                                                     |                      |                                             | Cycle holo-calcaire (Rendzines) |                               |                        | tion de calcaire.                                                |
|                                                     | Rendzines à horizons | Sols Bruns calcaires                        |                                 |                               |                        |                                                                  |
|                                                     |                      |                                             |                                 |                               |                        |                                                                  |
|                                                     |                      |                                             |                                 |                               |                        |                                                                  |
| SOLS ISOHUMIQUES, à pédoclimat frais, saturés en Ca | Sols Châtains rouge  |                                             | Mollisols Argixerolls           | "Tirs léger" Structure grénue | "Xerosols"             | Sols à accumulation de calcaire où à Profil calcaire différencié |
|                                                     |                      |                                             |                                 |                               | Haplio-                |                                                                  |
|                                                     | Sols bruns encroûté  | Sols MARRONS                                |                                 |                               | xéro-sols              |                                                                  |
|                                                     |                      |                                             |                                 |                               | (luvie):               |                                                                  |
|                                                     |                      |                                             | petro calci-                    | Cycle hétéro-calcaire         | Calcixe-               |                                                                  |
|                                                     |                      |                                             | xerols                          |                               | ro sols                |                                                                  |
|                                                     |                      |                                             | (vermic                         |                               |                        |                                                                  |
|                                                     |                      |                                             |                                 |                               |                        |                                                                  |

+ Communication orale

I à 7 voire bibliographie.

== CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SOLS CALCIMAGNESIQUES ET ISOHUMIQUES ==

|                                                     |              | Tamisage      |          | Flumi-<br>dité eq | Granulométrie |      |      |      | Calco-<br>aire | Cs | Limites mécaniques |      |      |    | Indice de<br>plasticité | Indice de<br>maniabilité | Propriétés Hydriques |             |      |      |      | Densités |      |      |      |       |      | Structure       |     |
|-----------------------------------------------------|--------------|---------------|----------|-------------------|---------------|------|------|------|----------------|----|--------------------|------|------|----|-------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|------|------|------|----------|------|------|------|-------|------|-----------------|-----|
|                                                     |              | Terre<br>fine | Cailloux | He %              | A             | L    | Sf   | SG   | K              | Cs | Lip                | LA   | Lsp  | LF | Lsp-Lip<br>Ip           | LA - Lip<br>Im           | CR<br>pF2,5          | pt<br>F 4,2 | HM   | Ec   | Eu   | Da       | Dm   | Dr   | Pt   | Pf    | Pg   | Lsp x 100<br>pt | Is  |
| N° des Profils                                      |              |               |          |                   |               |      |      |      |                |    |                    |      |      |    |                         |                          |                      |             |      |      |      |          |      |      |      |       |      |                 |     |
| SLI 47 0-10                                         |              | 99,2          | 0,8      | 19,5              | 26,1          | 42,2 | 7,2  | 10,2 | 12,5           | 30 | 49                 | 52   | 71   | 95 | 23                      | 3                        | 34,4                 | 23,7        | 15,8 | 18,6 | 10,7 | -        | -    | 2,9  | -    | -     | -    | 117             | 0,9 |
| Rendzine. 10-20                                     |              | 92,8          | 7,2      | 19,1              | 65,5          | 17,3 | 6,4  | 4,2  | 9,5            | 67 | 43                 | 56   | 72   | 98 | 29                      | 13                       | 33,8                 | 23          | 15,7 | 18,1 | 10,2 | 1,07     | 1,43 | 2,9  | 61,8 | -     | -    | 117             |     |
| Noire 20-30                                         |              | 96,4          | 3,6      | 16,1              | 58,4          | 3,6  | 4,8  | 7,6  | 29,1           | 58 | 35                 | 45   | 59   | 95 | 24                      | 10                       | 32,7                 | 22          | 15,1 | 17,6 | 10,0 | 1,07     | 1,45 | 2,9  | 61,8 | 2,8   | 33,7 | 115             |     |
| Sur. basalte 30-40                                  |              | 90,1          | 9,9      | 8,4               | 24,0          | 10,9 | 7,6  | 10,9 | 51,2           | 25 | 32                 | 38   | 59   | 95 | 27                      | 6                        | 32,2                 | 22          | 15,1 | 9,5  | 17,1 |          |      | 2,8  | 31,7 | 30,1  |      |                 |     |
| SOL ISOHUMIQUE - SOL<br>CHATAIN ROUGE               | Subtro 0-10  | 100           | 0        | 16,6              | 37,2          | 39,6 | 7,9  | 8,9  | 3,3            | 41 | 46                 | 50   | 62   | 91 | 13                      | 1                        | 35                   | 23,5        | 15,7 | 19,4 | 11,6 |          |      | 2,5  |      |       |      |                 |     |
|                                                     | Subtro 10-20 | 100           | 0        | 16,6              | 51,5          | 31,2 | 7,7  | 3,1  | 3,1            | 54 | 42                 | 45   | 63   | 82 | 21                      | 3                        | 35                   | 23,6        | 15,8 | 19,5 | 18,7 |          |      | 3,0  |      |       |      |                 |     |
|                                                     | Subtro 20-30 | 100           | 0        | 16,8              | 76,3          | 13,8 | 7,9  | 1,9  | 3,4            | 77 | 43                 | 46   | 64   | 88 | 20                      | 3                        | 32                   | 23,8        | 15,8 | 16,8 | 8,9  | 1,07     | 1,41 | 3,09 | 65,2 | 2,68  | 38,4 | 1,5             |     |
|                                                     | Subtro 30-40 | 99,5          | 0,5      | 15,8              | 10,7          | 32,1 | 12,1 | 13,5 | 26,4           | 14 | 40                 | 47   | 69   | 98 | 29                      | 7                        | 32                   | 23,8        | 15,7 | 16,5 | 8,5  |          |      | 3,03 |      |       | 98   |                 |     |
| SOL                                                 | Basalte 4    | 93,2          | 6,8      | 7,7               | 20,6          | 17,9 | 3,0  | 7,8  | 51,7           | 22 | 31                 | 38   | 52   | 77 | 21                      | 7                        | 29                   | 22,6        | 15,1 | 14,6 | 7,0  |          |      | 3,0  |      |       |      |                 |     |
| SOL BRUN ISOHUMIQUE -<br>Subtropical - sur calcaire | 0-20         | 100           | 0        | 11,3              | 14,6          | 36,1 | 11,9 | 2,9  | 28,5           | 18 | 31,5               | 45,0 | 56,8 | 78 | 27                      | 6                        | 41                   | 27          | 18   | 22   | 13   |          |      | 3,04 |      |       |      |                 |     |
|                                                     | -40          | 98,9          | 1,1      | 11,8              | 13,6          | 36,3 | 12,7 | 2,5  | 30,1           | 17 | 36,1               | 41,0 | 54   | 74 | 22                      | 5                        | 37                   | 20          | 13   | 23   | 17   |          |      | 2,9  |      |       |      |                 |     |
|                                                     | -60          | 89,9          | 10,1     | 13,2              | 13,8          | 36,3 | 11,0 | 3,0  | 31,9           | 17 | 41,0               | 45,0 | 64   | 76 | 23                      | 4                        | 35                   | 20          | 13   | 22   | 15   | 1,14     | 1,57 | 2,9  | 61   | 29,07 | 31,8 | 105             | 0,4 |
|                                                     | -80          | 25,3          | 4,7      | 29,7              | 29,8          | 8,8  | 7,5  | 8,0  | 48,6           | 30 | 39,9               | 45,6 | 63   | 91 | 24                      | 15                       | 37                   | 20          | 13   | 22   | 15   |          |      | 3,11 |      |       |      |                 |     |

A = Argile = L 2

L = Limon 2-20

Sf = Sables fins 20 - 200

Sg = Sables Grossiers 200-2000

Cailloux > 2 m/m, CS=  $\frac{1.000 A + 100L + 10Sf + SG}{1000}$

Coefficient de Surface

Tous les résultats sont exprimés par rapport à la terre sèche.

LP: limite inférieure de plasticité

LA: limite d'adhésivité

Lsp: limite supérieure de plasticité

Lf: limite de fluïdité (liquidité)

CR= Capacité de Rétention

P<sup>t</sup> F point de flétrissement permanent

HM= Hygroscopicité

EC = Eau capillaire

Eu = Eau utile

Da= densité apparente

Dm= densité motière

Dr = densité relle

Pt = Porosité totale

Pf= Microporosité Pg

Pg= Macroporosité

Is = Indice d'Henin

33 08  
43 c

# CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS CALCAIRES ET ISOHUMIQUES

| SLI 43<br>RENDEZ-VOUS<br>CALCAIRE "Argileuse" (ou vertique) | Profondeur | pH  | MATIÈRES ORGANIQUES |      |    |     |     | MATIÈRES HUMIQUES |      |      |     |       | TAUX D'HUMIFICATION |                               | EL <sup>ts</sup> FER-<br>TILISANTS | CALCAIRES<br>REACTIFS | CATIONS ÉCHANGÉABLES |                 |      |     |    | Capacité d'échange | Taux de saturation |   |   |         |
|-------------------------------------------------------------|------------|-----|---------------------|------|----|-----|-----|-------------------|------|------|-----|-------|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|------|-----|----|--------------------|--------------------|---|---|---------|
|                                                             |            |     | Eau                 | KcL  | C% | M%  | C/N | MO%               | MHT% | AF%  | AF  | AF/AH | AF+AH               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |                                    |                       | K <sub>2</sub> O     | Ca <sub>3</sub> | Ca   | Mg  | Na |                    |                    | K | T | S x 100 |
|                                                             |            |     |                     |      |    |     |     |                   |      |      |     |       |                     |                               |                                    |                       |                      |                 |      |     |    |                    |                    |   |   |         |
| 0-10                                                        | 8,3        | 7,2 | 2,2                 | 0,18 | 12 | 3,8 | 3,4 | 3,0               | 0,3  | 0,11 | 1,5 | 0,48  | 4,5                 | 6,9                           | 62,5                               | 11,2                  | 1,28                 | 1,23            | 74,2 | 102 |    |                    |                    |   |   |         |
| D-20                                                        | 8,3        | 7,2 | 2,2                 | 0,18 | 12 | 3,8 | 2,8 | 2,4               | 0,4  | 0,16 | 1,3 | 0,92  | 4,3                 | 6,8                           | 60,3                               | 11,21                 | 1,21                 | 0,99            | 71,9 | 102 |    |                    |                    |   |   |         |

|                                    |       |     |     |      |      |    |     |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |     |
|------------------------------------|-------|-----|-----|------|------|----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| SLI 623<br>Sol vertique (Vertique) | 0-10  | 8,3 | 7,2 | 2,70 | 0,22 | 12 | 4,7 | 4,20 | 3,07 | 1,12 | 0,36 | 1,5  | 0,87 | 6,8 | -    | 34,4 | 12,0 | 1,06 | 1,71 | 49,3 | 103 |
|                                    | 10-20 | 8,4 | 7,1 | 2,50 | 0,20 | 12 | 4,4 | 2,60 | 2,85 | 0,75 | 0,26 | 1,3  | 0,87 | 6,9 | -    | 35,3 | 11,9 | 1,15 | 0,98 | 47,1 | 108 |
|                                    | 20-30 | 8,2 | 7,1 | 2,30 | 0,18 | 12 | 4,0 | 3,50 | 2,62 | 0,97 | 0,37 | 1,5  | 0,42 | 6,7 | -    | 34,3 | 11,3 | 1,0  | 0,70 | 45   | 103 |
|                                    | 30-40 | 8,2 | 7,1 | 2,20 | 0,18 | 12 | 3,8 | 2,47 | 0,67 | 0,26 | 1,3  | 0,57 | 6,5  | -   | 31,2 | 10,1 | 0,9  | 0,56 | 41   |      |     |

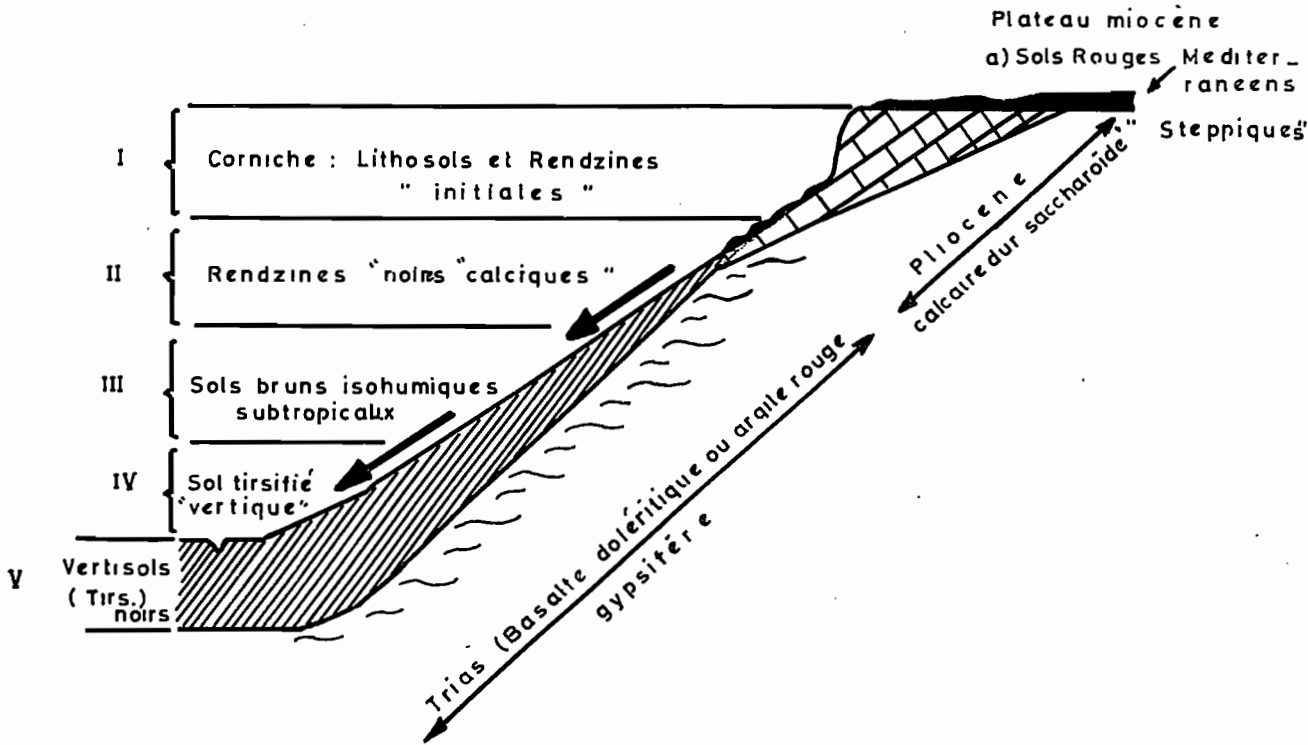
|                                         |       |     |     |     |      |    |     |     |     |     |      |     |     |     |        |      |      |      |      |       |     |
|-----------------------------------------|-------|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|--------|------|------|------|------|-------|-----|
| SLI 228<br>Sol Brun isohumique encroûté | 0-23  | 8,2 | 7,2 | 3,7 | 0,30 | 12 | 6,4 | 5,8 | 4,8 | 1,0 | 0,2  | 1,5 | 1,4 | 5,9 | 102,04 | 37,7 | 5,67 | 1,2  | 1,41 | 43,1  | 106 |
|                                         | 23-40 | 8,2 | 7,2 | 3,6 | 0,28 | 13 | 6,2 | 5,6 | 4,7 | 0,9 | 0,19 | 1,5 | 1,4 | 6,1 | 103,31 | 38,2 | 4,5  | 1,17 | 0,83 | 44,08 | 100 |
|                                         | 40-60 | 8,3 | 7,2 | 3,1 | 0,24 | 13 | 5,4 | 5,5 | 4,7 | 0,8 | 0,18 | 1,7 | 4,7 | 4,7 | 126,54 | 36,6 | 5,7  | 1,15 | 0,51 | 42,24 | 104 |

V = TAUX DE SATURATION  
MHT = MATIÈRES HUMIQUES TOTALES  
AH = ACIDE HUMIQUES

AF = ACIDES FULVIQUES  
AF+AH = TAUX D'HUMIFICATION  
C%

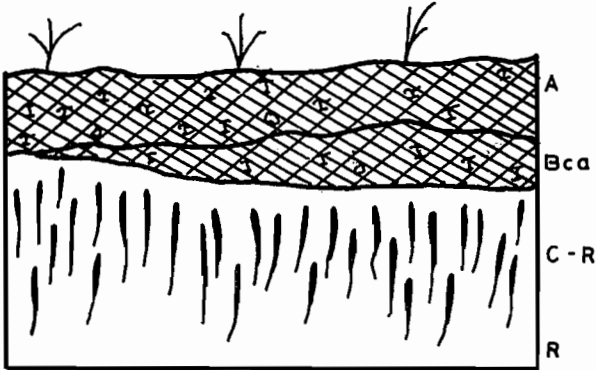
CHAINE DE SOLS ( sur pliocène et trias.)

{ Versant exposé N.O  
Vallée de l'O. Sefrou



SOL ISOHUMIQUE

SOL CHATAIN.ROUGE Subtropical  
( et à caractère vertique )  
sur argile rouge du trias



A: H. noir, humifère { très peu calcaire  
limoneux argileux

B<sub>ca</sub>: Argileux calcaire et humifère

C - R : Pseudo-mycelium calcaire

R : Argile fort<sup>e</sup> altérée (trias)

SOL ISOHUMIQUE

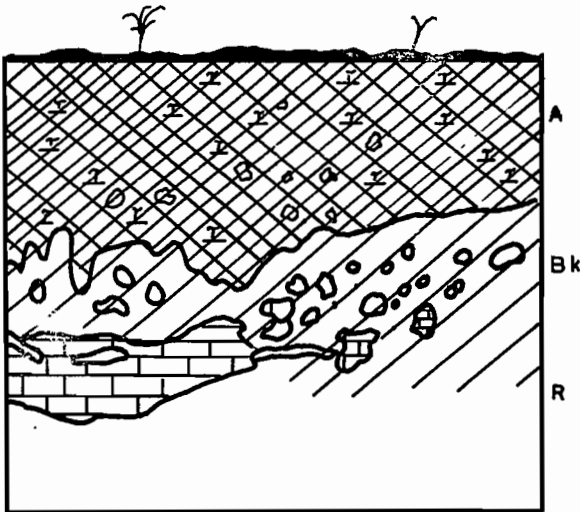
Sol brun "subtropical" à  
encroûtement nodulaire et croûte  
discontinue sur calcaire pliocène

A: limoneux humifère calcaire  
( + nodules + granites)

Bk: nodules et granules dans matrice  
limono-calcaire humifère

Cca: encroûtement

R: calcaire ( pliocène )



Situation topographique  
Versant N-O (Oued Sefrou)



- 1) Corniche: Calcaire dur saccharoïde (Pliocène)  
" Rendzines noirs sableuses "initiales"
- 2) Sols Brun isohumiques subtropicaux à encroûtement et croûte discontinue.
- 3) lit / de l'Oued Sefrou (Basses terrasses) Vertisol Modal (Tirs noir)



- Profil N° SLI 62 b.
- Ap Horizon "perturbé"
  - Sol Châtain - "rouge" nodal.
  - pseudo-mycélium calcaire
  - Argile rouge gypsifère (Trias)
  - et calcaire "secondaire".



- PROFIL N° SLI 128
- Sol Brun isohumique "subtropical"
  - "cumulic epipedon mollique"
  - Rognons et granules calcaires
  - Croûte discontinue (lamellaire au sommet)
  - Calcaire pliocène.

- III -

---

LES VERTISOLS - "TIRS et SOLS  
TIRSIFIES

---

§

III - I-3- //ES VERTISOLS - des Ziaïdas et Arab-Sud

Les études ayant trait aux tirs (+) et sols tirsifiés (+) du Maroc sont diverses et portent soit sur leur caractérisation agronomique ou sur leur répartition (47), soit sur leurs propriétés physiques (26), minéralogiques (35) ou biologiques (27) ou encore sur leur genèse et leur évolution.

Dans ce chapitre, nous aborderons la morphologie des tirs et leurs caractéristiques physiques. Les classifications "en séries logiquement et régulièrement ordonnées" (48) ou chaque tirs puisse être situé - La classification de ce "type" de sol a fait également l'objet de nombreux travaux tant au Maroc que dans d'autres pays. Sans faire un bilan exhaustif de tous les Vertisols du globe, nous avons cherché à dégager les principaux critères morphologiques et génétiques des sols des régions des Ziaïdas et du Sud-Arab (Méséta Atlantique marocaine) et ce, afin de mieux sérier,

Le problème de "la tirsification" ou-vertisolisation, dans un cadre bioclimatique et géographique donné, est de situer les tirs dans une des classifications universelles ou à caractère mondial, notamment dans la classification de G. Aubert (1965) adoptée pour la carte pédologique des régions de Ben-Slimane (v. ine fine)

Les aptitudes culturelles des sols seront envisagées dans un autre chapitre (chap III)

A- Situation géographique

Sur les hautes surfaces villafranchiennes qui tronquent les terrains primaires au Nord de Ben-Slimane - Les tirs occupent de faibles superficies et se répartissent sur les daïyas où subsistent quelques tâches de marnes calcaires ou de grès-calcaires moghrébien- (exp.: Daïya Ed-Daïya, Daïya Es-Sbaâ). Par contre, l'ancienne surface d'érosion au Sud-Est et au Sud-Ouest de Ben-Slimane offre de vastes étendues de Tirs et de sols tirsifiés - Ces sols évoluent sur des roches basiques - basalte dolérique triasique, calcaire moghreben ou pliocène, et sur des surfaces planes ou faiblement ondulées ou encore sur les versants de vallées taillés dans les terrains triasiques.

Ces zones, comme nous avons vu (v. chap I), jouissent d'un Climat du type méditerranéen Semi-aride (5b) ou Xérothétique (I) qui se caractérise par une période biologiquement sèche ( $P \leq 2T$ ) égale à 3-4 mois et par l'inégale répartition des pluies au cours de l'année, soit par l'alternance de périodes sèches et chaudes et de périodes humides et "tempérées" - La végétation naturelle a été fortement dégradée et les sols sont dans leur ensemble cultivés et/ou partiellement dédoumés (24).

*chimiques minéralogiques  
et biologiques en vue  
de leur clas*

## B - MORPHOLOGIES et PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Les tirs et sols tirsifiés sur les daïyas marno-grésocalcaires et sur les versants des vallées taillées dans le Trias sont en général peu profonds (30 à 40 cm). Les vertisols des plateaux (grès calcaire Mogh) sont moyennement profonds (- 50 à 100cm)- et les tirs sur basaltes dol. (Bled El Mouad et Ben Arif) sont les plus profonds - 100 à 160cm: (ex : Profil N° SLI 48)- Cependant la répartition des sols en fonction de la profondeur n'est pas orientée principalement par un facteur de pédogenèse dominant - La plus ou moins grande profondeur des tirs traduirait le degré d'évolution des sols corrélativement au degré de météorisation des roches-mères, de l'érosion des sols (cas des sols tirsifiés sur les versants) ou du colluvionnement - cas des tirs des "bas-fonds" : terrasses de l'Oued dir)

### 2- Textures

Au Maroc, l'affiliation d'un sol aux tirs est surtout basée sur la texture argileuse (de ces sols)

- Néanmoins et si dans leur ensemble les tirs et sols tirsifiés des Ziaïdas et Arab-Sud sont de texture argileuse ou argilo-limoneuse, ces sols présentent des variations texturales d'un type à l'autre ou en fonction de la profondeur-

I- Les Tirs et sols tirsifiés sur basalte sont très argileux (60 à 80% d'argiles) et leurs taux d'argiles varient très peu avec la profondeur - (ex : Profil N° SLI 48) leurs taux en limons sont très faibles, les taux de sables fins, de sables grossiers et de calcaire sont également très faibles- Leur coefficient CS est typique des sols argileux (CS = 65-80) (v. Tableau - d'analyses)

Les teneurs en calcaire augmentent au niveau de l'altération des basaltes - Ces Tirs sont très peu "remaniés" et résulteraient de l'altération sur place (sols autochtones) des basaltes doléritiques, (Bled et Mouad) alors que les tirs gris, marrons ou noirs de Bled El Gouassem et du Sud-Est de Boulhaut sont de textures variées :

- Les tirs (El Gouassem) sont argilo-limoneux-sableux) (CS 40 à 50)

- Les tirs gris : sur basalte doléritique sont argilo-limoneux non calcaires

- Les tirs gris sur grès-calcaire (Mogh) sont : limono-argilo-sableux non calcaire (CS = 20-25 en Surface, 40-60 en profondeur)

- Les tirs marrons sur grès- calcaire sont argilo-limoneux sableux non calcaires (CSA 60)

Tous les tirs des régions cartographiées sont décarbonatés (non décalcifiés : voir pH et complexe absorbant) - La richesse des tirs des Ziaïdas en sables fins et grossiers (variations de Sf en profondeur) traduirait le remaniement de ces sols SG pendant les "périodes pluviales" - Les sols auraient évolué sur un matériau complexe : produits d'altération des roches-mères et apports) - L'hétérogénéité texturale peut être plus grande et s'exprimer par une nette discordance texturale (voire profil N° SLI 44) - notamment pour les tirs des dépressions, des terrasses et les tirs des régions Nord et N-O de Ben-Slimane (Ces<sup>sol</sup> serait alors des intergrades Tirs-Merzag : v.p.l.)

#### b) Couleurs - Matières organiques

La couleur des horizons A des tirs varient du gris au gris-olive, gris-noir, brun-grisâtre et au brun-rouge (ou marron) et se situent, d'après le code Munsell dans les teintes (valeur le nuance ou "hue") de 10 YR- 2,5 YR et 5Y leur intensité (Chroma) varient de 1/2 à 2/4 selon les taux l'humidité des sols (voir : morphologies) les Tirs noirs (10 YR 2/1) se répartissent sur les plateaux et sur les versants et ne sont jamais inondés, ou sur les daïyas et subissent alors un engorgement temporaire. Les tirs gris se répartissent essentiellement dans les zones à drainage en grand défectueux" et ne se rencontrent ni sur les versants ni sur les zones à drainage possible". Par contre les tirs marrons (bruns, brun-rougeâtre foncé et brun-rouge (26) se situent soit en périphérie des sols rouges méditerranéens relativement bien drainés "en grand" soit en bordure des plateaux ou encore sur les "argiles rouges triasiques" (la coloration des tirs est dans ce dernier cas "un héritage lithochrome)-

D'où la valeur de nuance "hue" des tirs seraient d'une part en rapport avec le régime hydrique des sols et d'autre par avec les teneurs en matières organiques de ces sols (aspect quantitatif) - Cependant les teneurs des Tirs en matières organiques sont faibles par rapport à "leur couleur foncée" - et on a évoqué les modes de laisons- ou de répartition - des argiles et des humus. (Aspect qualitatif) - v.p.l.

Les Tirs des Ziaïdas et Arab Sont ; de part leur régime hydrique - du type aérohydro-pédique - et de la durée de la phase d'engorgement (voire d'inondation et d'hydromorphie), des valeurs de nuance respectivement décroissantes en fonction du drainage "en grand" croissant - Les Tirs sur daïyas sans exutoirs (non drainés) et les tirs sur daïyas drainées ainsi que les tirs sur les versants et sur les plateaux (les roches-mères étant identiques) montrent "un noircissement"-croissant au fur et à mesure que les tirs se dessèchent et notamment quand le "drainage en grand

.../...

augmente".

Cependant le régime hydrique des sols et la durée de la phase aérobique du sol n'implique pas nécessairement une augmentation de la valeur de nuance des tirs, en particulier pour "les tirs noirs des dépressions sur grès et marnes calcaires : En somme, le "drainage externe" des tirs est une condition nécessaire mais non suffisante du "noircissement" des tirs - Il en est de même des teneurs en matières organiques des tirs (I à 3% en Ct) Cette matière organique se caractérise par un C/N de II-12 ou I4 ou encore égal à 10 en surface et qui décroît régulièrement en profondeur des sols et se situent à C/N = 4, à plus de 50 cm de profondeur - Les taux d'acides humiques sont assez élevés par rapport aux acides fulviques (AF/AH) et le taux d'humification  $\frac{AH+AF}{Ct}$  de l'ordre de 1,5AH à 3- Ces données traduiraient Ct une humification moyenne à forte de l'humus et sa condensation (polymérisation poussée (3I) et croissante en profondeur) et rapprocheraient les tirs des Chernozem de "Russie" ou des sols isohumiques des "pays froids"-

D'un point de vue quantitatif, la coloration des tirs serait en rapport avec leurs teneurs en matières organiques et leur taux d'humification ( $\frac{AH+AF}{Ct}$ ) de leur régime hydrique (soit de leur activité biologique globale : v.p.l.) et d'un point de vue qualitatif des modes de liaison Argile-Humus (et/ou cations métalliques) et de la répartition des composés organiques sur les surfaces internes et externe des argiles (Montmorillonite)- (35) "Tous les corps organiques réunis aux surfaces internes et externes des minéraux argileux subissent une polymérisation, et ceci sous l'action catalysatrice du fer (Singh) la jonction entre les substances adsorbées dans les espaces interfoliaires et celles adsorbées par les surfaces externes est assurée par une liaison entre acides aminés déjà adsorbés au stade d'hydromorphie (35) - Les grandes molécules qui en résultent sont fortement liées aux surfaces minérales puisque leur "tête" est "coincée, entre les feuillets de M..."

Montmorillonite) Cette structuration sous contrainte accélère la polymérisation -

D'après A. Schoen l'intensité des liaisons entre les Argiles et l'humus "sous forme de myceliums repartis sur les surfaces des argiles" <sup>est</sup> sont plus grandes pour les tirs noirs que pour les tirs gris et bruns" (marrons) -

### c- La Structure

Au cours des phases d'engorgement ou d'humidification des tirs (Automne (hiver), leur structure, homogène en A et AC, est massive ou "fondu-massive, à grains argileux individualisés (26) " - L'argile est collante et plastique ( $Hr > Lsp$  ou  $Hr > C.H$ ) En périodes de fortes intensités pluviométriques, les tirs étant à des taux l'humidité supérieurs à leur capacité de rétention (voire profils hydriques) et proche de la limite de liquidité (LF) dans le cas des tirs gris des dépressions (Daïyas) présentent "des mycéliums" de boue qui glissent dans la masse minérale peu cohérente et peu consistante (Structure dite fondue-massive) - La L.F. n'est jamais atteinte dans l'ensemble du profil, sauf probablement dans des zones préférencielles - Les tirs noirs sur basalte restent assez cohérents et moyennement consistants ( $H < LF$  et  $Hr < Lsp$ ) les déplacements de masses argileuses étant plus faibles - Leur structure est constituées d'agrégats finement subdivisés et agglomérés entre eux. Cet état structural des Tirs correspond au phénomène du foisonnement qui résulte de l'augmentation du volume des agrégats (26) et du "gonflement" des argiles (Montmorillonite) (dont la distance interfoliaire passe de  $15,5 \text{ \AA}$ , à  $17,7 \text{ \AA}$ ) - Il en résulte un effritement en "grains argileux" qui s'individualisent tout en étant agglomérés entre eux - (26)

Au fur et à mesure que le sol se dessèche (Eté), les tirs se fondillent progressivement les fentes "de retrait" verticales apparaissent en général les premières, puis les fentes horizontales et sub-horizontales délimitant avec les fentes verticales des prismes (ou des cubes) d'arrête égale à 10 à 30 cm - Quand la dessiccation du sol est poussée, et que les tirs sont à des taux d'humidité proches ou inférieurs à leur point de flétrissement permanent ( $Pf_{4,2}$ ), le fondillement du sol est plus développé, la structure est alors polyédrique, grosse en surface (ou grumeleuse pour les tirs noirs des versants) et prismatique ou prismatico-cubique en profondeur, délimitée par les fentes qui, vue en plan, se rejoignent en un réseau polygonal ou hexagonal dont les mailles ont de 15 à 25 cm de diamètre environ. Ce fondillement du sol "ou phénomène de retrait" résulterait de la diminution du volume des agrégats (26) et de la distance interfoliaire des argiles M consécutive à la dessiccation de sols. Ceux-ci sont alors très compacts, très consistants -

Le foisonnement et le retrait des argiles M des tirs entraînent une homogénéisation "texturale" et structurale du sol. Les glissements des masses argileuses entre elles sous les pressions internes consécutives aux "foisonnement" et au "retrait" entraînent, la formation de "faces lisses" ou "slikensides" particulièrement développées à la base des profils et inclinées (ou gauchies) d'étendues variables (les tirs gris et noirs modaux ont des "Slikensides" très étendues (30 à 50cm) et très inclinées par rapport à l'horizontal) -

La dessiccation "brutale" (v. Graph: Pro-fils hydrique) des sols en surface serait l'une des causes principales d'auto-division des sols en surface et de formation de grumeaux (tirs de versants -) -

d - Limites mécaniques - Propriétés hydriques et Stabilité Structurale

Le propriétés hydriques découlent de la nature de leurs minéraux argileux et de leur proportion (CS), du régime hydrique du sol, soit du régime des pluies ( ) (humidification dessiccation) et de l'évapotranspiration (30) -

Les constantes hydriques: Capacités de rétention et points de flétrissements permanents- ( $p^F_{2,5}$  et  $p^F_{4,2}$ ) varient non avec le type de tirs (gris, ou marrons, noirs) mais en fonction de leur teneur en minéraux argileux (et de leur nature minéralogique): la capacité de rétention pour l'eau est de l'ordre de 25 à 30 p.cent pour les Tirs limono-argilo-sableux (v. Planche I) et de 30 à 40% environ pour les tirs argileux - Leurs points de flétrissement permanent varient dans le même sens et sont de l'ordre de 10 à 25%

- Les indices de plasticité (Lsp-Lip) et de maniabilité (Lip-LA) sont respectivement de l'ordre de 20 à 30 et de 5 à 11 et indiquent la tendance faible des sols à former une structure à éléments individualisés (grumeaux) sous l'action d'une force (travail des sols, pressions internes-) - (.34.) et une plus grande tendance à s'effriter ou à former des "mottes"

- Les densités apparentes et mottières sont élevées ( $I, I \leq D_a \leq 1,45$  et  $1,5 \leq D_m \leq 1,75$ ) les densités réelles de l'ordre de 2,7 à 2,9 (ou 3,0) - D'où leurs porosités totales moyennes de 50 à 60% environ, réparties en microporosités (Pf) très variables selon les tirs (de 15 à 50%) et en macroporosité (9-30%) -

- Les limites de fluidité ou de liquidité (CF) sont très élevées, supérieures aux porosités totales, quelque soit le type de tirs ; par contre les rapports des Lsp aux différentes porosités (Lsp/Pt) sont légèrement supérieurs à 100 d'où, la stabilité structurale des tirs seraient moyenne à l'état sec et moyenne à faible à l'Etat humide. ( ) Les Indices d'instabilité structurale ( ) (Is d'Henin) sont de l'ordre de 0,4 (Tirs noirs) à 2 (Tirs gris), soit que les tirs auraient une bonne stabilité structurale. Les méthodes directes (Is) et indirecte (Porosités, Lsp...) ne sont pas pour tous les tirs en corrélation positive, et ce du fait probablement de la répartition des pores (micropores et macropores) dans le sol, et de la nature des minéraux argileux individualisés, (et d'après, G. Bryssine de leur faible mouillabilité résultant de la formation de couches hydratées protectrices, à la périphérie des agrégats (26) et qui empêcherait la pénétration de l'eau à l'intérieur des agrégats; - D'où la dispersion des argiles sous l'action de l'eau, du Benzène et de l'alcool - Méthode Henin) est faible pour les tirs, alors que (v.pl) les taux d'agregats stable des sols lixivés après traitement au Benzène décroît brutalement - (sols rouges méd. - et les sols lixivés) - par rapport aux taux d'agregats stables à l'eau (ou à l'alcool) -

- Cette approche de la stabilité "structurale" des tirs est schématique du fait qu'elle ne tient pas compte de la variation des caractéristiques des sols au cours de leur humidification et de leur dessiccation... Aussi, les valeurs portées sur les tableaux ne sont données qu'à titre in-

dicatif et ce, en vue de situer l'état structural des tirs par apport aux autres types de sols des Ziaïdas-

d- Profils hydriques

Deux profils hydriques de tirs sous culture (Profil N° SLI 48) et sous strate herbacée hygrophile (Profil N° SLI 17) ont été établis d'après les moyennes trimestrielles des taux d'humidité des sols au cours de l'année. Ces profils hydriques montrent que :

1) a- l'humidification des sols a lieu dès les premières pluies (v. Graph Profils hydriques et Diagramme ombrothermique : Chap I) - Les tirs sous cultures atteignent rapidement leur capacité de rétention (et la dépassent légèrement en hiver), alors que les tirs des daïyas sont inondés pendant toute cette période - Les taux d'humidité maximum des tirs sont inférieurs à la L.F. et voisins de la Lsp

1) b- l'humidification - ou l'engorgement des tirs est plus poussée en profondeur -

2) - La dessiccation est brutale en surface et progressive en profondeur - Les tirs exondés se dessèchent jusqu'à des taux d'humidité égales ou inférieurs à leur point de flétrissement permanent (et inférieurs à la Lip) - même en profondeur des sols - Les tirs sous cultures se dessèchent plus rapidement que les tirs des daïyas (effet évapotranspiration (30) -

Il en résulte que l'humidification (ou l'engorgement) et la dessiccation des tirs qui conditionnent les processus de "foisonnement" et de "retrait" sont étroitement liés au régime des pluies (soit au climat) leur intensité découle du site topographique (Daïyas, plateau ou versant), du couvert végétal (culture-jachère-herbe) : ou de l'évapotranspiration (30), des teneurs et de la nature des argiles des sols, du drainage interne et des capacités de rétention pour l'eau) - v.p.l. Profils hydriques des sols à texture, légère ou équilibrée (Sols hydromorphes et Sols Rouges fersiallitiques-).

L'humidification et la dessiccation des sols, orientent également l'activité microbologique globale v.p.l. et indirectement la décomposition des matières organiques et leur humification, la solubilisation des sels...etc... La succession de ces deux phénomènes ont amenés certains chercheurs à classer, les tirs en sols à régime hydropédique (49) ou Aérohydropédique (26) qui traduit l'altération et la succession dans le sol de phases aéro pédiques (sols aérés et/ou exondés) et de phases hydropédiques (sols inondés, engorgés) - ou phases anaérobique ou d'anaérobiose "imcomplète". -

e- Cractéristiques chimiques et physico-chimiques

a -pH- - Les tirs des Ziaïdas ont une réaction basique, exceptés les intergrades Tirs -Merzag qui ont une acidité, d'échange en surface ou "niveau I" (v. Profil SLI 44) - Leur pH se situe entre 7,5 (20cm sup) et 8,5 (à 50-100 cm de profondeur) (cette augmentation du pH est corrélative à l'augmentation des teneurs en calcaire à la base des profils et/ou en calcium échangeable. D'où, si les tirs sont moyennement à très décarbonatés (faible teneur en calcaire totale), ils ne sont pas "décalcifiés" (les tirs noirs et marrons ont des pH élevés des basaltes et des grès calcaires) - Pour les tirs gris et les tirs des dépressions, l'augmentation du pH en profondeur (SLI 2I-) est correlative à l'augmentation des taux de Magnesium et de Sodium échangeables, mais l'alcalisation (ou la salinisation) des tirs des Ziaïdas en profondeur est faible ( $\frac{Na}{T} < 2$   $\frac{Mg}{T} < 6$ ) -

Le pH KCl varie dans le même sens, le pH eau étant plus élevé de 0,5 à 1 unité pH-

En période d'engorgement du sol, soit de forte activité microbiologique globale) les pH des tirs diminuent dans l'ordre de 0,5 - 0,7 unités pH-

Les capacités d'échanges (C.E.C. ou T) des tirs sur basalte (Bled El Mouad) sont les plus fortes et de l'ordre de 60 à 67 meq/100g, les tirs sur grès calcaire et marno-calcaires ont des C.E.C. de l'ordre de 30 à 40 meq/100g et les tirs marrons sur grès calcaires des C.E.C. 50 à 60 meq/100g-

Tous les tirs sont saturés en bases ( $V = \frac{Sx100}{T} = 100$ ) excepté le niveau I des intergrade tirs-mezagT ayant une C.E.C. égal à 17 meq/100g et V égal à 50%)

Les taux de saturation du complexe absorbant en calcium échangeable sont très élevés (40 à 80 p Cent), par rapport au magnésium (de l'ordre de 6 à 30%), au potassium et au Sodium- soit les quotients  $\frac{Ca}{Mg}$  de 2 à 14,  $\frac{K}{Mg}$  de 0,1

D'où les tirs, sont essentiellement saturés en calcium et en magnésium échangeables qui leurs à valu d'être classifiés dans les sols calimagnésiques (Duchaufour 1963) avant de constituer une classe particulière : (Vertisols : (G. Aubert 1965 et P. Duchaufour (65) -

Le calcaire

Les teneurs en calcaire total sont très faibles dans les horizons A des trois groupes de tirs et augmentent légèrement en profondeur

Le lessivage vertical du calcaire ne s'accompagne pas nécessairement d'accumulation calcaire sous-forme de croûte ou d'encroûtement dans tous les tirs. Ces encroûtements ou croûtes des tirs du Sud-Ouest de Boulhaut ne résulteraient pas uniquement du lessivage vertical du calcaire (des carbonates) mais auraient une origine hydro-hypogénique (remontée de l'eau chargée de calcaire au dépens des nappes "temporaires" et précipitations progressive des Carbonates au niveau de la frange d'évaporation, cousecutive à la diminution de la tension en CO<sub>2</sub> de la phase aqueuse des sols (voir : Genèse et évolution des tirs)

### Le Fer

Les teneurs en oxydes de fer total varient très peu pour les 3 grands groupes de tirs, et par ordre décroissant : en tête les Tirs noirs ( $Fe_2O_3$  t = 6 à 7,5 pour Cent), puis les Tirs marrons (6-7%) et les tirs gris (3 à 6%). Par contre les teneurs en Fer libre sont faibles pour les tirs gris et noirs (15 à 20 pour cent du fer total) alors que les tirs marrons ont des taux de fer libre de 35 à 45 pour cent du Fer total)

Les tirs marrons (bruns et brun-rouges) se différencient des autres groupes, outre les caractéristiques citées, par leur richesse relative en oxydes de fer libre, sans atteindre les taux de fer libre des sols à sesquioxides de fer (et/ou de manganèse)

Ces teneurs en oxydes de fer libre seraient une des causes de la colorations des tirs marrons-en brun et en brun-rouge (2.5 YR)

On admet que la couleur des tirs (ou des sols) résulte de la superposition (ou de la surimposition dans le cas des tirs marrons) de la couleur blanche des argiles, de la couleur noire des matières organiques et de la couleur des oxydes de fer (et de manganèse) hydratés (jaune ou beige-ôcre) et des hydratés (rouge, brun) ainsi que du mode de liaison des composés organo-minéraux du sol - (34)

### I) - Minéralogie

Les résultats des analyses aux RX et ATD des sols des Ziaïdas ont été établis pour des profils situés à proximité des profils N° SLI 48 (Tirs noir sur Basalte doléritique) : Bled El Mouad et N° SLI 56 (Tirs noirs sur marne calcaire moghre-bienne). Pour les tirs noirs et d'après A.Schoen (35) "la tirsification se greffe sur un matériau presque entièrement composé de Montmorillonite alors que Chlorite et interstratifié (C-M) ne subsistent que sous-forme de trace (SLI 48) Les tirs sur marno-calcaire montre une composition proche des précédents avec de faible teneurs d'attapulгите, d'illite et d'interstratifiés ; les "teneurs" en Quartz et en Kaolinite plus élevées pour les tirs gris seraient des temoins d'un " apport" venant des roches primai-

.../...

re ; et la néoformation de minéraux argileux du type Montmorillonite au dépens des minéraux des basaltes laisse apparaître un produit intermédiaire instable la Séladonite (35)-

La richesse des tirs en argile "gonflante" à forte capacité d'échange est en corrélation positive avec : les capacités d'échanges des tirs, leur taux de saturation élevé en alcalino-terreux  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  fournis par les roche-mères et leur forte capacité de rétention pour l'eau ; et probablement une des causes de leur couleur qui résulterait "d'une fine répartition des humus sur les surfaces des argiles qui corroboreraient ainsi les faibles teneurs en matière organiques de ces sols "argileux foncés" (voir analyse : Tab...)

D'autre part, les différentes composantes des roche-mères et de leur minéraux et celles des minéraux argileux des Tirs seraient analogues pour les tirs gris et marrons (Cas des tirs non remaniés : v.p.l. Genèse)

#### E) MICROBIOLOGIE

Les Résultats des analyses microbiologiques portés sur les tableaux ci-après ont été obtenus grâce à l'aimable collaboration de I. Bryssine (27) qui a bien voulu procéder aux analyses de la microflore des sols des Ziaïdas à deux époques de l'année - pluvieuse et sèche -

§ voire : Matières organiques des tirs

.../...

suite - 7 -

## a) Cycle de l'Azote et du Carbone -

La fixation de l'azote atmosphérique par les Azotobacters et les Clostridium aérobies est limitée quand les sols sont très humides ou engorgés d'eau, leur taux sont nuls ou non significatifs ( $T \ll 10^2$ ) - Le pouvoir nitrifiant par les germes nitreux ( $NH_4 \rightarrow NO_2$ ) et par les germes nitriques ( $NO_2 \rightarrow NO_3$ ) augmente avec les taux d'humidité des sols - L'activité dénitrifiante par les germes ammonificateurs croît et atteint son optimum quand les tirs sont engorgés d'eau, surtout dans les horizons supérieurs - Cette activité réduite des germes aérobies fixateur d'azote atmosphérique et l'activité assez élevée des germes nitreux et des germes ammonificateurs est en relation positive avec la grande activité des germes reducteurs de fer d'une part et des conditions d'anaérobiose "temporaire" dans les sols notamment dans les tirs Gris-

d'autre part

D'après P Segalen, (65) si la mise en mouvement du fer est commandée par l'état physico-chimique, du milieu ( $pH, rH_2$ ), la mise en solution et en mouvement et la précipitation du fer sont liés à l'activité micro biologique de ce milieu (65) - Les processus de réduction et de mise en mouvement du fer peuvent se développer sans atteindre des intensités optimales dans les tirs et seraient de courte durée. La dessiccation des sols, brutale en surface et progressive en profondeur, entraîne une réduction de la microflore, ou de l'activité microbiologique globale (sols à  $pF\ 4,2 \times H \times pF\ 2,5$ ) qui s'amenuise tel que dans les tirs, ne subsistent que quelques germes nitriques en proportions très faibles - Tirs à  $H \ll pF\ 4,2$  - D'où l'effet "stérilisant" des tirs évoqué à propos de l'absence d'une végétation arbustive et qui porte ici sur la diminution, brutale de l'activité biologique (de la microflore (voire même de la mésofaune) -

D'où, la décomposition des matières organiques et leur humification sous l'action directe de la microflore (et de la faune des sols) et indirectement du régime hydrique des sols, atteint <sup>provenant</sup> un optimum pendant les saisons humides et serait réduite au cours des saisons sèches - Cette réduction de l'activité microbiologique globale pendant les saisons sèches serait une autre cause de la faible dégradation et/ou de la faible minéralisation de l'humus (Anmor calcique) et de sa "stabilité" sur l'ensemble des profils -

Par contre la forte activité biologique entraînerait une légère acidification du milieu (libération d'acides organiques qui interviendraient dans les processus d'altération des roches-mères et de libération des cations alcalalino-terreux..) et corrélativement à l'activité des réducteurs de fer une mise en solution et en mouvement du fer dans le sol - D'où les pisolites et concrétions ferrimanganiques observés dans les matrices argileuses des tirs ne résulteraient pas seulement du comblement - des daiyas par les limons pisolitiques des plateaux Villafranchiens, mais résulteraient de la mobilisation du fer et de son immobilisation progressive dans le sol (voire Sols hydromorphes)

.../...

- 53 c -

==--==--==

|             | PH    |     | (CYCLE DE L'AZOTE |             |                         |                          |                |                  |                          |                      | Cycle du carbone | Cycle du Fer | Date de prélev. Avril 67 |
|-------------|-------|-----|-------------------|-------------|-------------------------|--------------------------|----------------|------------------|--------------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------------------|
|             | Eau   | KCL | azoto-bacter      | Clostridium | Germes Ammonifi-cateurs | Germes Dénitri-ficateurs | Germes nitreux | Germes nitriques | Cellulo-lytiques aérobes | Reducteurs de germes |                  |              |                          |
| VERTISOL    | 0-10  | 6,8 | 5,8               | 0           | 0                       | 5,100                    | 5,104          | 5,103            | 5,104                    | -                    | 5.000            |              |                          |
| MODAL       | 10-20 | 6,9 | 6,0               | 0           | 0                       | 5,109                    | -              | 5.104            | 5.104                    | -                    | 5.000            |              |                          |
| (TIRS NOIR) | 20-30 | 7,9 | 6,1               | 0           | 0                       | 5,109                    | -              | 5.104            | 5.103                    | -                    | 5.00             |              |                          |
|             | 30-40 | 7,6 | 6,8               | 0           | 0                       | 5,109                    | -              | 5.104            | 5.104                    | -                    | 5.00             |              |                          |
| SLI 48      | 40-50 | 8,2 | 6,9               | 0           | 0                       | 5,109                    | -              | 5.104            | 5.103                    | -                    | 5.00             |              |                          |
| VERTISOL    |       |     |                   |             |                         |                          |                |                  |                          |                      |                  |              |                          |
| HYDROMORPHE | 10-10 | 6,5 |                   | 500         | 500                     |                          | 5.000          | 5.000            | 5.000                    | 4.000                | 9.000            | Avril 68     |                          |
| SLI 21      |       |     |                   |             |                         |                          |                |                  |                          |                      |                  |              |                          |
| (TIRS GRIS) | 10-40 | 7,3 |                   | 500         | 180                     |                          | 5.000          | 5.000            | 5.000                    | 500                  | 50.000           |              |                          |
|             |       |     |                   |             |                         |                          |                |                  |                          |                      |                  |              |                          |

## CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES VERTISOLS

| TYPE DE SOL                                                                                 | Pro-<br>fon-<br>deur | Tamisage<br>( Etat Sec ) |                      | Granulométrie |      |      |      | Coef-<br>de<br>Surfa-<br>ce | Calca- | Propriétés mécaniq-<br>- ues |      |        |      | Indice<br>de<br>plas. | Indice<br>de<br>man. | Propriétés Hydriques |      |      |     |      |                      | Densités    |      |      | Porosités |      |      | Stabilité<br>Structural |       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|---------------|------|------|------|-----------------------------|--------|------------------------------|------|--------|------|-----------------------|----------------------|----------------------|------|------|-----|------|----------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|-------------------------|-------|--|
|                                                                                             |                      | En<br>Cm                 | Terre<br>Fine<br>° % | Cailloux<br>% | A %  | L %  | Sf % |                             |        | Sg %                         | Cs   | Totale | Lip  |                       |                      | LA                   | Lsp  | PF   | Ip  | Im   | Cap.<br>Ret<br>pF2,5 | Pt<br>pF4,2 | Hm   | Eu   | Ec        | Da   | Dm   | Dr                      | Pt    |  |
| P N° S L I 48<br><br>VERTISOL<br>MODAL ( TIRS<br>NOIR ) .                                   | 0-10                 | 100                      | 0,0                  | 78            | 16,0 | 6,7  | 1,4  | 796                         | 1,9    | 42                           | 51   | 73     | 92   | 31                    | 9                    | 42                   | 23   | 15,4 | 19  | 27   | 1,20                 | 1,5         | 2,99 | 59,4 | 49,6      | 9,8  | 1,22 |                         | 4,78  |  |
|                                                                                             | 10-60                | 100                      | 0,0                  | 11,3          | 18,9 | 9,1  | 1,3  | 732                         | 1,4    | 40                           | 45   | 65     | 96   | 25                    | 5                    | 40                   | 23   | 15,4 | 17  | 24   | 1,20                 | 1,52        | 2,97 | 59,4 | 47,2      | 12,2 | 1,09 | 7                       |       |  |
|                                                                                             | 60-90                | 100                      | 0                    | 74,9          | 14,3 | 7,9  | 2,2  | 764                         | 1,2    | 41                           | 48   | 71     | 88   | 30                    | 7                    | 40                   | 23   | 15,3 | 17  | 24   | 1,20                 | 1,52        | 2,99 | 59,4 | 47,2      | 12,2 | 1,19 | 3,59                    |       |  |
|                                                                                             | 90-150               | 100                      | 0                    | 74,4          | 14,2 | 9,4  | 1,5  | 759                         | 1,2    | 38                           | 44   | 74     | 90   | 36                    | 6                    | 39                   | 23   | 15,4 | 16  | 24   |                      |             | 2,98 |      |           |      |      | 6,26                    |       |  |
|                                                                                             | 150-170              | 94,4                     | 3,6                  | 67,8          | 14,8 | 7,9  | 3,1  | 693                         | 11,6   | 36                           | 47   | 61     | 90   | 25                    | 11                   | 39                   | 23   | 15,4 | 16  | 24   |                      |             | 2,68 |      |           |      |      |                         | 2,54  |  |
| VERTISOL<br>MODAL<br>( TIRS GRIS )<br>S L I 21 -                                            | 0-20                 | 99,8                     | 1,2                  | 21,8          | 10,4 | 62,0 | 8,3  | 23,4                        | tr     | 28,5                         | 33,1 | 46,8   | 72,1 | 18,3                  | 4,2                  | 15,5                 | 7,3  | 4,8  | 8,1 | 10,6 | 1,44                 | 1,52        | 2,91 | 50   | 15,3      | 34,7 | 0,93 |                         | 0,83  |  |
|                                                                                             | 20-48                | 99,3                     | 0,7                  | 36,6          | 11,1 | 49,7 | 6,8  | 38,2                        | tr     | 31,8                         | 34,6 | 49,6   | 66,9 | 18                    | 2,6                  | 17,5                 | 11,4 | 7,6  | 6,0 | 9,8  | 1,14                 | 1,52        | 2,87 | 60   | 16,2      | 43,8 | 0,82 |                         | 7,30  |  |
|                                                                                             | 48-60                | 97,7                     | 2,3                  | 35,1          | 10,1 | 43,0 | 5,3  | 36,5                        | 4,5    | 33,3                         | 35,8 | 62,3   | 71,3 | 29,0                  | 2,5                  | 16,9                 | 10,7 | 7,1  | 6,2 | 9,8  | 1,10                 | 1,50        | 2,91 | 62   | 15,2      | 46,8 | 1,00 |                         | 0,81  |  |
|                                                                                             | 60-85                | 90,2                     | 9,8                  | 32,8          | 11,6 | 40,7 | 4,0  | 34,3                        | 11,3   |                              |      |        |      |                       |                      | 15,3                 | 10   | 6,7  | 5,2 | 8,6  |                      |             | 2,92 |      |           |      |      |                         | 1,01  |  |
| VERTISOL<br>à car. vert.<br>moyt acc. Tirs<br>marron (SLI 60)                               | 0-10                 | 99,4                     | 0,9                  | 59,4          | 20,7 | 11,4 | 4,5  | 61,5                        | 1,8    | 42                           | 52   | 60     | 97   | 22                    | 10                   | 19                   | 12,7 | 8,5  | 6,9 | 11,2 |                      | 1,65        | 2,82 |      |           |      |      |                         | 2,53  |  |
|                                                                                             | 10-20                | 100                      |                      | 68            | 15,9 | 10,4 | 3,2  | 69,6                        | 2,9    | 36                           | 42   | 54     | 86   | 18                    | 6                    | 19                   | 12,8 | 8,5  | 6,9 | 11,2 |                      | 1,69        | 3,00 |      |           |      |      |                         | 3,25  |  |
|                                                                                             | 20-30                | 100                      |                      | 62,8          | 16,8 | 9,9  | 4,0  | 64,5                        | 8,8    | 33                           | 41   | 64     | 72   | 31                    | 8                    | 18                   | 12,9 | 8,6  | 5,5 | 9,8  |                      | 1,68        | 2,98 |      |           |      |      |                         | 2,47  |  |
|                                                                                             | 70-150               | 70                       | 30                   | 48,0          | 9,8  | 6,2  | 7,2  | 49,05                       | 32,4   | 32                           | 40   | 50     | 78   | 18                    | 8                    | 17,4                 | 13   | 8,5  | 7,0 | 9,1  |                      | 1,67        | 2,78 |      |           |      |      |                         | 2,47  |  |
|                                                                                             | 50                   |                          |                      |               |      |      |      |                             |        |                              |      |        |      |                       |                      |                      |      |      |     |      |                      |             |      |      |           |      |      |                         |       |  |
| SOL POLYGENI-<br>QUE TIRS<br>MERZAG<br>VERTISOL OU<br>SOL HYDROMO-<br>-RPHE<br>( S L I -44- | 0-15                 | 100                      | 0,0                  | 17,5          | 11,3 | 60,3 | 6,6  | 19,2                        | tr     |                              |      |        |      |                       |                      | 16                   | 8    | 5,6  | 7,7 | 10,5 | 1,40                 | 1,8         | 2,71 | 48   | 19        | 29   |      |                         | 9,18  |  |
|                                                                                             | 15-30                | 94                       | 5,1                  | 56,3          | 2,6  | 28,1 | 3,2  | 57,4                        | tr     |                              |      |        |      |                       |                      | 17                   | 13   | 5,2  | 3,7 | 8    |                      |             |      |      |           |      |      |                         | 8,78  |  |
|                                                                                             | 30-60                | 94                       | 5,1                  | 69,1          | 7,7  | 20,4 | 1,5  | 70                          | 1,2    |                              |      |        |      |                       |                      | 20                   | 14   | 5,8  | 5,4 | 10,5 | 1,82                 |             |      |      |           |      |      |                         | 13,67 |  |
|                                                                                             | 60-90                | 97                       | 2,9                  | 62,8          | 8,6  | 17,5 | 9,9  | 63                          | 1,7    |                              |      |        |      |                       |                      | 19                   | 12   | 8,4  | 6,6 | 10   | 1,45                 | 1,82        | 2,85 | 49   | 22,8      | 26,2 |      |                         | 1,76  |  |
|                                                                                             | 60-110               | 100                      |                      | 66,1          | 7,6  | 15,6 | 9,1  | 67                          | 1,4    |                              |      |        |      |                       |                      |                      |      |      |     |      |                      |             |      |      |           |      |      |                         | 1,71  |  |

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES TIRS

|                             | P H                         |     | MATIERES ORGANIQUES |      |      |      | CATIONS ECHANGEABLES(S) meq 100 g |         |       |       |       |      |       |       |      |                  | CapacitéTaux de<br>déchargeSat- |                      |                      | Fer(Fe O)<br>2 3     |      |      | MATIERES HUMIQUES ( C % ° ) |        |              |                          |         |  |  |
|-----------------------------|-----------------------------|-----|---------------------|------|------|------|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|------|-----------------------------|--------|--------------|--------------------------|---------|--|--|
| TYPE<br>DE SOL              | eau                         | Kcl | C % t               | N %  | C N  | MO%  | P O<br>2 5<br>%                   | Cl<br>% | Ca    | Mg    | Na    | K    | Ca Mg | K Mg  | Na T | T meq<br>100 Gr. | S 100<br>T                      | Fe O<br>2 3<br>Libre | Fe O<br>2 3<br>Total | Fe O<br>2 3<br>Total | MHT  | AH   | AF                          | AF 'AH | AF+AH<br>Ct. | PROFON-<br>DEUR<br>en cm |         |  |  |
| P. N° SLI 48<br>TIRS NOIR   | 7,7                         | 6,3 | 1,08                | 0,09 | 12   | 1,85 | 0,381                             | 0,149   | 46,3  | 16,7  | 1,11  | 0,70 | 2,77  | 0,41  | 0,16 | 67,9             | 95                              | 1,35                 | 7,57                 | 0,17                 | 1,30 | 0,57 | 0,73                        | 1,2    | 1,4          | O-21 cm                  |         |  |  |
|                             | 7,5                         | 6,0 | 1,05                | 0,08 | 12   | 1,81 | 0,341                             | 0,160   | 43,7  | 16,0  | 2,60  | 0,51 | 2,73  | 0,31  | 0,04 | 64,54            | 97                              | 1,2                  | 7,35                 | 0,19                 | 1,24 | 0,68 | 0,50                        | 0,6    | 1,4          | 10-60 cm                 |         |  |  |
|                             | 7,6                         | 6,1 | 0,99                | 0,07 | 13   | 1,53 | 0,288                             | 0,114   | 43,3  | 16,5  | 2,47  | 0,42 | 2,62  | 0,25  | 0,38 | 64,0             | 97                              | 1,38                 | 7,35                 | 0,18                 | 2,01 | 1,42 | 0,52                        | 0,4    | 2,2          | 60-90 cm                 |         |  |  |
|                             | 8,3                         | 6,9 | 0,78                | 0,06 | 14   | 1,34 | 0,231                             | 0,080   | 41,6  | 18,8  | 3,41  | 0,41 | 2,21  | 0,21  | 0,53 | 63,9             | 100                             | 1,26                 | 7,33                 | 0,17                 | 1,54 | 0,92 | 0,61                        | 0,6    | 2,8          | 90-150 "                 |         |  |  |
|                             | 8,6                         | 7,4 | 0,2                 | 0,05 | 6    | 0,43 | 0,570                             | 0,079   | 37,0  | 19,1  | 4,16  | 0,22 | 1,93  | 0,11  | 0,06 | 65,5             | 93                              | 1,4                  | 7,67                 | 0,19                 | -    | -    | -                           | -      | -            | 150-170 "                |         |  |  |
| P. N° SLI 21<br>TIRS GRIS   | 7,8                         | 6,5 | 0,69                | 0,06 | 11   | 1,19 | 0,238                             | 0,518   | 11,6  | 5,45  | 3,33  | 0,22 | 0,12  | 0,04  | 1,56 | 21,3             | 96                              | 0,54                 | 4,01                 | 0,13                 | 2,45 | 2,25 | 0,20                        | 0,09   | 3,2          | O-20cm                   |         |  |  |
|                             | 8,4                         | 7,3 | 0,48                | 0,05 | 9    | 0,82 | 0,243                             | 1,486   | 13,9  | 14,83 | 4,71  | 0,21 | 0,93  | 0,01  | 1,40 | 33,5             | 100                             | 0,84                 | 6,18                 | 0,13                 | 2,10 | 1,50 | 0,60                        | 0,40   | 2,7          | 20-48 "                  |         |  |  |
|                             | 8,8                         | 7,8 | 0,27                | 0,03 | 8    | 0,46 | 0,146                             | 1,512   | 12,3  | 15,4  | 7,05  | 0,22 | 0,79  | 0,14  | 2    | 35,1             | 106                             | 0,52                 | 3,83                 | 0,13                 | 1,06 | 0,85 | 0,20                        | 0,24   | 1,7          | 48-60 "                  |         |  |  |
|                             | 9,1                         | 8,5 | 0,10                | 0,02 | 4    | 0,16 | 0,144                             | 1,123   | 11,0  | 13,4  | 9,40  | 0,36 | 0,82  | 0,26  | 2,83 | 33,2             | 102                             | 0,62                 | 3,93                 | 0,16                 | -    | -    | -                           | -      | -            | 60-85 "                  |         |  |  |
|                             | P. N° SLI 60<br>TIRS MARRON | 8,1 | 7,4                 | 1,16 | 0,12 | 9    | 2,0                               | 1,032   | 0,075 | 48,10 | 3,4   | 1,34 | 1,88  | 14,14 | 0,55 | 0,23             | 56,8                            | 96                   | 3,33                 | 6,97                 | 0,47 | 3,36 | 2,8                         | 0,54   | 0,19         | 2,9                      | O-10 cm |  |  |
| 8,2                         |                             | 7,6 | 1,17                | 0,17 | 10   | 2,0  | 0,620                             | 0,124   | 47,9  | 3,2   | 2,44  | 0,71 | 14,96 | 0,22  | 0,44 | 55,4             | 97                              | 3,47                 | 7,15                 | 0,48                 | 2,62 | 1,40 | 1,21                        | 0,86   | 2,2          | 10-20 "                  |         |  |  |
| 8,4                         |                             | 7,7 | 1,10                | 0,12 | 9    | 1,9  | 0,610                             | 0,157   | 44,5  | 2,7   | 1,22  | 0,47 | 16,48 | 0,17  | 0,20 | 59,4             | 82                              | 3,31                 | 6,7                  | 0,49                 | 3,90 | 1,87 | 2,02                        | 1,08   | 3,3          | 20-30 "                  |         |  |  |
| 8,4                         |                             | 7,7 | 0,96                | 0,10 | 9    | 1,6  | 0,478                             | 0,121   | 35,2  | 2,6   | 1,19  | 0,42 | 13,53 | 0,16  | 0,24 | 48,8             | 90                              | 2,54                 | 7,03                 | 0,36                 | 3,52 | 2,57 | 1,46                        | 0,74   | 3,2          | 30-50 "                  |         |  |  |
| 8,5                         |                             | 7,9 | 0,62                | 0,07 | 8    | 1,0  | 0,235                             | 0,072   | 35,2  | 1,9   | 2,23  | 0,15 | 18,52 | 0,78  | 1,27 | 17,5             |                                 | 0,61                 | 1,85                 | 0,32                 | 3,07 | 2,06 | 1,48                        | 0,93   | 3,2          | C-R<br>50 "              |         |  |  |
| P. N° SLI 44<br>TIRS MERZAG | 5,5                         | 4,2 | 2,13                | 0,12 | 12   | 3,66 | 1,88                              | 0,144   | 6,2   | 4,68  | 1,18  | 0,2  | 1,32  | 0,04  | 0,66 | 17,7             | 69                              | 0,58                 | 2,28                 | 0,25                 | 2,25 | 1,31 | 0,93                        | 0,71   | 3,4          | O-15 cm                  |         |  |  |
|                             | 6,7                         | 4,9 | 0,74                | 0,08 | 9    | 1,27 | 4,2                               | 0,151   | 13,2  | 7,1   | 4,40  | 0,7  | 1,85  | 0,09  | 1,38 | 31,8             | 79                              | 0,88                 | 2,28                 | 0,14                 | 0,67 | 0,37 | 0,30                        | 0,80   | 1,4          | 15-30 "                  |         |  |  |
|                             | 8,2                         | 6,7 | 0,50                | 0,07 | 7    | 0,87 | 5,1                               | 0,406   | 14,0  | 12,5  | 7,04  | 1,0  | 1,12  | 0,008 | 2,02 | 34,7             | 99                              | 0,65                 | 0,61                 | 0,10                 | 0,52 | 0,46 | 0,05                        | 0,12   | 2,2          | 30-60 "                  |         |  |  |
|                             | 8,3                         | 6,8 | 0,30                | 0,08 | 4    | 0,52 | 5,8                               |         | 12,1  | 10,19 | 12,5  | 1,9  | 1,18  | 0,18  | 0,36 | 34,4             | 106                             | 0,61                 | 6,37                 | 0,09                 |      |      |                             |        |              | 60-90 "                  |         |  |  |
|                             |                             |     |                     |      |      | 5,1  |                                   |         | 12,0  | 11,8  | 11,05 | 0,99 | 1,01  | 0,83  | 3,17 | 34,8             | 103                             | 0,77                 | 6,31                 | 0,012                |      |      |                             |        |              | 90-110 "                 |         |  |  |

-- CARACTERISTIQUES PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES TIRS ( Suite )

| TYPE DU SOL                                                | Pro-<br>fondeur | GRANULOMETRIE |      |      |      |    | PROPRIETES HYDRIQUES |      |           |           |      |      | DENSITES POROSITE |      |      |      | PH     |     | Matières Organiques |          |      |     |      | Matières Humiques en C % o |      |      |          |              | Calcaire<br>Total | Humidité<br>H % |
|------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|------|------|------|----|----------------------|------|-----------|-----------|------|------|-------------------|------|------|------|--------|-----|---------------------|----------|------|-----|------|----------------------------|------|------|----------|--------------|-------------------|-----------------|
|                                                            |                 | A%            | L%   | Sf%  | SG%  | CS | Sf                   | Sg   | Pf<br>2,5 | Pf<br>4,2 | Hm   | Eu   | Ec                | Da   | Dm   | Dr   | P<br>t | Eau | Kcl                 | C %<br>t | N %  | C/N | M.O  | MHT                        | MH   | AF   | AF<br>AH | AH+AF<br>MHT |                   |                 |
| SLI 23 TIRS GRIS NOIR<br>sur Bas-dol                       | 0-20            | 63,3          | 16,7 | 18,9 | 4,0  | 65 | 4,72                 | 23,5 | 19        | 12        | 4,2  | 10   |                   |      |      | 2,8  |        | 7,9 | 7,0                 | 1,05     | 0,09 | 11  | 1,82 | 1,622                      | 1,31 | 0,31 | 0,24     | 1,5          | 12                | 10,0            |
|                                                            | 58              | 62,3          | 15,6 | 20,7 | 3,5  | 64 | 5,91                 | 24   | 18        | 22        | 5,0  | 11   |                   | 1,09 | 1,37 | 2,9  | 63%    | 8,0 | 7,1                 | 0,99     | 0,08 | 11  | 1,71 | 1,57                       | 1,45 | 0,52 | 0,52     | 1,5          | 1,8               | 10,1            |
|                                                            | 80              | 51,4          | 21,2 | 22,3 | 4,2  | 53 | 1,30                 | 26   | 19        | 12        | 7,4  | 13   |                   | 1,09 | 1,37 | 3,0  | 63     | 8,2 | 7,6                 | 0,50     | 0,06 | 10  | 0,86 | 0,56                       | 0,44 | 0,20 | 0,2      | 0,1          | 1,4               | 10,5            |
|                                                            | 140             | 30,8          | 10,3 | 26,9 | 25,8 | 32 | 1,04                 | 30   | 22        | 14        | 7,9  | 15   |                   |      |      | 3,0  |        | 8,2 | 7,6                 | 8,2      | 7,6  | 9   | 0,26 |                            |      |      |          |              | 1,04              | 12,3            |
| P. N° SLI 17<br>( lethom. ) TIRS NOIR<br>Sur Bd. Cal. Sch. | 0-12            | 51,1          | 30,0 | 7,8  | 3,8  | 53 | 9,05                 | 39,8 | 19,9      | 13,3      | 19,3 | 26,0 |                   |      |      |      |        | 8,1 | 7,4                 | 1,93     | 0,21 | 9   | 3,3  | 4,57                       | 2,59 | 1,97 | 0,76     | 2,37         | 3,8               | 10,0            |
|                                                            | 32              | 66,1          | 21,3 | 7,6  | 2,2  | 68 | 3,45                 | 36,8 | 18,6      | 13,3      | 18,3 | 24,8 |                   | 1,18 | 1,44 | 2,91 | 59     | 8,4 | 7,6                 | 1,20     | 0,15 | 8   | 2,07 | 3,50                       | 2,17 | 1,33 | 0,40     | 2,92         | 2,8               | 10,7            |
|                                                            | 48              | 62,6          | 20,2 | 6,7  | 1,8  | 64 | 3,72                 | 35,1 | 16,0      | 10,6      | 19,1 | 26,6 |                   | 1,8  | 1,44 | 2,98 | 39     | 8,4 | 7,7                 | 0,69     | 0,09 | 7   | 1,2  | 2,13                       | 1,22 | 0,91 | 0,75     | 3,09         | 10,5              | 10,8            |
|                                                            | 60              | 43,5          | 13,8 | 13,2 | 16,1 | 45 | 0,81                 | 25,0 | 9,6       | 6,1       | 15,8 | 18   |                   |      |      | 2,85 |        | 8,3 | 7,9                 | 0,25     | 0,06 | 4   | 0,44 | 1,01                       | 0,35 | 0,66 | 1,88     | 4,04         | 11,9              | 5,8             |
| P. N° SLI 12<br>SOL TIRSFIE NOIR<br>( Topom ). sur cal.    | 0-10            | 78,5          | 9,1  | 26,9 | 3,4  | 79 | 7,02                 | 33,9 | 15,8      | 10,5      | 18,1 | 23,3 |                   | 1,10 | 1,75 | 2,9  | 52     | 7,8 | 7,0                 | 1,92     | 0,15 | 12  | 3,30 | 3,97                       | 3,3  | 0,60 | 0,21     | 2,07         | Tr                | 12,4            |
|                                                            | 10-35           | 50,4          | 8,8  | 5,10 | 8,3  | 51 | 0,60                 | 33,0 | 14,7      | 9,8       | 18,2 | 23,1 |                   | 1,08 | 1,72 | 2,9  | 62     | 8,2 | 7,0                 | 1,38     | 0,11 | 12  | 2,39 | 4,57                       | 1,8  | 2,7  | 1,4      | 3,30         | 26,7              | 8,8             |
|                                                            | 60              |               |      |      |      |    |                      | 13,7 | 8,2       | 5,4       | 5,6  | 8,3  |                   |      |      | 2,8  |        |     |                     | 0,75     | 0,08 | 9   | 1,30 | 1,27                       | 0,6  | 0,9  | 0,9      | 1,7          | 60                |                 |
| P. N° SLI 86<br>TIRS GRIS ( Topom )<br>ur Grès-calcaire    | 0-15            | 33            | 8,9  | 41,4 | 19,1 | 34 | 2,16                 | 42   | 30        | 20        | 12   | 22   |                   |      |      | 23   |        | 7,6 | 7,0                 | 1,06     | 0,09 | 11  | 1,83 |                            |      |      |          |              | 1,1               | 4,6             |
|                                                            | 45              | 34            | 7,4  | 44,2 | 17,6 | 35 | 2,51                 | 43   | 30        | 20        | 13   | 23   |                   | 1,18 | 1,71 | 2,75 | 51     | 8,5 | 7,5                 | 0,59     | 0,06 | 9   | 0,99 |                            |      |      |          |              | 1,2               | 6,0             |
|                                                            | 85              | 40,1          | 9,2  | 38,4 | 16,0 | 41 | 2,40                 | 39   | 33        | 23        | 14   | 26   |                   | 1,78 | 1,71 | 2,8  | 36     | 8,1 | 7,1                 | 0,32     | 0,03 | 9   | 0,55 |                            |      |      |          |              | TR                | 7,3             |
|                                                            | 110             | 39,8          | 10,1 | 42,9 | 10,5 | 41 | 4,28                 | 53   | 34        | 23        | 18   | 30   |                   |      |      | 2,75 |        |     |                     | 0,12     | 0,02 | 6   | 0,21 |                            |      |      |          |              | 3,1               | 6,4             |
| P. N° SLI 27<br>TIRS GRIS<br>ur Basal. cal.                | 0-10            | 54,6          | 12,0 | 30,5 | 4,8  | 56 | 6,35                 | 18   | 15        | 10,4      | 2,8  | 8,10 |                   |      |      | 2,8  |        | 7,3 | 6,1                 | 0,76     | 0,08 | 10  | 1,31 | 1,62                       | 0,65 | 0,97 | 1,4      | 2,1          | Tr                | 8,4             |
|                                                            | 10-50           | 54,7          | 12,0 | 30,8 | 4,6  | 56 | 6,69                 | 18   | 15        | 10,4      | 2,6  | 7,8  |                   | 1,2  | 1,6  | 2,8  | 57     | 7,5 | 6,1                 | 0,69     | 0,07 | 10  | 1,9  | 1,62                       | 0,75 | 0,87 | 1,1      | 2,1          | 1,4               | 8,6             |
|                                                            | 50-75           | 54,8          | 9,8  | 30,8 | 5,0  | 56 | 6,16                 | 24   | 16        | 10,7      | 8,6  | 14,3 |                   | 1,2  | 1,6  | 2,9  | 58     | 8,4 | 6,9                 | 0,58     | 0,07 | 9   | 1,00 | 1,12                       | 0,37 | 0,75 | 2        | 1,7          | 3,7               | 8,7             |
|                                                            | 200             | 54,8          | 11,0 | 26,5 | 4,4  | 56 | 6,02                 | 24   | 16        | 11,0      | 8,1  | 13,6 |                   |      |      | 2,9  |        |     |                     |          |      |     |      |                            |      |      |          |              | 4,8               | 8,8             |

MHT: Matières humiques

AH : Acides humiques

AF : Adides fulviques

AH+AF MHT=taux d'humification

Cs: =  $\frac{1000 A + 100 L + 10 Sf + Sg}{1000}$

A= Argile \_ 2 U - L= Limons 2-20 U - Sf= Sable fin 20-200 U - Sg= Sable grossier

200-2000 U

Da=Densité apparente - Dm=Densités mottières - Dr=Densité réelle

T=Capacité d'échange

S X 100=Taux de saturation ( V )

T

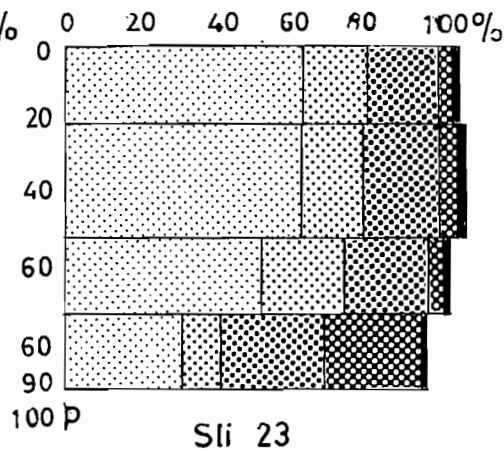
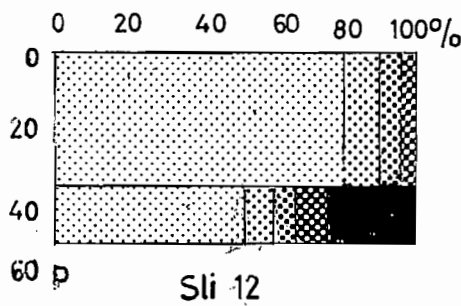
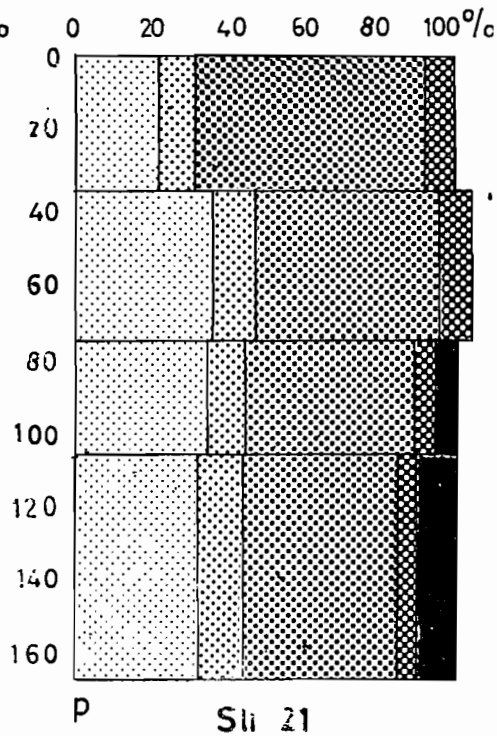
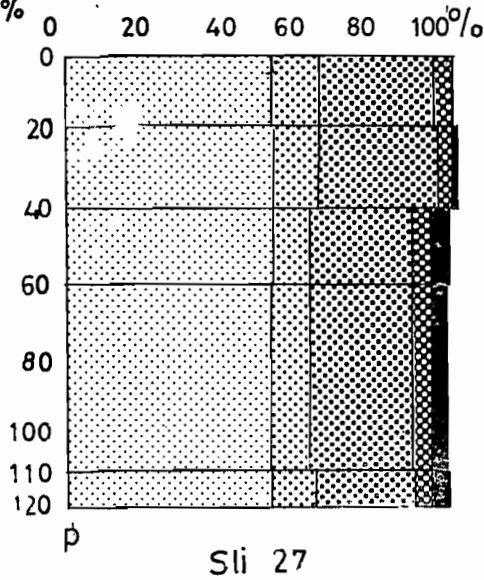
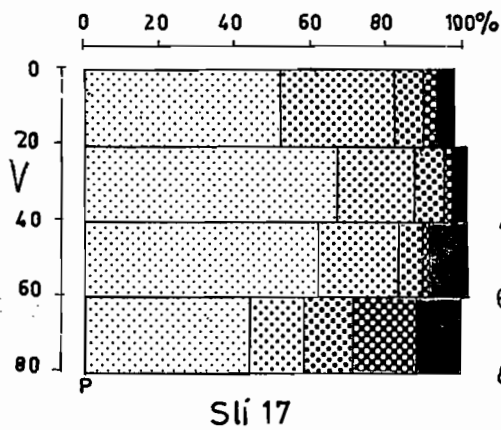
$Fe_2O_3^l$  = Fer libre ( Debb )

$Fe O t$

2 3 = Fer total

| TIRS<br>GRIS<br>( P. N°SLI<br>27 )<br>Suite | Profo-<br>ndeur | T    | 100<br>T | $Fe O t$<br>2 3 | $Fe O t$<br>2 3 | $Fe O t$<br>2 3 |
|---------------------------------------------|-----------------|------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                             |                 |      |          |                 |                 |                 |
|                                             | 0-10            | 46,3 | 99       | 0,90            | 5,6             | 0,15            |
|                                             | 10-50           | 43,8 | 100      | 0,87            | 5,7             | 0,15            |
|                                             | 50-75           | 42,5 | 107      | 1,27            | 5,4             | 0,23            |
|                                             | 120             |      |          |                 |                 |                 |

# TEXTURE DES VERTISOLS

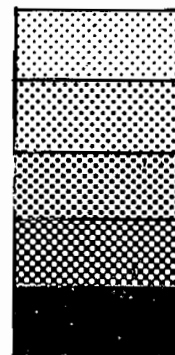


## Echelle

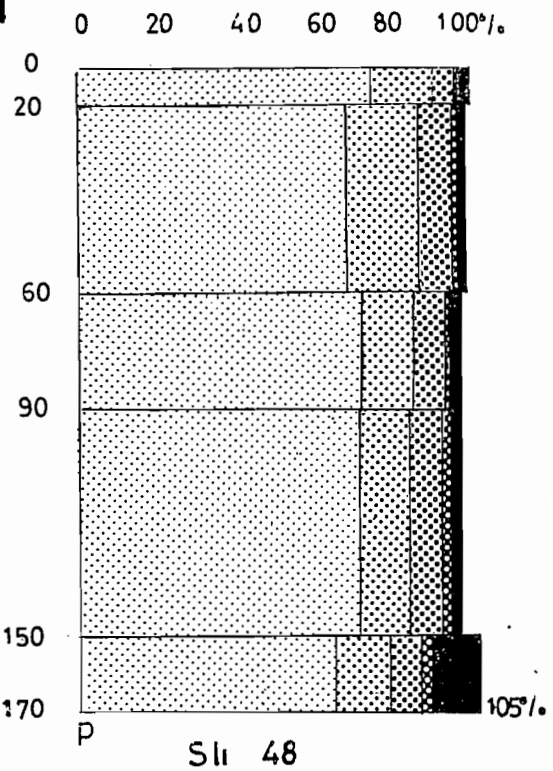
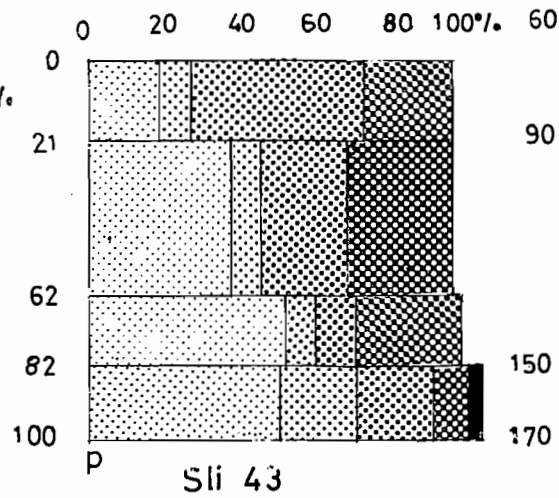
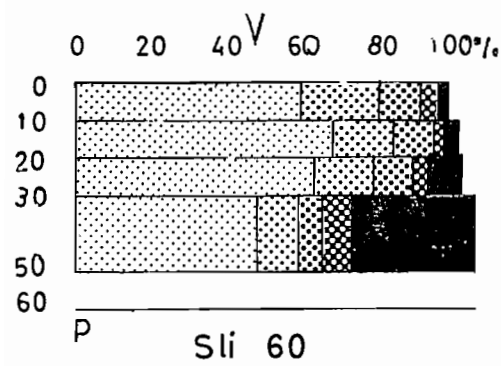
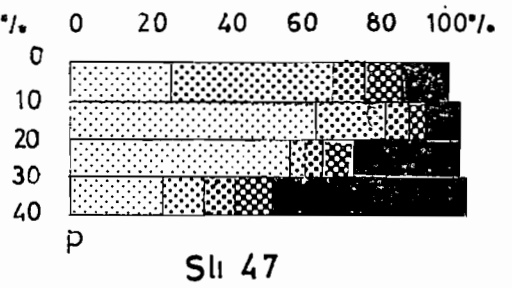
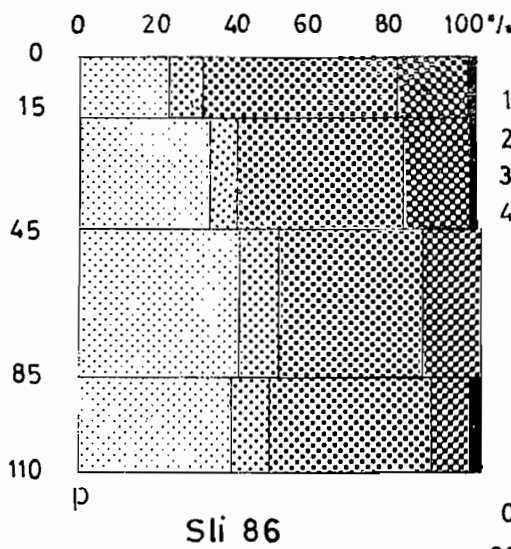
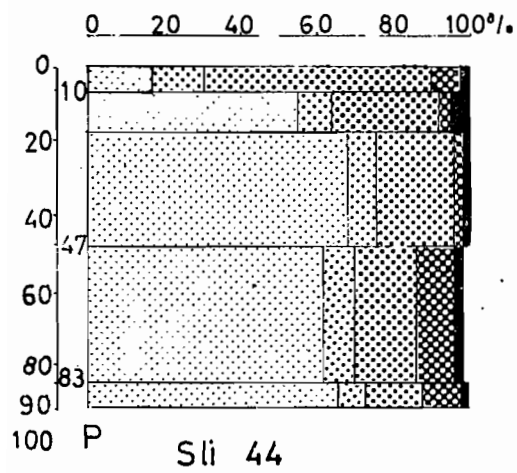
Profondeurs : 1 cm p - 20cm

Texture : 1 mmp - 2%

A, L, Sg, sG.



# TEXTURE DES VERTISOLS

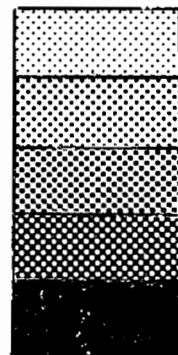


## Echelle

Profondeurs : 1 cm p \_ 20cm

Texture 1 mmp \_ 2%

A.L :Sg . sG.



Argile

Limons

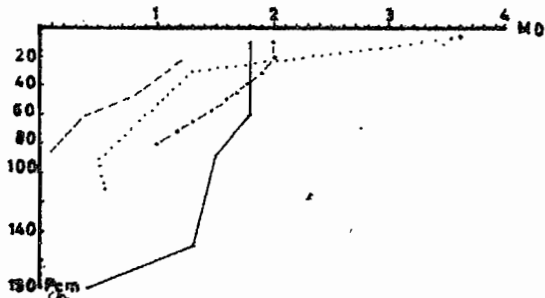
Sables fins

Sable grossiers

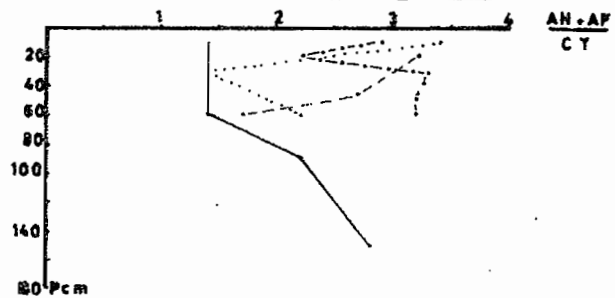
Calcaires

VARIATIONS DE QUELQUES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET PHYSIQUES DES TIRS  
( TIRS NOIRS . GRIS . MARRONS )  
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

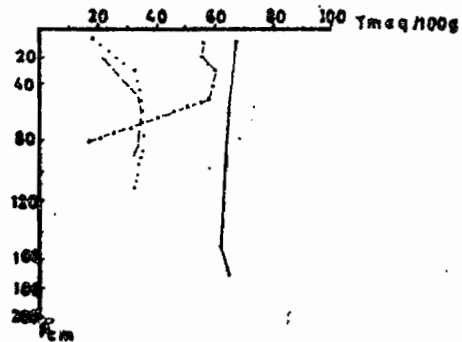
matières organiques des tirs



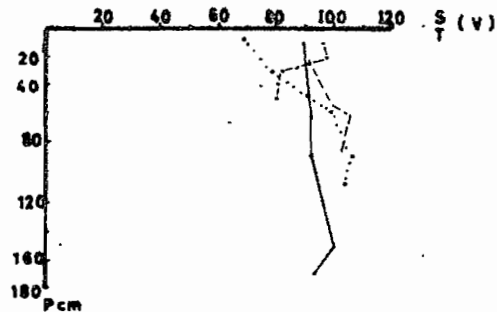
taux d'humification



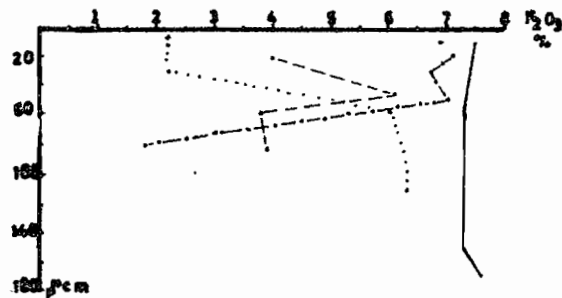
Capacité d'échange



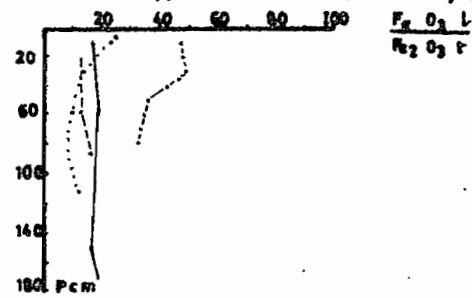
Taux de saturation



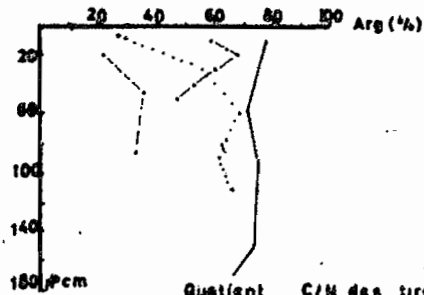
Fer total



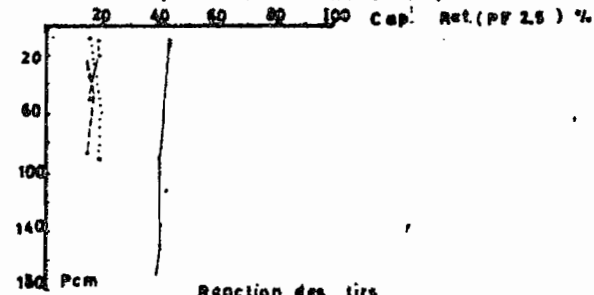
Rapport moléculaire ( fer total, fer libre )



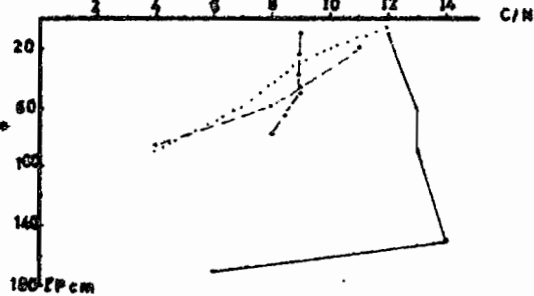
% Argile



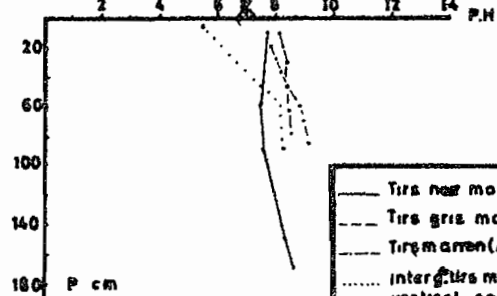
Capacité de rétention (=MP)



Quotient C/N des tirs

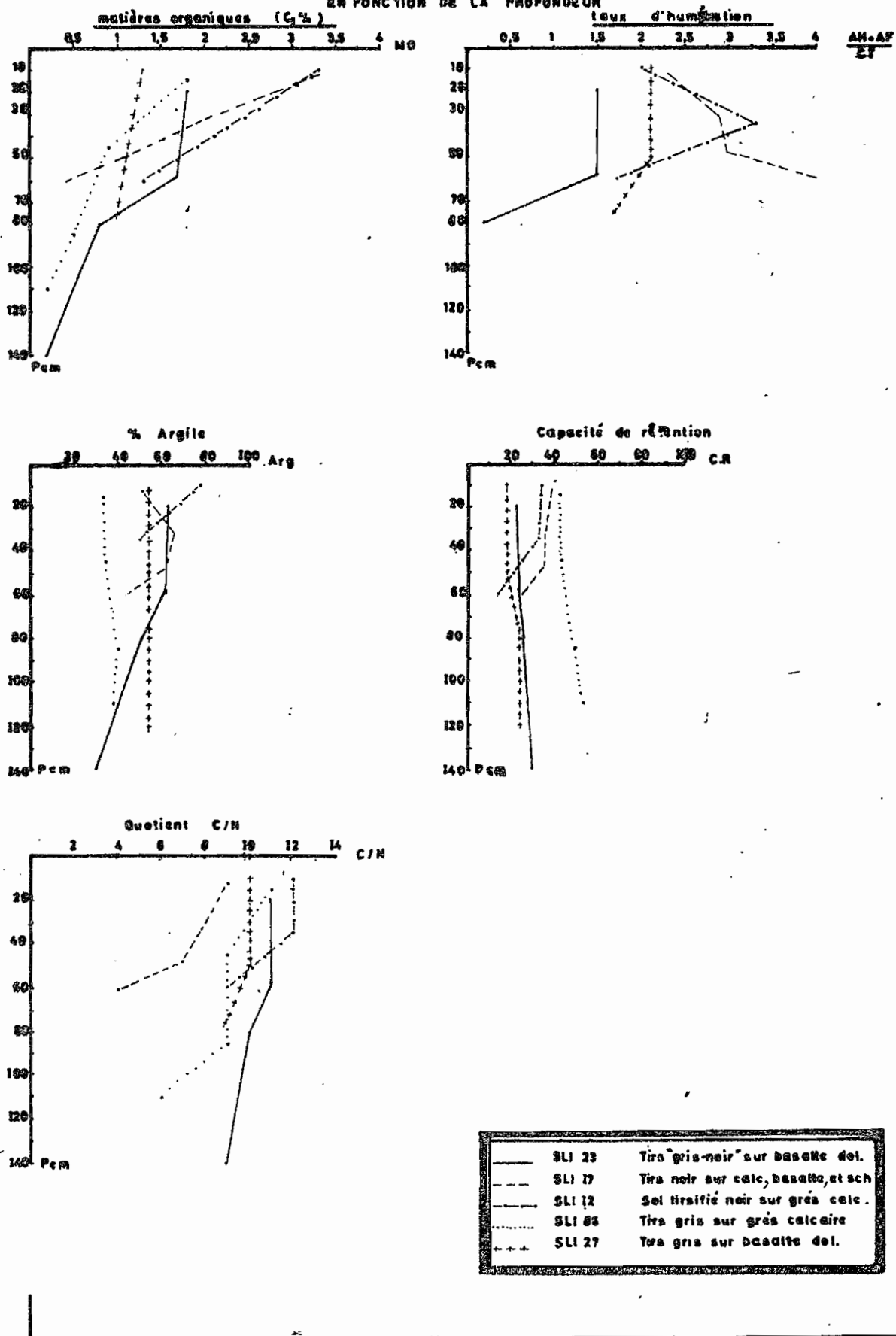


Reaction des tirs



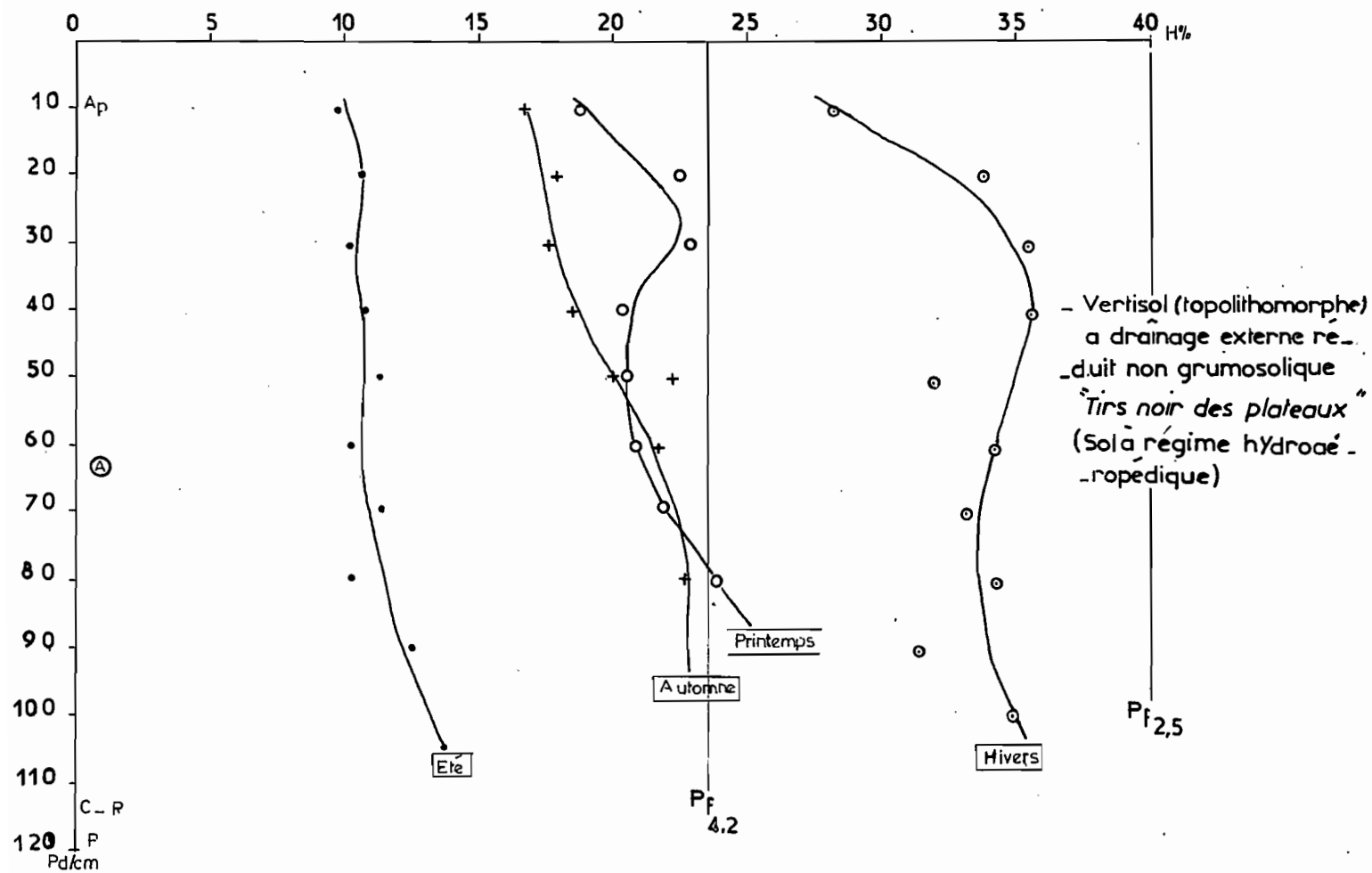
- Tirs noir modal
- - - Tirs gris modal
- ..... Tirs marron (As.c.v.my. acc.)
- . - . interg.tirs merzag (ou vertisol - sol hydromorphe)

VARIATIONS DE QUELQUES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET PHYSIQUES DES TIRS ET SOLS TIRIFIES  
( TIRS NOIRS ET GRIS )  
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

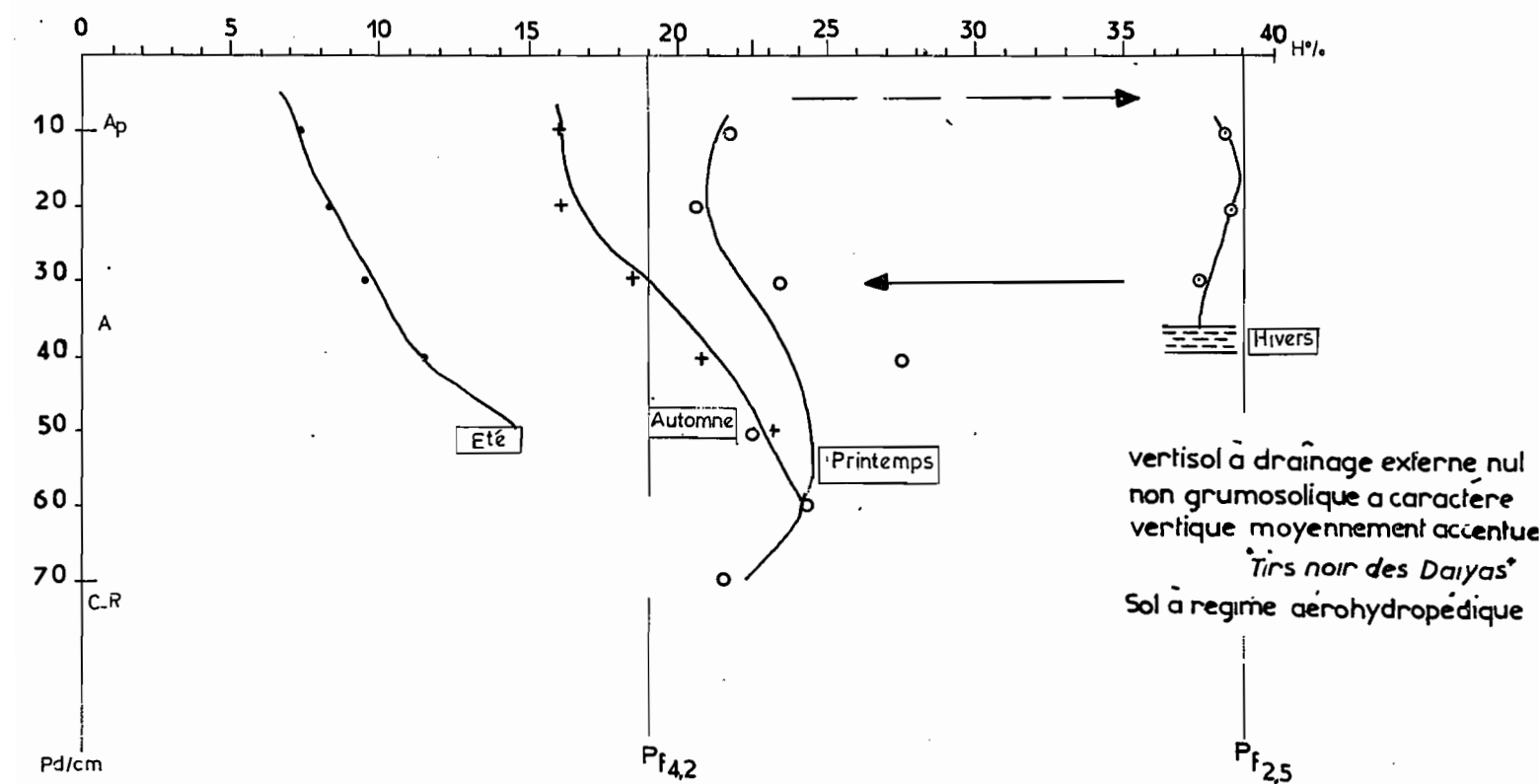


# PROFILS HYDRIQUES

PROFIL N°:SLI 48



PROFIL N°:SLI 17



### C- Eléments nutritifs

Nous avons vu que les tirs se caractérisaient par leurs capacités d'échange (CEC ou T) élevées, et notamment les tirs noirs sur basalte (CEC = 65 à 67 meq/100g) puis viennent les tirs marrons sur grès-calcaires (56 à 48 meq/100g) et les gris sur marnes calcaires - et limons (CEC = 35 - 36 meq/100g)-

Les taux de saturations en calcium sont les plus élevés, les complexes absorbants des tirs étant essentiellement saturés en calcium ( $\text{Ca} = 86\%$  (tirs marrons),  $68\%$  (Tirs noirs) et  $54\%$  (tirs gris)) - Les taux de saturation du complexe en Magnésium sont moyens pour les tirs noirs ( $\text{Mg/T} = 24\%$ ) et les tirs gris ( $21\%$  à  $43\%$ ) et relativement faibles pour les tirs marrons ( $\text{Mg/T} = 6\%$ )-

La CEC et les taux de saturation en calcium et en magnésium varient avec les profondeurs des tirs dans des rapports inverses pour le  $\text{Ca}^{++}$  et le  $\text{Mg}^{++}$  - Les tirs gris au Set N de Ben Slimane, ont les teneurs en Magnésium et en Sodium échangeables les plus élevées qui se traduisent par une élévation de pH de 7,2 à 9,1 en profondeur- Cependant "les risques" d'alcalisation (ou de salinisation) en profondeur sont très faibles pour tous les 3 groupes de tirs des Ziaïdas et Arab ( $\text{CI}\% = 0,1$ )  $\frac{\text{Na}}{\text{T}} < 3$

Les taux de saturation du complexe en potassium sont de l'ordre de 10 à 12% avec des teneurs de 0,2 à 0,1 meq/100g (qui décroissent régulièrement en profondeur-

Les teneurs en azote varient en fonction des taux de matières organiques totales de la profondeur, des taux d'humification et de l'activité microbologique globale des tirs (voire de leur taux d'humidité)- Les valeurs moyennes sont de l'ordre de 0,09 à 0,05% (tirs noirs) 0,06 à 0,2% pour les tirs gris et 0,08% pour les tirs marrons.

Les teneurs en phosphore assimilable sont très faibles (0,08% à 3 ppm) ou traces (?) et en phosphore totale de l'ordre de 0,3 à 0,2% (en  $\text{P}_2\text{O}_5\%$ ) (tirs gris et marrons - L'Intergrade tirs-Merzag (P N° SLI 44) a des teneurs exceptionnelles en  $\text{P}_2\text{O}_5$  assimilable (0,2 à 0,3%) qui résulteraient probablement d'apport d'engrais phosphatés au moment des prélèvement (et au cours du reboisement de la Daiya Es-Sbaa en Eucalyptus).

Les faibles teneurs en acides phosphoriques assimilables des tirs seraient liés à la richesse de ces sols en calcaire fin (et en calcium échangeable qui formerait des phosphates tricalciques dans les sols est non extractible par la méthode Olsen ou difficilement ( ) - Voir Aptitude culturale) assimilable par les plantes.

.../...

N B : Les premiers chiffres indiquent des valeurs moyennes en éléments nutritifs se rapportent aux niveaux supérieurs des tirs, les seconds au niveau profonds et/ou au dessus de l'altération des Roche-mères

! -----!  
B- ! Genèse et évolution! -

A Conditions de formations (voir chap I : facteurs de pédogenèse)

### I) Climat

Les régions "à tirs" (Ziaïdas) jouissent d'un climat du type méditerranéen semi-aride ou Xérothérique qui se caractérise par la succession de périodes chaudes et sèches et de périodes humides "tempérées", par l'inégale répartition des pluies au cours de l'année et par la période "biologiquement sèche" égale à 3-4 mois. Ceci se traduit par l'altération (ou météorisation) poussée des roche-mères et la néoformation de minéraux argileux M, par l'humidification et la dessiccation brutale des sols qui conditionnent les processus du "foisonnement" et du "retrait" et par le lessivage des sels solubles ou solubilisables ainsi que de leur accumulation moyennement poussée -

### 2) Drainage (Topographies)

Le drainage "en grand" ou externe défectueux "favorisent" la Tirsification (zones planes ou faiblement ondulée, dépressions, daiyas, terrasses) la tirsification sur les versants, à drainage externe possible, serait liée à la "percolation" lente des eaux météoriques dans les sols et à la forte rétention de cette eau par les argiles Montmorillonite -

### 3) Roche-mère

Dans le cadre des régions cartographiées, le rôle de la roche-mère est déterminant dans le processus de "tirsification". Ceci est illustré par la répartition des tirs et sols tirsidiés (voir carte pédologique et carte des formations superficielles) sur les roches basiques- (basalte doléritique, gres et marne calcaires) dans leur presque totalité, ou sur des alluvions d'origine fluviatile, sur les dépôts et colluvions alors que sur le socle primaire schisteux et quartzitique, les tirs sont réduits à de petites tâches localisées sur les dépressions (non daiyas "drainées" (avec exutoirs) et qui sont des intergrades "tirs-merzag") (vertisol-hydromorphes). La tirsification apparaît également en profondeur d'autres "classes" de sols quand ceux-ci évoluent sur un complexe de roches acides et basiques -

### 4) Végétation-

.../...

Les tirs n'évoluent pas dans des régions forestières (Suberaies ou callitriaies) de "Rhabet Bir-El Kelb, Rhabet Ben Slimane (ex- Boul-haut) et ne supportent pas de strates arborée naturelle ou introduite à l'exception de quelques agrumes localisées sur les basses terrasses et sur les versants de l'Oued Dir (x= 340,000 y = 329,312) La végétation actuelle est, quand elle n'est pas dégradée par les cultures, du type Erme hygrophile ou Erme-chamaeropaie- Les matières organiques des tirs seraient essentiellement d'origine "herbacée"

##### 5) Faune et microflore

Le rôle de la faune (més-faune ) reste à étudier - Notons l'activité intense des Lombrics (*Lumbriscus terrestris*) et leur rôle dans l'homogénéisation

du sol - La microflore a fait par contre l'objet de nombreux travaux (27a) Les différents groupes microbologiques intervenant dans le cycle de l'Azote, du carbone et du fer sont particulièrement actifs quand les sols sont humides ( $H/He \geq I$ ). L'Anmor résulte cependant de la décomposition lente et progressive de composés organiques "frais" sous l'action de plusieurs groupes micro-biologiques ou "nappes microbiennes" qui se sont succédés dans le sol au cours de son évolution. La "microflore" actuelle joue un rôle direct ou indirect important dans les processus d'humification de solubilisation et de mise en mouvement des alcalino-terreux et de fer dans les sols.

### Les Processus

La tirsification résulte de l'interaction de plusieurs processus pédogénétiques d'intensité variables dont les principaux, quant à la formation des tirs des Ziaïdas, portent sur :

- La météorisation poussée des roches-mères basiques et la néoformation de minéraux argileux (avec montronite dominante)
- La décomposition lente à moyenne des matières organiques fraîches d'origines "herbacées" et la formation de l'humus du type Anmor calcique, stable, riche en acide humiques (*forte condensation*) et "intimement" liés aux matières minérales *de l'humus*
- Le foisonnement *et le* "retrait" des argiles et le glissement des masses ~~minérales~~ *terreuses* entre elles sous les pressions internes du sol) consécutives à l'humidification (soit à l'engorgement temporaire du sol) et à la dessiccation des sols, entraînent une homogénéisation verticale des tirs
- La décarbonatation des horizons "A" (lessivage du calcaire) sans que les sols soient décalcifiés ( $pH \geq 7$ )
- La faible alcalisation des tirs en profondeur (-exception profil (N° SLI 60))
- L'individualisation et/ou l'accumulation de calcaire en profondeur sous-forme de tâche "ou de croûte d'origine hydro-hypogénique (exemple SLI 56 : remontée d'eau chargée de calcaire au dépens des nappes phréatiques et précipitation au niveau de la "frange d'évaporation" -
- L'individualisation relativement faible (tirs hydromorphes) des oxydes de fer, consécutive à la faible intensité des processus d'oxydo-réduction dans le sol, et probablement aux "fortes liaisons Fer Argile ou Fer-argile-humate soit du fer et des colloïdes minéraux et/ou organiques des sols-
- Le remaniement des tirs serait consécutifs à l'érosion "normale, aréolaire" - des périodes humides post-Villafranchiennes -

### - ORIGINE DES TIRS ET DES SOLS TIRSIFIES - Leur âge probable

- Nous avons vu que les études ayant trait aux tirs/diverses, il en découle de nombreuses théories quant à l'origine et à la genèse de ces sols -

C. Bryssine, dans son récent traité sur la structure des tirs du Gharb résume les différentes hypothèses sur...

l'origine des tirs du Maroc depuis les premiers travaux des géographes, et conclut en attribuant les tirs aux sols à régime "Aérohydropédique d'après sa classification "génétique et naturelle".-

T.h Fischer considérait les tirs comme des formations éoliennes, et L. Gentil, refutant cette hypothèse, pensait que les tirs résultaient de "la décalcarisation " des grès néogène et seraient "analogues, de part leur origine aux "Terra-Rossa" - Pour Em.Miège, Les tirs sont des sols steppiques à tendance désertiques qui se caractérisent par le degré de lessivage des carbonates et le degré d'évolution de leur roche-mère -

E.H. Del VILLAR + considère les tirs (-du Gharb) - comme des sols Hétérocyliques hydrohypogéniques : ou sols dont la genèse est liée "à l'activité souterraine" des nappes aquifères- Les tirs à croûte étant rattachés par l'auteur aux sols à cycle Calcaire - (Analogie avec les sols calcimagnésiques)-

W. Cavalar met l'accent sur les facteurs épigéniques et attribuent les tirs aux formations matécageuses éxondées -

Ces diverses hypothèses portent soit sur l'origine du matériau originel des tirs, soit sur les facteurs de pédogenèse qui déterminent la tirsification de ces matériaux -

A. Pujos, dans "Terres noires, rouges et grises" met en relief la "succession chronologique des phénomènes" "de rubéfaction", de "noircissement" et "d'éclaircissement". Ce schéma susceptible d'être généralisé porte sur les périodes (ou âge) du rouge (rubéfié), du noir (noirci, bruni, assombri) et du gris (clair, éclairci) ; L'auteur attribue la période du "rouge" au Soltanien (Grimaldien) à l'Amirien et au Villafranchien, et "le noircissement" au fini-soltanien avec optimum chaud du Néolithique et le "clair" à l'époque subactuelle - actuelle (Moderne) - (42)

Les tirs Noirs seraient d'après ce schéma des sols fossiles et dateraient du Néolithique et les tirs gris des sols subactuels actuels .

Le schéma de "succession chronologique" des phénomènes pédogénétiques a rencontré une opposition analogue à celle qu'ont connue les premières lois de répartitions des sols en fonction du climat et leur expression en sols "zonaux, azonaux et intrazonaux" (voire répartition des sols et Chap I : Facteurs de pédogenèse)

.../...

Il apparaît évident qu'on ne peut attribuer implicitement à une époque quelconque du quaternaire un des phénomènes pédogenitiques qui détermine et oriente la genèse et l'évolution des sols sans mettre en cause tous les principes de ces mêmes phénomènes. Les notions de "climat rubéfiant" ou de climat "tirsifiant" ou encore "de dérubéfaction" sont imprécises et non généralisables : La tirsification, la rubéfaction et l'hydrogenèse sont des phénomènes liés non seulement à des conditions climatiques données, mais aussi et surtout à diverses conditions de formation des sols dont la topographie, le drainage, les roche-mères, la végétation etc... (voire : Les Lois de répartition des sols)-

J. Wilbert '47) qui admet l'hypothèse de A. Pujos, attribue les tirs du Maroc au Gharbien ancien (optimum néolithique) à l'ouljien (Anté-Wurm) ou à l'actuel (Moderne)

=====

(+) Extrait commentés de propriétés hydriques des tirs du Gharb (26)

Récemment, U. Schden (45) entrepris l'étude minéralogique des tirs du Maroc et lie la Tirsification à la nature minéralogique des roche-mères dont les produits d'altération enrichissent le sol en alcalino-terreux, en minéraux argileux du groupe de la Montmorillonite, et à l'interruption des périodes de sécheresses par des périodes d'hydromorphie (?)

Avec les travaux de G. Brysine, et de U. Schoen, se dessine une tendance plus pédogenétique et plus explicite quant à la genèse des tirs et à leur évolution.

Pour G. AUBERT (25), la vertisolisation est un phénomène d'hydromorphie temporaire portant sur l'évolution de la matière organique et des composés solubles ou solubilisables (fer, manganèse, calcium, magnésium...) C'est un processus de "stérilisation" car la végétation arborée est absente...L'hydromorphie entraîne la formation d'un humus du type anmoor. L'élargissement de la structure et le "retournement" du sol par lui-même résultent des pressions internes des masses minérales entre elles- D'où d'après G. AUBERT Les tirs sont à mettre dans la classe des Vertisols (dérivé de la racine verto : je touche (25b)- distincts des sols calcimagnésiques - (I)

---

(+) Extrait commenté de propriétés hydriques des tirs du Gharb (26)

.../...

Les diverses hypothèses citées concordent sur un ensemble de critères de tirsification dont ; 1° - La nature lithologique des matériaux originaux et des roche-mères dont les produits d'altération enrichissent le sol en minéraux argileux du groupe de la Montmorillonite et en alcalino-terreux - Dans le cas des tirs des Ziadas, ces roches sont essentiellement des basaltes doléritiques (trias) et des grès calcaire néogène - Ceux-ci, par dissolution "karstique" (voir chap I régime des Daiyas) donnent lieu à la formation d'un matériau assez riche en alcalino-terreux et en argile "gonflante" L'origine éolienne étant peu probable, l'hypothèse de L. Gentil paraît plausible pour les tirs de Daiyas sur roche basiques quant à la formation des minéraux argileux des Tirs

2° Une fois le matériau original en place : La succession des phases d'engorgement et de dessiccation des sols conditionne les processus de "foisonnement et de "retrait" soit la tirsification du matériau original, en présence de matières organiques d'origines herbacée - D'où l'importance que revêt le régime hydrique du sol ou régime qui est du type aéro-hydropédique - Les tirs des Daiyas résulteraient du dessèchement progressif de ces dépressions (origine marécageuse de W. CAVALAR) soit de l'évolution de leur régime hydropédique en régime aérohydropédique - Les processus d'hydrohypogénèse (activité de la nappe aquifère) sont nuls du fait de la profondeur de + nappe aquifère (Hydrogéologie : Chap I) + cette

L'origine hydro-hypogénique peut cependant être évoquée pour les tirs noirs des Daiyas (Ex : Profil SLI 12 et SLI 56 dont la genèse serait dominée par des processus hydrohypogéniques dus à la remontée de la nappe (Tirsification et notamment encroûtement par hypogénèse ou "croûte de nappe) en équilibre avec des processus épigéniques (décarbonation, humification, argilification...)

- La répartition des matières organiques en profondeur des tirs est régulièrement décroissante et présente une grande analogie avec les matières organiques des sols isohumiques (ou steppiques) (Taux d'humification élevée, AH/AF analogues, et gradients de matières organiques) D'où l'origine steppique à tendance désertique des tirs émise par Em. Miège, serait parallèle à l'origine "herbacée" des matières organiques des tirs et la tendance désertique parallèle au climat xérique ou encore au régime aéro-hydropédique -

- La décomposition des matières organiques sous l'action indirecte du climat et sous l'action directe de la microflore et de la mésofaune des tirs donne lieu à la formation d'un humus stable (ou stabilisé par les alcalino-terreux et l'argile avec lesquels il forme le complexe absorbant) cet Humus est du type Anmoor calcique sa minéralisation est relativement réduite - (voir plus haut les matières organiques des tirs)

.../...

\* Voir profils hydriques des tirs.

- La répartition des tirs sur les terrasses moyennes et anciennes (Gharbien ancien ou sur les bas-fonds (tirs colluvionnés) et sur les surfaces plio-miocène (moghrebiennne) ou sur les daiyas encaissées dans les hautes surfaces Villafranchienne, et sur les plateaux et versants basaltiques, entraîne que l'attribution d'un âge "absolu" aux tirs (Néolithique ou gharbien ancien et Gharbien récent ou encore fini-Soltanien) est aléatoire, voire implicite -

La genèse et l'évolution des tirs et des sols tirsifiés est en liaison étroite avec les facteurs de pédogenèse examinés plus haut (Roche basique, régime hydrique aérohydropédique ou succession de périodes d'humidification et de conditions de formation ayant été réalisés à diverses époques du quaternaire avec des intensités variables, la tirsification s'est développée à des degrés plus ou moins élevés (Tirs profond, peu ou moyennement profond et sols tirsifiés d'âges très différents-).

(Classification des Tirs et des Sols Tirsifiés (Vertisols))CLASSES :

Les tirs et les sols tirsifiés des régions des Ziaïda-s (Méséta Atlantique Marocaine) se caractérisent par :

- Leur profil textural qui montre des variations sensibles en profondeur en éléments fins (argile et limons) (++)

- Leur profil calcaire qui, dans le cas des tirs décarbonatés - non décalcifiés, présente une accumulation de calcaire sous-forme de nodules, granules ou croûtes calcaires à la base des profils sans recalcarification par "retournement" des masses terreuses.

- La répartition régulièrement décroissante en profondeur des matières organiques. Voire même des acides fulviques et humiques (gradient de matière organiques)

- La répartition régulière sur la presque totalité du profil des alcalino-terreux (Ca et Mg) et des cations métalliques - (fer) et dans certains cas, une augmentation de ces éléments à la base du profil.

D'où la tirsification (génèse des vertisols ou vertisolisation) n'est pas nécessairement liée aux processus de "retournement" des masses terreuses, mais essentiellement aux processus de foisonnement et de retrait des argiles en rapport avec le régime hydrique et la nature des minéraux argileux de ces sols, et qui se traduisent par le glissement des masses terreuses entre elles (formation de faces lisses, gauchies) et une relative homogénéisation de la texture et de la structure des tirs.

La classification de ce type de sols de la Méséta Atlantique marocaine - et du Maroc - en TIRS et SOLS TIRSIFIES - corrobore les caractéristiques morphologiques et analytiques de ces sols ; il apparaît donc que l'utilisation - ou la généralisation du terme "VERTISOL" pour les Tirs du Maroc est à éviter et qu'il y a lieu de conserver l'ancienne toponymie (+++)

SOUS-CLASSES

Les conditions pédoclimatiques de formation et d'évolution des Tirs s'expriment par le régime hydrique des sols, soit l'interaction du drainage externe "en grand", de la percolation des eaux météoriques dans le sol (drainage "en petit") et de l'évapotranspiration en rapport avec le régime des pluies - d'après les profils hydriques des tirs des Ziaïdas - deux sous-classes peuvent être ainsi définies de part la durée de la phase d'engorgement des sols - des phases aéropédiques et hydropédiques - en TIRS AEROHYDROPEDIQUE ET HYDROAEROPEDIQUE.

- (+) Vertisol : du grec Verto : je tourne " G. Aubert et P. Boulaine (67) (in que sais-je ?)

- (++) Voir planche des textures

- (+++) Classification universelle (Del Villar) et Classification de G. Aubert (1962) et termes vernaculaires (marocains)

Ces deux types de régime hydriques intègrent le drainage "en grand" possible et/ou réduit - le drainage "interne" des sols, l'évapotranspiration (action du couvert végétal) et les durées de la phase d'engorgement des sols qui peuvent

.../...

être assez prolongés même pour des sols tirsifiés des versants (à drainage en grand possible) et ce du fait de la nature des minéraux argileux des Tirs..../...

#### GROUPE

Les variations des conditions pédoclimatiques qui orientent la genèse des Tirs se traduisent morphologiquement par différentes intensités des valeurs de nuance ou "HUE" et du "Chroma" de ces sols, en rapport probablement avec les variations des processus d'argilification et de mobilisation des sesquioxides de fer ou des alcalino-terreux - (Mg notamment) (voir in Couleur et matières organiques des Tirs)

Exemple : Les Tirs hydroaéropédiques gris subissent une phase d'engorgement temporaire plus prolongée que celle des Tirs marrons du fait des mauvaises conditions de drainage externe des sols et de la durée de la phase "hydropédique" et de l'évapotranspiration relativement plus faibles pour les Tirs gris sous strate herbacée inférieure - erme hygrophile mésophile. En général les Tirs gris se rencontrent surtout sur des zones à drainage en grand déficient alors que les tirs noirs ou marrons se répartissent sur toutes topographies ; le dernier type de Tirs subissant une phase phycopédique plus courte que les deux premiers -

Le drainage en grand ou en "petit" - percolation des eaux météoriques constitue une des conditions nécessaire mais non suffisante de la coloration des Tirs et des sols tirsifiés : celle-ci résulterait probablement de l'interaction de plusieurs processus pédogénétiques d'intensités variables dont l'hydrogenèse ou processus d'oxydo-réduction, l'humification - répartition de l'humus dans le sol et modes de liaisons argile-humate ou argile humus et cations et le mode de répartition des "mycelium" d'humus dans les espaces interfoliaires des argiles du type Moutmorillonite " (+) - et l'altération des roches mères - (alluvions, roches basiques ou neutres ; pellites...), la rubéfaction antérieure à la tirsification (ou processus de surimposition des caractères de sols rouges aux caractères des tirs ; l'héritage lithochrome de quelques Tirs sur Trias

- D'où trois principaux types de Tirs { Gris - Noirs-marrons  
Pellusterts Chromo-xérents

dont les sous-groupes observés portent sur l'intensité des phénomènes d'hydromorphie - Tirs et sols tirsifiés hydromorphes ou très hydromorphes - tirs-merzag - ou sur l'individualisation et/ou l'accumulation du calcaire : Tirs et sols tirsifiés décarbonatés calcaires, ou à croûte calcaire.

#### Les Séries

a) Tirs très peu profond (P / 30cm) peu ou moyennement profond (P 30 / P / 50cm et Tirs profond P 50cm.

b) Tirs des plateaux, des dépressions ou daiyas, Tirs, des côteaux, des versants ...

c) Tirs à croûte rubanée, localisée, discontinue, continue... etc.

#### Les familles de Tirs

- Roches basiques ou neutres

.../...

NB La structure grenue sur les 15 cm supérieurs de quelques tirs des versants ou "grumosols" ne s'observent que rarement et pendant la période de dessiccation des sols (période biologiquement sèche telle que P / 2T ...)  
En général, les tirs et les sols tirsifiés du Maroc ont une structure anguleuse ou massive sur la presque totalité de leur profil, et une structure à tendance polyédrique émoussée en surface (horizons Ap).-

( Classification des Tirs des Ziaïda (Essais de corrélation)

d'après : G.Aubert 1965 P. Duchaufour et CPSC (1967)

Propositions (§§)

7° Ap. (USA)

E.H. Del Villar

| (1)                                             | (2)                                  | (3)             | (4)                       |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Classe VERTISOL (et Paravertisols ?             | TIRS ET SOLS TIRSIFIVES              | VERTISOLS       | SOLS A REGIME             |
| sous-classes I Topomorphes on topolithomorphe   | I.A Régime hydro-aéropédique         | Aquerts         | HYDROPEDIQUE              |
| (A drainage externe nul ou réduit)              | ou à drainage externe réduit         | Usterts         | Type heterocy clique      |
| 2- LITHOMORPHE                                  |                                      |                 |                           |
| (A drainage externe possible)                   | 2.A Régime Aéro hydropédique         | Usterts         |                           |
|                                                 | ou à drainage externe possible       | Xererts         | Groupe Hypo- génique      |
| Groupes (1et2) Vertisols Grumosoliques          | Groupes I- TIRS GRIS                 | Pellus Stert    | Sol Hydrohy-              |
| communs (à Structure arrondie dur 15cm sup)     |                                      | tisol           | pogénique                 |
| Vertisols non Grumosoliques                     | 2- TIRS et Sols Tirsifiés noirs      |                 |                           |
| (à Structure anguleuse sur 15cm sup)            | 3- TIRS et Sols Tirsifiés marrons    | Chromic Xererts | Les tirs et               |
| Sous-groupes communs-sols vertiques (Paraverti- | 4- Intergrade Tirs- Merzag           | Pellus Usterts  | sols Tirs- fiés sur croû- |
| sol = groupe )                                  |                                      |                 | te Sols à                 |
| - modaux                                        | sous-groupes: 1.modaux, hydromorphes |                 | Cycle Calcai-             |
| - encroûtés                                     | 2.modaux, encroûtés, hydromor-       |                 | re Type hété-             |
| - hydromorphes                                  | 3.modaux, encroûtés,                 |                 | ro-calcaire               |
|                                                 | 4. "Tirs très hydromorphes-          |                 |                           |
|                                                 | Sols hydromorphes tirsif-            |                 |                           |
|                                                 | ifiés-                               |                 |                           |

(§) Les appellations de part le monde des Tirs sont très différentes: -Sols de Paluds (France), Vertisols (USA)- Smonitzas (Europe de Sud-EST) Sols argileux foncés (Afrique Equ.) Pellic ou Chromic Vertisol (Dudal -FAO) Terres noires- Tierras Nigras (Portugal)- Regurs (Inde...)

(§§) La notion de Tirs marrons regroupe les groupes de tirs bruns ou brun-rouges ou rougâtres

[§§] Classification d'après G.Aubert, termes Vernaculaires (Maroc), Del Villar et Bryssine-  
 (2) (Propositions)

### - III-II- LES VERTISOLS ( TIRS ET SOLS TIRSIFIES )

#### A- PROFILS TYPES/ Morphologies et cycles morphogénétiques

##### a- PROFIL N° SLI 48-

I- Facteurs de pédogénèse: (Conditions de formation).

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais. P = 490 m/m T = 18°C.

Roche-mère : Basalte Doléritique du Trias

Métériau originel : Produits de l'altération de roches carbonatées magnésiennes et apports "Villafranchiens".

Topographie :- Zone plane faiblement ondulée : P = I - 2%  
- Drainage "en grand" très faible.

Végétation:actuelle : Culture de céréales (Blé dur) et de légumineuses (Pois, lentilles)

fossile (?) Chamaeropaie (pseudo-sleppe)

Géomorphologie : Surface fini-villafranchienne

Erosion : nule

Surface du sol : fentes et grumeaux -(Surface plane absence de Gilgai - de billons)

Edifice biologique : quelques fourmillères -

Coordonnées Lambert : X = 341,250 T = 325,450 Z = 308m

Lieu-dit : Bled El Moua des Oulad Yahya des ZIAIDA du Sud-Ouest de Ben Slimane

#### MORPHOLOGIE :

De 0 à 10 cm : Horizon noir - 10 YR 3/I - argileux, humifère, non calcaire. La matière organique est bien décomposée, bien liée à la matière minérale (Humus du type : <sup>o</sup>Anmor) - La Structure est polyédrique grosse émoussée à tendance motteuse (Etat sec) ou massive (Etat humide) Les racines et les radicelles sont nombreuses. Forte cohésion et forte consistance. Présence de galets roulés, de nombreux grains de quartz émoussés roses et yalins, et de calcédoine rose - Transition progressive.

*Mull calcaire*

De 10 à 60 cm: Horizon noir - 10 YR 3/I - argileux humifère non calcaire. (~~Humus du type anmor~~). La macro-structure est prismatico-cubique (à l'état sec), massive ou "Fondue/massive ( ) à l'état humide. La microstructure est polyédrique large (Granulaire à grains argileux) De larges fentes "de retrait" délimitent verticalement des prismes et horizontalement un réseau de fentes hexagonal plan. La compacité, la cohésion et la consistance sont très fortes. La porosité faible. Les faces de glissements ou "Slikenslides" sont très étendues, ondulées et inclinées. Tâches verdâtres de chlorite altérée (Séladonite), galets roulés quartzeux et calcédoine rose, le tout noyés dans la masse argilo-humifère noire. Débris de déjections animales "Crotovinas". A l'état humide, l'argile "foncée" est plastique et très collante. La limite est très progressive.

*à humus "doux"  
Mull calcaire*

.../...

De 60 à 90 cm : Horizon noir analogue, gris-noirâtre à sa base. Les slikensides sont plus étendues, plus brillantes et moins inclinées (sub-horizontales) Les débris de chlorites sont plus abondants, les cailloux quartzeux moins nombreux.

Limite tranchée et/ou digestion de la matière organique

De 90 à 150 cm : Basalte doléritique en voie d'altération et calcaire tendre puis basalte doléritique moucheté de chlorite (Trias) - (Olivine ou chlorite)-

C Cycle morphologique - Morphogénèse du sol -

Observé en été, le profil présente une structure et une texture homogène : argile noire "lourde" et réseau de fentes hexagonal, dès la surface du sol à 70 au 80 cm. de profondeur (les fentes sont relativement peu larges (1 à 2 cm). En surface, les mottes argileuses se divisent en petits agrégats de structure polyédrique grosse émoussée (Grumeaux peu développés).

Pendant les saisons des pluies - Automne - hiver - Les fentes disparaissent : la structure est alors massive à tendance "Fondue" : Le sol foisonne.

Ce foisonnement se produit dès les premières pluies printanières, après l'humidification des sols. Ils résulteraient de "l'augmentation du volume des mottes qui s'effritent en grains argileux individualisés et agglomérés entre eux, et non directement au gonflement des particules argileuses" (Le gonflement des argiles étant dû à un accroissement des distances entre les feuillettes des argiles du type montmorillonite de 15,5 Å à 17,7 Å (26) - Pendant les saisons sèches (été), le phénomène inverse se produit et les fentes réapparaissent dans le sol : c'est le phénomène de retrait.

Le foisonnement et le retrait expriment l'augmentation et la diminution du volume (ou de la longueur) des mottes par rapport à leur volume initial ; ces deux processus sont liés au taux de l'eau capillaire dans les sols très argileux dont "le comportement serait analogue aux sols à texture grossière sableuse constitués de grains argileux (26) Du point de vue quantitatif, le phénomène de changement du volume des mottes (foisonnement et retrait) serait lié à la structure "particulière" des tirs (Vertisols) et (quantitativement à la nature des argiles. D'où l'analogie faite par l'auteur entre les Tirs et les "sols sableux humifères gras" des zones interdunaires", cependant si les bases de comparaison sont séduisantes, notamment les régimes hydriques (du type aérohydropédique) les deux types de sol, nombres de leurs caractères morphologiques et analytiques les différencient, dont toutes leurs propriétés physiques

.../...

et chimiques qui découlent de la "nature" même des grains argileux pour les tirs et des grains sableux pour les sols interdunaires.- (+)

Dans le cas des tirs, le foisonnement, le retrait et les glissement qui s'exercent entre les masses minérales entraînent une homogénéisation du sol tant du point de vue texturale que structural (V. analyses) sans qu'il y ait nécessairement des "phénomènes de retournement dans le sol (Ethymologiquement Vertisol vient du grec verto : je tourne (48) Si les tirs montrent une homogénéité texturale portant notamment sur l'égale répartition des teneurs en argile ; ils présentent souvent un gradient de matières organiques, un C/N décroissant en profondeur, un gradient calcaire et une relative augmentation des cations métalliques en profondeur : d'où le retournement" des Tirs des Ziadas seraient d'intensité très faible ou nulle -

La décomposition des matières organiques fraîches en humus stable et bien lié à la matière minérale est assez poussée alors que la minéralisation est moyenne - Il semble qu'il y ait une liaison entre ces processus et la succession des phases de dessiccations et d'humidifications des sols - succession de phase aérobiotique et de phase anaérobioses - Régime hydrique du sol du type hydro-aéropédique qui engendrerait la formation de l'humus du type Anmor. Le régime hydrique (voir profils hydriques des tirs) conditionne l'activité de la mésofaune et de la microflore et indirectement les cycles du carbone et de l'azote dans le sol tel que l'activité microbiologique globale atteint son maximum en période des pluies et son minimum en période de sécheresse, ce qui correspondrait aux intensités optimales d'humification et de minéralisation de l'anmor ou à sa stabilité - Celle-ci serait favorisée par la richesse du sol en alcalino-terreux (voir résultats analytiques) qui interviendraient dans les liaisons entre les humus et l'argile du type montmorillonite "ainsi que dans la formation ciment des agrégats par floculation des colloïdes et la cimentation par ces colloïdes floculés (34) La richesse des tirs en alcalino-terreux est due à une forte altération des basaltes doléritiques du trias. Cette altération des basaltes doléritique donne lieu à "une continuelle néoformation de montmorillonite au dépens des minéraux du basalte : plagioclase, augite et olivine, ce dernier minéral fait apparaître des produits intermédiaires instables : La Séladonite, la Chlorite et la Vermiculite " (35) - Les conditions de Drainage externe ou "en grand" étant très mauvaise, la kaolinite et l'ilite sont absentes des produits d'altération des basaltes-/-

En résumé, la morphogenèse des "sols argileux foncés" ou Tirs s'aurait déterminée par un climat contrasté qui se caractérise par la succession de périodes humides et fraîches et de périodes sèches et chaudes, par la nature des roches-mères basiques dont les produits d'altération enrichissent le

.../...

+ in Monographie pédologique des Zaërs (en cours)

sol en minéraux argileux du type montmorillonite et en alcalino-terreux, par un régime hydrique du type aérohydropédique qui se traduit par une courte période d'engorgement du sol mal drainé (ou phase anaérobiotique) et une longue période sèche (ou phase aérobiotique) - ces phases conditionnant l'activité biologique globale et les processus d'humification et de minéralisation des humus-, et <sup>sol</sup> par une longue décomposition des matières organiques fraîches qui proviendraient d'une strate ligneuse ou ~~arborescente~~ fossile (steppisation). La couleur noire des sols serait due non seulement à la richesse du sol en matières organiques sur l'ensemble du profil, mais probablement à des "formes de liaison particulières des complexes argilo-humiques" et aux modes de répartition de l'humus sur les surfaces internes et externes des minéraux, argileux.

st steppique

#### Classification (s)

VERTISOL TOPOLITHOMORPHE NON (ou peu) GRUMOSOLIQUE MODAL sur basalte dol. (AUBERT G. 1965)

VERTISOL à drainage externe réduit, à structure anguleuse sur les 15 cm supérieurs, Modal (CCS-Grignon 1963-67)

Proposition TIRS ( ou à régime aérohydropédique  
( à drainage externe réduit  
( Noir, modal sur Basalte dol.  
(Trias).

Série : Tirs noir moyennement profond des plateaux

Phase : cultivé (céréales légumineuses)-

Au niveau des groupes il apparaît que pour les tirs des Ziaidas, la couleur traduit mieux que la structure de surface, les conditions de drainage externe des sols et l'intensité des processus de dessiccation et d'humidification des sols - Par ailleurs Les grumosols ne couvrent que de faibles superficies, notamment sur les versants bien drainés, les grumosols de ces versants étant généralement de couleur noire. (V. : la classification des tirs).

=====

#### b - PROFIL N° SLI 23 -

##### facteurs de pédogenèse :

Climat : Méditerranéen Semi-Aride à hiver frais ou Xérothermique atténué, P = 490 mm, T = 18° C.

Roche-mère : Basalte doléritique du Trias (et apports "Villafranchien")

Topographie : Zone ondulée et versants de pente moyenne P = 4/6% et 8-10%.

.../...

Végétation : actuelle : Cultures : céréales :  
(Blé dur) et légumineuses (Pois,  
haricots et lentilles)  
fossile : pseudo steppe à base de  
Tirza et de chamaerops?

Géomorphologie : 1) Plateau largement ondulé  
2) Versant exposé Nord-Ouest  
(de l'Oued Dir et Sefrou)

Drainage externe : Bon à moyen

Erosion : forte sur le versant. "Ravins ou Rills")

Surface du sol : Grumeux bien développée et four-  
millères

Coordonnées Lambert : X = 338,00 Y = 329,20 Z =  
246 m Lieu - dit Oulad Bio-  
dh des Moualine Louta -  
ZIAIDA (Au Sud de Ben Slimane)

MORPHOLOGIE :

A De 0 à 20 cm : Horizon gris-  
noir - 5 YR 3/I humifère, argileux non calcaire. La micro-  
structure est grumeleuse moyenne et grosse, la macro-  
structure mottière. La cohésion est forte, la compacité  
moyenne à forte. A l'état sec, les réseaux de fente hexa-  
gonale plan est bien développé (fente de 1 - 2,5 cm  
de Ø).

En la surface, quelques  
galets quartzeux, du quartz carié et de la calcédoine ro-  
se ainsi que des grumeaux individualisés (mottes des  
grumosols à structure grenue) les racines et radicelles  
sont nombreuses.- La Transition est progressive.

A<sub>12</sub> De 20 à 60 cm : Horizon  
noir - 5 YR 3/2, argileux, humifère, non calcaire. A  
l'état sec, la macro-structure est prismatique, la mi-  
cro-structure polyédrique émoussée. A l'état humide  
la microstructure n'est pas bien développée, la macro-  
structure est massive. La compacité, la cohésion et la  
consistance du sol sont très fortes quand le sol est  
sec. A l'état humide, l'argile est plastique et collante.  
L'enracinement est réduit à un chevelu racinaire peu  
dense.-

De nombreux grains de quartz  
rose au yalins sont noyés dans la masse noire argileu-  
ses. Présence de galets roulés quartzeux et de quartz  
carié, de calcédoine rose et de rares tâches calcaires

En période de dessiccation du  
sol, les faces lisses - "Slikensides" sont bien dévelo-  
ppées et d'étendue moyenne. - limite progressive.

A.-C De 60 à 80 cm : horizon  
grisâtre foncé, argileux humifère, calcaire. La struc-  
ture est massive. limite-nette.

.../...

C. De 80 à 140 cm : basalte en voie d'altération, entouré de calcaire secondaire friable.

### Cycles morphogénétique

Le cycle morphogénétique de ce sol est analogue au celui du profil décrit précédemment, et se caractérise par la succession de périodes sèches et chaudes et de périodes humides et tempérées.

La décomposition des matières organiques et l'altération du basalte doléritique sont identiques, cependant les conditions de drainage externe sont différentes. ~~Donc~~, le régime hydrique du sol étant essentiellement aéropédique (Phase anaérobique très courte), la dessiccation du sol est plus poussée en surface. Cette dessiccation brutale de l'horizon de surface serait à l'origine de la structure grenue (Grumosol) que l'on n'observe pas dans les vertisols ~~mais~~ *à drainage externe possible*.

Par analogie au profil SLI 48, - altération du basalte et néoformation de montmorillonite, homogénéisation du profil, - le sol se serait formé sur place ; mais il aurait été remanié, et plus enrichi en éléments allochtones : galets rous quartzes et satinés, nombreux grains de quartz dans la masse terreuse noire et enfin forte individualisation du calcaire en profondeur qui ne s'observe que rarement dans les tirs sur basalte du plateau des Ziaida.

Notons d'autre part que sur les versants, la structure grenue de surface est mieux développée et les vertisols ont tous les caractères des "grumosols") Leur limite en profondeur est très discontinue : limite en langue - ou digitation de l'horizon A pénétrant dans l'horizon C°

### Classification

- 1) VERTISOL LITHOMORPHE GRUMMOSOLIQUE modal sur basalte doléritique - (G. Aubert : 1965);
- 2) VERTISOL à drainage externe possible à structure arrondie sur au moins les 15 cm supérieurs modal (1967 commission de la cartographie des sols Grignon France)

#### 3) Proposition

Vertisol à Régime Aérohydropédique à drainage externe possible : Noir - modal sur basalte doléritique altéré

Série/ Tirs noir des versants (Grumosol noir "remanié")

facies : individualisation du calcaire en profondeur phase : cultivé

.../...

N.B. - Les profils SLI 48 et SLI 23 sont des profils type de TIRS NOIR sur basalte doléritique du trias. La classification utilisée fait apparaître au niveau du groupe, la couleur du tirs qui traduit mieux que la structure de surface, l'action directe des phénomènes d'humidification et de dessiccation des vertisols (ou tirs) soit leur régime hydrique, et indirectement la nature de la roche-mère ou du matériau originel qui leur ont donné naissance ainsi que le type de matières organiques et le taux d'humification ou degré de décomposition des matières organiques des vertisols (V. Caractéristiques chimiques et répartition de l'humus - (V. analyses).)

-----

### C. EXEMPLE 3.

#### -PROFIL N° SLI 12-

#### Facteurs de pédogénèse :

|                            |                                                                                                                          |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Climat</u>              | : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérothermique atténué (P = 390 m/m T = 18°C).                                |
| <u>Roche-mère</u>          | : Grès-calcaire dur imperméable (Moghrébien).                                                                            |
| <u>Matériau Originel</u>   | : Complexe de grès calcaire altéré et d'apport sableoalimoneux (Villafranchien probable).                                |
| <u>Végétation</u>          | : Erme hygrophile (Strate herbacée inférieure).                                                                          |
| <u>Topographie</u>         | : Dépression : drainage en grand très réduit.                                                                            |
| <u>Géomorphologie</u>      | : Daiyas ou dépression temporairement inondées du plateau de Ben Slimane.                                                |
| <u>Erosion</u>             | : Faible.                                                                                                                |
| <u>Action anthropique</u>  | : Drainage partiel (réduit).                                                                                             |
| <u>Coordonnées Lambert</u> | : X = 33400 - Y = 336,350 - Z = 240 m.                                                                                   |
| <u>Lieu dit</u>            | : Daiya "des campagnes des Chargeurs Marocains" des Oulad Taled, Moualine Louta Ziaida ( au Nord -Ouest de Ben Slimane). |

#### MORPHOLOGIE :

A11 De 0 à 10 cm: Horizon gris-noir très foncé - 2,5 YR 3/0 - Humifère argileux non calcaire. La structure est polyédrique grosse émoussée, la compacité et la cohésion sont fortes. Etat sec. Présence de pisolites (0,5 à 1 cm de diamètre) de nombreux grains de quartz noyés dans la masse argileuse foncée. Les racines et radicelles sont nombreuses et bien développées - Transition progressive.

.../...

A12 De 10 à 35 cm : Horizon noir très argileux humifère non calcaire dans "sa masse". 2,5 YR 3/0. La macro-structure est massive (état humide) et prismatico-cubique (état sec) délimitée par des fentes de "retrait" de faible diamètre.

Les faces lisses de glissements sont de faibles étendues, brillantes et faiblement inclinées par rapport à l'horizontal.

L'argile est plastique et collante quand le sol foisonne. Le réseau de fentes polygonal "~~estivale~~" n'est pas bien développé (fentes de faibles diamètres, mailles de diamètre moyen).

Les pisolites et les grains de quartz sont très nombreux, les racines rares. Présence de débris de coquilles de grès calcaire fortement altéré en "pseudonodule" (la transition est assez nette).

A-Cca de 38 à 60 cm : Horizon noir argileux, peu humifère (pénétration de la matière organique diffuse dans l'horizon AC, calcaire ; (Niveau d'individualisation et d'accumulation calcaire sous-forme d'amas pulvérulents, de modules calcaires et de pseudo-mycellium.

- R - Cca De 60 à 70 cm : grès calcaire altéré et calcaire secondaire.  
 R - De 70 à 120 cm : Calcaire "marneux" jaune beige  
 à 120 cm : Nappe temporaire "hivernale".

### CYCLE MORPHOGENETIQUE

En été, la nappe temporaire est profonde et se situe au dessous du niveau d'altération des grès. elle remonte jusqu'en surface du sol dès les premières pluies automnales, puis toute la surface de la Daiya est inondée en hiver, cette période - ou phase anérobique du sol - dure trois mois environ. Elle conditionne :

19 les migrations du fer individualisé et des carbonates de chaux en milieu relativement riche en gaz carbonique,

29 le foisonnement du sol,

39 la décomposition des matières organiques fraîches particulièrement assez importantes sous la strate herbacée hygrophile,

49 l'altération du grès calcaire et la néo-formation de minéraux argileux du type montmorillonite - argile gonflante.

Le sol n'est pas lessivé en argile, ceci étant probablement du à la stabilité des complexes argilo-humiques (Argile - Humus Ca ou Fe) : l'humus étant du type amorphe calcique stable, faiblement décomposé par les micro-organismes. Quand le sol se dessèche, l'argile devient moins plastique et moins collante, les mottes plus compactes et plus cohérentes. En été, la dessiccation du sol est très poussée en surface et le phénomène de retrait des argiles donne naissance aux fentes verticales et subverticales délimitant des prismes et un réseau de fentes polygonal plan.

La richesse du sol en grains de quartz serait due probablement à un écoulement latéral des sables et limons des plateaux schisteux et quartzitiques et au "comblement" des daiyas sans que le matériau original du sol soit comme le pensent quelques géomorphologues, uniquement allochtone.

L'encroûtement et les modules calcaires auraient ainsi une double origine. Ils résulteraient : de la décarbonatation des horizons supérieurs du sol parallèlement à la "dissolution Karstique des grès calcaires" liés aux régimes des daiyas sur roches basiques (voire : facteurs de pédogénèse, géologie), et des remontées d'eau chargées de carbonate de chaux au dépens de la nappe, (soit une origine hydro-hypogénique) et précipitations des carbonates au fur et à mesure de la dessiccation du sol (ou de la diminution de la tension en CO<sub>2</sub> de la phase acqueuse du sol au niveau de la frange d'évaporation de la nappe).

Les apports latéraux de calcaires ne peuvent être évoqués dans ce cas précis du fait que l'amont n'est pas calcaire et que les daiyas sont encaissées, dans le plateau Villafranchien essentiellement schisteux et quartzitiques.

Les pisolites (et autres formes d'accumulation du fer) auraient également une double origine.

Une origine allochtone ; écoulement et comblement des daiyas par la matrice limoneuse pisolitique.

Les deux cas sont possibles puisque d'une part la phase anaérobique assez prolongée "favoriserait" la mobilisation du fer alors que la dessiccation brutale du sol "entraînerait" son immobilisation en tâches, puis en pisolites et en concrétions ferri-manganeuses.

La richesse du sol en quartz et limons fins ne résulterait pas uniquement de l'altération du grès calcaire, mais du "comblement" des daiyas pendant les périodes humides.(Pluviaux)

La richesse du sol en débris de coquilles ferait penser au régime "lacustre" des daiyas pendant le dernier pluvial, régime qui lierait toutes les daiyas des Mouline Louta du plateau du Sud-Est de Beni-Slimane, dit "Plateau des Daiyas" : le sol se serait alors formé sur un matériau complexe et sa genèse aurait été dominée tantôt par des

Processus d'hydromorphie, tantôt par les processus de tirsification (ou vertisolisation) pour atteindre un équilibre "actuel métastable" dominé essentiellement par la tirsification

1°) VERTISOL ET PATAVERTISOLS : Topolithomorphe non grumosolique modal sur grès calcaire.

/ argileuse 2°) VERTISOL : à Drainage externe réduit, à structure/sur les 15 cm supérieurs : Sol Vertique (ou vertisol à caractère vertique moyennement accentué.

3°) Proposition : VERTISOL et limons à drainage externe réduit (à Régime hydro-acropédique (Tirs et sol tirsifié) (sol VERTIQUE S/g (modal) Noir modal sur calcaire marneux / grès calcaire./ et limons/.

Série : sol tirsifié noir remanié des dépressions

facies : hydromorphe, avec individualisation et accumulation du calcaire

phase : "prairie temporaire" naturelle/.

====+

D.- EXEMPLE 4 :

- PROFIL N° SLI 17 -
- FACTEURS DE PEDOGENESE :
- CLIMAT : Méditerranéen semi-aride à hiver frais.
- ROCHE-MERE : Complexe de calcaire - Marneux, schistes (calcaire lacustre?) et Basalte dol.
- TOPOGRAPHIE : Zone plane : (pente nulle) : drainage externe et interne nul. .
- VEGETATION : Erbe hygrophile (Prairie temporaire naturelle).
- Géomorphologie : Daiyas : dépression temporairement inondée, en périphérie des skhours
- SURFACE DU SOL : microrelief plat avec Drains "sans exutoirs -?-

Coordonnées Lambert : X = 341,100, Y = 333,200  
Z = 268 m. lieu dit Daiyas  
El Jemamra des Oulad Ben-Slimane - ZIAIDA

- MORPHOLOGIE

.../...

A<sub>II</sub> De 12 cm : Horizon noir -  
7,5 YR 3/0 - Humifère, argileux non calcaire. La macro-structure est polyédrique grosse à tendance motteuse. La compacité et la cohésion sont fortes, (A l'état sec), réseau de fentes hexagonales plan avec des fentes de 0,5 cm d'envergure. De rares pisolites (accumulations ferrimanganiques de diamètre inférieur à 1 cm) Grains de quartz noyés dans la masse minérale. Les racines et les bulbes (d'asplodelus microcarpus) sont bien développés. La limite est progressive.

A<sub>I2</sub> De 12 à 30 cm : horizon noir -  
7,5 YR 3/0 - argileux humifère à structure prismaticocubique (Etat sec) ou "fondu - massive" (Etat humide). Les fentes "de retrait" sont assez profondes mais de faible diamètre. Les faces de glissement - Slikensides - sont d'étendues moyenne à faible, brillantes et faiblement inclinées par rapport à l'horizontale ; la compacité et la cohésion sont fortes quand le sol est sec, l'argile devient collante et plastique à l'état humide.

L'horizon n'est pas calcaire dans "sa masse", mais présence de calcaire sous-formes de tâches calcaires tendres ou "White-eyes". Les grains de quartz sont nombreux, les pisolites faiblement développées. Présence de "Croton" sur l'ensemble du profil : forme activité des vers de terre - lumbricus terrestris) d'où la sous-structure "construite" ou faunique du sol. L'enracinement est peu profond. De rares galets roulés quartzeux et satinés.

ACa De 32 à 48 cm : Horizon noir  
argileux humifère compact cohérent à structure massive analogue au précédent, mais plus riche en tâches calcaires. La limite est tranchée.

C-R Ca à plus de 48 cm : Schistes et calcaire-marneux en voie d'altération. et tâches de basalte doléritique.

#### MORPHOLOGIES : Cycle

En été le profil est de texture et structure homogène et présente des fentes peu développées le profil calcaire étant bien différencié. La compacité et la cohésion sont très fortes. Le profil "non rafraîchi" présente une structure écaillée de surface. En automne après les premières pluies, le sol foisonne. En hiver tout le profil est inondé ; la phase anaérobique peut durer trois mois selon l'intensité des pluies hivernales. Il en résulte une "mobilisation" du fer qui migre et une solubilisation poussée du calcaire (solubilité des carbonates de chaux étant liée à la tension gaz carbonique de la phase aqueuse du sol).

Quand le sol se dessèche les phénomènes de "retrait" succèdent au foisonnement du sol. La succession du phénomène dans le temps entraîne l'immobilisation du fer sous-forme de tâches de pisolites, et l'individualisation puis l'accumulation du calcaire

.../...

sous-forme de tâches "pulvérulentes" ou "Whiety eyes :

La matériau originel complexe  
résulterait

- a) de la dissolution "Karstique" et de la néoformation de minéraux argileux (type Montmorillonite) au dépens des calcaires "silicieux" néogène ou des minéraux des basaltes et des schistes, ainsi que
- b) du comblement des diaclasas : apports de limons pisolithiques aux périodes humides (pluviales)

#### CLASSIFICATION

Ce sol se distingue des profils SLI 48 et SLI 23 par son site topographique, par la nature de la roche-mère et enfin par la durée plus longue de la phase anaérobique du sol.

Les caractères communs : sont la couleur foncée (noir) du sol la texture homogène, la compacité (et la cohésion forte, la richesse d'un sol en argile du type Montmorillonite.

#### CLASSIFICATION

1°) VERTISOL TOPOLITHOMORPHE Non grumosolique (G. Aubert 1965-66

2°) Vertisol à drainage externe nul ou Régime hydro-aéropédique à structure anguleuse (15 cm) Noir CSS) caractère vertique moyennement accentué.

Série : Sol tirsifié-faiblement encroûté et peu profond - des dépressions

Phase : Erme hygrophile

#### Exemple 5

##### e - PROFIL N° SLI 12

##### Facteurs de pédogenèse

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver-frais ou Xérotérique atténué. P = 490 mm  
T = 18°C.

Roche-mère : Basalte doléritique du trias

Matériau originel : Limon- sableux (Villafranchien) et basalte altéré et calcaire marneux (Pliocène)

Topographie : zone plane faiblement ondulée  
P = 1-2%

Végétation actuelle : Culture de céréales (Blé dur) et de légumineuses (pois - lentilles).

Fossile : pseudo-steppe à base de Doum (chamaerops humilis)

.../...

Géomorphologie : Plateau (Moghrebien marin) et Daiya  
(ou dépression temporairement  
inondée).

Drainage : en grand : très réduit.

Surface du sol : Sur-structure mottière (Ap)

Lieu-dit : Oulad El Ali des ZIAÏDA

Coordonnées Lambert : X = 331,400 = Y = 328,600 ;  
Z = 235 m.

### MORPHOLOGIE

A) De 0 à 20 cm : Horizon gris-  
noisâtre - 5 YR 3/I - Humifère argileux non calcaire.  
La macro-structure est massive (Etat humide) ou mottière  
(état sec), la micro-structure polyédrique grosse fai-  
blement développée.

La cohésion est bonne, la com-  
pacité est forte "sol sec" : Réseau de fentes qui, vue  
en plan, se rejoignent en un réseau polygonal dont les  
mailles ont un diamètre de 15 à 20 cm.

Les racines sont bien dévelop-  
pées sur les 15 premiers centimètres, présence de bulbes  
d'Asphodèles, de rares pisolites, de granules calcaires et  
de nombreux grains de quartz, - Transition progressive.

(A I2) De 20 à 60 cm : Horizon  
gris foncé - 10 YR 3/I - humifère, très argileux, non  
calcaire dans "sa masse". La macro-structure est pris-  
matique moyennement développée (Etat sec) ou massive  
à "fondue massive" à grains argileux" (Etat humide) :  
l'argile étant plastique et collante.

Quand le sol est très sec, des  
fentes sub-horizontales apparaissent et dilimitent  
avec les fentes verticales des prismes de 30 à 40 cm  
d'arrête. a- La base de l'horizon, les pisolites sont  
plus abondants et de plus grand diamètre (concrétions  
ferrugineuses) ainsi que les tâches de calcaires  
pulvérulents. Présence de quelques galets roulés  
quartzueux, de débris de coquilles, les grains de quartz  
sont très nombreux et noyés dans la masse argileuse -

La limite est nette

A- Cca De 60 à 75 cm : Horizon  
gris-beige, argileux humifère calcaire : pénétration  
diffuse de la matière organique. Les fentes de retrait  
s'estompent, les faces lisses sont peu étendues. En-  
croûtement nodulaire peu développée.

C- à plus de 75 cm : Basalte  
doléritique en voie d'altération et calcaire secon-  
daire (transition entre les basaltes du trias et les  
calcaires Moghebien-marins).

Cycle morphogénétique :

..../... ..

... ..

Deux périodes fondamentales : période sèche et chaude  
période humide "tempéré"

Conditionnent les processus de vertisolisation altération des roche-mères ou néo-formation de minéraux argileux du groupe de  $\mu$ , foisonnement et retrait, décarbonatation du sol - encroûtement nodulaire en profondeur, décomposition des matières organiques, individualisation des sesquioxides.

a) En période sèche, le sol est très compact, massif et présente un réseau de fentes polygonal plan. En période humide ou pluvieuse - le sol est "lourd" massif, homogène et "mal structure" structure tendance "granulaire ou boueuse", -

b) la succession des phases d'engorgement temporaire dans le sol entraîne :

1°) l'augmentation des volumes des agrégats et des colloïdes argileux (grains argileux entourés d'une pellicule d'eau, les feuillets des argiles (montmorillonite) ayant une distance D plus élevée) soit

#### le foisonnement du sol

2°) la solubilisation des carbonates de chaux qui migrent en profondeur : décarbonatation des horizons de surface (cette solubilisation des carbonates de chaux croît avec la pression en  $\text{CO}_2$  de la phase aqueuse du sol : celle-ci étant plus élevée en période hivernale du fait que l'activité microbologique global atteint son maximum (voir Microbiologie infime) cette action de solubilisation indirecte des carbonates par la micro-flore joue un rôle dominant, les conditions physico-chimiques (température, teneurs en sels rH, pH du sol etc..) étant par ailleurs favorables...

3°) La mobilisation du fer et son individualisation" (celle-ci étant faiblement développée au milieu calcique ou calcaire Néanmoins elle est réalisée en milieu calcaire quand le fer est sous forme de complexe ou de "chelat" avec les matières humiques et les argiles" ou d'après Réferberg quand le fer est complexe par l'acide oxalique. La décomposition des matières organiques est poussée alors que leur minéralisation est d'intensité moyenne l'humus étant stable en milieu riche en alcalino-terreux (calcium et magnésium essentiellement) et du type Anmor "calcique".

4°) -Le "fois des agrégats argileux et les pressions internes du sol homogénéisation texturale du sol .

5°) La succession des phases de dessiccation du sol qui peuvent être d'intensité et de durée variables selon le régime pluviométrique annuel entraîne :

.../...

1°) Une diminution des volumes des agrégats argileux et de la distance interfoliaire des argiles : c'est le phénomène de "retrait" des argiles "gonflantes".

2 ) Une deshydratation des sesquioxides de fer qui se pertisent et s'accumulent sous-forme de pisolites et de concrétions ferrugineuses -

3) La précipitation des carbonates de calcium- au niveau de la "frange d'évaporation de la nappe temporaire" et leur accumulation soit sous-forme de tâches pulvérulentes, soit sous-forme de nodules calcaires durs.

En conclusion :

... La succession des périodes d'humectation, d'engorgement du sol en profondeur et des périodes de dessiccation du sol donne lieu à une forte altération des matériaux originels (basalte doléritique calcaire et "matériau allochtone") une continuelle néoformation des argiles de type montmorillonite...

.... Le sol n'est pas lessivé en argile (argile calcaire "stable") ni appauvri 'drainage en grand faible...)

La succession de périodes sèches et de périodes humides oriente donc, en milieu riche en alcalino-terreux, la genèse du sol qui, dans ce cas, est dominée par les processus de tirsification (ou de vertisolisation). Notons l'importance de la période sèche et chaude et son rôle dans le cycle morphogénétique du sol : - le phénomène d'hydro-genèse du sol est d'intensité faible, la phase anaérobique - ou période d'anérobiose - étant de courte durée...

#### CLASSIFICATION :

1°) - VERTISOL et (PARAVERTISOL) TOPOLITHOMORPHE non (ou peu) grumosolique modal (Classification de G.Aubert - 1965 -66).

2°) - VERTISOL à drainage externe nul ou réduit, à structure anguleuse sur les 15 cm. supérieurs hydromorphes, sur basaltes et calcaire.

3°) - Proposition : VERTISOL (ou TIRS) à drainage externe réduit, Gris- Faiblement hydromorphe sur basalte et calcaire altérés :

Série: TIRS GRIS des plateaux tâches et modules calcaires et à pisolithes et concrétions.

Facies : encroûtement discontinu nodulaire peu développé et faible accumulation du fer

Phase : cultivé.

N.B. : Comme dans le cas des TIRS NOIRS la couleur du sol traduit mieux que la structure de surface l'intensité des processus pédogénétiques des

.../...

tirs (engorgement, humification "foisonnement" et "retrait" individualisation du calcaire ou des sesquioxides). et a été choisie comme principal critère de différenciation des tirs au niveau des groupes : d'autant plus que pour tous les vertisols des Ziaida et de ARAB Sud la structure de surface des sols est modifiée par les interventions agricole (Sur structure mottière sur plus de 20 cm, ou auto-division fine après les labours... Cependant, la structure grenue est mieux développée dans les horizons supérieurs des Tirs bien drainés sur basalte du trias - (Dessication brutale des horizons supérieurs par rapport aux horizons de profondeur et auto-division des agrégats en surface (mottes) sur les 8 à 10 cm supérieurs).

#### EXEMPLE 6

##### PROFIL N° SLI 27

##### - Facteurs de pédogenèse

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérothermique atténué - P = 490 mm, T = 18°C.

Roche-mère : Basalte doléritique du trias.

Matériau originel : Basalte altéré et apports "villafanchien"

Topographie : pente faible : 1 - 2% Drainage en grand réduit

Végétation : Actuelle : cultures de céréales et légumineuses

Géomorphologie : plateau faiblement ondulé "Moghrebien marin"

Erosion : nulle

Surface du sol : Microrelief "Gilgai peu accentué.

Coordonnée Lambert : X = 330,600, Y = 329,150  
Z = 226 m. Lieu-dit : OULAD BIODH des ZIAIDA".

#### MORPHOLOGIE

A de 0 à 5 à 8 cm : Horizon "Perturbé, finement dévisé<sup>p</sup> en petites mottes (agrégats polyédriques émoussés.)

A<sub>II</sub> De 8 à 20 cm : Horizon gris-olive (5 YR 3/1) argileux humifère, non calcaire : la structure est motteuse (se délite en agrégats polyédrique émoussé de diamètre moyen et en grumeaux (état sec) ou massive (état humide)

L'enracinement est faible. La compacité et la cohésion sont très fortes (sol sec)- Réseau de fentes verticales et Sud-Horizontales de faibles amplitude. Débris de coquilles - transition progressive.

.../...

A<sub>12</sub> De 20 à 50 cm : Horizon gris foncé - 5 YR 3/1) humifère, argileux, non calcaire. La structure est massive (la compacité et la cohésion sont fortes (état sec) la macro-structure est, en période de dessiccation du sol, prismatique-cubique, délimitée par des fentes verticales, qui, vues en plan, horizontal se rejoignent en un réseau de fentes polygonales dont les mailles ont un diamètres de 15 à 20 cm environ. La porosité est faible (porosité tubulaire) Quand le sol foisonne, la structure est "fondu-massive", l'argile est collante et plastique.

Quand le sol est complètement sec, la structure de surface (surstructure) est écaillieuse. Les faces de glissement - Slikensides - sont d'étendue moyenne, brillantes et peu inclinées par rapport à l'horizontale.

Présence dans la masse argileuse, de nombreux grains de quartz (rose et yalins), des galets roulés, et des quartz cariés et de rares pisolites, de crotovines et très peu de radicelle. La transition est progressive.

A-Cca De 50 à 70 cm : horizon analogue, gris-clair- 10 YR 3/2 argileux peu humifère calcaire à sa base. -Calcaire individualisé sous-forme d'amas pulvérulents)- Absence de racines - quelques débris de coquillages, de nombreux grains de quartz, de la calcédoine rose. La limite est tranchée.

Cca De 70 à 120 cm et plus - Basalte doléritique fortement altéré, entouré de calcaire "secondaire" pulvérulent.

#### CYCLE MORPHOLOGIQUE :

été - automne : Profil à structure homogène, gris, très argileux très cohérent, à faces lisses et à fentes de retrait verticales et sub-horizontales

Printemps et hiver - Profil à structure fondu-massive, peu consistant, peu cohérent, argile, plastique.

D'où deux périodes : dessiccation et retrait (Eté et début Automne) foisonnement et gonflement des argiles (Hiver-Automne).

- Les phénomènes de réduction et d'individualisation des sesquioxydes sont faibles (alors que la décarbonation du sol est poussée) (Mais le sol n'est pas décalcifié). Les pressions internes qui s'exercent sur la masses minérale sont d'intensité relativement moyenne et ne donnent lieu qu'à des faces lisses peu étendues et peu inclinées - Le retrait des argiles est également peu intense et le fondillement du sol est relativement limité.

.../...

L'altération très poussée des basaltes doléritiques donne lieu à une néo-formation continue de montorillonite (argile gonflante), le sol étant enrichi en sables et limons (grains de quartz et galets roulés) d'où la double origine (autochtone)-et alloch-  
tons du matériau originel des sols - le régime hydrique du sol est du type hydro-aéropédique, il en résulte une décomposition lente des matières organiques en un humus stable (Anmor calcique-

#### CLASSIFICATION

1°) VERTISOL - et paravertisol) Topolithomorphe non grumosolique modal (G. Aubert 1965-66)

2°) VERTISOL - à drainage externe réduit -structure arrondie sur les "10<sup>cm</sup> sup.-Modal.

#### Proposition

Vertisol (ou TIRS et sols TIRSIFIES)- à drainage externe réduit GRIS - MODAL

Famille : basalte doléritique du trias et limons fins (Villafranchien).

Série : TIRS gris des plateaux, moyennement profond

phase : cultivé

#### EXEMPLE 6

- PROFIL N° SLI 86

#### FACTEURS DE PEDOGENESE

Climat : méditerranéen Semi-argile à hiver frais (ou Xéroctérique atténué)

Roche-mère et matériau originel : Grés calcaire dur et limons sableux .

Topographie faible pente : P = 1% pente Zone plane faiblement ondulées.

Végétation : Erbe hygrophile (strate herbacée inférieure : prairie temporaire)

Géomorphologie : Zone inter-dunaire : depression ou Daiya (doline) Erosion ; nulle  
Micro-relief" trous de crapeaux :

Coordonnées Lambert : X = 329,900 Y = 347,400  
Z = 105 m

Lieu-dit : Guelmane de Sud-Arab, à l'Est de l'Oued Arimène

#### MORPHOLOGIE :

A De 0 à 15 cm : Horizon gris  
10 YR 5/2 Humifère argileux, non calcaire, à structure mottuleuse compact, cohérent, consistant, transition progressive-

.../...

A<sub>I</sub> De 15 à 85 cm : Horizon olive- 10 YR 4/2 - humifère, argileux non calcaire, compact cohérent et à structure prismatique bien développée délimitée par des fentes de retrait verticales qui se rejoignent horizontalement en un réseau de fentes polygonales. Les fentes lisses- slickensides - sont d'étendues moyennes au sommet de l'horizon, puis très étendues à sa base, plus ondulées et inclinées par rapport à l'horizontale (ou gauchies) (sol à l'état sec)

A l'état humide, le sol foisonne : l'argile est collante et plastique la structure est fondu-massive à grains argileux (massive à tendance "boueuse") les fentes disparaissent et l'horizon a une structure homogène.

La matière organique est fortement liée à la matière minérale, bien décomposée (humus du type Annam - "calcique" réparti à "régulièrement" sur l'ensemble de l'horizon. L'enracinement est faible ; le chevelu racinaire est limitée à 50 cm. de profondeur A ce niveau, les pisolites et concrétions ferrugineuses sont plus nombreux mais leur diamètre moyen n'est que de l'ordre de 0,5 à 1 cm. (très peu de concrétions ou de rognons silico-ferri- manganiques)

A Cca - A la base de l'horizon le calcaire s'individualise sous forme d'amas pulvérulents.

La limite est tranchée

Cca R. A plus de 85 cm : calcaire gréseux altéré puis calcaire dur, imperméable.

#### Cycle morphologie

En automne, le sol foisonne après les premières pluies - le sol est dans son ensemble peu structuré (structure fondu-massive à grains argileux), homogène (texture argileuse, "lourde" - En hiver, le sol est entièrement inondé (Phase anaérobique de durée au plus égale à 2-3 mois) - Au fur et à mesure que le sol se dessèche, la compacité et la cohésion du sol augmentent, les fentes de retrait verticales puis sub-horizontales apparaissent ainsi que les faces de glissement. En été, la dessiccation est poussée, les fentes remontent jusqu'en surface du sol et se rejoignent horizontalement en un réseau polygonal dont les mailles ont de 15 à 20 cm de diamètre environ.

- La succession des périodes d'humidification de dessiccation du sol oriente la genèse du sol, le drainage "en grand" étant très réduit, et la phase d'anaérobiose assez prolongée, l'hydro-genèse s'équilibre avec les phénomènes de vertisolisation ou équilibre des processus du foisonnement et retrait et d'oxydo-réduction

#### Classification

.../...

1°) - VERTISOL (et Paravertisol) TOPOMORPHE, non |  
grumosolique super-hydromorphe (Aubert :  
1965-66)

2°) - VERTISOL à drainage externe réduit, à structu-  
re anguleuse sur les 15 cm. Superhydromorphe.

PROPOSITION : CLASSE : VERTISOL (TIRS et SOLS TIRSIFIES)

SOUS-CLASSE : à drainage externe réduit

GROUPE : Gris

SOUS-GROUPE : Hydromorphe

Famille : Calcaire et Schistes

serie : TIRS Gris à pisolites, des dépressions,  
profond

phase : Erme hygrophile

#### EXEMPLE 5

PROFIL N° SLI 44 :

Facteurs de pédogenèse

Climat : méditerranéen Semi-Aride à hiver frais ou Xé-  
rothérique atténué : P = 490 m/m - T = 18°C.

Roche-mère : Schistes (Ordovicien)

Matériau originel : Schistes altérés et épandage limo-  
no-sableux (Salétien).

Topographie : dépressions, pente nulle  
Drainage en grand et interne nul

Végétation : Erme hygrophile ( herbacée inférieure)  
et Reboisement d'Eucalyptus.

Géomorphologie : Daiya temporairement inondée

Erozion normale : "arélolaire"

actuelle : Nulle

micro-relief : en "trous de crabes"

Surface du sol : galets quartzeux satinés.

#### MORPHOLOGIE

A<sub>II</sub> De 0 à 17 cm : horizon limo-  
neux humifère, gris - 10 YR 5/1 très riche en pisoli-  
tes et en concrétions ferrugineuses; peu consistant,  
"battant". ( silico-fer-mangesifère) Discordance -  
ou Limite tranchée par une fente sub-horizontale entre  
A<sub>I</sub> et A<sub>II</sub>

A<sub>II</sub> De 17 à 83 cm : Horizon gris-  
olive 10 YR 5/1 - Humifère, argileux non calcaire. La  
structure est prismatique (état sce) limitée par des  
fentes" de retrait" (de 0,5 à 1 cm), et qui, vu en plan,  
se rejoignent en un réseau de fentes polygonales dont  
les mailles ont un diamètre de 10 à 15 cm. La compa-  
cité et la cohésion sont fortes, les faces de glisse-  
ments - Slikenslides-sont d'étendue moyenne et peu in-  
clinées par rapport à l'horizontale.

.../...

Présence de nombreux pisolites, des tâches calcaires à la base de l'horizon (White eyes) de nombreux grains de quartz roses ou yalins, faiblement émoussés, des galets satinés et des quartz cariés, des racines mortes et de déjections animales "Crotovinés"-

Quand le sol est humide, la structure de l'horizon est massive, l'argile est collante et plastique et la base de l'horizon est gris-clair avec des traînées filiformes de pseudo-gley.

la limite est nette.

A Cca. De 83 cm à 90 cm ; Horizon grisâtre, argileux calcaire peu humifère : pénétration des matières organiques sous-forme de traînées diffuses (languettes). Débris de schistes et amas de calcaires pulvulents.

A à plus de 90 cm : Schistes versicolores

#### CYCLE MORPHOLOGIE :

Le profil décrit ci-dessus présente une superposition de caractères morphologiques.

Le sol situé au centre d'une daïya s'est formé au dépens d'un matériau complexe qui est la résultante d'apport (salétien) et d'une con-tuelle néoformation d'argile (montmorillonite) au dépens des schistes et en calcaire - Les daïyas ou dollines sont des dépressions fermées ; constituées au salétien à l'intérieur d'un synclinal perché Villafranchien, par le démembrement d'un réseau phydrographique encombré de cailloux et liée à la phase régressive du climat salétien (climat très humide) (voire Chap. I les deux hypothèses sur l'origine du matériau originel du sol (auto-formation par altération et néoformation d'argiles du type montmorillonite au dépens des schistes ou allochtone par écoulement et comblement des dépressions, pendant la période régressive du climat salétien) sont complémentaires dans le cas du sol décrit qui montre une "discordance"- ou limite tranchée horizontale - entre les apports limoneux et les horizons argileux de profondeur.

La succession des périodes d'humectation, d'engorgement (voir d'anérobiose complétée) et de périodes de dessiccation totales du sol conditionne les processus de "foisonnement" "et de retrait" voire même d'oxydo-réduction des argiles ; ainsi que le phénomène d'hydrogenèse.

Nous avons donc un sol polyphasé et polygénique qui se caractérise par une intensité analogue des phénomènes d'hydro-genèse et de ver-tisolisation qui se traduisent par la superposition de plusieurs caractères morphologiques dont les principaux sont,

.../...

- Horizon de profondeur très argileux compact et massif, humifère et de couleur grisâtre ayant les mêmes propriétés que les horizons des tirs.

- Horizon de surface limoneux, riches en concrétions ferrugineuses, celle-ci étant également assez abondantes en profondeur.

- L'ensemble du profil est décarbonaté et le calcaire est moyennement individualisé en profondeur sous-forme d'amas pulvérulents.

#### CLASSIFICATION

1°) - VERTISOL et PARAVERTISOL Topomorphe non grumosolique-Super-hydromorphe (G.Aubert 1965-66).

2°) - VERTISOL à drainage externe nul, a structure anguleuse (?) : sol vertique hydromorphe

3°) - Proposition

CLASSE : VERTISOL ET SOLS VERTIQUES Groupe - sol vertique Gris - s/g : très hydromorphe

SOUS-CLASSE : à drainage externe nul ou réduit polygénique ou "polycyclique"

Famille : schistes et limons

Série : sol tirsifié gris des dépressions - polygénique et polyphasé-

Facies : concrétionné

Phase : Erme hygrophile reboisée.

#### EXEMPLE 6

##### PROFIL N° SLI 60

- Facteurs de pédogenèse

Climat : Méditerranéen semi-aride à hiver frais ou xérothérique atténué - P = 490 m/m,  
T = 18°C.

Roche-mère : grés calcaire - Moghrébien marin.

Topographie : Zone plane faiblement ondulée, pente de 1-2%

Végétation actuelle : culture de céréales et de légumineuses

Géomorphologie : plateau des Oualine Rharr (Ziaida) : ancienne surface d'érosion

Érosion : actuelle : nulle.

Surface du sol : larges fentes de retrait polygonale

Coordonnées Lambert : X = 345,600, Z = 325 m.

Lieu-dit Sidi Moussa des Oulad Ahmed (ZIAIDA)

#### MORPHOLOGIE

.../...

A De 0 à 8 cm : Horizon brun rougeâtre humifère argileux, non calcaire, à structure mottuleuse moyenne (faiblement grenue) ; auto-division ou "selfmulching"

La cohésion est moyenne, la compacité assez forte, la porosité moyenne.

Nombreuses racines et radicelles. Présence de galets quartzeux satinés, de quartz cariés et de nombreux grains de quartz.

A<sub>II</sub> De 8 à 30 cm : Horizon brun-rougeâtre très foncé (marron) 2,5 YR - 2/2 - argileux, humifère non calcaire dans la "masse, à structure prismatique (Etat sec) délimitée par des fentes de retrait verticales qui, vu en plan, se rejoignent en un réseau de fentes polygonal dont les mailles ont 20 à 25 cm de diamètre, et par des faces lisses inclinées par rapport à l'horizontal et d'étendue moyenne.

A l'état humide (capacité au champ), la structure est fondu-massive l'argile est collante et plastique.

Les racines et leurs radicelles sont peu nombreuses. Présence de nombreux grains de quartz, de galets satinés et de quartz cariés, A la base, l'horizon calcaire (individualisation du calcaire sous-forme d'amas pulvérulents - La limite est nette.

A Cca De 30 à 50 : limon calcaire, beige, tendre, pénétration diffuse de la matière organique puis calcaire dur saccharoïte (grés calcaire Moghré-bien marin).

#### Cycle Morphologique :

- Le sol décrit est situé à la limite des sols fersiallitiques (sol rouge méditerranéen) et des Vertisols gris ou noir sur grés calcaire ou sur basalte doléritique. Le drainage externe est relativement moins réduit que sur le plateau des tirs gris et ou/noirs et nettement plus faible que pour les sols rouges.

- En hiver, le sol n'est pas inondé comme dans le cas des sols des Daïya mais le sol foisonne (structure fondu-massive).

- En été, la dessiccation du sol donne lieu au "retrait" des argiles et au fondillement dur sol jusqu'à la surface. Le sol se rapproche des vertisols par ces principaux caractères morphologiques et s'en distingue par sa coloration marron qui est une "surrimposition du noir au rouge-

L'humus est du type Mull plutôt qu'anmor (vertisol)- Ils se distinguent également des sols iso-humiques par la décarbonatation poussée du sol (gradient de matière organique ou de calcaire non observable à l'oeil nu) et par sa texture argileuse (sur les 35 cm) du type montmorillonite et par la limite tranchée entre les horizons A et C. .../...

Il se rapproche des sols rouges par sa coloration rougeâtre foncée qui traduirait une certaine individualisation des sesquioxydes de fer.

- Le régime hydrique du sol aérohydropédique et se caractérise par une phase d'engorgement temporaire courte et par l'absence de phénomène d'hydro-genèse.

#### Classification

- I°) VERTISOL (et paravertisol) TOPOLITHOMORPHE, peu grumosolique modal
- 2°) Vertisol à drainage externe réduit - à structure arrondie sur les 10 cm (?) Supérieurs : Modal ou a caractère vertique moyennement accentué.

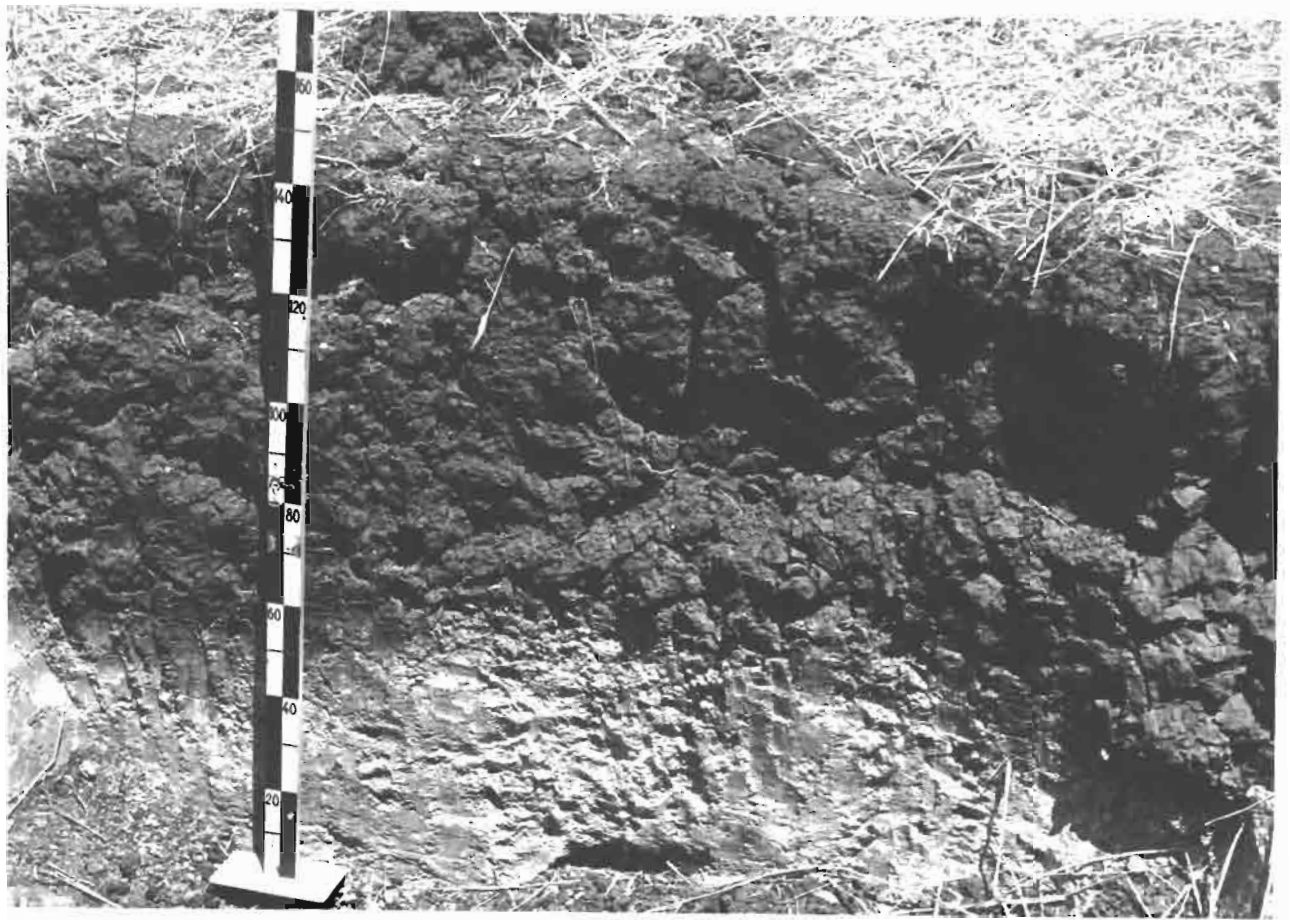
#### Proposition

TIRS ou VERTISOL (et sols vertiques) à drainage externe réduit Vertisol (ou Tirs) Marron sur grés calcaire-

Série : Tirs marron des plateaux moyennement et/ou peu profond

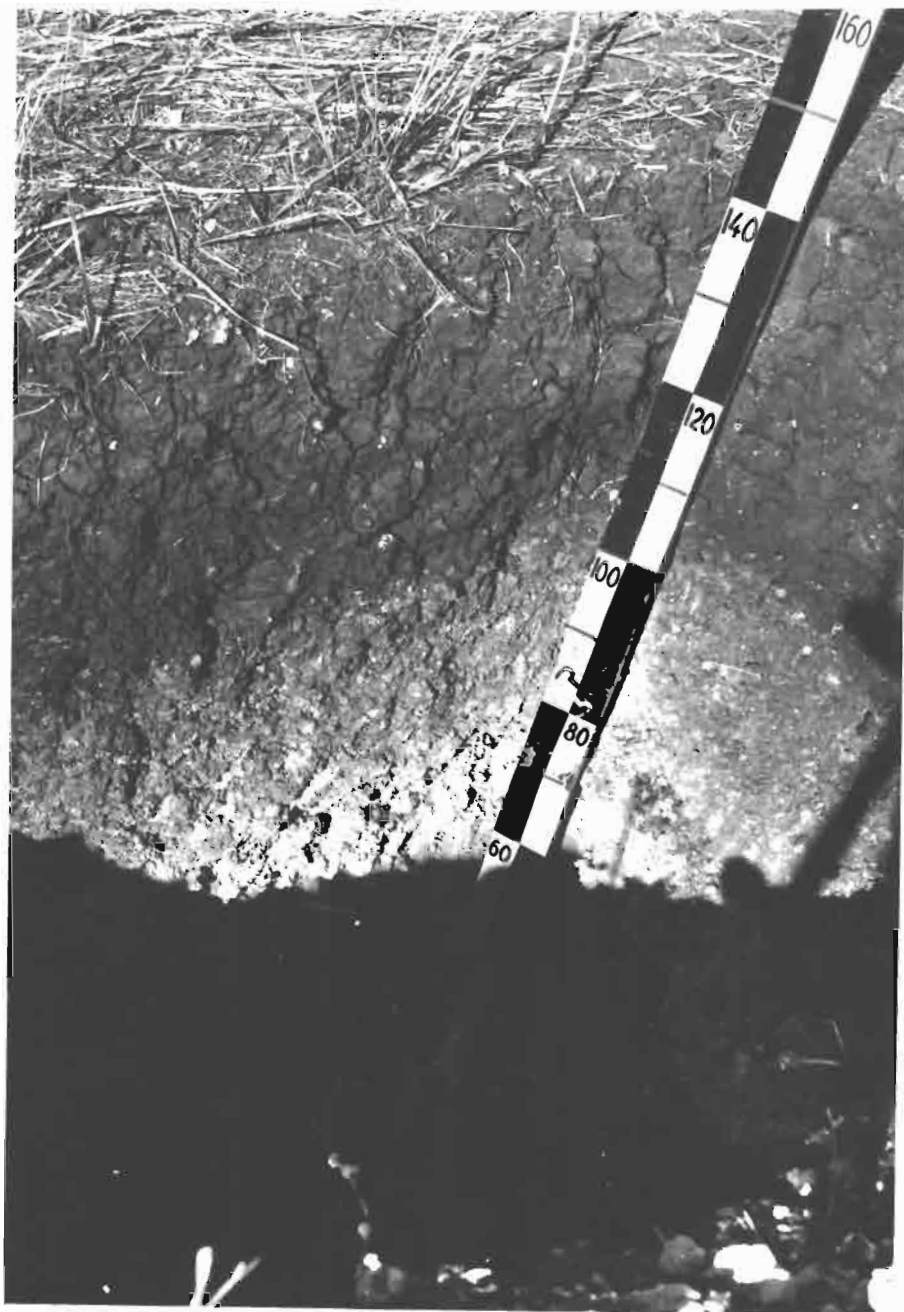
Facies : cultivé - dédoumé -

profil N° SLI 48 . Tirs Noir Modal  
(Vertissol Noir Modal sur:  
Basalte doleritique du tiras



cham  
A  
-  
C  
-  
R

Profil N° SLI I2 -. Sol Tirsifié noir sur  
(Vertisol à caractère vertique moyennement arraché  
sur grés - calcaire).

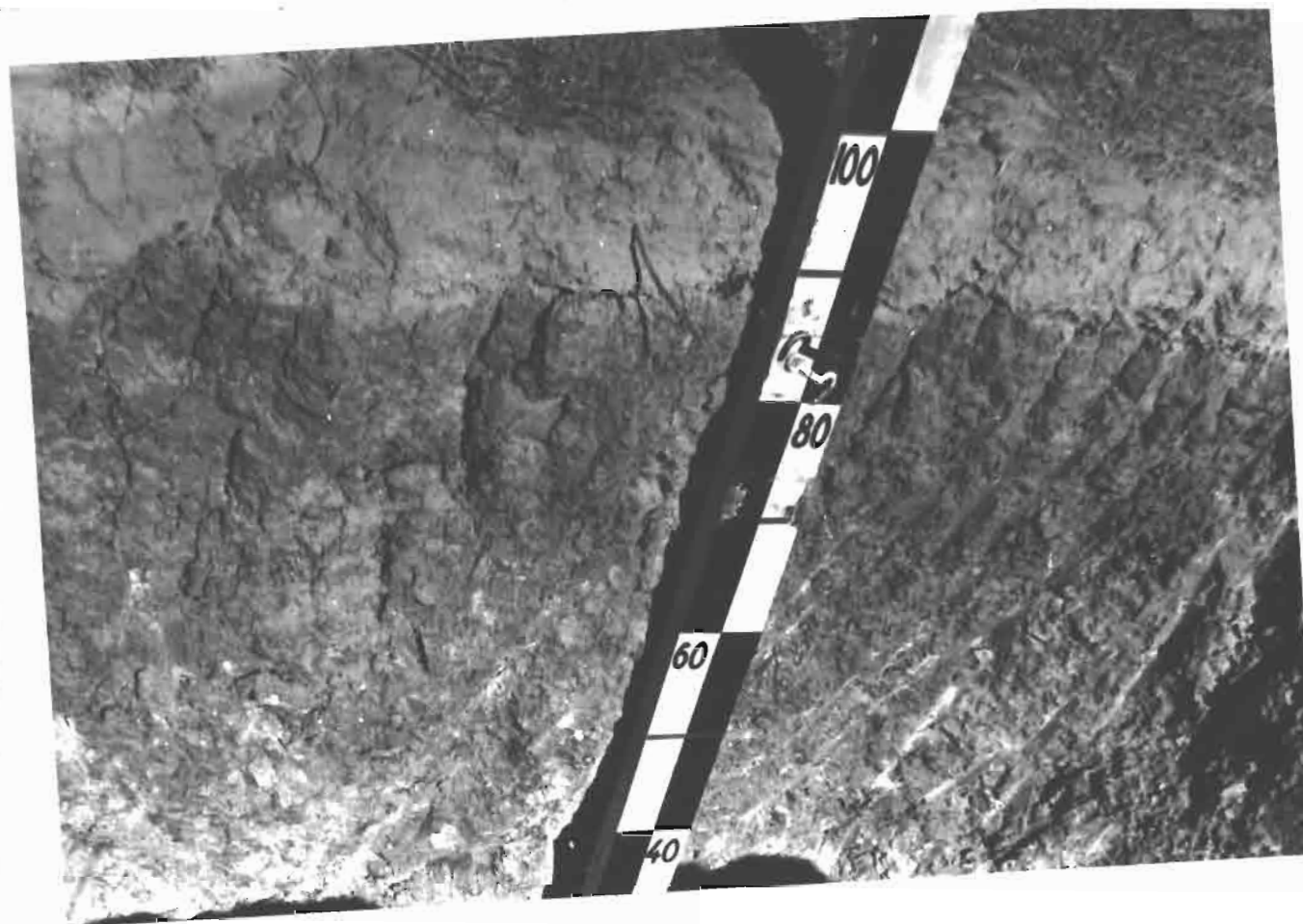


A

C-R

= = =

.../...



Profil N° SLI 44

Sol Polyphasé "polygénique"

I  
1  
Limon pisolithiques (selétien)

- Fautes Horizontales

Argile grise foncé et fenteur Verti- 1  
coles

II  
a

II<sub>b</sub> "White cycl" on amas calcaire pulverulent

Selistes -

R Intergrade TIRS - MERZAG

(ou Vertisol très hydromorphes-polyaychique)

- IV -

---

LES SOLS A SESQUIOXYDES DE FER

SOLS FERRIALLITIQUES ou "HAMRI"  
rouges et bruns méditerranéens

---

## LES SOLS A SESQUIOXYDES DE FER

Sols Ferrugineux, Sols Rouges et Brun Méditerranéens  
( HAMRI-Fersialitie-Sols )

--:--:--

### INTRODUCTION

Les Etudes ayant trait aux "Hamri" (I) du Maroc sont nombreuses et parallèles à celles des tirs. Nous aborderons la classe des sols à Sesquioxides de fer méditerranéens dans la même optique que précédemment pour les Tirs, en essayant de dégager les principaux critères morphologiques et analytiques (ou génétiques) des sols en vue de leur classification et de leur caractérisation agropédologique.

La diversité des sols dits "A sesquioxides" de fer "rend complexe leur regroupement en une unité, "entité, ou type" de sols définis par un ensemble de caractères communs. Cette diversité de sols "rubéfiés" découlent de la diversité de leurs roche-mères (et matériaux onginels) basiques, neutres voire même acides (2), de leur répartition géographique (zone côtière, montagneuses, plateaux, terrasses..) de leur histoire très longue et encore peu précisée.

Les données de ce chapitre sont partielles du fait qu'elles n'incluent pas toutes les données acquises et afférentes aux régions des Zaers (2) et ce, en vue seulement de mieux situer le problème de la classification et de synthèse des sols fersiallitiques (3), de la Méséta atlantique marocaine.

### SITUATION GEOGRAPHIQUE (Conditions de formation)

Au Sud et au S-Ouest de Ben Slimane-région des Ziaida - les sols rouges et bruns méditerranéens, occupent, du point de vue de leurs superficies, la seconde place juste après les Tirs. Ils évoluent en bordure des plateaux (anciennes surfaces d'érosion) sur des grès - calcaires et calcaires durs ( plyocène - Moghrébien). ou sur les versants des Oueds Cherrat et Nefifkh sur des schistes et des quartzites.

Au Nord et à l'Est de Ben-Slimane - Région de Sud-Arab. Les sol ferrugineux, les sols rouges et bruns méditerranéens se répartissent sur les "dunes consolidées" (moghrébien-quaternaire ancien) et ne subsistent que sous-forme de tâches sur les lapiez des hautes surfaces Villafranchiennes où évoluent essentiellement des sols hydromorphes (Harch. Merzag et MeKzaz) (v.p.l.)

Ces deux unités géographiques jouissent d'un climat méditerranéen, semi-aride "Xérothérique" qui se caractérise par la succession de périodes sèches (ou biologiquement sèches :  $P \ll 2T$ ) et de périodes pluvieuses et "tempérées".

La végétation naturelle a été fortement dégradée ; les sols rouges et bruns étant "actuellement des sols cultivés ou reboisés - Les sols sur schistes évoluent sous des callitriaies (Mattoral)

.../...

à base de thuya (*Tetraclinis callitris* ou *articulata*) ou de mélanges d'oléastres (*Olea-europea*) et de lentisques (*Fistascia lentiscus*) et à sous-bois constitués de TIZRA (*Rhus pentaphyllum*) de cytis (*Cytisus long ustifolius*) de lavande (*lavandula stœchas*). d'asphodèles (*Asphodélus microcarpus*), de doum ou palmier nain (*chamaerop humilis*)... etc, Les strates herbacées inférieures à base de graminées, sont bien développées sur les versants exposés au Nord et à l'Ouest (V. Chap. I).

La végétation naturelle sur sols rouges en jachère est représentée par des espèces acidiphiles dont le Rumex (*Bucephalophorus*) la ravenelle (*Raphanus Raphä*)... la végétation introduite est diverse : céréales, vignes, bois (*Eucalyptus*), Légumineuses, etc...)

Le drainage externe ou "en grand" des sols est bon à moyen et les sols rouges méditerranéens les plus typiques se rencontrent au sommet des dunes consolidées, à l'extrémité des bordures des plateaux, et sur les versants de vallée, à mi-pente des versants. En bordure des "dunes" les sols rouges évoluent en sols bruns méditerranéens et en sols rouges hydromorphes, désaturés ou "sols rouges polygéniques" ou encore "sols ferrugineux méditerranéens".

#### I MORPHOLOGIES ET PRINCIPALES CARACTERISTIQUES (VOIR DESCRIPTION DES PROFILS, TABLEAU DES RESULTATS D'ANALYSES ET GRAPHIQUES CI-APRES :

##### a) - PROFONDEUR :

La profondeur des sols à sesquioxydes de fer varient de quelques centimètres (sols rouges et bruns peu ou non lessivés) à plus de 2 mètres de profondeur : sols rouges-polygéniques très profonds. Ce dernier groupe de sols est considéré comme un "niveau villafranchien inférieur" et fut utilisé comme critère de base de différenciation entre les sols sialferriques et les sols hétérocalcaires (49) ou encore comme paleo-sol rouge "allochtone", les niveaux supérieurs sableux ou sableux-limoneux étant classifiés en sols "jeunes" (x) ou en sols lessivés (x) et sols rouges "podzoliques" (66).

Les sols rouges et bruns méditerranéens lessivés ont un horizon A d'épaisseur moyenne de 20 à 30 cm reposant sur un horizon Bs de 40 à 100 cm environ. Les sols rouges lessivés à caractères iso-humiques (ou steppiques ?) ont de 60 à 120 cm de profondeur (ou moins de 60 cm s'ils sont encroutés). Les sols rouges non lessivés ont un horizon A de 10 à 25 cm et un horizon (B<sub>t</sub>) ou (Bs) de moins de 50 cm d'épaisseur.

##### b) - STRUCTURE : (voir Morphologie des sols ci-après).

Les sols rouges et bruns méditerranéens sur grès-calcaire "dunaire" ou sur calcaire dur ont une structure polyédrique émoussée en surface, à tendance particulière quand ils sont très lessivés

---

(1) Hamri : terme vernaculaire analogue à "Terria rossa" terre rouge.

(2) voir : Sols à Sesquioxydes de fer : in Monographie, pédologique des Zaers.

(3) Terme le plus utilisé par les pédologues pour regrouper les sols rouges sur roches calcaires neutres ou basiques et notamment pour éviter la confusion entre "Sols rouges" et autres types de "sols:châtain-rouges, bruns-rouges, Rendzines rouges".

et ou appauvris, et une structure polyédrique fine à moyenne en B. La structure est massive (état humide) et prismatique à prismatocubique (état humide) délimitée par des fentes "de retrait" verticales et sub-horizontales qui, vues en plan, se rejoignent <sup>en</sup> un réseau de fentes polygonales dont les mailles ont de 15 à 20 cm de diamètre environ. Cette sur-structure est bien développée en profondeur des sols rouges et bruns "vertiques" ou "hydromorphes", sans que les fentes remontent jusqu'en surface des sols. Les faces lisses sont bien développées et gauchies.

Les sols rouges sur schistes (et/ou sur quartzites) du Primaire ont une structure grenue ou grumeleuse en A (sols sous matorrales) et polyédrique moyenne à grosse en (B) avec une sur-structure prismatique peu développée (état sec).

Les sols "ferrugineux" méditerranéens présentant en B une structure à tendance feuilletée "ou en plaquettes", (Niveau Vi inférieur rouge), et une structure monoparabolaire en A et A-B <sup>plus ou moins</sup> riches en concrétions ferrimanganesifères.. *ou massive*

### C. - TEXTURE :

Les coefficients de surface CS sont de l'ordre de 20 à 30 en surface (horizons limoneux ou limono-sableux) et de 30 à 80 en profondeur (horizon limono-sablo-argileux A-B, et limono-argileux ou argilo-limoneux B. (voir tableau d'analyses ci-après).

Les indices de lessivage sont peu significatifs, soit parce que leurs valeurs sont très élevées ( $Il \geq 10$ ) exprimant un "lessivage latéral" et/ou un colluvionnement des sols, soit que les teneurs en matières organiques sont assez élevées en A et limitent.

le lessivage vertical de l'argile (34) (cas des sols rouges à caractères isohumique).

Les sols fersiallitiques sont fortement décarbonatés (décalcariés) sur toute la totalité des profils, les teneurs en calcaires sont très faibles (moins de 3 % de calcaire total).

Les sols sont néanmoins calcaires (ou rocalcalcrifiés) sur des zones d'étendues réduites à BLED BESBAS (à l'Est de l'Oued Arimène) ou en bordure des plateaux (effervescence moyenne à brutale/100 I/10) Ces sols n'ont pas été analysés.

Dans les horizons <sup>du</sup> viaux A, les teneurs en argiles sont faibles, de l'ordre de 6-10 % les sables fins sont très abondants en A (40-50 %) de l'ordre de 20 à 30 %. Dans les horizons A-B et B<sub>c</sub>, les sables grossiers de 15 à 20 % en surface et de 4 à 10 % en profondeur.

Les sommes sables fines et sables grossiers des sols rouges lessivés (ou appauvris) sont très élevées, 50 à 80 % en A, et <sup>expliquent</sup> ~~d'ailleurs~~ ce que l'on a appelé "ensablement de surface" des sols. Les rapports  $\frac{S_f}{S_g}$  sont faibles en surfaces et varient dans de faible proportions dans le profil des sols rouges "interdunaires" et constants pour les autres types de sols. <sup>particuliers</sup> Cependant, ~~donc~~ quelle que fut l'intensité du "remaniement" et du colluvionnement des sols à sesquioxides de fer pendant les périodes pluviales, l'horizon sableux ou sablo-limoneux humifière non calcaire ne résulterait pas uniquement d'un ensablement de surface, mais du lessivage vertical et latéral (ou

appauvrissement par ruissellement) très intense et serait en liaison avec le régime des pluies, l'état de saturation du complexe et des degrés de décomposition des matières organiques (voir genèse).

# 1°) - LIMITES MECANQUES DENSITES-POROSITES ET PROFILS HYDRIQUES.

a) Les indices de plasticité ( $I_p = L_{sp} - L_{ip}$ ) sont faibles en surface, et augmentent en profondeur corrélativement aux taux d'argiles - les indices de maïialité ( $I_m$ ) sont faibles ( $I_m \leq 5$ ) - Ceci traduit la tendance des sols à "s'effriter" en surface et à donner une structure fine (polyrique éoussée) en profondeur quand les sols sont travaillés Or les niveaux profonds argileux ne sont pas atteints par les instruments arratoïres, alors que l'autodivision en surface sous l'action des eaux de pluies entraînent une dégradation de la structure; la dessiccation poussée des sols entraînent un "prise en masse" brutale des horizons à texture limoneuse, d'où les horizons  $A_p$  (labourés ou perturbés) montrent une tendance au phénomène de "battance" caractéristique des sols limoneux ( $CS \leq 20$ ) - (Demelon).

b) les densités apparentes sont moyennes à faibles (1,02 à 1,09) les densités réelles de 2,9 en surface à 2,8 en profondeur.

Les Porosités totales sont très élevées en A et en A-B, de l'ordre de 50 à 60 % réparties en microporosité (Porosité fine égale à 6 à 8 %) et en macroporosité égale à 40 à 50 % - En B, la microporosité augmente nettement et la macroporosité (Porosité grossière) diminue corrélativement ( $P_g = 30 - 35 \%$ )  $20 \% \leq P_f \leq 30 \%$

D'où l'approche de la stabilité structurale, par voie indirecte (Porosité) et directe ( $I_s$  Henim) montre une faible stabilité des agrégats en A et A-B, (Battance en A et une augmentation de la stabilité des agrégats moyenne en profondeur, les sols ayant une tendance au foisonnement (cas des sols bruns, vertiques et des sols rouges hydromorphes).

## EXEMPLE : Profil de sol Rouge Lessivé.

|            |                      |          |        |      |                           |                         |
|------------|----------------------|----------|--------|------|---------------------------|-------------------------|
| ( Porosité | Pt                   | = en A : | 64%    | et   | LF = 40 - 45%)            | limite de               |
| (          |                      | B :      | 58-60% |      | LF = 70 - 75%)            | fluidité                |
| ( Indice   | $\frac{L_{sp}}{P_t}$ | = A :    | 45%    |      |                           |                         |
| (          |                      | B        | 70-75% | soit | $\frac{L_{sp}}{P_t} > LF$ | en A) $L_{sp}$ : Limite |
|            |                      |          |        |      | $> LF$                    | en B) supérieure        |
|            |                      |          |        |      |                           | de plasticité.          |

II°) ( A =  $I_s = 4-6$  ( les taux d'agrégats stables au Benzene en  
 I s( B =  $I_s = 2-4$  (A et B sont très faibles par rapport aux taux  
 ( (d'agrégats stables à l'alcool. et/ou à l'eau.

D'où la faible stabilité structurale des sols en surface (ceci étant en rapport avec la texture des horizons éluviaux très pauvres en argile en surface et riches en limons et en sables fins) et moyennement stables en profondeur, plus riches en éléments fins.

La méthode directe  $I_s$  n'est pas toujours en corrélation positive avec les valeurs obtenues par la méthode indirecte (ceci découlent probablement des tendances des sols au foisonnement ou au phénomène de battance non mesurable par  $I_s$  ( voir Tirs et sols toxifiés) I

Les sols rouges "à caractères Isolumiques" ont les Indices Is les plus faibles en A et B, ces sols ayant des teneurs en argiles et en matières organiques les plus fortes. (sol du Sud-Ouest de Ben Slimane) et une bonne capacité de rétention pour l'eau ainsi qu'une bonne stabilité de leurs agrégats (complexe argilo - humique flocculée et maintenue stable par les alcalino-terreux (34) v. p. 1.

#### CONSTANTES HYDRIQUES.

##### a) Les Horizons A et A-B

Leur capacité de rétention pour l'eau (PF 2,5) sont très faibles, inférieures à 10 %, les sols sur schistes ayant les capacités de rétention les plus fortes puis, viennent les sols peu lessivés et les sols lessivés, corrélativement aux taux d'argiles des horizons élluviaux.

Les coefficients de flétrissement permanent (pF 42) sont de l'ordre de 6 à 8 % en A, et l'ordre de 4 à 8 % (optimum 14 %) en A-B.

##### b) Les Horizons B

Leurs capacités de rétention sont plus élevées que précédemment mais leurs valeurs sont faibles (de 15 à 24 %) Les points de flétrissement permanents sont supérieurs au pF 4,2 des horizons A et sont de l'ordre de 15 à 25 % avec Hm (Eau hygroscopique, ou eau fortement retenue de l'ordre de 8 à 12 %).

L'eau utile (Eu) et capillaire (Ec) déduite de ces constantes sont respectivement de l'ordre de 3 à 5 % et 7 à 8 % en A, et de 5 à 10 % et 8 à 20 % en A-B et en B. L'eau disponible aux plantes serait faible en Ap et en Ap-B

#### PROFILS HYDRIQUES.

L'humidification et la dessiccation des sols à sesquioxydes sont progressives sur l'ensemble du profil et en relation étroite avec le régime des pluies (voir graphique et diagramme ombrothermique chap. I), la dessiccation en surface étant plus rapide pour les sols rouges fortement lessivés.

L'exemple choisi traduit le type de régime hydrique des sols à sesquioxydes de fer, ou régime essentiellement aéropédique (la phase d'anaérobiose totale étant très courte ou nulle).

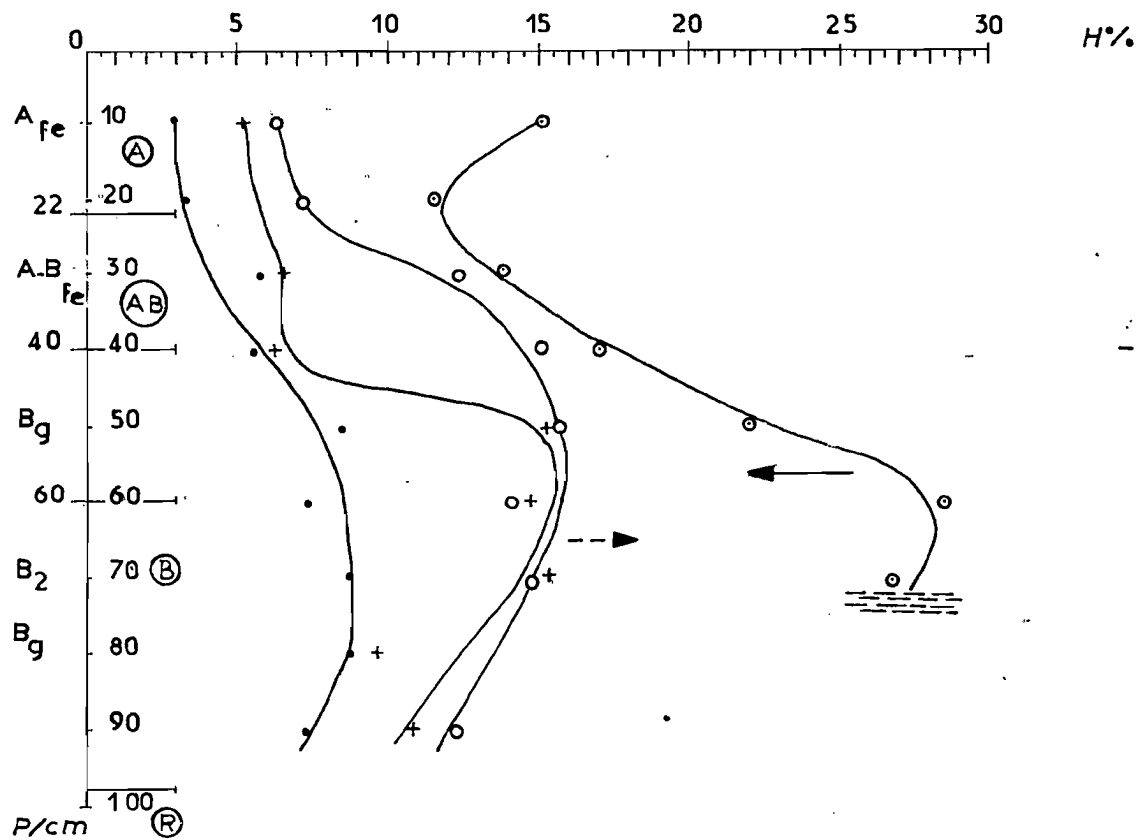
L'humidification porte les sols à des taux d'humidité supérieurs à leur capacité de rétention, en période des grosses pluies : un engorgement temporaire peut se produire, la percolation rapide des eaux météoriques en A et A-B, la perméabilité réduite en Bs ou Bt et la dessiccation estivale des sols les ramènent à des taux d'humidité très faibles en surface ( $H_e \leq 5\%$ , soit  $H_e$  inférieur, ou à pF 4,2, à Bu) et en profondeur ( $H \leq$  pF 4,2).

La succession des phases d'humidification et de dessiccation des sols régit :

1°) Les processus du foisonnement et du retrait en profondeur du sol sans que ces processus atteignent l'intensité des processus de tirsification.

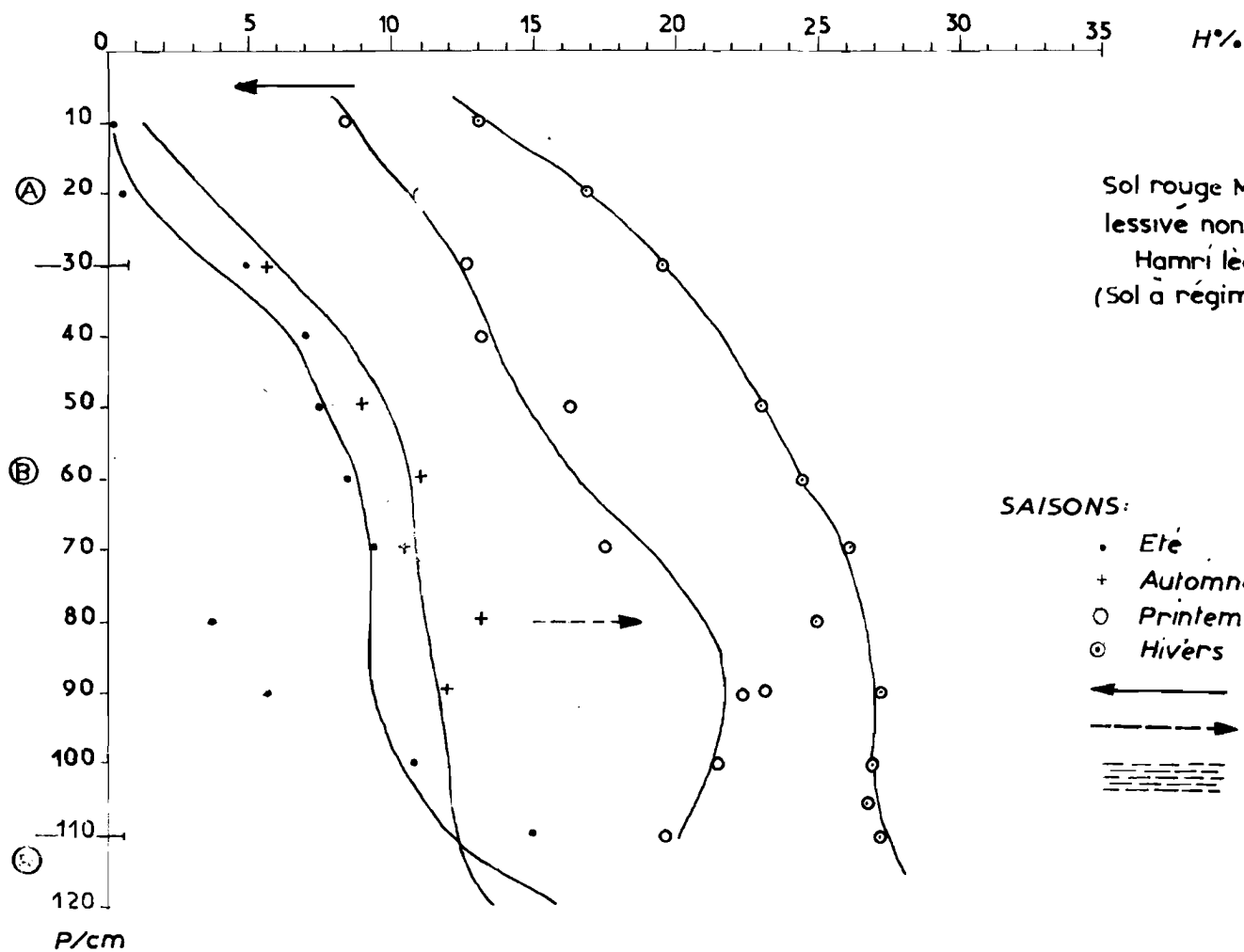
# PROFILS HYDRIQUES

PROFIL N° SLI 13



- Sol hydromorphe minéral à pseudo-gley lessivé et vertique en profondeur  
*"Harcha pisolithes tirsifié"*  
 (Sol à régime hydropédique)

**PROFIL N° SLI 28**



Sol rouge Méditerranéen  
lessivé non saturé Modal  
Hamri léger  
(Sol à régime aéro pédique)

**SAISONS:**

- Eté
- + Automne
- Printemps
- ⊙ Hivers

← **Déssication**

—————▶ *Humidification*

         Nappe temporaire

2°) Les processus de mobilisation et de migration des composés organiques et minéraux dans le sol,

3°) Leur accumulation (ou leur individualisation) à différents niveaux du sol. Quand les sols sont fortement lessivés, une nappe temporaire prend naissance en A-B (entre les horizons A sableux et B argileux) d'où au niveau de la "frange d'évaporation", le concrétionnement est très poussé. L'engorgement temporaire en B, plus intense que dans les sols plus lessivés, "dérubéfaction" (hydratation d'oxydes de fer) et le "blanchiment" des horizons illuviaux : d'où l'évolution des sols en, "sols polygéniques" dominés par des phénomènes d'hydromorphie temporaire actuelle se surimposant aux phénomènes de "tubéfaction subactuelle" (sol ferrugineux lessivé hydromorphe) ou sols "ayant une couleur qui se situe dans les teintes 7/5 YR. et classifiés en bruns Méditerranéens (v.p.1.).

Les phénomènes de "concrétionnement" et de "dérubéfaction" (ou blanchiment) des sols s'échelonnent sur de longues durées et seraient liés aux processus d'engorgements temporaires en rapport avec les périodes de fortes intensités des pluies à l'échelle du climat actuel ou du Péléo-climat - notamment pendant le cours des pluviaux au cours desquelles les intensités des pluies auraient atteint leur optimum (climatique humide).

Les sols bruns méditerranéens auraient donc un régime hydrique complexe du type agropédique avec des phases "hydropédiques" soit un régime à tendance "aéro-hydropédique" qui serait une des principales causes de l'hydratation de ces sols (des oxydes) et des processus de "foisonnement" et de "retrait" en profondeur, processus accentués par la discordance texturales entre les horizons A supérieurs et les horizons illuviaux, ainsi que des processus de dérubéfaction progressive des horizons illuviaux.

Les sols que nous appelons "ferrugineux méditerranéens" ou sols rouges polygéniques se caractérisent - et se différencient des sols rouges et bruns méditerranéens par leur tendance plus nette à l'hydromorphie "de surface" soit par leur régime hydrique du type aérohydropédiques en A et A-B (et aéro-pédique en B (régime hydrique "ancien" qui se traduit par la présence de nappes temporaires "fugaces" en A-B et de la dérubéfaction progressive au sommet de Bs et en Btpar le concrétionnement intense au niveau de la frange d'évaporation de la nappe temporaire induit par le lessivage vertical ou latéral des argiles.

#### c) COULEURS MATIERES ORGANIQUES ET OXYDES DE FER.

Les horizons A des sols à sesquioxydes se situent dans les teintes du brun-rouge foncé et brun-rouge soit les valeurs de nuance ou "Hue", (Code Mensell) 2,5 YR et 7,5 YR avec des valeurs de brillance "chroma" de 2 à 4 selon l'état d'humidité des sols et de leurs teneurs en matières organiques.

Les horizons illuviaux présentent des gammes de valeurs de nuance "hue" très variées et qui se situent entre 10 R (rouge modal), 2,5 YR, 7,5 YR cette dernière étant caractéristique des sols bruns méditerranéens ou des sols rouges "à caractères Isohumique (ou "step-pique").

La couleur des sols qui résulte de la superposition du noir dû aux matières organiques et de sa répartition dans la masse, du blanc dû aux argiles et du rouge ou beige dû aux oxydes de fer (deshydratés ou hydratés) est un autre critère de différenciation entre sols bruns et rouges méditerranéens (25) et qui découle de l'état d'hydratation des horizons illuviaux (ocre - jaune - beige ou rouge vif) et des teneurs en matières organiques de ces horizons ainsi que de leur richesse en oxydes de fer hydratés (beige, brun) ou deshydratés (rouge vif) (38).

Les teneurs en matières organiques des sols à sesquioxydes de fer sont faibles, et de l'ordre de 1,5 à 2 % (ou de 4 à 4,5 % pour les sols "steppiques") et décroissent rapidement en profondeur, exception faite pour les sols bruns méditerranéens lessivés hydromorphes (2,5 % en A et 2,8 à 2,5 % en B). Cette "accumulation" relative des matières organiques résulterait de l'engorgement relativement plus prolongée en profondeur des sols bruns méditerranéens.

*N.B* Les matières organiques sont bien décromposées et intimement "mélangées" aux matières minérales et se caractérisent par un quotient C/N de 10 à 12 (ou C/N à 14 pour les sols à tendance hydromorphes) et des taux d'humification  $\frac{AH + AF}{Ct}$  élevés, soit 2 à 4/qui traduirait une polymérisation poussée de l'humus (AH/AF élevés) (34).

Les sols rouges "steppiques" et ou hydromorphes montrent une légère augmentation des taux d'acides fulviques par rapport aux acides humiques en A et A-B PH = Complexe absorbant : Voir tableau... et Graph.

La réaction des sols à sesquioxydes est acide en A2 et A-B (6,3 / PH / 6,9) et légèrement basiques en B (7,2 / pH / 7,5) devenant basique au niveau de l'altération des grès calcaires (pH eau = 8,0 à 8,2) les sols rouges polygéniques et les sols rouges "profonds" montrent une acidité d'échange sur plus de 1,5 m de profondeur.

Les capacités d'échanges sont très faibles en surface corrélativement aux faibles taux en éléments fins (2) - et sont de l'ordre de 6 à 10 meq/100g. Les sols rouges sur schistes ont des CEC les plus fortes en A, soit 20 à 25 meq/100g les capacités d'échange augmentent en profondeur mais dans de faibles proportions et se situent entre 20 et 24 me/100g de t. s.

Les teneurs en calcium échangeables sont très faibles en A et B (6 - 8 meq/100g) mais les taux de saturation du complexe en calcium sont les plus forts. Les sols fersiallitiques sur grès "dunaire" et sur calcaire (mn, pl.) sont fortement désaturés et décalcifiés sur plus de la moitié de leurs profils.

Les taux de saturation du complexe en magnésium sont faibles. Il en est de même du Potassium et du Sodium échangeables, corrélativement aux faibles capacités d'échanges des sols. Cependant leurs taux de saturations en bases échangeables sont élevés (70 / V < 90 %) et corrobore les faibles teneurs en argile des sols en surface, les taux de sables fins étant les (+ forts sur totalité ou profil) et la nature des minéraux argileux à faibles capacités d'échange du type Kaolinite, (Voir minéralogie), en proportions plus grandes qu'illite et Montmorillonite (sols Bruns médit. exceptés).

Les sols rouges polygéniques sont relativement plus riches en Magnésium échangeables en B ( $\frac{Ca}{Mg}$  / 1.)

.../...

Les faibles capacités d'échanges, la désaturation des sols (acidité d'échange et faible taux de Ca et Mg échangeables) constituent des conditions favorables aux migrations verticales et de haut en bas ou latéralement des colloïdes minéraux et organi-minéraux (non stabilisé ou maintenus à l'état floculé par Ca et Mg) sous l'action de facteurs épigéniques (1). Ils en résulte que les sols à sesquioxydes de fer à texture sablo-limoneuse en surface sont des sols lessivés (2) (et ou appauvris par ruissellement quelque fut l'intensité du "remaniement" (colluvionnement) de ces sols au cours des pluviaux, et non des sols "ensablés en surface". Le colluvionnement s'observe surtout dans les sols des zones interdunaires "en chaîne" avec les sols rouges "appauvris" et qui se situent au sommet des dunes consolidées, ou dans les sols fessialitiques des anciens cônes fluviaux (ex : Chaâbat Es-Sbaâ voir Carte Pédologique hors texte).

### LE CALCAIRE

Tous les sols à sesquioxydes des régions cartographiées sont fortement décarbonatés (décalcarifiés) les teneurs oscillent autour de 2 à 4 % de calcaire total). La décarbonatation des ces sols ne s'accompagnent pas nécessairement d'accumulation calcaires en profondeurs sous forme d'amas, nodules, granules ou croûtes, notamment les sols rouges profonds - ces accumulations calcaires, quand elles existent (rupture de pente entre les "dunes consolidées") sont discontinues, peu développées et peu épaisses (au Nord de Ben Slimane - Bled El Koudia, Bled Bsabes) les accumulations de calcaires les plus différencées s'observent au Sud de Ben-Slimane en bordure des plateaux : les sols sont alors "steppiques" Les "pseudo-nodules" calcaires qui s'observent en profondeur des sols rouges sur grès dunaire proviennent de l'altération de cette roche (nodules ôcre-jaunes, cristallisés).

Les sols rouges Med. sur schistes ne présentent jamais d'accumulation calcaire au niveau de l'altération des schistes ainsi que les "sols" ferrugineux "méditerranéens" profonds.

Ainsi l'accumulation du calcaire semble liée à un groupe particulier de sols à sesquioxydes de fer, groupe qui fut inclus dans les sols à cycle calcaire (type hétérocalcaire) et non dans les sols sialferriques. ( ) - V.P.L.

### LE FER

Les teneurs en fer total sont régulièrement croissantes de la surface en profondeur corrélativement aux taux d'argile des sols (et inversement par rapport aux teneurs en matières organiques) Les Horizons éluviaux sont moyennement pourvus en Fer total, soit de 2 à 4 % dont plus de 80 % représentés par le Fer libre. (exprimée en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

"les teneurs en fer total sont plus élevées en profondeur (7 à 8 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  le fer libre représente 70 à 90 % du fer total

Les rapports  $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ t}}$  les plus élevés ont été observés dans "les niveaux rouges" inférieurs (Vi)"

des sols ferrugineux hydromorphes (sols rouges polygéniques) et sont de l'ordre de 0,8 à 0,9. Les plus faibles rapports  $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ t}}$  pour les sols bruns méditerranéens (0,5 à 0,6). .../...

(1) Eau météorique, action indirecte de la végétation et de la microflore etc...

(2) Dispersion des argiles réalisées au laboratoire sous l'action unique de l'eau distillée

et corrélativement/ des variations en profondeur des sols, des teneurs en humus, et à l'aggradation des minéraux argileux : néoformation de Montmorillonite ferrique (37) et à la présence de fer sous-forme de complexe ou de chélates en B (65) et de fer amorphes(?) Les sols rouges sur schistes, classifiés autrefois (48) en sols peu évolués (inceptisols) ou en sols brun-rouges rattachés à la classe des sols brunifiés ont des rapports  $\frac{Fe^1}{Fe^t}$  médians entre ceux des précédents groupes (soit 0,7 à 0,8), ceci confirme que "la coloration des horizons illuviaux n'est pas un héritage lithochrome, mais qu'elle résulte de l'individualisation poussée des oxydes de fer (soit de la Rubefaction de ces sols).

Les Rapports  $\frac{(Fe_2O_3)^1}{(Fe_2O_3)^t}$ , critère analytique de base de la classification des sols

en sols rouges méditerranéens (48) confirme dans l'ensemble des sols observés : sols Bruns, Sol Rouges sur diverses roches et Sols polygéniques, le regroupement de ces sols dans la classe des sols à sesquioxydes fer - ou Sols FERRIALITIQUES

Notons également la très forte individualisation des oxydes de fer des sols "rouge polygéniques" méditerranéens. Par rapport aux autres groupes de sols à sesquioxydes de fer.

### Minéralogie

Les niveaux rouges - Villafranchien inf. - et les niveaux bruns et ocres sablo-limoneux ont fait l'objet de nombreuses analyses dont les plus récentes (45) montrent : qu'illites, chlorite, vermiculite et montmorillonite sont présentes dans ces niveaux dans de faibles proportions, et qu'attapulgite et calcite sont absentes ; les quartz sont abondants dans les niveaux supérieurs du Villafranchien. L'horizon ôcre-rouge - horizon d'accumulation des concrétions ferrugineuses du profil (Sli 10b) - est plus riche en kaolinite et en goéthite, la montmorillonite étant mal cristallisée - L'auteur en déduit une dégradation poussée des minéraux 2/1 et la néoformation de minéraux du groupe de la kaolinite.

Ces données sont en corrélation positive avec les faibles capacités d'échanges de ces sols (rouges polygéniques ou "ferrugineux méditerranéens") qui est de l'ordre de 15 meq/100g en A (niveau sup.) et moins de 20 meq/100g en B (niveau rouge inf.) ainsi que de leur faible capacité de rétention pour l'eau (sols pauvres en minéraux gonflants) et la désaturation poussée des niveaux sup. (absence de calcite) - Ces données minéralogiques constituent un autre critère de différenciation entre ces sols et les sols rouges et bruns méditerranéens.

Les analyses thermique différentielle réalisées au laboratoire de la D.R.A. ( ) montrent :

La présence de montmorillonite et de kaolinite (voire d'illite hydratée) dans les horizons B des sols rouges méditerranéens sur schistes (avec M dominante). Les sols rouges méditerranéens "steppiques" (Sli 126) sur grès calcaire montrent une composition analogue avec présence de goéthite - et d'hématite (?) - et de quartz : les sols rouges méditerranéens lessivés modaux (Sli 10) se caractérisent par leur richesse en quartz et en oxydes de fer en A avec très peu de kaolinite, d'illite et de montmorillonite, les horizons B étant plus riches en Montmorillonite et en kaolinite. Par contre les sols bruns méditerranéens lessivés hydromorphes et à caractères vertiques en profondeur sont plus riches en minéraux argileux du groupe de la montmorillonite et de la kaolinite (et vermiculite). Les sols ferrugineux méditerranéens qui ont été réanalysés montrent une composition analogues à celles citées plus haut (quartz et goéthite en A avec très peu de kaolinite et traces de montmorillonite, et en B (niveau rouge) de fortes proportions de kaolinite, de goéthite et de quartz.

.../...

Les sols rouges et bruns méditerranéens sur calcaire dur ou sur schistes ont des proportions relativement plus élevées en Montmorillonite (et illite) et qui serait une des causes de la tendance des sols au foisonnement (et au retrait des argiles) en profondeur (voir les tirs) et de leur capacité d'échange plus élevée ainsi que leur capacité de rétention pour l'eau. Par contre les sols ferrugineux méditerranéens "ou subtropicaux" montrent de plus fortes proportions en minéraux du type Kaolinite et Illite, de plus fortes teneurs en oxydes de fer dont plus de 80p. cent de fer libre et probablement des hydroxydes d'Alumine (37), d'où l'altération - voire la dégradation des minéraux 2/1 serait plus poussée que pour les premiers groupes de sols et serait "analogue" à celle des sols ferrugineux "tropicaux" (48, 37).

### MICROBIOLOGIE DES SOLS A SESQUIOXYDES DE FER

L'activité microbiologique globale est assez intense et croît en profondeur et aux périodes d'humidification des sols (voir tableau). Comme pour les tirs, deux prélèvements ont été effectués à des périodes correspondant à "l'humidification" et à "la dessiccation" des sols, et ont fait l'objet d'analyses microbiologiques : celles-ci portent sur un sol rouge méditerranéen peu lessivé sous culture, un sol rouge lessivé sous forêt et un sol rouge lessivé sous culture.

En période de forte sécheresse (dessiccation poussée des sols V. Profil hydrique) l'activité microbiologique est très réduite et ne subsiste dans les sols que quelques germes réducteurs de fer en profondeur. En période de forte intensité des pluies, l'activité biologique reprend, les germes aérobies fixateurs d'azote sont cependant en nombre réduit (non au cours du reste de l'année (27 b-) du fait de l'acidité d'échange des sols en A et A-B, très élevés.

#### Cycle de l'azote et du Carbone

Le pouvoir nitrifiant par les germes nitreux ( $N-NH_4 \rightarrow N O_2$ ) et par les germes nitriques ( $N-N O_2 \rightarrow N N O_3$ ) est assez élevé et le processus de transformation des composés ammoniacaux en Nitrites se déroule activement dans tout les profils - avec une prédominance des Nitraux en période de forte humidification des sols rouges lessivés.

L'activité des germes dénitrificateurs est réduite (sol sous forêt) et moyenne (sols sous-culture).

L'activité des germes ammonificateurs ( $N O_3 \rightarrow N H_4$ ) augmentent sensiblement pour tous les sols, en période d'humidification.

La décomposition de la cellulose est relativement faible, ou moyenne sous forêt, et résulte de l'humification déjà assez poussée des matières organiques - et non à l'absence de germes cellulolytiques.

En période de dessiccation des sols, il y a "arrêt" de l'activité biologique.

En période d'humidification, l'activité des Nitreux, ammonificateurs et dénitrificateurs (anaérobiose) est en corrélation positive avec l'activité des germes réducteurs de fer (anaérobioses strictes).

L'activité microbiologique des sols très poussée entraîne une rapide décomposition et l'humification des matières organiques fraîches, et indirectement (libération d'acides organiques) leur migrations. L'action directe des germes réducteurs. L'action l'individualisation du fer et sa migration (soit sous forme réduite et en milieu acide ou acidifié (voir lessols hydromorphes) soit sous forme de chélats ou de complexe avec les composés organo-minéraux du sol (65)

.../...

La dessiccation brutale favoriserait la minéralisation de l'humus, l'individualisation du fer et sa pectisation consécutive à sa réoxydation poussée et qui se traduit par la coloration rouge des horizons : éluviiaux : (et/ou illuviaux). (1) Cependant cette activité de la microflore des sols n'est que partiellement connue vu la longue "histoire" des sols à sesquioxydes de fer et leur génèse qui portent sur plusieurs milliers d'années : néanmoins on pourrait supposer que le processus se serait reproduit avec des intensités plus ou moins grandes sous l'action de "nappes microbiennes" au fur et à mesure de la formation des sols rouges méditerranéens et que ces "nappes microbiennes" auraient joué un rôle analogue à la microflore "actuelle" de ces sols.

Eléments nutritifs ( $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ )

Les teneurs en Azote des sols sont en relation avec leurs teneurs en matières organiques totales et varient en profondeur et au cours de l'année en fonction de l'activité microbiologique des sols : Elles sont de l'ordre de 0,8 à 1 % (et de 2 % environ pour les sols sous forêts ou "steppiques").

Les teneurs en Phosphore total et assimilable sont faibles à très faibles par rapport au Tirs, et sont de l'ordre de 1 à 2 ‰ (les sols rouges "steppiques" du Sud de Ben Slimane sont relativement plus riches ( $P_2O_5$  tot = 3 à 4 ‰ dont 0,1 à 0,2 ‰ de  $P_2O_5$  assimilable)).

(1) Fer en "couverture" sur les argiles (voire sols hydromorphes) et P. Segalen: <sup>le</sup>fer dans le sol

Les taux de saturation du complexe en alcalino-terreux sont assez élevés mais les teneurs en calcium et en magnésium échangeables sont faibles (désaturation des sols et décalcification poussée). Les teneurs en Sodium échangeable sont négligeables - les teneurs en Potassium échangeable sont de l'ordre de 0,15 à 0,50 meq/100g.

La pauvreté des sols en calcaire fin (actif) et leur richesse en fer diminuent tout risque de chlorose.

Dans leur ensemble, les sols à sesquioxydes de fer des Ziaïda - s et Arab; sur calcaire dur sont peu pourvus en éléments nutritifs, notamment sur les 30 à 40 cm supérieures (Ap.). Les sols rouges "steppiques" sont les plus riches et leurs aptitudes culturales plus vastes quand ces sols ne sont pas encroûtés : ex-sols rouges au Sud de Ben Sliman (v. Chap. III. -).

## 2°) Génèse et Evolution :

### 1°/ Conditions de formation et Processus :

La succession de périodes d'humification et de dessiccation des sols semble être comme pour les tirs fondamentale dans la génèse et l'évolution des sols à sesquioxydes de fer méditerranéens : cette alternance de périodes humides, relativement "tempérées" et de périodes chaudes et sèches orientent :

- a) Les processus de décomposition des matières organiques sous l'action directe de la microflore (et de la faune) des sols, et les processus de leur humification, de leur minéralisation et de leur migration (formation d'un humus évolué du Type M II acide ou eutrophe.

- b) L'hydolyse des minéraux, la décarbonation poussée des roches mères de libération des cations métalliques et notamment du fer, le lessivage vertical des argiles, de l'humus et du fer (libération et individualisation du fer).

- c) l'immobilisation du fer qui se "pectise" en B, -

- d) l'accumulation du calcaire en profondeur (cas particulier), la désaturation du complexe (assez générale pour les sols Ziaïda et Arab sauf les sols sur schistes), lessivage vertical des argiles (ou l'appauvrissement en éléments

fins des horizons illuviaux par lessivage latéral ou par ruissellement (formation d'horizon Argillig), l'individualisation des oxydes fer (rouge ou brun) plus ou moins deshydratés ; voire leur accumulation sous forme de tâches noires ferri-manganiques(1) ou de pisolites, rarement de concrétions ou de carapace (v. p. 1) et l'accumulation du calcaire consécutive à la décalcarification des sols et éventuellement "à des apports latéraux" (sols rouges en périphérie des plateaux "à tirs") par ruissellement d'eau chargée de calcaire dans les sols - (44)

La Rubéfaction des sols serait déterminée par les conditions de drainage externe ou "en grand" : quand celui-ci est déficient, les sols évoluent, quelque soit leur roche-mère ou le type de végétation, en sols "steppiques", vertiques ou hydromorphes.

# (1) ferri-manganique ou ferrimanganesifère - ou "sesquanes"

## 2° / Origine et genèse :

### A/ Sols A sesquioxides de fer, Méditerranéens Sur schistes (Sols FERSIALITQUES peu lessivés, ~~non~~ saturés)

Ce sont des sols, "Autochtones" actuels et analogues aux "sols rouges de montagnes". Leur genèse est liée au climat actuel xerothermique et au drainage en grand très bon plus qu'à un type de végétation spécifique. Cependant, les sols sont plus profonds sur les versants exposés au Nord et au Nord-Ouest où les conditions microclimatiques favorisent le développement d'une strate herbacée assez dense, à base de graminées, la végétation naturelle étant une forêt claire ou Mattaral à base de Thuya de Berberie et d'oléo-lentisque (v. Morphologie). Ces sols sont souvent associés aux sols lessivés ou aux sols peu évolués non climatiques dont ils se différencient par la profondeur et la couleur rouge de l'horizon B, (ou B<sub>1</sub>), et du point de vue analytique par leur richesse en fer libre ( $Fe_2O_3$  libre/ $Fe_2O_3$  total) supérieur à 0,6) et leurs minéraux argileux relativement plus riches en Illite, montmorillonite avec très peu de Kaolinite. Ces sols sont peu ou non lessivés en argile, faiblement désaturés ( $V_s > 100$ ) - L'érosion hydrique, particulièrement intense sur les versants à "faible couvert végétal" entraîne une forte dégradation de ces sols en sols régiques, ou lithiques (entraînement latéral de B. qui ne subsiste que sous forme de pochettes d'argile rouge).

B/ Les sols à sesquioxides de fer sur grès-calcaire "dunaire" (Mo, pl) et calcaire dur (Pl) : la genèse de ces sols est plus longue et plus complexe. Sols anciens ou Paléosols (et/ou subactuels) - leur origine fut sujet à de nombreuses controverses :

### a) - Origine - différentes hypothèses

- Les sols sur calcaire dur (pliocène - Moghrebien) ont été souvent considérés soit comme étant des sols "allochtones", formés sur les montagnes et transportés sur les glacis (plateaux. Villafranchien) sous forme de "boue" ou de "solutions" pendant les périodes humides (8) soit comme étant le résultat d'une décalcarification poussée des calcaires néogènes (terra - rossa ou argile de décalcarification).

E. H d'El Villar rangeait ce type de sol dans les sols à cycle calcaire (type homocyclique) et sans les inclure parmi les rendzines, admettait que certaines rendzines rouges constituaient "le stade initial" des sols sialferriques. (Sol rouges modaux).

.../...

Nombre de géographes, de géomorphologues et de pédologues considèrent que les sols rouges seraient des dépôts, rubéfiés dans les montagnes <sup>et</sup> qui auraient été transportés. La rubéfaction fut intense aux "optimum climatiques" (période xérique du finisoltanien, Amirien, Moulouyen et Villafranchien et qui se seraient déposés sur des croûtes calcaires ou sur les glacés (Villafranchien). Ces optimums Climatiques de rubéfaction ou "climat rubéfiant" ne serait plus atteint dans le cadre bioclimatique actuel, d'où les sols rouges seraient alors des sols fossiles. Ces hypothèses portent sur la genèse des sols tels que ceux du sud et du sud-ouest de Ben Slimane.

Par contre les sols rouges méditerranéens évoluant sur les grés-calcaires "dunaire" (El -Koudia, Bsabes) auraient une origine différentes liée à la diagénèse (lapidification ou grésification) des "dunes consolidées" quaternaires (ou Moghrebiennes). Ce seraient alors des formations "autochtones" qui auraient évolué sur un matériau originel silico-calcaire (analogues aux dunes grises et blanches actuelles, partiellement fixées des régions cotières atlantiques marocaines) qui auraient été fortement décarbonaté (décalcarifié) et rubéfié parallèlement à la grésification des "dunes" ; le ciment calcaire des dunes grésocalcaires seraient alors d'origine pédogénétique (49). Ces sols type homocyclique, secteur sialférrique seraient différents des premiers types de sols, de part leur genèse et leurs évolution. L'origine des sols à sesquioxides de fer méditerranéens serait-elle donc plurivoque ? et le regroupement de "sols analogues" dont la genèse serait dominée par des phénomènes de rubéfaction serait-il aléatoire ?.

D'après G. Aubert (48) les sols rouges et bruns méditerranéens sont des sols qui se caractérisent par l'individualisation des sesquioxides de fer qui leur confère une couleur très accusée, qui résultent d'une hydrolyse des minéraux très poussée mais moins complète que dans le cas des sols ferralitiques, et par un rapport  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 > 2$ , et un taux de saturation supérieur à 50 %, une teneur faible en matière organique, celle-ci subissant une décomposition rapide... (53).

### TROIS CAS

1°) Les sols à sesquioxides de fer sur schistes et pelrites (Frimaire) sans accumulation de calcaire (neutres ou basiques, moyennement saturés.)

2°) les sols à sesquioxides de fer sur calcaire dur "cristallisé" avec ou sans accumulation de calcaire (non ou peu saturé).

3°) Les sols à sesquioxides de fer "très profonds", sans accumulation de calcaire, faiblement saturé (à pH acide., à  $T < 24 \text{ meq. } 100 \text{ g}$ ).

Ces 3 groupes de sols ayant en commun les caractères de la classe des sesquioxides définie plus haut.

1°) Les sols à sesquioxides de fer (Rouge et brun méditerranéens) sur schistes et pelrites résultent d'une rubéfaction sur place sans que les sols soient décalcarifiés ni décalifiés et évoluent essentiellement sur les versants des vallées (ou des montagnes). (1).

Les sols sur schistes évoluent en sols hydromorphes quand le drainage en grand est défectueux (Merzag et Mekzaz des plateaux).

2°) Les sols à sesquioxides de fer sur roche calcaire "cristalline" résulteraient d'une forte décalcarification des roches-mères calcaires, de la rubéfaction sur place (libération et individualisation des sesquioxide de fer possible en milieu calcaire par (33) complexation du fer par l'acide salicique et les acides organiques). Au contact des roches; on peut observer actuellement, l'altération des calcaires durs en "pseudo-nodules" cristallisés et des pochettes de sols rouge sur

lapiez et/ou deslisérés d'argile rouge dans la masse des calcaires dur etc.. - Les sols rouges seraient donc des formations autochtones qui auraient été remaniés ou colluviennés pendant les périodes humides (présence de galêts quartzeux, de quartz carrés (facies Villafranchien (1) et auraient été "steppisés" et plus ou moins lessivés en argiles. - la "steppisation" des sols résulterait de la dégradation progressive des forêts en Marrorals, erme et chamaropaie; (pseudo-steppe). Ces sols sont dans leur ensemble très anciens (sols subactuels ou Paléo-sols, leur genèse aurait été dominée par la "Rubéfaction" et/ou la steppisation (v. pl.), optimales aux périodes xériques du paléoclimat., et serait orientées sous le climat actuel par les processus d'hydrogénèse (sols rouges hydromorphes), de tirsification - ou vertisolisation (sols bruns méditerranéens vertiques) quand le drainage "en grand" est réduit. Les sols évoluent progressivement en vertisols (tirs marrons) et en sols hydromorphes. (Merzag sur "Hamri"). Par contre, quand le drainage en grand est bon, la rubéfaction sur place/<sup>au</sup> contact des calcaires durs et grès-calcaires se poursuit et s'intensifient, D'où la "Rubéfaction" "actuelle" des sols se superpose à la "Paléorubéfaction", quand le drainage externe est possible ( : - sols Subactuels - actuels) ou que l'hydrogénèse ou la tirsification se sur-imposent aux sols rubéfiés quand les conditions de drainage externe sont défectueuses : - sols subactuels ou Paléo-sols rouges méditerranéens, Enfin quand les processus de "Dérubéfaction" sont très poussés et que l'hydrogénèse oriente l'évolution du sol, on a un sol fossile ou "enteré", ou P polygénique (Voir par exemple Morphologie Profil n° Sli 10b). Les phénomènes de "steppisation" des sols, de leur tirsification ou vertisolisation., leur rubéfaction ou leur Hydrogénèse ne se produisent pas comme le pensent certains auteurs, (49) chronologiquement et régulièrement dans le temps (Age du rouge, du noir ou du gris (2) )-mais ces phénomènes sont liés à des conditions particulières de la topographie sous un climat du type méditerranéen ou xérothérique soit au régime hydrique des sols du type essentiellement aéro-pédique -

3°) les sols des "dunes consolidés" quaternaires. Leur genèse est très longue et complexe ; comme précédemment 3 sous- types en fonction de leur évolution : (a) les sols rouges subactuel-actuels ou actuels sur grès calcaire "durs" et les sols rouges jeunes (sur lapiez ou sols actuels) et enfin les sols ferrugineux méditerranéens : Ceux-ci auraient été rubéfiés et décalcarifiés dans un premier stade de leur évolution, probablement, parallèlement à la lapidification des grès calcaire "dunaires". Dans une deuxième phase (les sols subactuels - actuels) auraient été rubéfiés et décalcarifiés sous l'action de facteurs épigéniques-ou épigénèse - par des processus analogues. Ces sols sont souvent lessivés et très appauvris en éléments fins dans leurs horizons supérieurs, et enrichis en éléments grossiers (sans qu'il y ait nécessairement "ensablement" de surface) arrachés aux sols des sommets de dunes avec lesquels il formeraient alors une chaîne de sols rubéfiés - Cet appauvrissement des sols en argile entraîne une discordance texturale qui favorise, en périodes des grosses pluies, la formation de nappes temporaires entre les horizons éluviaux et illuviaux. Le concrétionnement, voire même le cuirassement sont particulièrement développés à ce niveau et les sols évoluent vers "Harich pisolitiques" ou Merzag (sols enterés ou Hamri - Merzag - A un stade intermédiaire les sols rouges lessivés hydromorphes des Ziaïdas se caractérisent soit par leur désaturation très poussées en A, et même en B, (leur faible capacité d'échange (moins de 20 meq/100g), leurs teneurs en oxydes de fer libre très élevés (Fer libre = 90 % de fer total), par la dégradation de leur minéraux argileux 2/1 (45) et des proportions élevées en Kaolinite, ou Illite, et par la présence d'hychroxydes d'alumine (45). Ces différents critères nous ont amenés à faire un rapprochement entre ces sols et les Sols ferrugineux tropicaux et à les classer en sols rouges polygéniques qui constituent des Intergrades entre les "HAMRI" et les MERZAG (Sols rouges fersiallitique très hydromorphes.

(1) communication orale G. Beaudet.

(2) voir : les tirs : genèse.

En conclusion la classification des sols à sesquioxydes de fer des régions méditerranéennes<sup>nes</sup> devraient faire apparaître au niveau de chaque groupe :  
-qui pourrait constituer une sous-classe si les sols fersiallitiques ou sialiferrique méditerranéens constituaient une classe particulière qui n'incluerait pas les sols ferrugineux tropicaux dont ils diffèrent non seulement par "leur histoire".

1°) La tendance de leur régime hydrique respectif actuel, <sup>ou</sup> ~~régi~~ <sup>subactuel</sup> par le climat, la topographie la texture des sols et la nature de leur minéraux argileux.

2°) L'intensité de la décarbonatation des sols et l'état de saturation ou de désaturation du complexe absorbant.

3°) L'altération des minéraux du sol et les proportions relatives de chaque type de minéral dans le sol; ces critères permettront de mieux dégager l'évolution actuelle des sols et de mieux différencier les groupes (et lessous-classes) les sols à sesquioxydes de fer méditerranéens.

# CLASSIFICATION

| Classe I                                                                                                                                                                                                                                                    | Classe II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Classe III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Classe IV |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Sols : A. sesquioxydes de fer<br>ou de manganèse<br>Sous classe<br>Sols : Rouges et Bruns méditerranéens<br>ou fersiallitiques<br>Groupes non ou peu lessivés<br>lessivés<br>Sous groupes<br>Communs - (Modaux<br>(Vertiques<br>(Encroûtes<br>(Hydromorphes | Sols A : SESQUIOXYDES DE FER OU "HAMRI"<br>et Sous classe Sols : Fersiallitiques (sialferriques)<br>Groupes<br>GI Sols rouges méditerranéens<br>a) peu lessivés saturés (en Ca <sup>++</sup> )<br>b) lessivés moyennement désaturés<br>GII Sols bruns méditerranéens<br>a) peu lessivés : à caractère isofumique<br>b) lessivés moyenne fortement à ft desaturés<br>GIII Sols ferrugineux méditerranéens<br>(rouges polygéniques.)<br>- lessivés a- hydromorphes ou<br>concrétionnés<br>b- sols rouges polygéniques<br>(Hamri GI<br>(Hamri - Harch GI :<br>(Hamri - Merzag GIII<br>(Hamri - Tirsifiés GII | Sous groupes<br>(Modaux<br>(à caractère :<br>isohumique : Alfisols<br>(vertiques, : Ustals<br>(encroûtes : Rhodustalf<br>(hydromorphes : Rhodoxe ralf<br>(Modaux :<br>(à caractère :<br>isohumique : Palaxe ralf<br>(encroûtes : (Palustalf)<br>(Vertiques :<br>(hydromorphes :<br>Modaux :<br>Sols à Régime Aéropédrique Cycle Sialoferrique<br>Cycle hetero-Calcaire Secteur Sialoferrique<br>(Terre Rossa primaire ou secondaire |           |

Terme vernaculaire Hamri

G, et GII pouvant être groupés en "sols fersiallitiques" ou sialoferrique

le GI III étant typique des sols sialoferriques  $\frac{S_1O_2}{R_2O_3} \quad \frac{1}{1}$

GIIV Groupe à situer au niveau des Sous-clas-  
ses de sols sialoferrique

A/ Remarque (en plus des critères déjà cités :

- Les sols bruns méditerranéens se différencient par leur régime hydrique aéropédrique à tendance hydro-aéropédrique
- Les rouges méditerranéens sont franchement aéropédrique
- Les sols ferrugineux se différencient par la succession de régime aéropédrique et hydropédrique dans le temps en relation avec le lessivage poussé et le changement du microclief.

CLASSIFICATIONS

- G. Aubert (1965)
- Propositions
- Américaine
- Universelle (E. H. Del Villar)

|                                                                                | GRANULOMETRIE                                |                                          |                                              |                                          |                                  |                                     | LIMITES MECANQUES                            |                                              |                                             |                                              |                                        |                                             |                                              |                                             | PROPRIETES HYDRIQUES                     |                                          |                                         |                                                      |                                              | DENSITES                                     |                          | POROSITES                    |                                        |                                           | STABILITE STRUCTURAL                   |                                              | H %                                          | TAMISAGE ( S e c )                    |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|--|--|
|                                                                                | A %                                          | L %                                      | Sf %                                         | Sg %                                     | CS                               | Calcaire                            | Lip                                          | LA                                           | Lsp                                         | LF                                           | Im                                     | Ip                                          | Cap Ret<br>pF 2,5                            | pT F1<br>Pf 4,2                             | Hgo<br>Max                               | Ec                                       | Eu                                      | Da                                                   | Dr                                           | Pt %                                         | Pf %                     | Pg %                         | Iso<br>Pt                              | Is                                        |                                        | Terre<br>Fine                                | Calloux                                      | Sp<br>Sg                              |  |  |
| SLI 101 0 - 14<br>2 A-B 14 - 30<br>3 ( 30 - 50<br>4B) 50 -100<br>5 ( 110 - 120 | 27,8<br>65,3<br>77,0<br>73,1<br>67,4         | 6,6<br>4,1<br>3,1<br>3,6<br>3,1          | 57,8<br>30,9<br>21,6<br>25,3<br>31,5         | 9,1<br>4,1<br>2,3<br>1,6<br>2 5          | 29<br>66<br>77<br>73<br>78       | Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr          | 17,4<br>26,3<br>30,3<br>30,9<br>28,9         | 22,0<br>31,1<br>33,3<br>35,1<br>34,7         | 29,3<br>42,8<br>48,6<br>49,7<br>47,0        | 42,2<br>75,2<br>73,2<br>67,4<br>62,2         | 4,6<br>4,8<br>3<br>4,2<br>5,8          | 11,9<br>16,5<br>18,3<br>18,8<br>18,1        | 10,1<br>21,5<br>23,6                         | 6,3<br>17,5<br>18,5                         | 4,3<br>11,3<br>12,3                      | 5,7<br>10,1<br>11,2                      | 3,6<br>4,5<br>5,0                       | 1,09<br>1,09<br>1,093                                | 3,07<br>2,64<br>2,70                         | 64,4<br>58,7<br>72,3                         | 8,9<br>18,1<br>20        | 55,5<br>40,6<br>42,3         | 0,45<br>0,72<br>0,78                   | 6,38<br>2                                 | 1,0<br>2,8<br>3,9<br>3,6<br>3,6        | 100<br>100<br>100<br>100<br>100              | -<br>-<br>-<br>-<br>-                        | 6,35<br>7,53<br>9,39<br>5,81<br>12,60 |  |  |
| SLI 10 b 1(0-21<br>2)21-47<br>3 47-102<br>102-122<br>122-140<br>140-160        | 19,5<br>34,6<br>61,9<br>62,7<br>59,8<br>58,9 | 10,1<br>7,1<br>8,2<br>7,4<br>11,3<br>9,3 | 52,6<br>39,3<br>24,8<br>24,2<br>24,6<br>25,4 | 18,3<br>18,3<br>8,2<br>8,9<br>6,0<br>6,8 | 35<br>62<br>63<br>61<br>60       | 1,1<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr   | 21,2<br>23,9<br>22,4<br>23,4<br>22,0<br>21,3 | 24,0<br>28,3<br>27,5<br>29,0<br>27,9<br>27,1 | 3,4<br>38,5<br>38,8<br>47,1<br>47,9<br>43,4 | 43,3<br>61,1<br>60,0<br>80,3<br>69,7<br>63,7 | 2,8<br>4,4<br>5,1<br>5,6<br>5,9<br>5,8 | 9,2<br>14,6<br>16,4<br>23,7<br>27,5<br>22,1 | 6,8<br>5,6<br>21,02<br>20,14                 | 4,5<br>4,8<br>13,09<br>13,25                | 3,0<br>3,2<br>8,7<br>8,7                 | 3,8<br>2,3<br>12,2<br>11,4               | 2,3<br>0,7<br>7,9<br>7,0                | 1,09<br>1,09<br>1,21<br>1,33                         | 3,08<br>2,75<br>2,90<br>2,83                 | 64,6<br>60,3<br>58,2<br>53,0                 | 6<br>4,6<br>20,9<br>21,8 | 58,6<br>55,7<br>37,3<br>33,2 | 0,47<br>0,63<br>0,66<br>0,88           | 0,65<br>5,06                              | 1,7<br>3,1<br>5,9<br>3,1<br>3,2        | 100<br>100<br>100<br>100<br>100              | -<br>-<br>-<br>-<br>-                        | 2,14<br>3,02<br>2,71<br>4,10<br>3,73  |  |  |
| S L I 28 0 - 20<br>20 - 44<br>44 - 67<br>67 - 87<br>87 -110<br>110 -130        | 19,4<br>50,7<br>68,8<br>83,3<br>84,4<br>83   | 10,2<br>6,7<br>5,5<br>3,5<br>3,5<br>2,4  | 52,8<br>32,7<br>22,2<br>12,4<br>11,3<br>12,1 | 18,4<br>12,8<br>8,4<br>5,6<br>4,6<br>4,3 | 20<br>51<br>69<br>83<br>84<br>83 | 1,3<br>1,2<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>1,3 | 20,0<br>25,5<br>30,0<br>32,6<br>29,9         | 14,2<br>23,1<br>28,3<br>34,5<br>38,4<br>32,9 | 36,7<br>46,3<br>53,4<br>56,7<br>55,5        | 34,2<br>47,1<br>61,9<br>71,4<br>88,8<br>90,9 | 3,1<br>2,8<br>4,5<br>5,8<br>3          | 16,7<br>20,8<br>23,4<br>24,1<br>25,6        |                                              |                                             |                                          |                                          |                                         |                                                      | 2,48<br>2,61<br>2,65<br>2,73<br>2,78<br>2,85 |                                              |                          |                              |                                        | 2,2<br>6,4<br>9,9<br>14,8<br>13,5<br>15,7 | 100<br>100<br>100<br>100<br>100<br>100 | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>-                   | 2,86<br>2,55<br>2,64<br>2,21<br>2,45<br>2,81 |                                       |  |  |
| S L I 25 0-10<br>10-46<br>46-110<br>110-130<br>130-150                         | 18,9<br>23,2<br>34,5<br>37,9<br>40,3         | 8,7<br>8,8<br>6,3<br>6,3<br>6,8          | 58,2<br>47,8<br>45,5<br>40,0<br>39,2         | 16,2<br>21,6<br>15,7<br>20,4<br>17,6     | 20<br>24<br>35<br>38<br>41       | Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr          |                                              |                                              |                                             |                                              |                                        |                                             | 15,0<br>18,2<br>35,1<br>36,2                 | 12,0<br>14,0<br>22,0<br>22,1                | 8,0<br>9,9<br>14,6<br>14,7               | 7,04<br>8,2<br>20,4<br>21,5              | 3,0<br>3,2<br>13,10<br>14,13            | 1,35<br>2,76<br>2,79<br>2,77<br>1,09                 | 2,76<br>2,79<br>2,77<br>2,78                 | 51,6<br>18,8<br>32,8<br>58,9                 | 18,8<br>32,5             | 32,8<br>26,4                 |                                        | 2,46<br>11, II                            |                                        |                                              | 3,59<br>2,21<br>1,96<br>2,22                 |                                       |  |  |
| S L I 24 0-10<br>10-21<br>21-44<br>44-87<br>87-110<br>110-130                  | 23,7<br>49,8<br>57,7<br>58,8<br>68,2<br>75,0 | 11,3<br>8,5<br>7,4<br>5,3<br>3,8<br>2,7  | 50,8<br>35,2<br>28,7<br>31,9<br>22,5<br>17,0 | 10,9<br>8,7<br>7,9<br>7,7<br>6,7<br>5,1  | 25<br>51<br>58<br>59<br>68<br>57 | Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr    |                                              |                                              |                                             |                                              |                                        |                                             | 9,83<br>13,9<br>16,6<br>17,6<br>20,1<br>24,5 | 5,8<br>10,3<br>12,2<br>12,5<br>14,3<br>16,7 | 3,8<br>6,9<br>8,1<br>8,2<br>9,5<br>II, I | 5,9<br>7,0<br>8,5<br>9,4<br>10,6<br>13,3 | 3,9<br>3,5<br>4,45<br>5,2<br>5,8<br>7,8 | 1,22<br>2,76<br>2,80<br>2,89<br>2,85<br>1,32<br>2,84 | 2,76<br>2,80<br>2,89<br>2,85<br>2,81<br>2,84 | 56,4<br>13,3<br>43,1<br>54,6<br>21,1<br>33,5 |                          | 4,02<br>1,24                 | 3,1<br>5,6<br>6,1<br>6,5<br>7,6<br>9,3 |                                           |                                        | 4,66<br>4,04<br>3,63<br>4,14<br>3,35<br>3,33 |                                              |                                       |  |  |
| S L I 126 0-14<br>14-40<br>40-60                                               | 22,0<br>32,5<br>27,7                         | 23,1<br>26,2<br>24,3                     | 35,0<br>23,7<br>18,8                         | 16,6<br>14,7<br>18,2                     | 24<br>35<br>29                   | Tr<br>2,5<br>2,8                    |                                              |                                              |                                             |                                              |                                        |                                             | 18,2<br>18,1<br>13,4                         | 10,7<br>10,2<br>9,7                         | 7,1<br>6,8<br>6,5                        |                                          | 7,5<br>7,9<br>6,9                       |                                                      | 2,88<br>2,90<br>2,96                         |                                              |                          |                              |                                        | 4,6<br>4,7<br>2,4                         |                                        |                                              | 2,10<br>1,61<br>1,03                         |                                       |  |  |

## CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS FERRIQUES. SOLS A SESQUIOXYDES

|                                                                        | p H                                    |                                          | MATIERES ORGANIQUES                          |                                              |                                |                                              | MATIERES HUMIQUES C %      |                            |                            |                            | Taux d'humification                                          | PHOSPHORE                                    |                                               | POTASSIUM                    | Calcaire                                    | CATIONS ECHANGEABLES meq / 100 g         |                                              |                                              |                                               | Capacité d'échange                           | Taux de saturation                            | Fer (Fe 0 3 %)<br>total F. libre             |                                              |                                                    | Chlorures                                    | COMPLEXE ABSORBANT                           |                                              |                                              | FER % ARGILE                         |  |  |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|--|--|
|                                                                        | eau                                    | Kcl                                      | C %<br>t                                     | N %                                          | C/N                            | M.O. %                                       | MHT                        | AH                         | AF                         | AF/AH                      | AF + AH<br>Ct                                                | P 2 O 5<br>total                             | P 2 O 5<br>AS im                              | K 2 O %<br>total             | Actif<br>%                                  | Ca ++                                    | Mg++                                         | Na +                                         | K+                                            | T / meq/<br>100 g                            | v=S x 100<br>T                                | Fe O t<br>2 3                                | Fe O<br>2 3t                                 | Fe O 3<br>2 3t                                     | Cl %                                         | Ca ++<br>Mg ++                               | K+<br>Mg ++                                  | Na +<br>T                                    | Fer<br>Arg 100                       |  |  |
| SLI 10 0-14<br>14-30<br>30-50<br>50-710<br>110-120                     | 6,9<br>6,9<br>7,0<br>6,8<br>7,6        | 6,2<br>5,6<br>5,7<br>5,10<br>6,2         | 0,98<br>0,64<br>0,23                         | 0,09<br>0,09<br>0,06                         | 10<br>7<br>4                   | 1,79<br>1,11<br>0,39                         | 2,4<br>-<br>-              | 1,12<br>-<br>-             | 1,27<br>-<br>-             | 1,13<br>-<br>-             | 2,4<br>-<br>-                                                | -<br>-<br>-                                  | -<br>-<br>-                                   | -<br>-<br>-                  | Tr<br>Tr<br>1,1<br>1,1<br>1,3               | 8,2<br>12,2<br>13,0<br>14,5<br>16,4      | 3,1<br>3,2<br>3,5<br>3,7<br>4,8              | 0,70<br>0,95<br>1,20<br>0,73<br>0,99         | 0,25<br>0,16<br>0,13<br>0,12<br>0,10          | 8,8<br>17,3<br>25,2<br>26,1<br>27,5          | 139<br>95<br>70<br>72<br>81                   | 2,80<br>8,68<br>9,22                         | 2,53<br>6,76<br>7,19                         | 0,90<br>0,77<br>0,77                               |                                              | 2,64<br>3,81<br>3,71<br>3,91<br>3,41         | 0,80<br>0,50<br>0,37<br>0,32<br>0,20         | 0,79<br>0,54<br>0,47<br>0,27<br>0,36         | 10,0<br>13,2<br>11,9                 |  |  |
| SLI 10 0-21<br>21-47<br>47-102<br>102-122<br>122-140<br>140-160        | 6,1<br>6,3<br>6,2<br>6,3<br>5,9<br>5,8 | 5,2<br>5,4<br>5,5<br>5,10<br>5,10<br>5,2 | 0,75<br>0,25<br>0,19<br>0,16                 | 0,06<br>0,03<br>0,05<br>0,28                 | 12<br>8<br>4<br>4              | 1,29<br>0,43<br>0,34<br>0,28                 | 2,1<br>0,975<br>-<br>-     | 0,970<br>0,300<br>-<br>-   | 1,8<br>0,67<br>-<br>-      | 2,8<br>2,2<br>-<br>-       | 2,8<br>3,8<br>-<br>-                                         | 0,50<br>0,68<br>0,28                         | Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr                    | 3,92<br>4,02<br>0,89         | Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr                  | 10,9<br>11,3<br>8,2<br>7,2<br>5,1<br>4,8 | 4,07<br>5,6<br>5,8<br>6,4<br>5,6<br>5,6      | 0,73<br>0,85<br>0,85<br>0,85<br>1,16<br>1,33 | 0,25<br>0,16<br>0,13<br>0,14<br>0,12<br>0,10  | 16,2<br>18,2<br>15,6<br>15,4<br>13,4<br>13,0 | 88<br>88<br>96<br>94<br>90<br>91              | 4,25<br>7,15<br>7,68<br>7,81<br>7,23<br>6,81 | 3,95<br>5,45<br>6,23<br>6,50<br>6,04<br>6,43 | 0,92<br>0,65<br>0,81<br>0,83<br>0,83<br>0,84       |                                              | 0,21<br>2,01<br>1,41<br>1,12<br>0,91<br>0,95 | 0,06<br>0,28<br>0,22<br>0,21<br>0,21<br>0,17 | 0,45<br>0,47<br>0,56<br>0,58<br>0,95<br>0,11 | 22,4<br>12,4<br>12,4<br>12,0<br>11,5 |  |  |
| SLI 28 0-20<br>20-44<br>44-67<br>67-87<br>87-110<br>110-130<br>130-150 | 6,4<br>6,6<br>6,9<br>6,9<br>6,4<br>6,4 | 5,0<br>5,2<br>5,4<br>5,4<br>5,0<br>5,0   | 0,74<br>0,54<br>0,47<br>0,42<br>0,32<br>0,21 | 0,07<br>0,08<br>0,08<br>0,08<br>0,07<br>0,07 | 10<br>7<br>5<br>5<br>4<br>3    | 1,29<br>0,93<br>0,81<br>0,74<br>0,55<br>0,36 | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>- | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>- | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>- | -<br>-<br>-<br>-<br>-<br>- | 0,44<br>1,12<br>1,21<br>1,21<br>1,21<br>1,21<br>1,40<br>1,14 | Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr<br>Tr             | 2,69<br>6,46<br>8,34<br>9,03<br>11,54<br>9,90 |                              | 3,42<br>7,60<br>9,56<br>12,11<br>8,09       | 2,29<br>3,14<br>4,52<br>26,20<br>3,09    | 0,71<br>0,76<br>2,28<br>1,35<br>0,99         | 0,31<br>0,34<br>0,37<br>0,30<br>0,26         | 8,8<br>18,3<br>24,9<br>27,7<br>29,6           | 75<br>64<br>67<br>71<br>42                   | 2,80<br>6,10<br>7,81<br>9,13<br>9,34<br>9,503 | 1,57<br>4,61<br>5,78<br>5,77<br>5,31<br>7,30 | 0,37<br>0,75<br>0,74<br>0,63<br>0,67<br>0,76 |                                                    | 1,49<br>2,42<br>2,11<br>1,95<br>2,49         | 0,13<br>0,10<br>0,08<br>0,04<br>0,08         | 0,80<br>0,41<br>0,91<br>0,48<br>0,33         | 13,4<br>12,0<br>11,3<br>10,9<br>11,0<br>11,4 |                                      |  |  |
| SLI 125 0-10<br>10-46<br>46-110<br>110-130<br>130-150                  | 7,1<br>7,1<br>7,2<br>8,2               | 6,1<br>5,9<br>6,1<br>7,2                 | 0,95<br>0,69<br>0,33<br>0,30                 | 0,07<br>0,06<br>0,05<br>0,07                 | 12<br>10<br>6<br>4             | 1,64<br>1,18<br>0,57<br>0,51                 | 2,4<br>1,57<br>0,82        | 1,27<br>0,90<br>0,30       | 1,13<br>0,77<br>0,52       | 0,8<br>0,7<br>1,5          | 2,5<br>2,2<br>2,4<br>2,22                                    | 1,12<br>2,01<br>0,91<br>4,26<br>2,22         | 0,05<br>0,12<br>0,23<br>0,17                  | 2,04<br>7,97<br>4,56<br>4,42 | 1,2<br>3,8<br>8,6<br>22,2                   | 5,1<br>8,0<br>11,7<br>21,0               | 1,5<br>1,5<br>2,4<br>2,1                     | 0,89<br>0,74<br>0,91<br>0,92                 | 0,23<br>0,35<br>0,24<br>0,19                  | 6,2<br>10,3<br>17,6<br>20,8                  | Saturé<br>"<br>86<br>Saturé                   | 2,84<br>4,94<br>6,54<br>7,74                 | 2,11<br>3,73<br>6,47<br>7,74                 | 0,74<br>0,75<br>0,88<br>0,83                       |                                              | 3,40<br>5,33<br>4,87<br>1,00                 | 1,53<br>2,33<br>1,00<br>0,90                 | 1,43<br>0,73<br>0,51<br>0,44                 | 15,0<br>21,2<br>18,9<br>20,4         |  |  |
| SLI 124 0-10<br>10-21<br>21-44<br>44-87<br>87-110<br>110-130           | 6,4<br>6,6<br>7,0<br>7,1<br>7,0<br>7,6 | 5,5<br>5,5<br>5,8<br>5,8<br>5,7<br>6,4   | 1,40<br>0,89<br>0,61<br>1,66<br>1,45<br>1,50 | 0,10<br>0,11<br>0,10<br>0,08<br>0,07<br>0,07 | 13<br>8<br>6<br>20<br>18<br>18 | 2,41<br>1,53<br>1,04<br>2,85<br>2,49<br>2,38 | 2,92<br>1,42<br>2,77       | 1,31<br>0,75<br>1,66       | 1,21<br>0,57<br>1,08       | 1,2<br>0,9<br>0,6          | 3,8<br>1,8<br>4,4                                            | 0,52<br>0,60<br>0,51<br>0,48<br>0,29<br>0,45 |                                               |                              | 8,6<br>14,4<br>15,5<br>16,5<br>17,8<br>23,5 | 3,3<br>4,2<br>4,6<br>3,7<br>4,6<br>5,8   | 0,88<br>1,20<br>1,29<br>0,73<br>1,07<br>1,40 | 0,69<br>0,39<br>0,32<br>0,26<br>0,29<br>0,41 | 14,3<br>20,9<br>21,9<br>21,5<br>25,0<br>31,25 | 95<br>97<br>99<br>98<br>95<br>99             | 3,57<br>6,48<br>7,07<br>7,17<br>8,36<br>9,94  | 2,10<br>3,50<br>4,07<br>4,23<br>4,64<br>4,66 | 0,58<br>0,53<br>0,57<br>0,59<br>0,55<br>0,50 | 0,072<br>0,102<br>0,106<br>0,171<br>0,151<br>0,143 | 2,60<br>3,42<br>3,36<br>4,45<br>3,86<br>4,05 | 2,09<br>0,92<br>0,69<br>0,70<br>0,63<br>0,70 | 0,61<br>0,57<br>0,58<br>0,33<br>0,42<br>0,04 | 13,0<br>13,0<br>12,2<br>12,1<br>12,2<br>16,4 |                                      |  |  |
| SLI 126 0-14                                                           | 7,0<br>7,4<br>8,2                      | 6,1<br>6,2<br>7,2                        | 3,73<br>0,75<br>0,37                         | 0,25<br>0,15<br>0,08                         | 10<br>6<br>5                   | 4,70<br>1,64<br>0,63                         | 4,50<br>2,02               | 3,12<br>0,60               | 1,37<br>1,42               | 0,4<br>2,3                 | 1,4<br>1,7                                                   | 1,04<br>1,05<br>1,05                         | b<br>b<br>b                                   | 5,2<br>5,4<br>5,6            | 9,3<br>8,7<br>8,1                           | 14,2<br>13,3<br>13,4                     | 2,9<br>2,5<br>2,0                            | 1,38<br>0,46<br>0,55                         | 0,28<br>0,22<br>0,14                          | 20,4<br>18,5<br>17,0                         | 92<br>89<br>94                                | 6,25<br>9,18<br>8,51                         | 4,93<br>7,14<br>6,70                         | 0,78<br>0,77<br>0,82                               |                                              | 4,85<br>5,32<br>6,70                         | 0,36<br>0,88<br>0,70                         | 0,17<br>0,24<br>0,32                         | 28,84<br>28,2<br>30,7                |  |  |

|                | Eau | KCL | ASOTOBACTER | CLOSTRI- | AMMONI- | DENTRACTEURS | REDUCTEUR   | NITUEUX | N. Que | Cellulolyphpe |          |
|----------------|-----|-----|-------------|----------|---------|--------------|-------------|---------|--------|---------------|----------|
|                |     |     |             | dium     | TRATE   | IOJ)         | Fe          |         |        |               |          |
| Bou I2 0-10    | 7,5 |     | 0           | 0        | 5,104   | 5,102        | 5,103       | 5,105   | 5,104  | 800           |          |
| 20             | 7,5 |     | 0           | 0        | 5,105   | 102          | 102         | 105     | 5,103  | 600           | Avril 67 |
| 30             | 7,6 |     | 0           | 0        | 5,105   | 102          | 103         | 105     | 5,102  | 80            |          |
| 40             | 7,2 |     | 0           | 0        | 5,104   | 102          | 104         | 105     | 5,102  | 80            |          |
| Bou I2 0-10 1) |     |     | 0           | 0        | 5,10,7  | 0            | 5,102       | Neant   | Neant  | Neant         |          |
| 20 2)          |     |     | 0           | 0        | 0       | 0            | 5,102       | -       | -      | -             |          |
| 30 3)          |     |     | 0           | 0        | 0       | 0            | 5,104       | -       | -      | -             |          |
| 40 4)          |     |     | 0           | 0        | 0       | 0            | 5,104       | -       | -      | -             | Juillet  |
| 50 5)          |     |     | 0           | 0        | 0       | 0            | 5,105       | -       | -      | -             | 67       |
| 60 6)          |     |     | 0           | 0        | 0       | 0            | 5,106       | -       | -      | -             |          |
| Bou 2I 1       | 6,7 | 6,4 | Neant       | 0        | 5,103   | 5,102        | 5,103       | 5,104   | 5,102  |               |          |
| 2              | 6,1 | 6,0 | 0           | 0        | 104     | 102          | "           | "       | 102    |               |          |
| 3              | 6,1 | 5,8 | 0           | 0        | 104     | 102          | "           | "       | 102    |               | Avril 67 |
| 4              | 6,1 | 5,5 | 0           | 0        | 105     | 102          | "           | "       | 102    |               |          |
| 5              | 7,0 | 0,2 | 0           | 0        | 105     | 102          | "           | "       | 102    |               |          |
| Bou 2I 1       |     |     | Neant       | Neant    | Neant   | Neant        | Neant       | Neant   | Neant  | Neant         |          |
| 2              |     |     |             |          |         |              |             |         |        |               |          |
| 3              |     |     |             |          |         |              |             |         |        |               | Juillet  |
| 4              |     |     |             |          |         |              |             |         |        |               | 67       |
| 5              |     |     |             |          |         |              |             |         |        |               |          |
| Bou I6 1       | 5,7 | 4,5 | 0           |          | 0       | 0            | Non relises | 5,106   | 5,104  | 500           |          |
| 2              | 6,0 | 5,8 |             |          |         |              |             | 106     | 103    | Mars 67       |          |
| 3              | 6,0 | 5,6 |             |          |         |              |             | 105     | 104    |               |          |
| 4              | 5,0 | 5,3 |             |          |         |              |             | 104     | 103    |               |          |
| 5              | 6,0 | 5,4 |             |          |         |              |             |         |        |               |          |
| Bou I6 1       |     |     | Neant       |          | Neant   | Neant        | 5-102       | 502     | Neant  | Neant         |          |
| 2              |     |     |             |          |         |              | 102         |         |        |               | Juillet  |
| 3              |     |     |             |          |         |              | 102         |         |        |               |          |
| 4              |     |     |             |          |         |              | 102         |         |        |               |          |
| 5              |     |     |             |          |         |              | 102         |         |        |               |          |

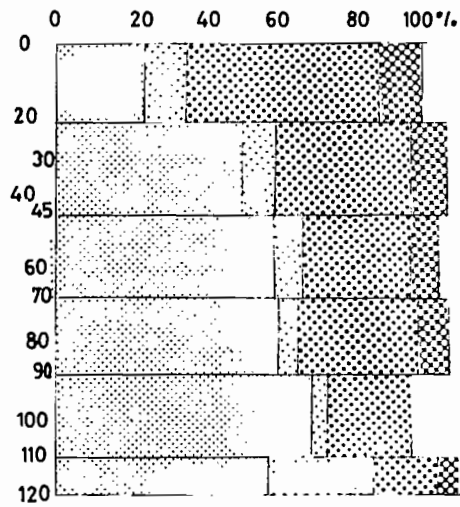
Bou I6 : sol rouge mediterraneen lessive hydromorphes pour foret (Eucolyphes et lis) sol ferrugineux).

I2 : Sol Rouge mediterraneen peu lessive sous cultive

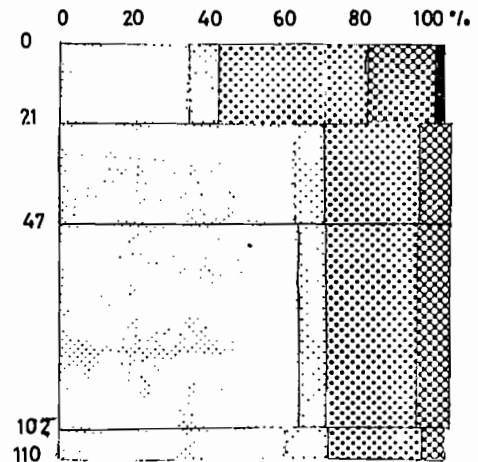
2I : sol Rouge mediterraneens.

Texture des.

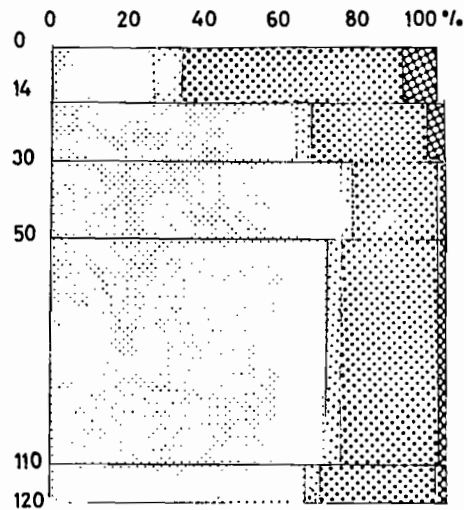
# SOLS ROUGES MEDITERRANEENS



Sli 24



Sli 10 bis



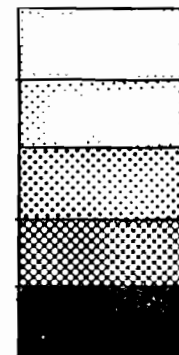
Sli 10

## Echelle

Profondeurs 1 cmp - 20cm

Texture : 1 cmp - 2%

A, L, Sg, sG



Argile

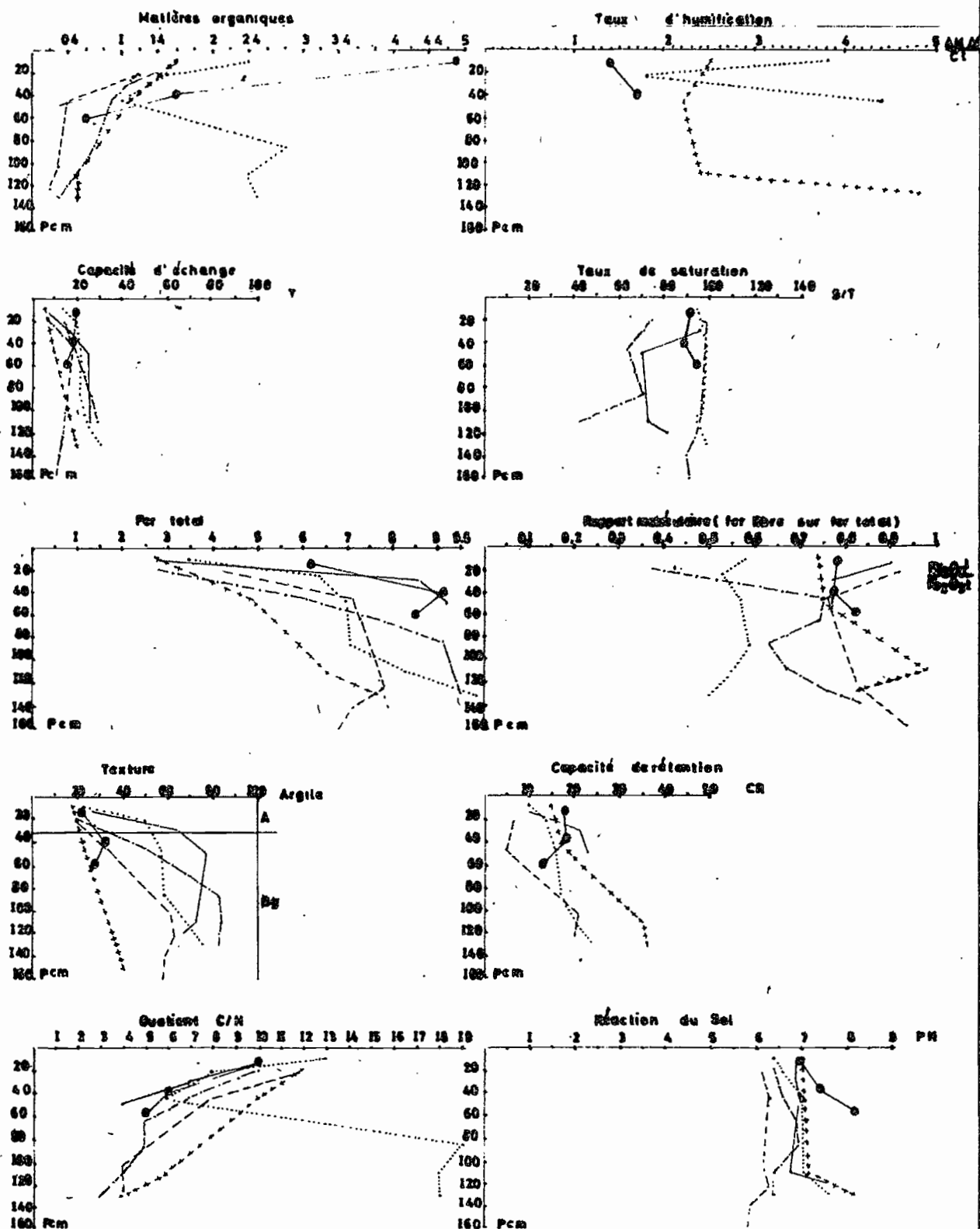
Limons

Sables fins

Sables grossiers

Calcaires

VARIATION DE QUELQUES CARACTERISTIQUES CHIMICOES ET PHYSIQUES DES SOLS  
ROUGES MEDITERRANEENS  
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR



- SLI 10 Sol rouge méditerranéen, peu lessivé, moyennement saturé, faiblement hydromorphe
- - - SLI 28 " " " " " " " modal
- ... SLI 125 " " " " " " " , lessivé, saturé à caractère isohumique
- . - SLI 24 Sol brun " " " " " " " , non saturé, lessivé, hydromorphe
- o SLI 126 Sol rouge " " " " " " " , peu " " " , non lessivé, sur schistes
- x SLI 10b Sol "ferrugineux" méditerranéen lessivé, hydromorphe ou "sol rouge polygénique, polyphasé"

- 92 -

III-V - Les Sols A SESQUIOXYDES DE FER (ou de Manganèse) III-7-I MORPHOLOGIE  
PROFIL N° SLI 10 -

Facteurs de pédogenèse

Climat : méditerranéen semi-aride à hiver frais (Xérotherique atténué). P=491  
m/m, T = 18°C

Roche mère : Grès calcaire "dunaire" Moghrébien (Calabrien).

Matériau originel: Argile et limons rouges (villafranchien)

Topographie : Pente moyenne, drainage externe - "en grand" - assez bon,  
Pente = 5-6 ‰

Végétation naturelle (fossile), Forêt de chêne-liège : Quercus, Suber) - puis chamaeropaie à base de Chamaerops (Doum ou palmier nain : chamaerops humilis) et d'Asphodelus (Asphodelus microcarpus) et Tirza (Rhus pinthaphilun).

Végétation : Introduite : Céréales (Blé orge).

Erosion : Très forte : en ravins et en Bads-lands -

Géomorphologie : D'une consistance "quaternaire" - Moghrébien.

Edifices biologique : quelques fourmillères

Coordonnées Lambert X = 344, 500 - Y = 348, 750 - Altitude relative : 185 n  
lieu - dit : El Koudia des Ouled Younses - "ARAB"

Morphologies

A<sub>II</sub> De 0 à 14 cm : Horizon brun-rougeâtre foncé - 7, 5YR 4/4 - sablo-limoneux humifère. La sur-structure est motteuse et la structure polyédrique fine émoussée. La cohésion et la consistance sont moyennes, la compacité forte quand le sol est sec. "prise en masse ou battance". La matière organique est bien décomposée et bien mélangée à la matière <sup>minérale</sup> - Humus du type Mull - les pisolites et les concrétions ferrugineuses sont peu nombreux. Le chevelu racinaire est bien développé. La limite entre A et A-B, est progressive. L'Horizon n'est pas calcaire.

A<sub>12</sub> - B, De 14 à 30 cm : Horizon rouge brunâtre - 5 YR 4/8 - jaunâtre à sa base quand le sol est humide. La texture est limono-argilo-sableuse, la sur-structure est massive et la structure polyédrique moyenne bien développée - A l'état humide, l'horizon est beige et la structure devient "fondu-massive". La cohésion est moyenne, la compacité forte quand le sol est sec. La porosité est faible, essentiellement tubulaire. Pénétration de la matière organique le long des canalicules racinaires, les concrétions ferrugineuses et leur diamètre plus élevé que celui des pisolites de surface. Quelques galets roulés, de nombreux grains de quartz et des racines mortes noyées dans la masse minérale.

L'horizon <sup>A-B</sup> n'est pas calcaire et ne présente aucune trace de pseudo gley la transition entre <sup>A-B</sup> et B<sub>2</sub> est progressive.

ou B<sub>2</sub> de 30 à 110 cm : Horizon rougeâtre - 5 R 4/8-, argileux non calcaire la sur-structure est massive, "astructure" polyédrique moyenne bien développée quand le sol est sec. A l'Etat humide, la structure est massive - La compacité est moyenne à forte, la porosité faible - essentiellement tubulaire. Quand le sol se dessèche, la macro-structure devient prismatique, délimitée par des fentes de "retrait", de faible envergure.

Les recouvrements argileux et les revêtements de matières organique sont particulièrement nettes le long des canalicules racinaires. -

Quelques rares pisolites, des galets roulés et des <sup>quartzites</sup> satinés sont; noyées dans la masse argileuse.

A la base de l'horizon : grès calcaire altéré en "pseudo-nodules"

A plus de 110 cm : Grès - calcaire, jaunâtre, dur, imperméable.

## CYCLE MORPHOLOGIQUE

Observé en été, le profil est dans son ensemble de couleur rouges, à structure massive très compact. En hiver, l'horizon B<sub>1</sub> subit un engorgement temporaire, mais sans qu'il y ait réduction du fer (phase anaérobique courte et micro-porosité assez bonne) et l'horizon B<sub>2</sub> ou B<sub>t</sub> ne présente pas de traînées de pseudo-gley mais des ferranes et des manganés dispersés dans la masse argileuse rouge.

La couleur de l'horizon B<sub>t</sub> devient plus claire - jaunâtre ou rouge - beige - (sesquioxydes hydratés). Au printemps, le sol se desséchant progressivement reprend sa couleur rouge "écarlate" en même temps que se développe en profondeur une structure prismatique. L'horizon A riche en éléments fins -notamment en limons fins - devient plus compact (battance).

Le sol étant relativement bien drainé "en grand", présente en hiver un engorgement partiel dû à la faible perméabilité de l'horizon B argileux. Cette tendance à l'hydromorphie étant très faible, le régime hydrique du sol peut être considéré du type intermédiaire Aéropédique - hydropédique, soit une légère tendance à la vertisolisation (ou Tirsification en profondeur) qui se traduit morphologiquement par le fondillement du sol en profondeur et le "retrait" des argiles (+) en période sèche.

Critères de classification : le sol est rubéfié (Horizons rouges), lessivé, voire appauvri en argile, décarboxaté mais non décalcifié avec une légère tendance à l'hydromorphie.

## CLASSIFICATION

Sols riches en sesquioxydes de fer (ou de manganèse) - (ou sol fersiallitique).

Sol rouge Méditerranéen lessivé (Complexe partiellement désaturé en calcium)

Sous-groupe : Modal sur grès calcaire (ou faiblement vertique en profondeur)

- Série : Hamri sablo-argileux
- facies : Hydromorphe
- phase : Cultivé

### - EXEMPLE 2 -

Profil n° Sli 10 bis

Facteurs de Pédogénèse

Climat : / <sup>actuel</sup> Méditerranéen semi-aride à hiver frais ou Xérotherique Paléoclimat humide (?) Pliovillafranchien) ~~et~~ Atténué : P = 491 mm/m;

T = 18°C.

Paléoclimat humide (Paléo-Villafranchien).

Roche-Mère : Grès calcaire "dunaire" (Moghrébien calabrien)

Matériau Originel : Complexe d'argile rouge Villafranchienne, de sable, limons et de grès-calcaire altéré.

Topographie : Pente moyenne, assez bon drainage externe (P = 4-5 %)

Végétation : Fossile : Forêt de Quercus Suber - puis matorral et Chamaerops à base de Chamaerops humilis, de Tirs (Rhus pentaphyllum) Asphodellus microcarpus et xérophytes divers.

(Végétation

(Actuelle : culture de céréales - Chamaerops h : (Doum ou palmier nain).

Erosion très forte : En "Bad-Lands" ou Ravins.

Géomorphologie : "dune consolidée Moghrébienne. Hydrogéologie : nappe aquifère très profonde et nappe temporaire entre 30 et 40 cm.

Surface du sol : édifices biologiques : rares fourmillères : Amas ferrugineux et concrétions en surface.

Coordonnées Lambert : X = 346,200 - Y = 350,100 : Z = 190 m

Lieu dit : El Koudia des OULAD Younes - "ARAB" -(Méséta Marocaine).

## MORPHOLOGIE

- A - De 0 à 21 cm : Horizon brun-grisâtre - 10 RY 5/3 - limoneux sableux humifère, à structure particulière à tendance polyédrique fine. A l'état humide, l'horizon est peu cohérent, peu consistant, à l'état sec il devient plus compact, consistant et peu cohérent (prise en masse ou battance). La matière organique est bien décomposée, bien mélangée aux matières minérales (humus du type Mull - hydro-mull légèrement onctueux). Les racines et les radicelles sont particulièrement abondantes. Les pisolites, les concrétions ferrugineuses sont plus nombreux à la surface du sol que dans la matrice limoneuse. Quelques galets ronds quartzeux satinés et du quartz carié, puis le passage devient brutale entre A et (B<sub>1</sub>).

- B<sub>1</sub> - De 21 à 47 cm : Horizon jaune - brunâtre - 7,5 YR 6/4 - Limoneux sableux ~~finement~~ argileux et très peu humifère. La structure est massive, la structure polyédrique fine et moyenne émoussée. Les concrétions ferrugineuses sont plus abondantes et partiellement indurées en amas ferrugineux de 5 à 10 cm de diamètre - Ces amas pouvant provenir des débris d'une carapace "défoncée" - Les racines sont rares. Les recouvrements de matières organiques se situent le long des racines mortes (racines de Chamaerops). La transition entre B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub> est graduelle. Présence de nombreux grains de quartz - l'horizon n'est pas calcaire ~~cutané~~.

- B<sub>t</sub> - De 47 à 102 cm. Horizon jaune - rougeâtre, devenant rouge vif à la base - 10 R 5/8 - La texture est argilo-limoneuse, puis plus argileuse en profondeur. La sur-structure est massive la structure polyédrique grosse à tendance feuillatée vers la base/la cohésion est bonne, la compacité moyenne, la perméabilité faible - (Porosité essentiellement tubulaire)-. Présence de quelques rares pisolites de tâches noires et rouilles d'oxydes de fer et de manganèse (?) (ferranes ou sesquanes) présente de recouvrement de matières organiques, de revêtements argileux. -

- B<sub>2</sub> - A plus de 102 cm, l'horizon devient rouge compact, a structure feuilletée. La limite entre l'horizon rouge et le grès calcaire dunaire est discontinue, l'horizon ou "niveau" (Vi) rouge est très profond (de 2 à plusieurs mètres) et présente des faces lisses et une sur-structure prismatique (sol à l'état sec)

## CYCLE MORPHOLOGIQUES

Observé en été, le profil présente l'ensemble des caractères décrits ci-dessus. En Automne et en hiver, après les premières pluies, l'horizon A est saturé d'eau, et une nappe temporaire prend naissance entre A et B<sub>1</sub> qui prend une couleur jaune alors qu'en (B<sub>2</sub>), on peut observer quelques traînées jaunâtres. Cette hydromorphie temporaire "favorise" la ~~immobilisation~~ mobilisation du fer et la migration des "colloïdes" en profondeur. En surface, un réseau de petites rigoles se forme au fur et à mesure que l'horizon A est appauvri en éléments fins.

Les phénomènes d'oxydo-réduction sont particulièrement développés au niveau de la frange d'évaporation de la nappe temporaire. Le sol se desséchant reprend les couleurs citées plus haut - des hydratation des oxydes de fer et l'immobilisation du fer oxydé, -

Ce phénomène d'engorgement du sol entre les Horizons A et B est très caractéristique du sol, mais les processus sont peu intenses en périphérie des

dunes consolidées, notamment les processus de réduction et de migration du fer. Dans les zones plus basses), l'hydromorphie domine, alors que sur les versants bien drainés de la "dune" consolidée, on n'observe aucun phénomène d'engorgement du sol.

Nous avons donc un sol riche en sesquioxydes de fer en profondeur ou "Horizon rubéfié" à régime hydrique aéro-pédique avec une phase anaérobique - ou d'anaérobiose-courte. Le lessivage des argiles est limité mais l'appauvrissement - ou lessivage oblique - de l'horizon humifère est très poussé.

#### Critère de classification :

~~Nous avons donc~~ le sol présente des caractères d'hydromorphie (engorgement temporaire) et de rubéfaction (horizon rouge profond) ainsi qu'un appauvrissement et un lessivage des horizons éluviaux.

La genèse de ce sol est la résultante de plusieurs phénomènes complexes et d'intensité différentes. Il constitue un intergrade entre les sols hydromorphes des zones planes (plateau villafranchien) et des zones bien drainées dunes consolidées (Moghrébiennes) avec lesquels ils forment une chaîne de sol, L'ensembles de ces sols formant des unités bien différenciés, ou "Séries de sols" ont été cartographiés en SOLS ROUGES MEDITERRANEENS (SOL FERRALLITIQUES) Lessivés ( sans réserve calcique ou encore à complexe partiellement désaturé hydromorphes sur grès calcaire. Cependant, le profil décrit plus haut diffère des sols rouges méditerranéens sur grès calcaire des sommets des dunes ou sur calcaire dur

- par - 1) La profondeur de l'horizon B;  
2) Le lessivage et l'appauvrissement intense de l'horizon A  
3) L'engorgement temporaire en A-B (Régime hydrique)  
4) La structure de B : tendance feuilletée ou nettement feuilletée alors que la structure des sols rouges méditerranéens types est polyédrique ou massive.  
5) Une pédogénèse complexe ayant probablement commencé depuis le Moghrébien et résultant de l'interaction de plusieurs phénomènes (hydrogénèse, rubéfaction, lessivage et diagénèse des dunes consolidées plio-quaternaires. (voir Génèse)

En conclusion, le sol est polygénique et polyphasé - constituerait un groupe voire même une sous classe particulière des sols à sesquioxydes de fer (voir analyse et génèse).

Proposition : SOL A SESQUIOXYDES DE FER et de manganèse :  
SOL FERRUGINEUX Méditerranéen lessivé hydromorphe.

Ce type de sol a été observé dans de nombreuses régions des Zaers / (voir la Monographie pédologique des ZAERS, de la Haute Chaouia et des SEHOULS(+)

#### EXEMPLE 3

N° du profil : SLI 24

Facteurs de pédogénèse :

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais : P=490 m/m T=18° C

Roche-mère : Grès-calcaire dur-imperméable -(Pliocène Moghrébien)

Matériau originel : complexe d'argile rouge Villafranchienne et de grès calcaire altéré.

Topographie : Plateau faiblement ondulé : P= 4-5 %

Végétation : Fossile : pseudo-steppe à base de chamaerops humilis et d'aphodelus m, - et Xérophytes / <sup>végétation</sup> actuelle : culture de céréales jachère ou légumineuses -

Erosion : très faible érosion en nappe ("Sheet-flood")

Géomorphologie : Ancienne surface d'érosion du S-0 de Ben-Slimane

hydrogéologie : Nappe très profonde (Rôle pédogénétique nul).

Surface du sol : Ondulation faible.

Coordonnées Lambert : X=332,400 : =327,250 : Z=235 m

lieu dit : Oulad El Ali - ZIAIDA -

## MORPHOLOGIE

- A<sub>1</sub> - De 0 à 10 cm : Horizon brun-foncé, devenant brun grisâtre entre 10 et 21 cm - ~~105YR~~ 4/2 - structure massive à tendance grenue fine - limono-sableux peu argileux humifère non calcaire, très riche en grains de quartz.

- A<sub>1</sub> - De 10 à 21 cm Horizon limoneux -sableux humifère. La matière organique est bien décomposée, bien mélangée la matière minérale, au toucher, l'humus est légèrement onctueux (humus du type Mull-Hydromull). La structure est particulière à tendance polyédrique émoussée, puis massive à l'état sec (Prise en masse ou Battance). La cohésion est faible, la consistance est forte quand le sol est sec. La compacité augmente quand le sol se dessèche.

De nombreux pisolites (1 cm de diamètre moyen) noyés dans la matrice limoneuse - Les racines, les bulbes (d'asphodèles) sont bien développés. - L'horizon n'est pas calcaire, la limite est nette entre A et B<sub>1</sub> (Discordance texturale) -

- B<sub>1</sub> - De 21 à 44 cm : Horizon beige - rougeâtre - 10 YR 3/3 -, sablo-limoneux très peu humifère, non calcaire, finement argileux à la base.

La structure est polyédrique moyenne peu développée, la sur-structure massive.

La cohésion est bonne, la consistance et la compacité sont assez fortes (sol sec). Les pisolites sont assez nombreux (diamètre 0,1 - 0,5 cm) Les concrétions ferrugineuses plus rares (diamètre supérieur à 1 cm; inférieur à 5 cm): Le long des racines mortes et des canalicules de lombrics les recouvrements de matières organiques sont nettes, les revêtements - argileux plus rares.

Limite progressive entre B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub>.

- B<sub>t</sub> - De 44 à 97 cm : Horizon jaunâtre et ocre avec des taches rouges éparses et peu étendues argilo-limoneux peu humifère, non calcaire, compact, cohérent et peu poreux. La sur-structure est massive. (Etat humide) ou prismatique, cubique (sec) la structure est polyédrique bien développée.

B<sub>21</sub> A la base de l'horizon; quelques taches de pseudo - gley, des taches noirâtres d'oxydes de fer et de manganèse ou "sesquanes" (?) et des pisolites. Les facettes de glissement ou "Slikensides" sont assez bien développées. Les revêtements argileux sont nettes.

La faune est assez active (Essentiellement les Lumbricidae) :  
Passage progressive vers B<sub>22</sub>.

- B<sub>22</sub> - De 87 à 110 cm : Horizon jaune rougeâtre, argileux, <sup>non</sup> calcaire peu humifère. La compacité et la cohésion sont fortes. Les facettes de glissement deviennent plus étendues, les revêtements et les recouvrements de matières-organiques et d'argile plus nettes et "masquent" la couleur rouge de l'horizon. La sur-structure est prismatique délimitée par des fentes "de retrait" verticales (de faible envergure) -

C - A plus de 110 cm grés calcaire en voie d'altération puis grés calcaire, jaunâtre, dur, imperméable.

=====

Le profil, dans son ensemble est de couleur jaune-rougeâtre (à l'état sec) à structure massive, compact. En hiver, l'horizon humifère et l'horizon B<sub>1</sub> sont saturé d'eau et de 20 à 50 cm, l'engorgement temporaire "favorise l'immobilisation du fer réduit, sa migration en profondeur ou latérale". Les colloïdes argileux sont lessivés par descensus ou latéralement (ou érosion en nappe) - En profondeur, l'engorgement temporaire "favorise" les mouvements internes de la masse <sup>ferrugineuse</sup> minérale, et ces pressions internes qui s'exercent sur cette masse donnent naissance aux slikensides. Au printemps et début été, le sol se dessèche progressivement : l'horizon B<sub>2</sub> se fonderillent. L'horizon A humifère devient compact et consistant (battant).

L'horizon B<sub>1</sub> de couleur jaune-beige se dessèche et le "fond rouge" apparaît plus nettement (deshydratation progressive des sesquioxides).

Les cycles morphogénétiques ayant donné naissance aux horizons rouges de profondeur sont fort complexe. Ces horizons, appelés encore "niveau Villafranchien inférieur" par les géomorphologues, serait un apport de sols rouges des montages lors du dernier pluvial ?

Cependant, quelque soit l'origine de ce niveau : apport ou -forte altération du grès calcaire sous-jacent, (celle-ci s'observe actuellement)-, la rubéfaction aurait lieu sur place" et se continuerait sous les conditions climatiques et topographiques (relief) actuelles (voir. genèse des sols à sesquioxides).

La distinction entre les phases "d'apport" et les phases "de pédogénèse" au cours du quaternaire et dans ce cas des phénomènes de rubéfaction et les processus de libération et d'individualisation du ~~est~~ généralement admise par les pédologues.

Cependant, la présence de galets roulés, de quartz cariés et la richesse des horizons en grains de quartz (non éolisés) - matériaux caractéristiques du Villafranchien-noyés dans la masse argileuse rouge entraîne que le niveau rouge ne s'est pas formé uniquement au dépens du grès calcaire, ou d'un matériau silico-calcaire, mais aussi au dépens des apports au cours du quaternaire ayant ou probablement Villafranchien.

Le cadre bioclimatique du type méditerranéen, le phénomène de rubéfaction s'est intensifié sans que l'orientation de la morphogénèse du sol ait été modifiée. Le lessivage intense des colloïdes argileux couleur entraînement latérale explique par ailleurs l'engorgement temporaire entre les niveaux supérieurs ou horizons humifères, plus perméable et de texture légère et les niveaux inférieurs de texture plus grossière et peu perméables. Cet engorgement temporaire favorise l'immobilisation du fer en période humide et sa migration ( sous forme de complexe ou réduite).

En période sèche, la dessiccation poussée du sol aurait favorisé l'immobilisation du fer et la genèse progressive des pisolites, des concrétions et des amas ferrugineux dans le profil.

Pour E.H. d'EL villa l'immobilisation du fer et son accumulation ne résulte pas de la dessiccation poussée du sol, mais serait consécutive à des "phénomènes de prise" en milieux acqueux (analogie avec l'alios de nappe (49)).

La succession des phases d'engorgement temporaire du sol en profondeur (horizons A-B. et B) serait à l'origine du blanchement progressif ou "dérubéfaction" des horizons rouges du sol ainsi que des processus de foisonnement et de retrait des argiles relativement peu poussés par rapport aux Tirs - (Vertisols)

## CRITERES DE CLASSIFICATION

Le sol est riche en sesquioxydes de fer et de manganèse, et surtout en fer libre (v. Analyse II) ; lessivé ou appauvri, l'hydromorphie est peu intense et n'affecte pas l'ensemble du sol : absence de gley ou de pseudo-gley en profondeur, (sol des Zones moins bien drainées). L'engorgement du sol en profondeur, les fortes pressions internes et les mouvements de masses minérales entre elles développent de larges slickensides en profondeur "Vertisolisation ou tirsification en profondeur" qui s'intensifie quand le sol se dessèche : fendillement en un réseau de fentes polygonal-plan -

## CLASSIFICATION

Sol à sesquioxydes de fer (de manganèse) sol rouge et brun

Méditerranéen ou sols fersiallitiques -

Sol brun Méditerranéen Lessivé hydromorphe et vertique sur grés calcaire

Facies : Vertique

Serie : sol rouge "Blanchi" moyennement profond, à texture sableuse en surface argileuse en profondeur -.

Phase : cultivé,

=====

### EXEMPLE 4

#### PROFIL N° SLI 125

##### Facteurs Pédogénétiques

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais - P. 490 m/m T= 18°C.

Roche-mère Grés calcaire dunaire (Moghrebien-Calabrien)

Matériau originel : Grés calcaire en voie d'altération et argile rouge.

Végétation ; Fossile : forêt de Quercus Suber, et Xérophytes (Strates ligneuses buissonnantes)

Actuelle : culture (céréales). - spontanée : Raphanus, Rapha, Rumex B., Chamacrops h.)

Topographie : Zone à pente moyenne à faible.

Erosion : faible érosion en nappe ou "sheet flood"

Géomorphologie : Placcage de grés - calcaire (Moghrebien).

Hydrogéologie : Nappe aquifère très profonde (Role pédogénétique nul)

Surface du sol : Affleurements de grés calcaire altéré (Lapiaz) . Quelques pisolithes et concrétions ferrugineuses.

Coordonnées Lambert : X = 342, 50, Y = 349, 200 Z = 158 m .

Lieu dit Sidi Bou Maâzi - ARAB -

##### Morphologie

A De 0-10 cm: Horizon brun-foncé - 7,5 YR 4/2 -, limoneux humifère non calcaire, à structure grenue moyenne bien développée. Le chevelu racinaire et les pisolithes<sup>sont</sup> peu nombreux (3 à 5 % de la masse totale).

A<sub>1</sub> De 10 à 46 cm : Horizon brun - rougeâtre foncé - 5 YR 3/4 - argileux limoneux humifère non calcaire. La structure est polyédrique moyenne émoussée : la macro-structure est massive quand le sol est sec. Présence de galets roulés satinés, de quartz cariés et de débris calcaires, la cohésion est bonne, la consistance moyenne et la compacité assez forte, La porosité est moyenne, essentiellement tubulaire.

.../...

Débris de déjections animales (lombrics) ou "crotovines". Les pisolithes et les racines sont plus rares qu'en A<sub>1</sub>. Passage progressif vers B<sub>1</sub>

(A<sub>0</sub> - A<sub>1</sub>) De 0 à 46 cm, le profil présente un gradient de matière organique, puis celle-ci pénètre en languettes en B-C. le long du système racinaire (fossile). L'horizon est décarbonaté - La structure est massive à tendance polyédrique émoussée, la structure limono sableuse humifère.

B<sub>1</sub> de 46 à 110 cm : Horizon rougeâtre, argileux, non calcaire très peu humifère. La macro-structure est massive, à tendance prismatico-cubique (sol sec)., La micro structure est polyédrique moyenne bien développée à moyennement feuilletée à la base de l'horizon. Quelques crotovines (de lumbricides). Les pisolithes sont très rares. Les revêtements argileux sont localisés le long des racines mortes. le recouvrements de matières organiques sont assez étendues. Débris calcaires à la base de l'horizon (pseudo-nodules cristallisés).

A plus de 110 cm : Grés calcaire en voie d'altération et argile rouge ; puis du grés calcaire jaunâtre, dur et imperméable.

### CYCLES MORPHOGENETIQUES

En été, le profil présente dans son ensemble les caractères morphologiques décrits plus haut. En Automne et en hiver, le sol saturé-mais non engorgé-d'eau (le drainage externe étant assez bon), l'horizon A est plus foncé, à structure peu développée à tendance <sup>à m<sup>ns</sup></sup> "particulière". La mésofaune est particulièrement active. En B la structure est massive à tendance "fondue massive" avec quelques faces lissées de faible étendues. Le sol n'étant pas calcaire, le fer "mobilisé" migre. Au printemps et en été, le sol se dessèchant, le fer se pectise, s'immobilise et l'horizon B prend une coloration rouge-vive, la structure du sol étant massive, à tendance prismatique en profondeur, alors que l'horizon A plus riche en éléments grossiers par appauvrissement ou migration latérale des colloïdes argileux due à l'érosion en nappe ; est moins bien structuré et devient compact - sauf dans les 10 cm. supérieurs où la structure est grenue ou "construite".

L'érosion en nappe "favorise" une accumulation des pisolithes en surface.

Le phénomène de "réduction du fer" n'affecte la morphologie du sol à aucune période de l'année - absence de pseudo-gley.

La genèse du sol est fort complexe et a probablement commencé depuis le Villafranchien. Le matériau originel du sol est la résultante de l'altération d'une roche carbonatée grés calcaire ou sable calcaire - et d'apport résultant de l'érosion aréolaire. Trois processus fondamentaux - Rubéfaction : individualisation et immobilisation des sesquioxydes et leur "pectisation (fer couverture des argiles)".

- La décarbonatation : migration et lessivages des carbonates de chaux.

- La steppisation : (décomposition et pénétration des matières organiques sur plus de la moitié du profil. (matière organique d'origine forestière et ou steppique). La décarbonatation du sol est très poussée sans que le sol soit décalcifié (Réaction neutre) et sans qu'il y ait d'accumulation de calcaire sous forme d'encroûtement, de nodules ou de croûte calcaire. D'où deux hypothèses possibles quant à la migration des carbonates et à leur modes d'accumulation, la décarbonatation du sol et la gresification de la dune consolidée (grés calcaire dunaire) auraient été simultanées, le matériau originel étant sablo - calcaire friable et poreux : soit que le ciment calcaire des grés seraient essentiellement

d'origine pédogénétique "ou pédiques" : L'hypothèse liant la pédogénèse du sol (rubéfaction et décarbonatation du sol) et la morphogénèse des dunes consolidées(+) en rapport avec les processus pédogénétique ayant donné naissance au sol aux processus de diagénèse ou "lapidification" des dunes et "d'accumulation du calcaire en profondeur". implique que les sols rouges méditerranéens des dunes consolidés seraient essentiellement autochtones et plus ou moins remaniés au cours des périodes Post-Villafranchiennes.

Cependant dans le cas du profil décrit, la liaison entre les deux phénomènes rencontrent deux limites dues : à la faible profondeur du sol par rapport aux épaisseurs des grés calcaires, même si le sol est tronqué ou fortement érodé - "équilibre entre les processus d'érosion et d'évolution des sols - La décarbonatation du sol ou du "matériau originel silico-calcaire "si intense soit elle ne peut à elle seule expliquer l'accumulation sur plusieurs mètres de calcaire "grésifié", et la présence de matériau "allochtone" - galets roulés satinés, quartz cariés, débris de quartzites qui résulteraient d'un remaniement du sol pendant les périodes Post-Villafranchiennes et au fur et à mesure de son évolution, une autre limite à l'hypothèse de formation des sols et de diagénèse des dunes porte sur la microstructure des grés "dunaires" dont le ciment serait, d'après Bourcart (10) de la calcite limpide et mosaïque ainsi que de leur texture - rareté des minéraux colorés. Et d'après le même auteur, la lapidification - ou grésification - des dunes consolidées quaternaires se serait faite à l'air libre, soit antérieurement à la formation des sols : D'où les sols se seraient formés par épigénèse - soit sous l'action de facteurs épigénétiques sur un matériau consolidé et dont l'altération se poursuit sous les conditions climatiques actuelles (altération des grés en pseudo-nodules calcaires cristallisés observés à la base des profils).

Une autre hypothèse possible est que les sols se seraient formés sur un matériau complexe - autochtone et allochtone - (grés calcaire et apports au villafranchien moyen et supérieur) sous une végétation arborée (Subéraie), le relief permettant un "bon drainage en grand". La rubéfaction - libération et mobilisation et immobilisation du fer oxydé ou son accumulation sous forme de pisolithes et/ou de sesquioxides et en "couverture" sur les argiles (65) aurait été d'intensité variable pendant les périodes Post-Villafranchiennes (Phénomène de paléo-rubéfaction et de rubéfaction subactuelle et actuelle). Pendant les pluviaux, la genèse des sols aurait été orientée par des processus de forte libération et de mobilisation du fer (soit sous forme "ionique" ou de chélat et ou de complexe)(65) en milieu acide - ou acidifié par les produits de décompositions des matières organiques, celles-ci étant abondantes sous une végétation arborée et fortement décomposée en milieu humide sous l'action directe et indirecte de "nappes microbiennes" (+). La décarbonatation poussée du sol - ou d'après Reifeinberg la migration du fer complexé par l'acide silicique qui joue le rôle de colloïdes protecteur et rend possible la solubilité du fer en présence de calcium ( ) aurait favorisé les migrations/fer - sous forme d'ions ferreux, de complexes ou de chélats -

Pendant les inter-pluviaux, plus rudes et plus secs, la mobilisation du fer fut plus intense, les esquioxydes fer (et de manganèse) s'individualisant - et s'accumulant - à des niveaux différents dans le sol pour atteindre un équilibre actuel entre - 20 et 60 cm de profondeur (voir analyse fer libre et fer total) - Il en résulte que la rubéfaction <sup>ne serait développée</sup> ait pu se produire sur un matériau silico-calcaire, poreux, friable (bon drainage interne du sol) ou par altération progressive des grés calcaires (Argilification, rubéfaction et migration des colloïdes argileux ou des complexes Fer-humus-argile).

Ces deux hypothèses de formation des sols rouges méditerranéens sont basées dans les deux cas sur l'origine essentiellement autochtone des sols ainsi que sur "le remaniement" des sols pendant les périodes post-villafranchiennes.

=====

.../...

(+) v. Chap. I : facteurs de pédogénèse

+ voir Microbiologie des sols hydromorphes.

et qui nous semble être mieux en accord avec nos observations dans les régions de Ben Slimane des Zaers ou de la Chaouia N-E. Quant à l'origine allochtone des sols, elle paraît peu probable du fait de l'évolution subactuelle et actuelle (paléo-rubéfaction et rubéfaction actuelle) des sols et de leur répartition géographique limitée (dunes consolidées quaternaires et placages de grés calcaire : en effet les sols rouges méditerranéens sont localisés uniquement sur les dunes (à drainage en grand assez bon) alors que sur toute la surface villafranchienne (plateaux mal drainés, les sols rouges sont "inexistants" et l'on ne trouve que des sols hydromorphes minéraux. (voir répartition). La richesse du sol en matières organiques totales sur l'ensemble du profil résulterait d'une longue décomposition de matières organiques fraîches d'origine "steppique" ou "forestière" (Les hypothèses sur les fluctuations climatiques et sur les successions des types de végétation au cours du quaternaire (24b) portent sur la disparition progressive de la forêt (subéraie) et de sa dégradation en matorrals ; puis en erme (chamaeropaie) et enfin en terres cultivées partiellement dédoublées. La steppisation du sol - dans le sens de la répartition régulièrement décroissante des matières organiques en profondeur, d'origine steppique ou non (origine forestière ou pseudo-steppe ( chamaeropaie) est assez fréquente dans la presque totalité des sols rouges méditerranéens répartis sur les dunes consolidées de la région d'Arab-sud.

#### Critères de classification

Sol rubéfié, appauvri en éléments fins, partiellement désaturé (ou sans réserve calcique) et steppiques ou à répartition régulièrement décroissante des matières organiques en profondeur.

#### CLASSIFICATION :

|               |                                                                        |
|---------------|------------------------------------------------------------------------|
| Classe        | SOL A SESQUIOXYDES DE FER ET DE MANGANESE                              |
| sous-classe : | SOL ROUGE ET BRUN MÉDITERRANÉEN (ou sols fersiallitiques)              |
| Groupe :      | peu lessivé, partiellement désaturé                                    |
| sous-groupe : | à caractère iso-humique (steppique)                                    |
| Famille :     | Grés calcaire dunaire                                                  |
| Facies :      | Remanié                                                                |
| Série :       | Sol rouge moyennement argileux, humifère et sans accumulation calcaire |
| Phase :       | cultivé, partiellement dédoublé.                                       |

=====

#### PROFIL N° SLI 126

##### Facteurs de Pédogénèse

Climat : Méditerranéen semi-aride à hiver frais ou Xérothermique atténué. P=490 m/m  
T = 18°C

Roche-Mère Schistes et quartzites du primaire (ORDOVICIEN )

Topographie : pente moyenne à forte (10 à 15 %) Bon drainage "en grand"

Végétation : forêt de thuya et d'oléastre dégradée (Pistacia lentiscus, Phyllyrae latifolia et Strate herbacée inférieure.

Erosion : Très forte : en ravins (Bad-Lands).

Géomorphologie Versant Nord de la vallée encaissée de l'oued Cherrat (Horst du Cherrat).

Hydrogéologie Absence de nappe "perchée".

Coordonnées Lambert : X = 330,150 - Y = 333,220 : Z = 158 m.

Lieu dit - Oulad Boujemaâ des Ziada Versant.  
Nord-Est de l'Oued N'Fifih.

.../...

## MORPHOLOGIE

De 0 à 14 cm : Horizon Brun-foncé (5 YR 4/3) humifère, limono-argileux non calcaire. La structure est polyédrique moyenne émoussée. Les racines et radicelles sont nombreuses et bien développées. Présence de quelques pisolithes, de débris de schistes et de quartzites. La transition entre A et B est nette.

De 14 à 40 cm. Horizon rouge - 2,5 YR 4/4 - argileux, peu humifère, non calcaire la structure est polyédrique grosse, la <sup>sur-</sup>structure à tendance prismatique (état sec) ou massive (état humide).

Quelques recouvrements de matières organiques le long du système racinaires les revêtements argileux ne s'observe que sur les débris de quartzité. Les radicelles sont abondantes, présence de crotovines (Faune active, notamment les vers de terre "lumbricidae" quand le sol est humide).

Absence de pseudo-gley, d'accumulation, de calcaire, de sesquioxides ou de matières organiques. Les pisolithes sont d'origine allochtones (plateau des Oued Boujemaâ). A plus de 40 cm : Schistes violets en voie d'altération et quartzites peu altérés.

## CYCLES MORPHOLOGIQUES

Ce sol, situé sur un des versants exposés au Nord, du Horst de l'Oued Gherrat est à un stade d'évolution intermédiaire par rapport aux sols observés soit sur les versants Nord-Est et Ouest, soit sur les versants de la vallée de l'Oued Korifla et qui se rattachent aux sols minéraux bruts d'érosion (lithosols et sols lithiques sur schistes et colluvions) ou aux sols brunifiés (sol bruns et sols lessivés) ou enfin aux sols à sesquioxides de fer, lessivés. Tous ces types de sol peuvent se rencontrer sur de faibles surfaces, mais en général leur répartition est différente. selon la pente des versants, le couvert végétal ou l'orientation des versants, ce dernier critère n'étant pas systématiquement valable pour tous les sols (voir répartition des sols).

La genèse du sol décrit est relativement moins complexe que celle des sols à Sesquioxides de fer situés sur les grès calcaires dunaires dont l'histoire est plus longue et complexe. Les sols sur schistes sont des sols autochtones, : <sup>colluvions</sup> ayant évolués sur place et ne sont que très rarement enrichis par des apports (~~alloch-~~ <sup>alloch-</sup> ~~tones~~). Observé en été, le sol présente les principaux caractères morphologiques décrits plus haut. En hiver, le sol est jaunâtre à peine rouge (oxydes hydratés) et à structure massive. L'érosion du sol est aussi très forte (Appauvrissement du sol en éléments fins). Le fer individualisé (milieu acide et acide, absence de calcaire la migration <sup>et</sup> ~~et~~ pectisation du fer et son immobilisation commencent dès le printemps et le fer s'individualise progressivement "en ~~couverture~~ <sup>des argiles</sup>". La matière organique est bien décomposée, - les apports de matières organiques fraîches étant assez importants sous la strate herbacée assez dense sous forêt de thuya, L'activité microbiologique globale et de (~~la~~ <sup>la</sup> ~~activité~~) la mésofaune <sup>sont</sup> ~~est~~ assez intenses (v. microbiologie des sols) - le phénomène de rubéfaction : mobilisation ou individualisation des sesquioxides de fer et leur immobilisation diffère du même phénomène observé sur les grès dunaire" essentiellement par l'absence de calcaire dans les sols les conditions pédoclimatiques et de drainage "en grand" étant par

.../...

ailleurs analogues (Sols évoluant sur roches neutres argileuses (pallites ou quartzites) et sous un climat de type méditerranéen

#### CRITERES DE CLASSIFICATION

- Dans les premières classifications de G. AUBERT et P. DUCHAUFOR les sols sur schistes décrits étaient rattachés aux groupes des sols bruns ou lessivés des climats tempérés ou subtropicaux ; dans les nouvelles classifications (Aubert G. 1966 - CPCS 1967) les sols sur schistes ayant un horizon rouge sont classés parmi les SOLS A SESQIOXYDES de Fer (ou de manganèse) ; Sols rouges méditerranéens ou sols fersiallitiques.

- Le sol décrit présente un horizon rouge ou jaune à peine rouge (faiblement rubéfié), non calcaire, mais non décalcifié, très peu lessivé, et appauvri en "éléments fins" par érosion et ruissellement. La couleur de cet horizon fait penser à un héritage lithochrome quand le sol évolue sur des schistes rougeâtres ou violacés, mais comme le montrent les résultats des analyses du fer total et du fer libre, les rapports moléculaires des oxydes de fer libres et liés sont analogues à ceux des sols rouges méditerranéens sur grès calcaire : il s'agit donc d'un phénomène de rubéfaction plutôt que d'un héritage "lithochrome". D'autre part, des sols ayant un horizon rubéfié évoluent également sur des schistes de couleur grise, gris-noirâtre carbonifère (voir chap. I les facteurs de pédogénèse).

#### CLASSIFICATION

Classe : SOLS A SESQIOXYDES DE FER ET/OU DE MANGANESE  
sous-classe : Sol rouge méditerranéen, non ou peu lessivé  
Groupe : Moyennement saturé (ou sol fersiallitique à faible réserve calcaire)  
sous-groupe : -Modal  
Famille : -Schistes (carbonifère) en voie d'altération  
Série : Sol rouge sur schistes moyennement ou peu profond  
Facies : - appauvri  
Phase: Mattoral "trouée"

(\*) voir résultats des analyses



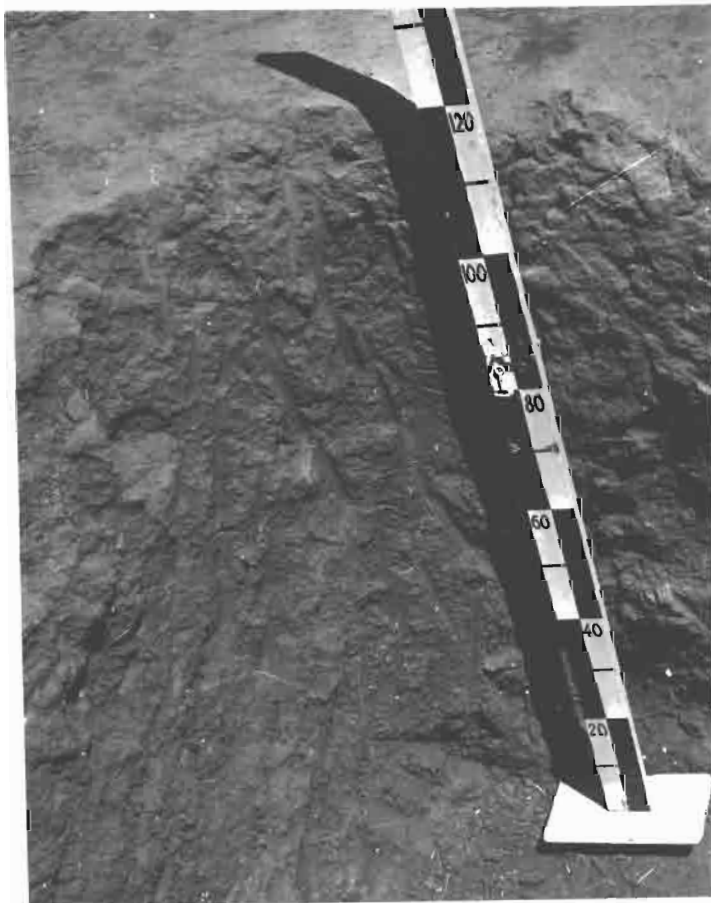
Profil N° SLI 126

Sol rouge méditerranéen ~~non~~ saturé  
peu lessivé (appauvri) sur  
schistes (D.1) et quartzites

▲ Limono - Sableux peu humifère  
Caillouteux non calcaire

Limono-argileux rouge, massif

Br C.R. Schistes en voie d'alté-  
ration



Profil N° SLI 29

Sol Rouge méditerranéen lessivé  
saturé, (sans accumulation de calcaire)  
sur "Grès calcaire dunaire"

III<sub>p</sub> H. Limono-Sableux peu humifère

AB<sub>I</sub> H. Limono-Argileux peu humifère, non calcaire

B<sub>2</sub> H. Rouge-Argileux, massif

R Grès peu Altéré.

- V -

---

LES SOLS HYDROMORPHES MINERAUX LESSIVES à pseudo-gley, à carapace ou cuirasse

LES SOLS HARCH - MERZAG et MEKZAZ sur Schistes et quartzites

---

LES SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX LESSIVÉS  
A PSEUDO-GLEY, A CARAPACE OU  
CUIRASSE "HARCH-MERZAG-MEKZAZ"

-----

"Le concrétionnement et le Cuirassement"  
sous climat méditerranéen

----

Introduction -

Les cuirasses, carapaces et concrétions ferrugineuses ou "séquanques" connues au Maroc sous les noms de "Mekzaz, Merzag et Harch pisolitique" ont été signalées depuis la fin de la moitié de ce siècle par des géographes (64), des géomorphologues (8) et des pédologues (+). Les premiers attribuaient ces formations, notamment les pisolites et les concrétions ferrugineuses noyées dans une matrice limoneuse grise de la Méséta Atlantique marocaine, aux périodes villafranchiennes, et étaient considérées depuis comme des formations fossiles.

Leur répartition sur des kilomètres carrés de la Haute surface villafranchienne qui tronque les terrains primaires schisteux et quartzitiques fut également signalée sur les cartes de reconnaissance des sols (DRA) et sur de nombreuses cartes géologiques ou géotechniques (15).

Si au Maroc, les différentes formes d'individualisation et d'accumulation du calcaire ont fait l'objet de nombreux travaux, ceux-ci sont fort limités quant aux formes d'accumulation du fer et à leur genèse. Par contre de nombreuses études portent sur l'accumulation du fer relative ou absolue des zones tropicales et intertropicales (41, 65 ...).

Dans ce présent chapitre, nous examinerons dans une première phase les différentes formes d'individualisation et d'accumulation du fer des principaux sols hydromorphes minéraux (ou peu humifères lessivés à pseudo-gley, à carapace ou cuirasse qui, d'après la classification adoptée pour la carte pédologique sont définis comme suit (48) : "sols dont les caractères sont dus à une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau temporaire (ou permanent) d'une partie ou de la totalité du profil. L'hydromorphie se traduit par la présence de pseudo-gley (ou de gley)..." la morphologie des principaux types de sols hydromorphes nous permettra de situer la toponymie des différentes formes d'accumulation du fer et de classer les principaux groupes de sols de part leurs caractères morphologiques et analytiques ou génétiques propres. Dans une seconde phase, et en lumière de ces données, nous essaierons de sérier le problème du concrétionnement et du cuirassement dans les Ziaïda et Arab et de la répartition des différentes formes d'accumulation du fer dans leur cadre géographique, ainsi que leur âge probable.

I - SITUATION GÉOGRAPHIQUE - CONDITIONS DE FORMATION

Sur les hautes surfaces villafranchiennes "Arab-Sud et Ziaïda Nord", glacis incliné en pente douce vers l'Océan Atlantique et qui tronque les terrains primaires subverticaux schisteux et quartzitiques, de vastes étendues de sols hydromorphes minéraux lessivés se répartissent sur des dizaines de kilomètres carrés et couvrent ainsi la presque totalité des forêts

de Ben-Slimane, de Rhabet Bir El Kelb et des régions Nord de Ben-Slimane. Les sols "Merzag, Mekzaz et les Harch" ne sont interrompus que ça et là par des petites taches de sols rouges méditerranéens sur placages grésocalcaires moghrébien ou sur les "dunes consolidées" plio-quaternaires, et d'Est en Ouest par des associations de sols répartis sur les versants du Horst de l'Oued Cherrat et des gorges du Nefifikh, où, sur des reliefs résiduels plans, subsistent encore quelques taches de sol "Merzag". Sur les basses et moyennes terrasses (Gharbien moyen à ancien) de ces oueds, on retrouve également des sols à concrétions et à pisolites ferrugineuses, voir même à pseudo-gley de profondeur.

Nous avons vu, dans les chapitres précédents (chap. I) que ces régions jouissent d'un climat actuel xérothérique (I) ou méditerranéen semi-aride à hiver frais (5) qui se caractérise par l'alternance de périodes sèches et chaudes et de périodes "humides", par l'inégale répartition des pluies au cours de l'année et d'une année à l'autre, les pluviosités moyennes annuelles étant de l'ordre de 450 mm environ, et par des amplitudes thermiques élevées, la température moyenne annuelle étant de 17 à 18 °C. Le Paléoclimat aurait été du type méditerranéen (8) avec des optimum de pluie ou pluviaux et de sécheresse ou interpluviaux.

Les roches-mères sont essentiellement des roches neutres, argileuses ou acides et rarement basiques, (Marno calcaires) ou plutoniques (Trachy-andésite de D. Rhbar). Quand le sol évolue sur un complexe de limons, de sables et d'argile sur marnocalcaire, l'intensité de l'hydromorphie est réduite en profondeur et la tirsification des sols est plus poussée (cf. Morphologie, Prof. n° Sli 13). Le relief ou le drainage "externe et interne" défectueux ou réduites est un des facteurs dominant qui orientent en l'hydrogenèse les sols évoluant essentiellement sur des surfaces planes ou faiblement ondulées. Dès que les conditions de drainage changent (rupture de pente, indiction poussée des plateaux) la "rube-faction" l'emporte sur l'hydrogenèse (voir Répartition des sols).

La végétation naturelle la plus typique est la Subéraie : Forêt dense, claire ou trouée de chêne-liège (*Quercus Suber*) espèce calcifuge à sous-bois constitué de Tizra (*Rhus pentaphyllum*), de cytises blancs (*Cytisus alb.*) de lavandes et d'asphodèles (*Lavandula l. Asphodelus microcarpus*). Cette forêt est remplacée par les Matorals sur les versants du Horst du Cherrat et sur les gorges du Nefifikh (*Thuya* - oléolénisques) ou progressivement par les cultures (terre partiellement "dédoumée" sur les surfaces villafranchiennes. La dégradation et la faible régénération de la Subernie ou son remplacement progressif par les cultures ne modifient pas la répartition des sols citée plus haut.

La végétation de daïyas (v; chap. I) est assez typique des sols hydromorphes, et représentée par une Erme hygrophile particulièrement abondante sur ces dépressions temporairement inondées.

Le reboisement en Eucalyptus tend "à être généralisé" sur les sols hydromorphes, même sur les dalys où aucune autre espèce arbustive ou arborée n'a été observée.

Le rôle indirect de la végétation par les apports de matières organiques "acidifiantes" et de la microflore qui s'y développe (notamment les réducteurs de fer (v;p.1), ou direct par son système racinaire, est fondamental dans la genèse des sols hydromorphes des Ziaïdas - souvent considérés comme résultant d'une "marmorisation mécanique et/ou physio-chimique" des roches primaires (v.p.1)

### 3 - MORPHOLOGIES ET PRINCIPALES CARACTERISTIQUES (physiques, chimiques, biologiques, physicochimiques et minéralogiques).

Les Harch (1) Mekzaz (2) et Merzag (3) sont des sols à profils  $\bar{I}A, Bg-R$  ou  $\bar{I}A, A-B, -Bg-R\bar{I}\bar{I}A, -(A, -B_{fe}) + Bge-R(C)\bar{I}$  sous cultures et  $\bar{I}Ao-A_1-B_{fe}$  ou  $B_g-R\bar{I}$  sous forêt / formes d'individualisation caractérisées d'accumulation du fer et du manganèse par leur texture sableuse risent à sablo-limoneuse en surface et argileuse en profondeur, par l'engorgement temporaire des profils dans leur presque totalité et par leur profondeur de 100 à 190 cm environ.

#### I - Profondeurs des sols

a) - La litière (Aoo) des sols sous forêt est très peu épaisse (moins de 0,5 cm) et l'horizon Ao, quand il existe est de quelques millimètres d'épaisseur. Les horizons  $A_1$  humifères ont une profondeur moyenne de 10-14 cm (maximum 40 cm), les horizons A-B plus proches de A que B par leur texture et leur teneur en matières organiques sont moyennement épais (10 à 30 cm). Les horizons d'accumulation et d'induration des oxydes de fer atteignent des profondeurs de quelques centimètres à 1,50 m dans certaines zones d'étendues relativement réduites; leur épaisseur moyenne varie de 20 à 50 cm environ sur les hautes surfaces villafranchiennes.

b) - Les horizons argileux à pseudo-gley ou argile rouge bigarée-ont des épaisseurs allant de quelques centimètres à un mètre de profondeur; dans certaines zones d'accumulation, les horizons illuviaux atteignent plusieurs mètres d'épaisseur et sont de couleurs jaunes, puis ocre-jaunes ou bigarées en profondeur.

c) - La profondeur totale moyenne des sols est donc de quelques centimètres à plusieurs décimètres avec des optimum de 1,50 m, un minimum de 50 cm et un maximum de 3 m. Les niveaux indurés (à sesquioxides) sont rarement en surface (carapce ou cuirasse de déflation) et se situent à mi-profondeur des sols (voir planche /MORPHOLOGIE des sols HYDROMORPHES MINERAUX hors texte).

#### 2) Couleurs

Les horizons A humifères, de couleur noirâtre (état humide), gris-noir ou brun-grisâtre (état sec) se situent dans les valeurs de "nuance" ou "HUE" du Code Munsell à 10 YR et 5 YR avec des valeurs de "brillance" (Chroma) de 5/6 et 6/6; les horizons A-B moins humides dans les valeurs "Hue" de 10 YR 5/6 et 5 YR 6/5

Les couleurs des horizons éluviaux sont très caractéristiques des sols hydromorphes et constituent un "point de repère" utile à la cartographie de ces sols- (comme les horizons "diagnostic" rouges ou noirs respectivement pour les "HAMRI" et les "TIRS"). La couleur des horizons bigarés résultent de l'état du fer individualisé dans les sols gris - fer réduit notamment au niveau des systèmes racinaires - rouge : fer oxydé "en couverture des argiles (+) dans "la masse totale"- L'état du fer (réduit) au niveau des racines traduit bien que les phénomènes d'hydrogenèse se développent dans les sols sous l'action du "monde biologique" (microflore comprise v;p;l) et non d'un "processus purement mécanique ou "physico-chimique" de marmorisation des substratum primaires- et que les sols résultent des phénomènes d'hydromorphie ancienne ou paléohydromorphie et d'hydromorphie actuelle ~~qui s'équilibre tel que~~ (dans les sols) (voie le concrétionnement et le cuirassement) *les caractères morphologiques qui en découlent, se superposent ou se surimposent aux caractères des tirs, de sols rubefiés et/ou lessivés*

Les couleurs des horizons éluviaux résulteraient de la superposition ou de la surimposition - de la couleur noire des matières organiques à la couleur grise de la matrice limono-sableuse pisolitique, celle-ci devient plus claire en A-B (gris-clair) corrélativement aux diminutions des matières organiques (La limite est tranchée entre les horizons éluviaux et les horizons illuviaux ( voir description des sols hydromorphes)

### 3) LES TEXTURES (voir tableau et Graph..)

#### Horizons A et A-B

Leurs coefficients CS sont de l'ordre de 15 (caractéristique des sols sableux ou sablo-limoneux) quelque soit le type de sols hydromorphes. Les CS sont plus faibles au niveau d'induration des sesquioxides (Fe, Mn) et ne sont que de 7 à 8 environ et traduisent les faibles teneurs en argile à ces niveaux (voir minéralogie) à carapace ou à cuirasse et leur richesse en éléments grossiers (QUARTZ). Les horizons A et A-B donc très pauvres en éléments fins, très pauvres en calcaire et moyennement à peu humifères - les Harch(1) Merzag (2) Mekzaz (3) des dāiyas ou sur complexe de roches basiques sont plus riches en éléments fins (argile, limons fins) et peu calcaires à la base des horizons illuviaux (les teneurs restent faibles).

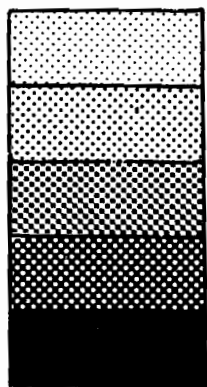
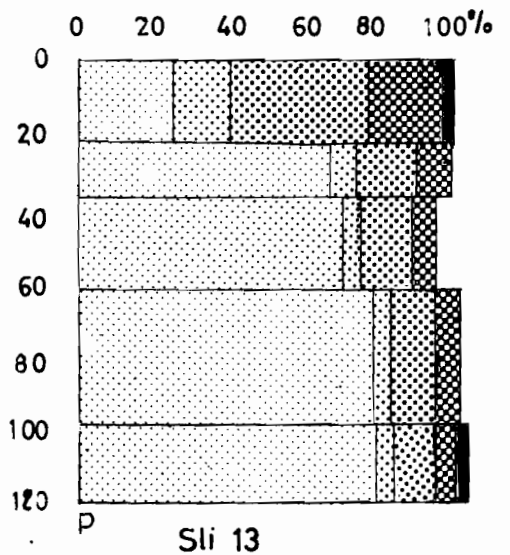
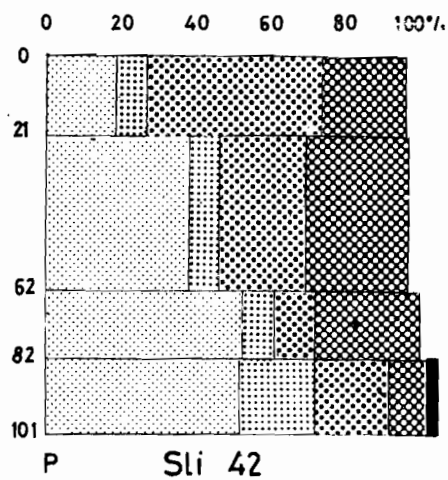
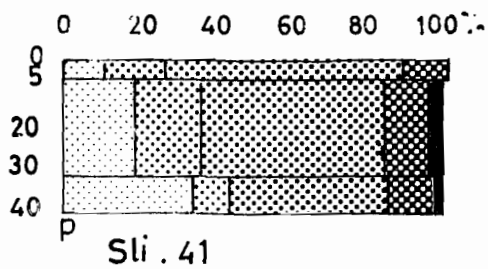
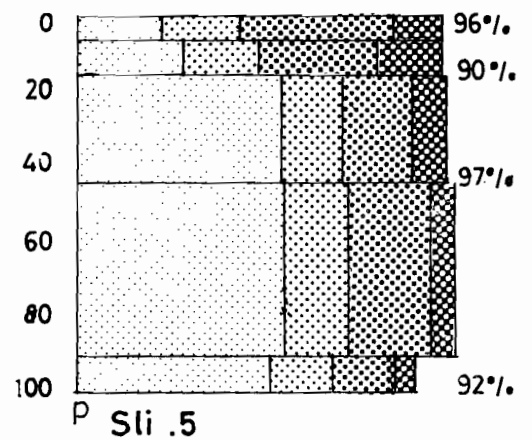
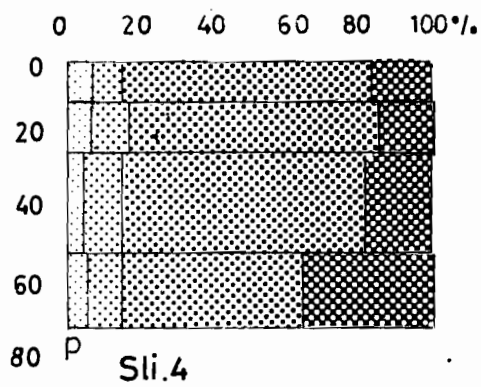
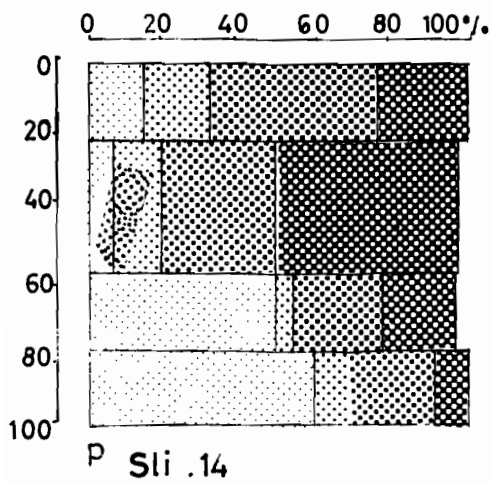
#### Horizons Bq

Leurs textures sont diverges et varient en fonction du site topographique des sols et de la nature de leur roche-mère ou de leur degré d'altération (ou profondeur des sols). Les coefficients CS sont de l'ordre de 5 à 6 pour les sols Harch-Merzag, et Mekzaz sous ~~les~~ forêts de Ben Slimane et de Bir El Kelb (ex. profil Sli 7 et 4) et atteignent des valeurs comprises entre 20 et 30 avec un maximum de 50 au Sud et au Nord-Ouest de Ben-Slimane (sol sur trachy-andésite ou sur schistes et marno-calcaires ex. Sli 13).

Cette discordance texturale fut interprétée comme résultant de "l'ensablement de surface" des plateaux villafranchiens ou comme résultant du lessivage poussé (et de l'érosion en nappe) des horizons éluviaux (+). Nous y reviendrons.

Notons que cette discordance texturale favorise la formation de nappe "temporaire" pendant les périodes des grosses pluies au niveau des horizons A et A-B très poreux et des horizons illuviaux argileux et peu perméables et du substratum primaire imperméable. Au niveau de la frange d'évaporation de la nappe "temporaire" les accumulations des sesquioxides (Pisolites, concrétions, ... sesquanes) sont particulièrement abondantes (50 à 60 % de la masse minérale totale avec un optimum de 80 % (carapace) et un maximum de 90-95 % (cuirasse).

# TEXTURE DES SOLS HYDROMORPHES



- Argile
- Limons
- Sables fins
- Sables grossiers
- Calcaires

## Echelle

Profondeurs: 1cm p - 20cm

Texture : 1mmp - 2%

A . L . Sg . sG .

En période de dessiccation des sols, une fente horizontale limite les horizons sableux ou sablo-limoneux des horizons argileux, d'où l'appellation de ces sols en planosols (Dudal : communication orale/ et (\$2

#### 4) STRUCTURE

La structure des horizons A et A-B est monoparticulaire, à tendance polyédrique émoussée (Etat humide) ou "massive" (Etat sec) cette structure des horizons éluviaux peu cohérents quand les sols sont engorgés d'eau et très fortement cohérents quand les sols sont secs traduit bien le phénomène. "de battance" ou de "prise" des limons de tous les niveaux sablo-limoneux des Harch, Merzag et Mekzaz.

La structure des horizons indurés est variée; scoriacée pisolithique massive, à éléments grossiers individualisés (voir morphologie des cuirasses et carapaces).

La structure des horizons illuviaux (Bg) ou Bd à caractère vertique est soit massive à éléments structuraux peu "individualisés (argile bigarée) ou avec une légère tendance prismatique quand les sols sont secs, soit massive à éléments "structuraux plus ou moins individualisés en agrégats polyédriques avec une tendance à donner une structure prismatico-cubique ou prismatique quand le sol se dessèche. Ce fondillement est mieux développé dans les sols évoluant sur des "roche-mères complexes" schistes et plages de marno-calcaires (placage morgrébien). Les horizons illuviaux sont dans ce cas argileux et compact et présentent en période de dessiccation un réseau de fentes sub-horizontales analogues à celles des Tirs. Les "faces lisses d'étendues moyennes et "gauchies" ou inclinées par rapport à l'horizontale sont bien développées, à la base des profils. Le foisonnement et le retrait (++) des argiles des horizons illuviaux entraînent un décrochement et un arrondissement des prismes individualisés par rapport aux horizons sableux limoneux et la formation d'une structure colonnaire. Comme nous le verrons plus loin, cette structure en colonnettes ne traduit ni l'alcalisation ni la "salinisation" du sol, mais résulterait du "foisonnement" et du "retrait" des argiles en profondeur et du phénomène de battance des horizons éluviaux qui se retractent et se "séparent des précédents. Vu en plan, les horizons illuviaux à caractère vertique ou tirsifié présentent un réseau polygonal de fentes dont les mailles ont de 15 à 20 cm de diamètre environ. Verticalement les fentes délimitent des prismes arrondis au sommet ou "colonnettes". Cette sur-structure colonnaire de quelques sols HARCH (ex. Sli 13) ne s'observe qu'en été. (Analogie avec les fentes de retrait des Tirs), la structure étant massive au cours des périodes d'engorgement des sols (automne hiver et début printemps). Le régime hydrique des sols Harch du type hydro-pédique à tendance aéropédique qui oriente les processus de "foisonnement" et de "retrait" des argiles en profondeur et les processus de prise en masse ou "battance" des horizons supérieurs, serait le grand responsable de la structure colonnaire des sols.

.../...

(++) voir les vertisols in fine

## Constantes hydriques - densités - porosités

a) Les capacités de rétention (Méthode Richard) des Horizons A et A-B sont très faibles (6 à 15 %, max/ 25 %) et augmente en profondeur corrélativement aux teneurs en argile des sols, mais restent faibles (moins de 25 % à 30 % m) par rapport aux capacités de rétention observés pour les tirs et à teneurs égales en argile (ex. Sli 13 et Sli 8).

Les points de flétrissement permanent ( $pF_{4,2}$ ) des horizons A et A-B sont très bas (4-2 % en A-B) et moyens à faibles en B (6 à 12 %). L'eau disponible (estimée par la même méthode) est en quantité très faible en A et A-B (en relation avec la texture sableuse à Limono-sableuse des horizons).

Les valeurs de ces constantes hydriques sont analogues aux valeurs trouvées - pour les horizons A-B des sols rouges, méditerranéens - En Bg, ou en Bfe, les valeurs de la capacité au champ restent faibles (ex. Sli 13) avec des taux d'argile de plus de 50 %, comparative-ment avec les tirs, on ne peut attribuer ce fait à la richesse du sol en fer puisque, l'augmentation des capacités de rétention corrélatives à la diminution des sesquioxydes de fer dans le sol (ou par voie expérimentale de déférisation (65) ne peut être attribuée au fer "protecteur" puisque sa diminution dans le sol est également corrélatives avec une plus grande dispersion des argiles (65) La relation entre les valeurs basses des constantes hydriques des sols et leur faible proportion en minéraux argileux du groupe de la Montmorillonite semble plus probable.

b) Les densités apparentes sont de l'ordre de 1, 1-1,2 et augmentent sensiblement au niveau d'induration des oxydes de fer (et de manganèse (D - 1,4 - 1,6) les densités réelles augmentent régulièrement des horizons A/aux horizons Bg et Bfe de 2,68 à 2,80 (maximum 2,98)

Les porosités totales calculées pour les horizons éluviaux sont de l'ordre de 55 à 60 % réparties en porosité fine (ou micro-porosité) de 15 à 70 % et en porosité grossière (micro-porosité) de l'ordre de 40 à 60 % en B en A et A-B

ex. 1) Pg inférieur à P<sub>f</sub> pour le profil Sli 13 (sol tirsifié en profondeur

2) Pg  $\bar{P}_f$  : horizons éluviaux

### c) Profils hydriques

Le ~~profil~~ <sup>profil</sup> hydrique des sols est <sup>lié au</sup> en ~~rapport direct~~ avec le régime des pluies, ~~et de~~ l'évapotranspiration (30) et avec la texture et la profondeur des sols.

Les profils hydriques établis pour les sols hydromorphes montrent que :

1) les sols sont engorgés d'eau pendant la période des

pluies (avec  $H_e \geq CR$ ) voire même inondée : la nappe temporaire qui dans tous les sols harch, Merzag et Mekzaz se situent à 30 - 40 cm de profondeur, remontent jusqu'en surface en bordure et dans les daïyas (inondées) et descend régulièrement jusqu'au niveau d'altération des schistes et quartzites au fur et à mesure que le sol se dessèche ou que les pluies s'amenuisent (printemps, début été).

2) L'humidification des horizons profonds est très poussée, les sols étant à des taux d'humidité supérieurs à leur capacité de rétention ( $H_e \geq CR$ ) pendant toute la période des pluies, par contre la dessiccation des sols affecte soit la presque totalité du profil (sols aux taux d'humidité proches ou inférieurs au coefficient de rétrécissement permanent (pF 4,2) soit que les sols gardent une humidité relative en profondeur (fondamentale pour le développement de la microflore réductrice et/ou de l'activité microbologique globale v.p.l.) supérieure aux pF 4,2 des sols au cours d'une partie des périodes biologiquement sèches ( $P \leq 2/1$ ).

Le régime du sol est donc essentiellement hydropédique (engorgement ou nappe temporaire) avec alternance dans le sol de phases aérobiotiques totales et anaérobiques de durées variables, et en général plus courtes que les premières.

Cette succession dans le temps de périodes d'humidification .. d'engorgement et de périodes de dessiccations des sols orientent :

1) L'activité microbologique globale et les processus de fermentation, d'humification des matières organiques et leur minéralisation (voir résultats micro-biologique)

2) Les processus de réduction, de solubilisation et de migration des cations métalliques et notamment du fer et leur immobilisation progressive ainsi que leur induration (voir concrétionnement) (voir ferrollyse p. 128)

3) Les processus du "foisonnement" et du "retrait" des argiles (la tirsification en profondeur des sols à horizon argil - voir structure).

4) L'entraînement des colloïdes organo-minéraux ou "absorption" (en milieu acide et/ou acidifiés) et leur accumulation progressive parallèlement à l'argilification en profondeur - "argilification" préférentielle (58 b) en profondeur. La météorisation poussée des roches-mères (schistes, quartzites et marno-calcaires)

## II-pH- Complexe absorbant

a-pH les harch, Merzag et Mekzaz ont dans leur ensemble une réaction moyennement à <sup>faiblement</sup> acide en surface (A et A-B) rarement neutres (Harch tirsifié : v. Sli 13) avec des pH eau qui oscillent entre 5,2 et 6,0 (pH KCl 5,2 à 5,0) et des pH de 4,5 à 5,0 en périodes des pluies.

Les moyennes des pH en surfaces sont plus basses pendant les périodes des grosses pluies corrélativement à l'activité micro-biologique globale du sol, et sont de l'ordre de 4,9 à 5,2, 5,7 en profondeur - les pH des sols hydromorphes lessivés vertiques (Harch-Tirsifié (ex Sli 13) ont une réaction basique au niveau de l'altération des schistes et de marno-calcaires - (pH 8 à 8,2)

Les Merzag et Mekzaz types sont acides sur la totalité de leur profils (pH=5,2 à 6,2 en A et A-B et pH inférieur à 6,9 en Profondeur).

b) Complexe absorbant :

Les capacités d'échange (ou CEC) des sols Harch-Merzag et Mekzaz sont les plus faibles par rapport aux capacités d'échanges des sols des Ziaïda et Arab les plus fortes CEC ont été observées dans les horizons illuviaux des sols hydromorphes tirsifiés (ex. Sli 13) et Sli 5), mais ne dépasse guère 30 meq/100 gr. de t.s.

Les CEC moyennes des horizons éluviaux (A et A-B) sont de l'ordre de 6 à 10 meq/100 g (avec un minimum de 5,8 meq/100 gr. t.s). Les faibles valeurs des CEC sont en relation avec les taux d'argile très bas, la nature minéralogique de ces argiles (prédominance de la Kaolinite et probablement de chlorite ou de vermiculite en profondeur les Harch, Merzag et Mekzaz ayant des structures grossières sur la totalité de leur profil ont des CEC du même ordre que celles des horizons éluviaux.

Les CEC augmentent en profondeur des sols corrélativement aux teneurs en argiles des horizons illuviaux tirsifiés ou à pseudo-gley de profondeur : les valeurs moyennes oscillent entre 20 à 25 meq/100 gr. Ces valeurs sont relativement faibles par rapport aux CEC des Tirs et aux Hamri modaux et découleraient de la nature des minéraux argileux des horizons illuviaux des Harch, Merzag et Mekzaz (voir p.l. résultats des analyses minéralogiques).

Les taux de saturation ( $V$  ou  $100 \frac{S}{T}$ ) sont peu significatifs du fait que les CEC sont faibles et que le complexe absorbant n'est que "virtuellement saturé" soit des taux de saturation du complexe en calcium très faibles avec des taux de calcium échangeables de 2,5 à 5 meq /100 g.

en A et A-B, ces taux augmentent légèrement dans les horizons illuviaux et notamment dans les horizons argileux des sols hydromorphes tirsifiés (ou à caractère vertique en profondeur).

Les teneurs en magnésium échangeables sont plus faibles que les teneurs en calcium dans les horizons A et A-B, et ne sont que de l'ordre de 1 à 2 meq : 100 gr. Les teneurs en magnésium augmentent brutalement dans les horizons illuviaux argileux (voir par exemple Sli 42, 13 et 15) et découleraient probablement de l'engorgement temporaire des sols en profondeur (69) - la richesse de quelques Harch et Merzag en argile, et en alcalino-terreux entraîne la tirsification en profondeur de ces sols (voir : les Tirs).

Le potassium échangeable est en quantité non négligeable, soit 0,2 à 0,4 meq/100 g. Les taux de saturation du complexe en sodium échangeable sont très faibles ( $Na/T$  très inférieur à 15).

L'augmentation des pH en profondeur des sols tirsifiés est corrélative à celle des teneurs en calcium et en magnésium échangeable;

En résumé : les Harch, Merzag et Mekzaz sont des sols :

- à texture sableuse en surface, à faible capacité de rétention pour l'eau,
  - à faible capacité d'échange de bases
  - acides en surface et acides ou légèrement neutres en profondeur.
  - à taux de saturation en alcalino-terreux très faible en A et A-B ou dans la totalité des Merzag types, les teneurs en calcium et en magnésium échangeables augmentent légèrement dans les horizons illuviaux tirsifiés.
- les sols sont très pauvres en sodium échangeables et moyennement pourvus en potasse.

Les sols hydromorphes à réaction basique en profondeur se répartissent en bordure de l'ancienne surface d'érosion miocène ou sur les daïyas et les sols à réaction acide sur les hautes surfaces villafranchiennes. Les sols sont dans leur ensemble :

- Très riches en sesquanes et en sesquioxydes de fer.

## 2) Le fer (voir tableau ci-après et graphique).

Les teneurs en oxydes de fer sont très variables d'un groupe de sols hydromorphes à l'autre. Elles ne sont pas cependant très élevées pour des sols "à accumulation de fer" et sont analogues à celles observées pour les Tirs et les Hamri, ce qui ne signifie pas non plus que les Merzag, les Mekzaz ont des teneurs en oxydes de fer comparables à ces sols du fait que :

Toutes les analyses de fer total ou de fer libre (voir méthode d'analyse) ont été effectuées sur la terre tamisée à 2 m/m et 1 m/m, ce qui implique que toutes les concrétions, les carapaces et cuirasses ferrugineuses ont été éliminées et que seule la matrice "argileuse" et les accumulations ferrimanganésifères de diamètre inférieure à 2 m/m ont été analysées. Les différentes formes d'accumulation et d'induration des sesquioxydes de fer, de manganèse (et d'alumine) ont fait l'objet d'analyses particulières (voir triacide) et constituent plus de 50 % des matrices limoneuses ou limono-sablo-argileuse.

D'où les teneurs "absolues" en fer des sols hydromorphes en fer seraient égales à la somme des teneurs "relatives" en fer des matrices argileuses et des différentes formes d'accumulation du fer. Ces dernières seront examinées plus loin (voir concrétionnement et cuirassement).

a) Quelques teneurs "relatives" en oxydes de fer libres et totales ( les chiffres entre parenthèses indiquent les teneurs maximums).

Quelques teneurs en oxydes de fer

| HORIZONS                                                   | : $\text{Fe}_2\text{O}_3$ t % | : $\text{Fe}_2\text{O}_3$ % | : Rapport moléculaire | : $\text{Fe}_2\text{O}_3$ % Argile |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Eluviaux $A_1$                                             | : 1,6 - 4,5 (4,9)             | : 0,9 - 1,05                | : 0,2 - 0,3           | : 15 à 17 %                        |
| Horizons A-B                                               | : 2,8 - 5,8 ( 6)              | : 0,95 - 1,7                | : 0,4                 | : 15 à 95 %                        |
| H. Illuviaux<br>Bg ou Bge                                  | : 3 - 7,5 ( 7,2 )             | : 1,0 - 3 (5)               | : 0,2 - 0,5           | : 40 à 90 %                        |
| H. D'accumulation<br>et d'induration<br>des oxydes de fer: | : 6 - 7,5 (8,5)               | : 5 - 5,8                   | : 0,3 - 0,6           | : 30 %                             |

- Les teneurs en fer total les plus élevées - accumulations du fer de diamètre moyen supérieur à 2 m/m exclues-ont été observées dans les niveaux d'induration et d'accumulation du fer : puis les niveaux A-B finement argileux, sablo-limoneux, et dans les horizons illuviaux - les horizons sableux à sablo-limoneux de surface sont relativement moins pourvus en fer total corrélativement à leur faible teneur en argile.

-En général, les zones d'accumulation du fer, les plus épaisses ne s'accompagnent pas nécessairement d'une augmentation en oxydes de fer (libre et total) les zones d'accumulation et d'induration des sesquioxides étant constituées de matrices très hétérogènes : soit riches en fer, soit en éléments grossiers (voir analyse triacide)

- les horizons illuviaux présentent comme les horizons d'accumulation des sesquioxides de fer de grandes variations quant à leur teneur en oxydes de fer total ou liés, les rapports moléculaires étant inférieur à 0,5 (le fer libre représente rarement plus de 50 pour cent du fer total).

- la presque totalité des profils de sols Harch-Merkaz Mekzaz sont relativement bien pourvus en oxydes de fer avec des teneurs maximales au niveau d'induration des sesquioxides ou d'accumulation (et/ou de néoformation d'argile).

- les teneurs en oxydes de fer ainsi obtenues, additionnées à celles des différentes accumulations de fer (attaque triacide) et respectivement pour chaque horizon font des sols Harch, Merzaz et Mekzaz des types Sialoferriques modaux qui se caractérisent par leur extrême richesse en sesquioxides de fer et d'alumine, avec des rapports  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3} // 1$

- les matières organiques Genèse des sols hydromorphes - leur origine -

Les teneurs en matières organiques de sols Harch-Merkaz-Merkaz sont faibles, de l'ordre de 0,6 à 1,7 % pour les sols sous culture et de 1,5 % à 2 % pour les sols sous-forêt (Subéraie, callitriaie, Eucalyptus)

- Elles décroissent brutalement en profondeur (moins de 0,6 % en Bg)

- Les matières organiques des horizons A, A-B, sont bien décomposées et intimement liées aux matières minérales : l'humus est du type Mull-acide et se caractérise par un C/N bas, de l'ordre de 10 à 12 en A et A-B, et de 5 à 6 en Bg.

Le quotient C/N est plus élevé pour les horizons Ao des sols sous-forêt, (de l'ordre de 15) ces horizons Ao sont très peu épais et ne s'observent que sous-forêt dense, à strate inférieure ligneuse bien développée.

L'hydromorphie fugace en surface, les dalys exceptés, ne ralentie pas l'humification et la minéralisation des matières organiques :

- les taux d'humification sont élevés, analogues à ceux des Tirs et des Hamri soit :

$$2 \neq \frac{AH+AF}{CE} \neq 3$$

Les taux d'acides humiques sont élevés par rapport aux acides fulviques dans les horizons A. Quelques horizons éluviaux des Merzag et Mekzaz ont des rapports  $\frac{AF}{AH} \sim 1$

Ces horizons sont de couleur grise et ont une structure à tendance monoparticulaire (ou "spongieuse" à l'état humide, l'humus est légèrement onctueux). Les horizons illuviaux présentent une accumulation de fer et d'humus par imprégnation des quartzites (voir différentes formes d'accumulation du fer)

Ces caractéristiques des matières organiques des "Harch" sous-forêt rappellent ceux des podzols, et auraient probablement servis de critères à Cavalier qui les a cartographié en podzols ou sols à caractères podzoliques (66)

Le rapprochement entre les Merzag et les sols podzoliques a le mérite de faire apparaître le "lessivage" intense des horizons éluviaux . Nous y reviendrons.

Quant aux processus de podzolisation qui portent sur la dégradation du complexe absorbant (formation d'un horizon A<sub>2</sub>) sous l'action de composés organiques (Acides fulviques riche en composés phénoliques (34), des recherches devraient être entreprises dans ce sens (Etude chimique et/ou minéralogiques des composés minéraux et organiques de ces sols. Pour mieux élucider ces processus de chélation sous climat méditerranéen semi-aride.

*moyennement*  
La richesse des horizons éluviaux en grains de quartz qui leur confèrent une structure monoparticulaire, et les taux d'acides fulviques élevés de ces horizons n'impliquent pas que la dégradation du complexe absorbant fut intense. Par contre, l'accumulation du fer du Manganèse et des humus en profondeur serait en relation avec l'hydromorphie temporaire en profondeur des sols (voir concrétionnement et cuirassement p.1)

La texture sableuse ou sablo-limoneuse des horizons éluviaux résulterait du lessivage très poussé de ces horizons (entraînement des argiles, de l'humus et des sels solubles ou solubilisables) et probablement de l'intense érosion hydrique (ou ruissellement) qui se manifeste sous les conditions climatiques actuelles sous sa forme la plus insidieuse mais de faible intensité ou "Erosion en nappe" ou encore "Sheet flood".

La désaturation du complexe, les faibles teneurs en alcalino-terreux des horizons (calcium et magnésium notamment l'aci-  
.../...

\* Sols à caractères podzoliques de W. Cavalier sont des sols très limés (v. chap. I)

dité des horizons et la décomposition rapide des matières organiques (humification) sont des conditions favorables à "l'éluviation" : dispersion et migration de l'argile H+ ou d'argiles d'humus et des cations métalliques sous formes de complexes ou de chélates (65). Ces conditions de migration des argiles, des sels et des cations métalliques sont réalisées dans le sol, corrélativement aux fortes pluviosités hivernales (fréquence des pluies très élevées en hiver : voir chap. 1) et aux processus d'oxydo-réduction dans les sols (voir ferrollyse).

Cependant, les rapports sables fin/sables grossiers varient sur l'ensemble du profil et mettent en évidence une relative hétérogénéité texturale qui résulterait du "remaniement" ou du colluvionnement des sols pendant les périodes humides du quaternaire, notamment au Villafranchien (Présence de galets roulés, de quartz cariés et de nombreux grains de quartz emoussés dans les sols et qui seraient un facies type du Villafranchien (communication orale de G. Beaudet). Quelque fut l'intensité du colluvionnement des sols, leur horizons éluviaux ne résultent pas de "l'ensablement" de surface généralisé (processus purement mécanique) et qui nous semble trop schématique et implicite. Nous avons vu que l'état de saturation du complexe, la réaction des sols et la décomposition (ou humification) des matières organiques sont des conditions favorables pour le lessivage vertical (ou latéral) des sols, ce processus aurait porté sur plusieurs périodes du quaternaire avec des optimum aux périodes humides (et de l'incision des plateaux) et au fur et à mesure que le sol s'approfondissait - altération ou météorisation poussée des roche-mères (schistes et quartzites) ou de la dissolution des calcaires marneux (argile de "calcarification") soit de la néoformation de minéraux argileux en profondeur.

L'équilibre qui s'établit entre les processus du lessivage vertical et/ou d'appauvrissement par l'érosion en nappe et les processus d'altération et de néoformation de minéraux argileux du dépens des schistes, des quartzites et des calcaires avec des intensités respectivement plus ou moins élevées/entraînent la discordance texturale des sols Harch-Merzag et Mekzaz. Il semble que l'ensablement de surface aurait affecté tous les glacis de la Meseta Atlantique sur toutes les surfaces d'érosion des Ziaïda et Arab ? Or les sols hydromorphes minéraux qui, comme nous venons de le voir, sont des sols dont la genèse serait dominée par des phénomènes d'hydromorphie, de lessivage vertical et latéral, les sols ayant été à un degré moindre remaniés "ou" colluvionnés corrélativement aux processus de météorisation des roche-mères.

- Le concrétionnement et le cuirassement (v.p.1)

#### Première Partie :

#### A - Différentes formes d'individualisation et d'accumulation du fer (et du manganèse)

Les différentes formes d'individualisation et d'accumulation des sesquioxides de fer leur répartition dans les profils ont été regroupées dans les tableaux (\*) et graphiques ci-après.

d'après : - leurs caractères morphologiques  
- leurs caractéristiques chimiques et minéralogiques  
- leur répartition dans les sols et dans leur cadre géographique.

---

(+) hors - texte.

## Soit

### I - Au niveau des horizons illuviaux :

a) Les traînéees grisâtres ou gris-bleutés qui se répartissent le long des systèmes racinaires, ou les traînéees grises dans une matrice rougeâtre : ces deux formes d'individualisation du fer "résuit" (gris) ou "oxydé" : sont connus sous les appellations 'Argile rouge bigaré : et constituent le pseudo-gley type des sols hydromorphes minéraux des Ziaïda et Arab-Sud (Harch-Merzag et rarement Merzag).

b) Les horizons <sup>montrent</sup> argileux jaunes, beige ou ocres jaunes <sup>tâches</sup> noirs (sesquanes) ~~traduisent~~ une individualisation d'oxydes de fer faiblement à moyennement deshydratés (1), non indurés et partiellement individualisés. Ces horizons présentent ces ~~deux~~ formes d'individualisation et/ou "d'accumulation initiale" des sesquioxydes de fer ou formes "primaires" d'accumulation du fer ( <sup>moins deshydratés</sup> / des teneurs en argile moyennes à faible (minéraux argileux du groupe de la Kaolinite de la vermiculite et des proportions variables de chlorite <sup>très peu de Montmorillonite</sup> et des taux de sables (~~le~~ quartz très élevé).

II - Les autres différentes formes d'accumulations des sesquioxydes ont été classées en fonction de leur dimension, de leur dureté, de leur proportion par rapport à leur matrice et de leur répartition dans les profils ou dans leur cadre géomorphologique : leur structure, leur couleur, leur caractéristiques chimiques et minéralogiques ont été comparées à celles d'un horizon argileux rouge (sol rouge "fossile" de Chaâbet Esbaâ) et à un horizon gris-noir (tirs gris-noir sur basalte). Voir planche : Morphologies des sols hydromorphes et coupe : Répartition des différentes formes d'accumulation du fer et du manganèse. ( Hors texte ).

L'accumulation-relative ou absolu-progressive des "formes primaires" d'individualisation et d'accumulation des sesquioxydes entraînent la formation de tâches ferri-manganiques (ou ferrimanganésifère ou encore Alumino-ferrimanganique) puis de pisolites, de concrétions d'amas et de rognons, de carapaces peu épaisses et discontinues qui évoluent en cuirasses discontinues dans le profil et dans son cadre géographique puis en cuirasses continues qui constituent le stade optimal ou -sénil- d'accumulation et d'induration des sesquioxydes du fer, de manganèse et d'alumine.

Ces différentes formes d'accumulations peuvent être situées dans leur paysage et classées en carapace ou cuirasse des plateaux (ou glacis) des dalïyas ou des bordures de dalïyas (ou dépressions) des bordures de talwegs des collines ou versants de sokhrat (Relief résiduel).

Sans atteindre l'ampleur "en étendue et en épaisseur" des latérites des pays tropicaux ou intertropicaux, on retrouve curieusement sous les climats méditerranéens les différentes formes d'accumulation et d'induration des sesquioxydes (voir genèse).

## 2) Caractéristiques chimiques et minéralogiques

L'analyse "triacide" des différentes formes d'accumulation des sesquioxydes (voir tableau ...) après broyage et tamisage à 2 m/m donne des compositions en oxydes de fer, d'alumine et de manganèse très variées, indépendamment du degré d'accumulation ou d'induration des sesquioxydes dans le profil.

Le tamisage donne de grandes proportions en quartz et en débris grossiers (galets quartz, quartz carriés cimentés : par les sesquioxydes).

Les différentes formes d'accumulation et d'induration des sesquioxydes sont dans leur ensemble plus riches, en fer et en manganèse par rapport aux horizons "rubéfiés" des sols rouges méditerranéens (niveau villafranchien inférieur (?) et des horizons gris-noirs des tirs (Vertisols).

- Le pseudo-gley (argile bigarée) est le moins pourvu en sesquioxydes de fer et de manganèse : 6 - 8 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,

$\frac{\text{Si O}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} \frac{7}{2} \frac{1}{1} / \frac{\text{Si O}_2}{\text{R}_2\text{O}_3} \frac{2}{2}$

- Les tâches ou sesquanes les pisolites, les concrétions, les rognons (cortex et noyau) les carapaces et cuirasses montrent des compositions analogues en sesquioxydes, mais qui varient dans une fourchette de 6 à 26 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , de 6 à 18 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  avec des rapports  $\frac{\text{Si O}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  compris entre 2 et 3 et  $\frac{\text{Si O}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$  inférieure à 1

Ces caractéristiques sont propres aux sols stéphaniques (49)

Les teneurs en manganèse sont plus faibles (0,5 à 1,5 % de  $\text{Mn O}_2$ ) mais sont très élevées par rapport à celles des horizons rubéfiés, d'où la dénomination "ferrimanganique ou ferrimanganésifères".

Les Oxydes de manganèses des différentes accumulations serait une des causes de la coloration noirâtre (et qui se superpose ou se surimpose au brun-rouille des oxydes de fer.

## 3) Caractéristiques minéralogiques

Toutes les différentes formes d'accumulation de fer montre (à l'ATD) de grandes proportions en Quartz. La Goéthite est dominante avec probablement des traces d'hématite. Les argiles, en faibles proportions dans les niveaux d'accumulation et d'induration les sesquioxydes, seraient du groupe de la Kaolinite essentiellement, et très peu d'illite. Sacheen a signalé la présence de Vermiculite dans "les argiles hydromorphes (niveau du pseudo-gley) avec Kaolinite dominante et très peu de Montmorillonite. La néoformation de vermiculité (minéral à 14 Å) serait en rapport avec des "époques plus humiques".

## PROCESSUS DU CONCRETIONNEMENT ET DU CUIRASSEMENT

Genèse des Harch - Merzag et Mekzaz

-:-:-:-:-

I - Conditions de formation.

Nous avons vu que la genèse des différentes formes d'individualisation et d'accumulation des sesquioxides (Fe,Mn) est liée :

a) au drainage "externe" et interne défectueux ou très réduit sur les hautes surfaces Villafranchiennes ou sur les basses terrasses (Gharbien ancien).

b) au régime hydrique des sols du type hydropédique et qui se caractérise par l'alternance de phases anaérobiques et aérobiques dans les sols. Le régime hydrique oriente l'activité microbiologique des sols, notamment des réducteurs de fer-, la décomposition des matières organiques ; leur humification et leur minéralisation, la migration des composés solubles ou solubilisables organo-minéraux et leur accumulation progressive.

L'activité microbiologique globale intense en période des grosses pluies ou des phases anaérobiques (nappes temporaires ou submersion totale (daiyas) entraîne : une acidification du milieu cette acidité d'échange augmente corrélativement à la diminution du  $rH$  ( $rH \leq Np$ ). Le milieu étant désaturé, la réduction du fer ferrique en fer ferreux, sa mise en solution et sa migration seraient donc réalisées (65).

(Voir tableau des analyses Microbiologiques et Chimiques (complexe absorbant, Activité Microbiologique et potentiel d'oxydo-réduction).

En période de sécheresse : l'activité microbiologique est réduite, et les processus d'oxydation dominant.

c) Au Paléo-climat, qui aurait été du type méditerranéen au cours des périodes post-Villafranchiennes, aurait, pendant les phases pluviales, favorisé les processus de mobilisation du fer et pendant les phases inter-pluviales, les processus inverses d'immobilisation et de forte induration des sesquioxides de fer (et/ou de Manganèse) : soit que les phénomènes d'hydromorphie subactuelle ou paléohydromorphie et d'hydromorphie actuelle auraient été analogues, leurs intensités respectives de mobilisation ou d'immobilisation et d'induration des sesquioxides (Fe,Mn) ayant été plus ou moins poussées.

d) la végétation "fossile" ou actuelle est une Subéraie ; le chêne-liège, espèce calcifuge témoigne de la désaturation poussée du complexe absorbant des sols Harch Merzag et Mekzaz. La végétation des daiyas est une erme hygrophile typique des sols inondés temporairement.

.../...

e) Aux variations du relief pendant les périodes qui succédèrent à la dernière transgression moghrebiennne et qui portent sur l'applanissement des hautes surfaces Villafranchiennes ou "des anciennes surfaces d'érosion" du plateau des daiyas (voir Chap. I), (en rapport avec les "cuirasses fossiles" des bordures des Sokhrat sur des surfaces actuelles "à drainage en grand très bon" ainsi que les cuirasses des collines délimitées par des incisions de faible amplitude)

### Le Processus :

Au niveau des Substratum primaires, riche en fer (voir Chap. I) la météorisation poussée de ces roches et leur altération sous l'action des facteurs épigéniques (voir hypogénique : Zone de départ au niveau de la nappe temporaire) donnent lieu à de fortes libérations du fer qui selon le schéma proposé par Sharp et Addison (65) résulte "de la présence du fer ferrique. qui est le grand responsable des modifications profondes de l'équilibre des charges dans le réseau" et du départ des alcalins, qui, situés dans les cavités hexagonales des couches tétraédriques assureraient l'équilibre du à une répartition inégale des charges du réseau. La présence de  $Fe^{+++}$  dans la couche octaédrique s'accompagne de la dislocation de l'édifice, tandis que l'hydroxyde précipite (65).

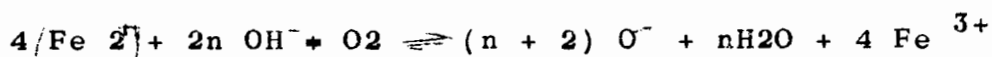
L'altération des roches-mères va donc enrichir constamment le sol en fer, qui va migrer dans le profil dans des conditions particulières.

### II) MOBILISATION (Individualisation) du fer et son accumulation :

De nombreux auteurs (65) ont essayé de mettre en évidence les conditions de migration du fer dans le sol. Ces conditions seraient alors :

- la réaction du sol : pH acide ;  $pH \ll 6,5$
- Le potentiel d'oxydo-réduction (eH favorable, soit  $rH < Np$   
 $Np$  = point neutre (voir tableau rH).
- L'activité de la microflore, soit - la décomposition ou la fermentation des matières organiques (en présence du glucose) par la microflore susceptible de réduire le fer et de favoriser sa solubilisation ultérieure ( rôle de la microflore; transfert d'électrons).

Les déterminations du rH, du pH, de l'activité microbologique globale et de l'activité des réducteurs de Fer (Méthode Bromfield) montrent que les conditions de réduction, de solubilisation et de migration du fer sont réalisées dans les sols Harch-Merzag-



.../...

Mekzaz sur la presque totalité du profil d'abord pendant les périodes des grosses pluies, puis s'amenuisent au fur et à mesure que le sol se dessèche (descente de la nappe phréatique) et se maintient relativement plus longtemps au niveau de l'altération des schistes et des quartzites et le long des systèmes racinaires.

La réduction du fer, sa mise en solution réalisées, le fer migre dans le sol soit per ascensum (remontée de la nappe) soit per descensum (~~face~~<sup>frange d'évaporation</sup> de la nappe) soit latéralement (Shett-Flood), mais sur de faibles distances. Ces conditions n'étant plus réalisées pendant les périodes de dessiccation des sols (réduction de l'activité microbiologique, augmentation de la tension en Oxygène des Sols, légère augmentation du pH, et  $rH > Np$ ) le fer va précipiter dans le profil.

Parallèlement à ces processus, il est probable que le fer, engagé dans des combinaisons organo-minérales : Chélats et complexes, puissent migrer dans le sol (65). Ce qui favoriserait de plus grandes mobilisations du fer dans le sol.

L'oxydation du sol ( $rH > Np$ ) jointe à l'activité des groupes microfloristiques aérobies qui détruisent les substances organiques "qui protègent" le fer, entraînent la précipitation du fer consécutive à son oxydation.

La présence d'oxydes de fer, déjà précipités dans le sol va faciliter l'accumulation d'oxydes de fer en couches de plus en plus épaisses (exemples : les tâches ou sesquanes s'individualisent en pisolites qui évoluent progressivement en concrétions, puis en rognons constitués de plusieurs couches "Circonsrites" et détachables les unes des autres, puis en carapace et enfin en cuirasse). L'accumulation des oxydes de fer peut avoir lieu au niveau des grains de quartz, des galets roulés quartzeux, des racines mortes, ou par imprégnation des quartzites qui constituent "des microzones de réception".

La précipitation du fer va s'accompagner de son accumulation "relative" par exportation des autres produits autres que le fer (bases et silices). L'accumulation "absolue" ou par rapport de produits ferrugineux des zones extérieures serait probablement réalisées dans quelques daiyas encaissés dans le plateau Villafranchien et qui "accumulent" l'eau des plateaux.

D'où on retrouve les zones principales où le fer se sépare des minéraux ou zone de départ (substratum primaire pour les sol Harch-Merzag et Mekzaz), une zone de translation (réduite aux profils des sols. et de très courte distance pour les cuirasses de daiyas) et une zone de réception (optimale au niveau de la frange d'évaporation) des nappes temporaires.

A l'accumulation progressive du fer succède son induration progressive soit sous-forme de "couverture des argiles" (65) : Horizon rubéfié (ou gris), puis sous-forme de tâches, de pisolites, de concrétions, de rognons, d'amas, de carapaces et de cuirasses fortement indurées.

.../...

## Discussion :

Ces processus de concrétionnement et de cuirassement sont, comme nous venons de le voir, réalisés dans le cadre bioclimatique actuel, exceptés les cuirasses des versants de skhous (El Sokhrat El Hajiba) des bordures de daiyas (Jemra) et des collines de faible amplitude des plateaux Villafranchiens. Ces cuirasses seraient des cuirasses "séniles" ou fossiles types (d'âge Villafranchien, voire Antéquaternaire pour les cuirasses des anciennes surfaces d'érosion mio-pliocène (Hte surface du Sud-Est et du Sud-Ouest de Ben Sliman).

" Elles sont reprises par l'érosion actuelle et constituent ainsi une zone de départ secondaire.

Les pisolites, les concrétions, les carapaces et cuirasses des sols Harch Merzag et Mekzaz résulteraient de phénomènes d'hydromorphie subactuelle ou Paléo-hydromorphie et d'hydromorphie actuelle, et se seraient formées sur place, leur genèse se poursuit dans le cadre bioclimatique actuel.

Les apports de fer des zones extérieures sont relativement réduits, les différentes formes d'accumulation de fer se répartissent sur l'ensemble des surfaces pénéplanisées jusqu'en bordure de l'Océan Atlantique en deçà de la falaise Ouljienne. Ces surfaces auraient été très faiblement enrichies en fer, le principal fournisseur en fer aux sols "Harch-Merzag-Mekzaz" étant le substratum primaire. Les surfaces Villafranchiennes constitueraient des zones de départ, de translation et de réception. Les migrations latérales du fer porteraient sur de faibles distances et dans la masse des sols Harch, Merzag, Mekzaz (zone de translation réduite aux Daiyas, aux bordures de talwegs et aux incisions du plateau.

## Conclusion :

Les Harch, les Merzag, les Mekzaz, ne sont pas dans leur totalité des sols fossiles. Les phénomènes d'hydrogénèse (oxydo-réduction) d'accumulation et d'induration auraient<sup>connu</sup> des intensités variables au cours des époques post-villafranchiennes. Au cours des périodes humides, "pluviaux", la mobilisation du fer aurait été plus intense et au cours des périodes plus sèches-interpluviaux, l'immobilisation et l'induration du fer auraient été plus poussées. Ces processus de mobilisation et d'immobilisation se poursuivent dans le cadre bioclimatique actuel avec des optimum de mobilisation de fer au cours des saisons des grosses pluies -Hiver-Automne et début printemps et d'immobilisation et d'induration du fer pendant les périodes de sécheresse (Été).

Les Harch, les Merzag, les Mekzaz ou sols hydromorphes minéraux lessivés sont des sols subactuel-actuels dominés par les phénomènes de Paléo-Hydromorphie et d'hydromorphie actuelle.

.../...

Addendum :

Les processus d'oxydo-réduction, d'immobilisation du fer et de son immobilisation et le lessivage soit par descensum, soit latéralement des argiles et <sup>des</sup> cations autres que le fer consécutifs à l'acidification du "milieu", la destruction partielle des minéraux argileux 2/1 sont aussi appelés "Ferrolyse" par Birkman R. Ces processus/ou ferrolyse

les sols "Harch, Merzag, Mekzaz" seraient une des causes fondamentale de la formation des horizons éluviaux à texture sableuse ou sablo-limoneuse, soit de la discordance texturale entre les horizons éluviaux et les horizons illuviaux - du <sup>Concentration</sup> des horizons intermédiaires (A-B) et des accumulations poussées dans ces horizons de sesquioxides de fer, d'alumine et de manganèse ~~qui ne découle~~ ni d'un ensablement de surface ni de l'Alcalinisation et la salinisation ou "solodisation" antérieure à l'hydromorphie", ~~se~~ qui ne se justifie dans aucun cas des sols Harch, Merzag, Mekzaz observés. .../....

*cette discordance texturale ne résulterait donc*

DIFFERENTES FORMES D'INDIVIDUALISATION ET D'ACCUMULATION  
DES SESQUIOXYDES DE FER (ET DE MANGANESE) DANS QUELQUES  
SOLS DU ZAËR.

| DENOMINATION                                                                              | : CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET PHYSIQUES          |                                 |               |                                  |                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|----------------------------------|------------------------------|
|                                                                                           | : Dimension<br>: Cm                                     | : Couleur                       | : Texture     | : Structure<br>: ou forme        | : Dureté ou consistance.     |
| 1) Limons gris<br>"Harch"                                                                 | : 20 à 40                                               | : Gris, gris<br>: noirs         | : L+S+H+Q(Fe) | : Monoparti-<br>: culaire        | : Très faible                |
| 2) Argile Grise<br>"Tirs"                                                                 | : 30 à 120                                              | : gris à noir                   | : A+L+H+Fe    | : Massive                        | : Consistant à<br>: compact. |
| 3) Pseudo-gley                                                                            | : 5 à 20                                                | : Gris-bleu<br>: té, rouge      | : A+L+Fe      | : Massive                        | : peu consistant             |
| 4) Gley                                                                                   | : 5 à 15                                                | : Bleu                          | : A+L+Fe      | : Massive                        | : peu consistant             |
| 5) Argile "jaune"                                                                         | : 30 à 100                                              | : Jaune-ôcre<br>: beige         | : A+L+S+Fe    | : Rondu-massi-<br>: ve           | : Assez consis-<br>: tante.  |
| 6) Argile "Rouge"<br>"Hamri"                                                              | : 30 à 250                                              | : Rouge, brun<br>: rouge        | : A+L+S       | : Prismatique<br>: (polyédrique) | : Consistante                |
| 7) Tâches ferri-<br>manganiques<br>"Black eyes"<br>Ferranes et man-<br>ganes, "sesquanes" | : 0,2 à 0,5                                             | : Noires                        | : Fe, mn      | : Diffuse                        | : Faiblement<br>: indurées   |
| 8) Pisolites                                                                              | : 1 : 0,2 à 0,5                                         | : Brun-rouil-<br>: lés et noirs | : Fe, Mn+S    | : Rond ou<br>: oblong            | : Indurés.                   |
| 10)                                                                                       | : 1 : 1 à 1,5                                           | : brunes                        | : Fe, Mn et   | : Ronde, lon-<br>: gue, Sub-     | : Fortement<br>: indurées.   |
| 11) conglomérations                                                                       | : 2 : 1 à 2                                             | : brun-mouil-<br>: lés, brun+   | : S           | : élliptique                     |                              |
| 12)                                                                                       | : 3 : 1,5 à 2,5                                         |                                 |               |                                  |                              |
| 13)                                                                                       | : 4 : 2,5 à 5                                           | : noires                        |               |                                  |                              |
| 14) Rognons<br>ferrugi-<br>neux                                                           | : Cortex : 5<br>: (a) : à<br>: Noyau : 10<br>: )) (b) : | : Brun-<br>: rouillés           | : fer-sable   | : Ronds                          | : Fortement<br>: indurés.    |
| 15) Pellicules<br>ferrugineuses                                                           | : 0,2 à 2                                               | : Noires                        | : Fer, Mn     | : Rubanées                       | : Très indurées              |
| 16) Amas ferrugineux                                                                      | : 15 à 30                                               | : Brun-rouil-<br>: lés, noirs   | : Se+L+S+Q    | : Sub-ellip-<br>: tiques         | : Très indurés.              |
| 17) Cara)                                                                                 | : 15 à 30                                               | : Brun-rouil-<br>: lés et       | : Fe+L+S+g    | : ou SCORIAE                     | : Moyennement                |
| 18) pace) tinue<br>"Merzag") continue                                                     | : 30 à 60                                               | : noires                        | : Fe + S      | : rarement mas-<br>: site        | : indurées                   |
| 19) Cuirasse)<br>"MEkzaz" )                                                               | : 15 à 30                                               | : Brun-rouil-<br>: lés à noirs  | : Fe+L+Q+S    | : Pisolitique                    | : indurées                   |
| 20) ) tinue<br>: con-<br>: tinue                                                          | : 60 à 150                                              |                                 | : Fe+Q+q      | : Scoriacée ou<br>: Massive      | : très indu-<br>: fée.       |

**DIFFERENTES FORMES D'INDIVIDUALISATION ET D'ACCUMULATION DES  
SESQUIOXYDES (SUITE).**

| : CARACTERISTIQUES CHIMIQUES (TRIACIDE)                            |                                             |                                |                                    |                                    |                                    |                              |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Repartition dans le sol                                            | Perte au feu                                | Résidu sec                     | : Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | : Mn O <sub>2</sub> %:       |
| Matrice de lions et sables fins des horizons A des "Harch"         | 1) 2,92                                     | : 80,0                         | : 17,91                            | : 5,31                             | : 17,30                            | : 0,035                      |
| Horizon A <sub>11</sub>                                            | : 2)                                        | :                              | :                                  | :                                  | :                                  | :                            |
| en profondeur à 1 à 1,5m (Bg)                                      | : 3) 8,08                                   | : 38,94                        | : 55,58                            | : 20,36                            | : 6,85                             | : 0,03                       |
| Sur Trias à 1m 0,5 de profondeur                                   | : 4) : 5)                                   | :                              | :                                  | :                                  | :                                  | :                            |
| Quelques centimètres à plusieurs mètres sur grès-dunaire           | : 6) 7,81                                   | : 39,94                        | : 48,8                             | : 18,8                             | : 8,22                             | : 0,04                       |
| Réparties dans l'horizon Bg ou A-B ou Bfe                          | : 7)                                        | :                              | :                                  | :                                  | :                                  | :                            |
| Réparties en AB et Bg (de 10 à 30 % de la masse totale)            | : 8) 6,03                                   | : 53,6                         | : 38,6                             | : 13,57                            | : 15,9                             | : 0,06                       |
| Réparties dans l'ensemble du profil du 10 à 30% de la masse totale | : 10) 4,82 : 11) 5,34 : 12) 7,86 : 13) 5,78 | : 60,24 : 54,41 : 43,4 : 57,50 | : 14,58 : 18,93 : 22,5 : 21,08     | : 5,88 : 7,14 : 15,60 : 8,47       | : 17,89 : 26,5 : 17,73 : 17,03     | : 0,46 : 0,18 : 1,005 : 1,75 |
| de 10 à 15% des horizons Bfe ou en profondeur                      | : 14a) 4,35 : 14b) 3,12                     | : 67,10 : 75,49                | : 16,8 : 11,8                      | : 16,8 : 11,6                      | : 10,78 : 8,65                     | : 1,322 : 0,662              |
| Imprégnation des quartzites                                        | : 15)                                       | :                              | :                                  | :                                  | :                                  | :                            |
| 30 à 50% des horizons AB ou Bfe                                    | : 16)                                       | :                              | :                                  | :                                  | :                                  | :                            |
| 50 à 60 %                                                          | : 17) 4,48                                  | : 54,67                        | : 22,77                            | : 7,24                             | : 9,31                             | : 0,97                       |
| 60 à 80 %                                                          | : 18) 5,49                                  | : 55,34                        | : 19,58                            | : 7,38                             | : 14,03                            | : 0,82                       |
| 50 à 80 % + 80 %                                                   | : 19) 5,12 : 20) 6,19                       | : 60,90 : 51,05                | : 21,57 : 21,66                    | : 7,71 : 7,56                      | : 19,51 : 19,95                    | : 1,154 : 1,8                |

REPARTITION DES DIFFERENTES FORMES D'INDIVIDUALISATION ET  
D'ACCUMULATION DES SESQUIOXYDES DE FER - Suite -

REPARTITION - DIVERS -

ANALOGIE AVEC LES  
DIFFERENTES FORMES  
D'ACCUMULATION DU  
CALCAIRE

|                                                                                                                                                                                                                       |                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1) Pisolites et concrétions dans une matrice limo-<br>neuse grise ou gri-noir (Humifère) (Villafranchien)                                                                                                             | : Individualisation du<br>calcaire (-30%). |
| 2) Sols à caractères vertiques, gris ou gris-noir des<br>Daiyas sur schistes "comblement des depressions et<br>neo-formation de minéraux argileux au dépens des schis-<br>tes et quartzites (Villafranchien, Saletien | :                                          |
| 3) Argile rouge tacheté (Bg.) sur schistes et quart-<br>zites (forte altération, Réduction du fer).                                                                                                                   | : Pseudo-Mycelium.                         |
| 4) Argile rouge du "Trias" (Fer réduit et individualisé                                                                                                                                                               | :                                          |
| 5) Argile "jaune" et limon ) Sol rouge méditerranéen :<br>(Villafranchien sup. et moyen) lessivé hydromorphe. Très                                                                                                    | : Accumulation dif-                        |
| 6) Argile rouge (Villafran- ) profond sur grès calcaire: fuse de 30 à 60%.<br>chien inférieur). ) dunaire. : de calcaire.                                                                                             |                                            |
| 7) Accumulation des sesquioxides de fer et de manga-<br>nèse non indurée, dispersé dans les horizons Bg.                                                                                                              | : "White eyes" et amas<br>calcaire fiable. |
| 8) Accumulations et induration des sesquioxides de fer<br>9) et de manganèse dispersés dans une matrice limono-<br>argileuse et sableuse.                                                                             | : Nodules.                                 |
| 10) Forte accumulation et induration des sesquioxides :<br>de fer et de manganèse dispersés dans les horizons A :<br>A-B : Matrice limoneuse, limono-sableuse ou argileuse: Granules<br>grise, beige, ôcre.           |                                            |
| 14a) Amas de sesquioxides de fer de manganèse consti-<br>14b) tutés de plusieurs couches autour des grains de : Rognons calcaires<br>quartz et sur les quartzites                                                     |                                            |
| 15) Pellicules brunes ou noires d'oxydes de fer et de<br>manganèse (et de matière organique) répartie sur les : Pellicules ruba-<br>quartzites. : nées.                                                               |                                            |
| 16) Amas de pisolites, de concrétions, de rognons non-<br>indurés entre eux généralement discontinus dans l'es-<br>pace, et peu épais.                                                                                | : Encroûtement<br>calcaire                 |
| 17) Amas de pisolites, concrétions, rognons moyenne-<br>18) ment indurées en "carapace" scoriacée (ou pisoli-<br>tique), assez riche en limons gris, galets quartzeux ,<br>et pauvre en argile.                       | : croûte - Tendre<br>- Dure                |
| 19) Amas de sesquioxides de fer (et de manganèse) de :<br>20) grains de quartz, de galets quartzeux, de débris :<br>la roche (fortement indurés et cimentés (continus sur:<br>le faibles surfades).                   | : Dalle                                    |

# DIFFERENTES FORMES D'INDIVIDUALISATION ET D'ACCUMULATION DES SESQUIOXYDES (Suite).

| Rapport moléculaire                   |                                              | Caractères Minéralo-  |     |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----|
|                                       |                                              | giques                |     |
| $\text{Si O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Si O}_2$                              | ( A. T. D. )          |     |
|                                       | $\frac{\text{Si O}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ |                       |     |
|                                       |                                              |                       |     |
| 3,37                                  | 0,79                                         | C+G et M, K faible    | 1   |
| 2,73                                  | 2,04                                         | K + M                 | 3   |
| 2,58                                  | 1,80                                         | K + M + G             | 6   |
| 2,8                                   | 1,3                                          | G + Q (Très peu de M) | 8-9 |
| 2,44                                  | 0,60                                         |                       | 10  |
| 2,55                                  | 0,50                                         | G                     | 11  |
| 1,40                                  | 0,60                                         | Q                     | 12  |
| 2,96                                  | 0,99                                         | Très peu d'Argile     | 13  |
|                                       |                                              | (M, K).               |     |
| 2,7                                   | 0,99                                         | G + H + Q             | 14a |
| 2,8                                   | 0,99                                         | G + H + Q             | 14b |
|                                       |                                              | G + Q(+M.O.)+K+M.     |     |
| 3,13                                  | 1,37                                         | G+Q+H+peu de A        | 17  |
| 2,61                                  | 0,91                                         | G + Q                 | 18  |
| 2,76                                  | 1,06                                         | G+Q+peu de K          | 19  |
| 2,86                                  | 0,78                                         | G+Q+(H).              | 20  |
|                                       |                                              |                       |     |

A = Argile  
Q = Quartz (Quartzite)  
G = Goethite  
H = Hématite  
K = Kaolinite  
M = Montmorillonite

V = Vermiculite  
(V-C) = Interstratifiés  
L = Limons  
S = Sable  
Fe = Oxydes de fer (Hydraté jaune, deshydraté : rouge ou brun).  
Mn = Oxydes de manganèse (deshydraté) noirs.

de 1 à 20 voir tableau p. 123

## CLASSIFICATION

G.Aubert UP duchaufour 1965 CPSC 67)

(7eAp) USA-

-Dudal

EH Del Villar

Classe: Sols HYDROMORPHES

Maroc

ALFISOLS

PLANOSOLS

SOLS A REGIME

Sous-classe: Peu humifères ou minéraux

Aquerts

Ochric

HYDROPEDIQUE

Groupes : a) à pseudo-gley, Lessives: Harch

Aqualf

Planosols

heterocyclique

b) à Carapace, lessivés . Merzag

ou

c) à cuirasse, lessivés . Mekzaz

Sols hydroépigéni-

. Modaux (?)

ques non sodique ou

sous-groupes: communs. à pseudo-gley de profondeur

"oligoépigénique "

. Vertiques

Series: . Carapace: - discontinue, continue , peu ou moyennement épaisse

- à Bg peu ou moyennement profond

cuirasse: - discontinue - continue - épaisse , Scorracée, massive

avec ou sans Bg-, à texture sableuse ou sablo-limoneux -

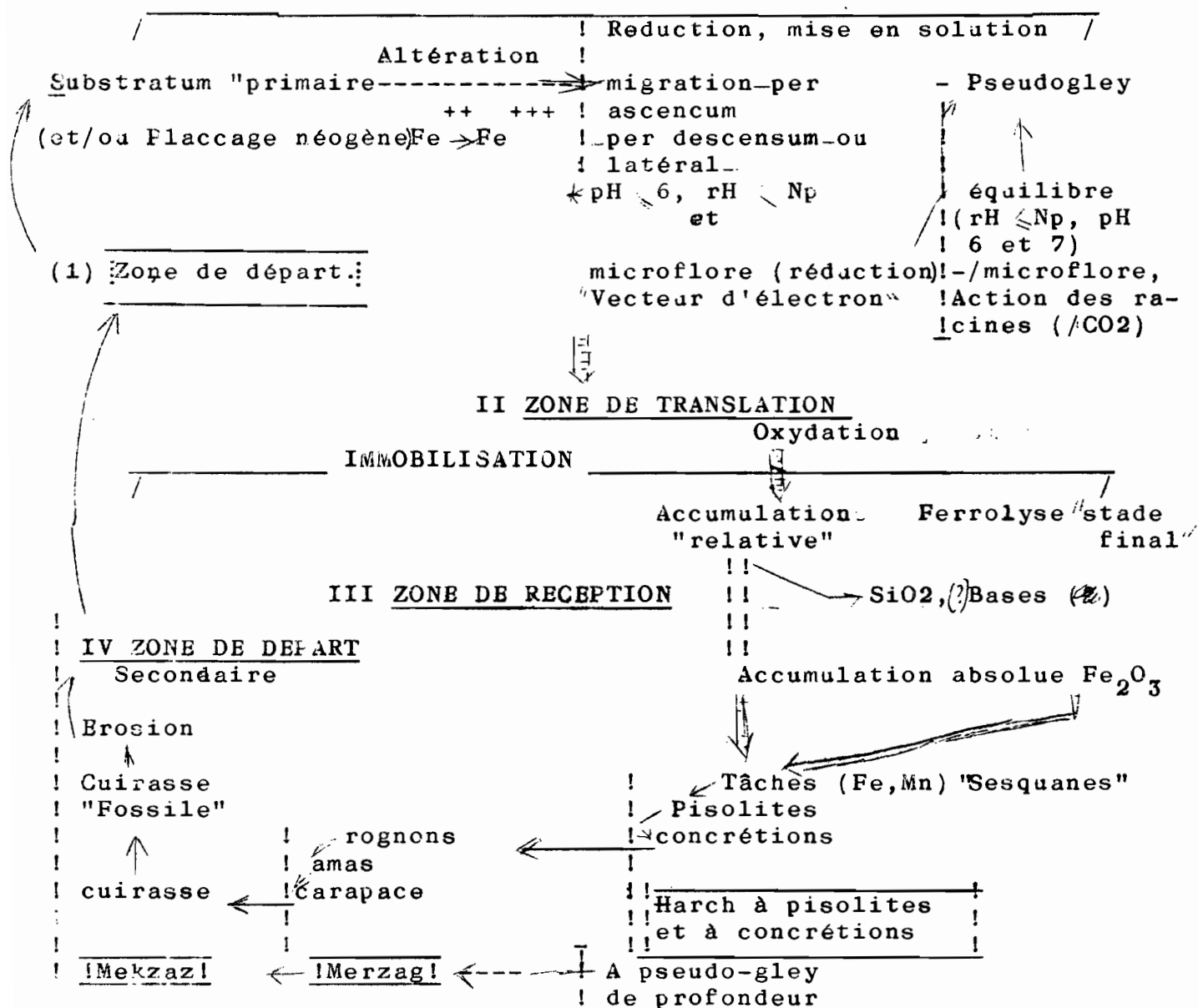
- à Cuirasse de ~~déflations~~ - *affleurante*

- à Cuirasse "fossile", subactuelle-actuelle -

scoriacee, massive, pisolitique . etc.....-

: Schema du concrétionnement et du cuirassement et :  
: classification des Sols Hydromorphes minéraux :

- mobilisation du fer (Libération et Individualisation)



III - 8 les SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX lessivés.

III - 9 - I - MORPHOLOGIES (\*)

A - PROFIL N° SLI 42

Facteurs de pédogénèse :

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérotherique atténué - P = 490 m/m, T. = 18°C.

Roche-mère : Schistes gris et quartzites (Ordovicien)

Matériaux originel : Schistes altérés et "épandage limoneux-sableux" "Villafranchien" (?)

(\*) Voir Croquis : Morphologie des Sols hydromorphes (Hors textes).

.../...

Profil N° SLI 15

Sol HYDROMORPHE ~~mineral~~

A Pseudo-Gley

- Lessivé et à Bg,G

Ap

semelle de labour

Limon gris, pisolitique ~~mir~~ A II

Limon-gris très riche en pisolithes et concrétions ferrugineuses { Frange d'évaporation A-B  
limite de Tranchée Bg

Argile rouge tachetée

Pseudo-gley

R

Profil N° SLI 14

Sol HYDROMORPHE ~~Mineral~~

A Carapace

Lessivé et à Bg,G

AP

Limon gris noir pisolitique A II

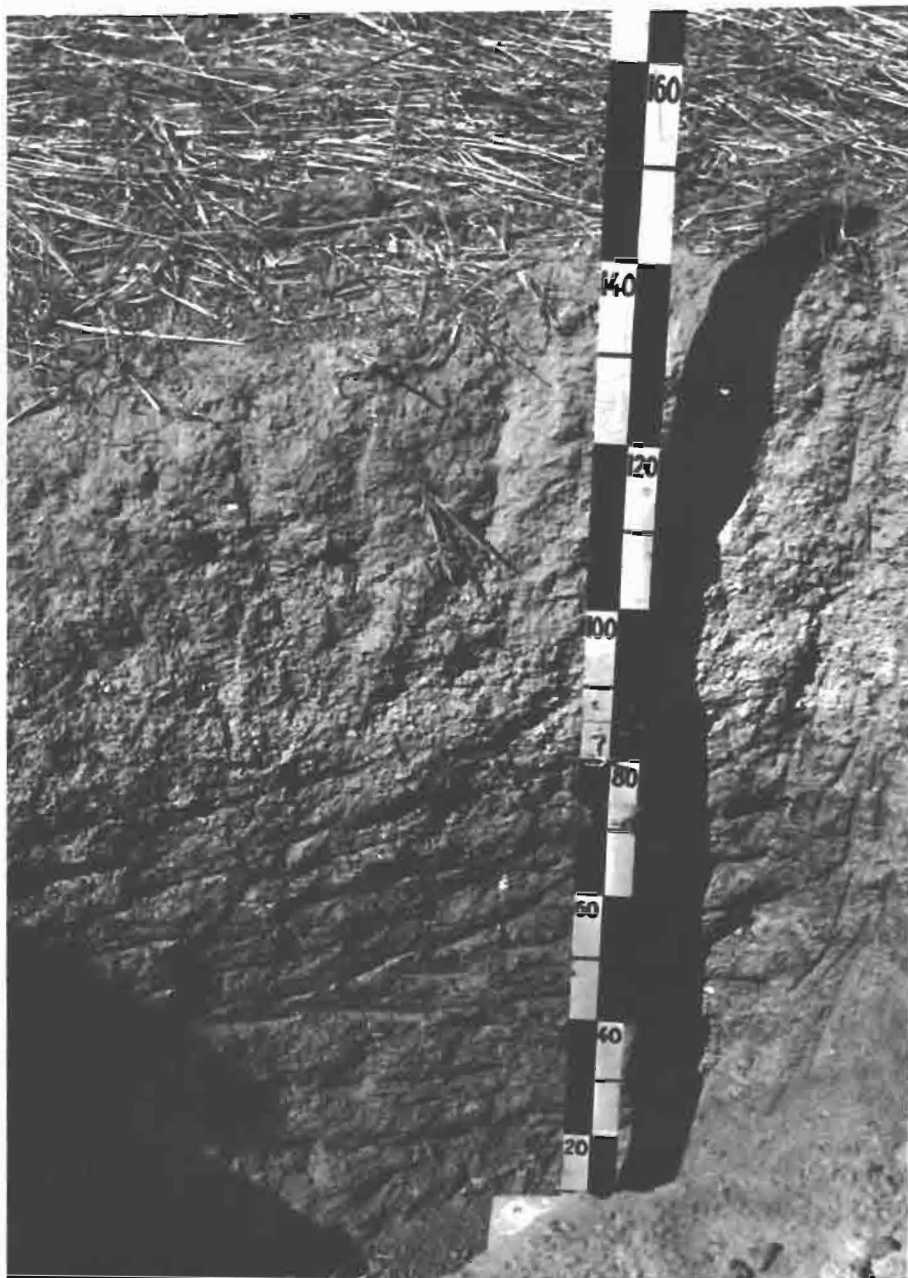
Limon gris très riche en pisolithes et concrétions ferrugineuses { Frange d'évaporation A II

Carapace ferrugineuse pisolitique discontinue B fe

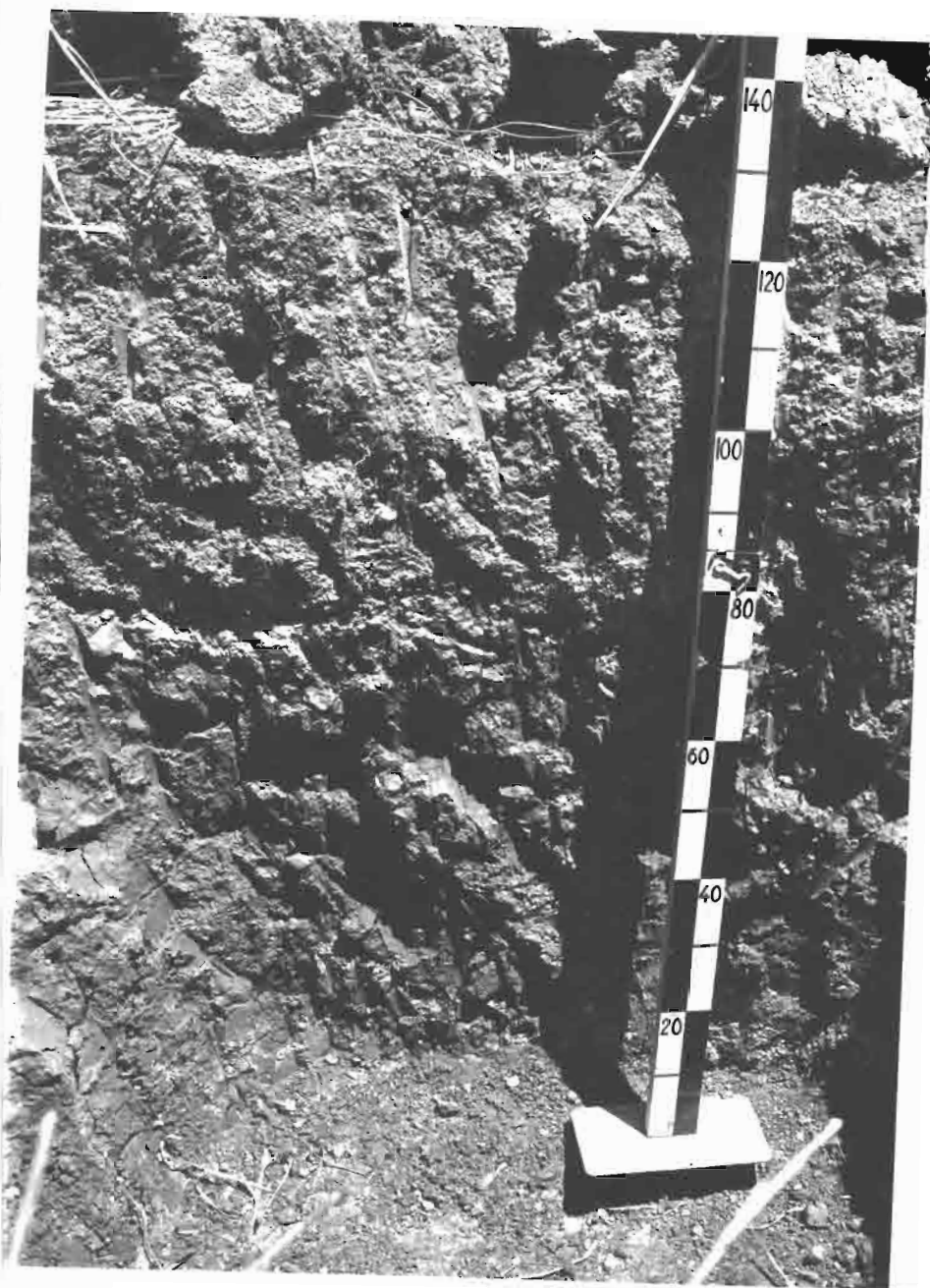
limite

Argile tachetée, massive (pseudo-gley). Bg

R



Profil N° SLI I3 — I33 —  
 Sol HYDROMORPHE Muneral A pseudo-  
 Gley, Lessivé et Vertique en pro-  
 fondeur



A Limons gris humifère pisoli-  
 thiques.

A-B Limono - Argilo-Sableux peu  
 Humifère non calcaire

H. Beige (occe-rouille à sa-  
 base) Argileux massive à tâ-  
 ches acces-rouilles

Bg - Fente horizontale entre A et  
 B (Planosols) et début de  
 fondillement vertical et ar-  
 rondissement des prismes au  
 sommet (sur-Structure colum-  
 naire

- facettes lisses ou slikensim-  
 des d'étendues moyennes.

Rf Marno - calcaire

R2 Schistes On Voie d'altération

## Cuirasse massivé demantelée

Forêt de Boulhaut

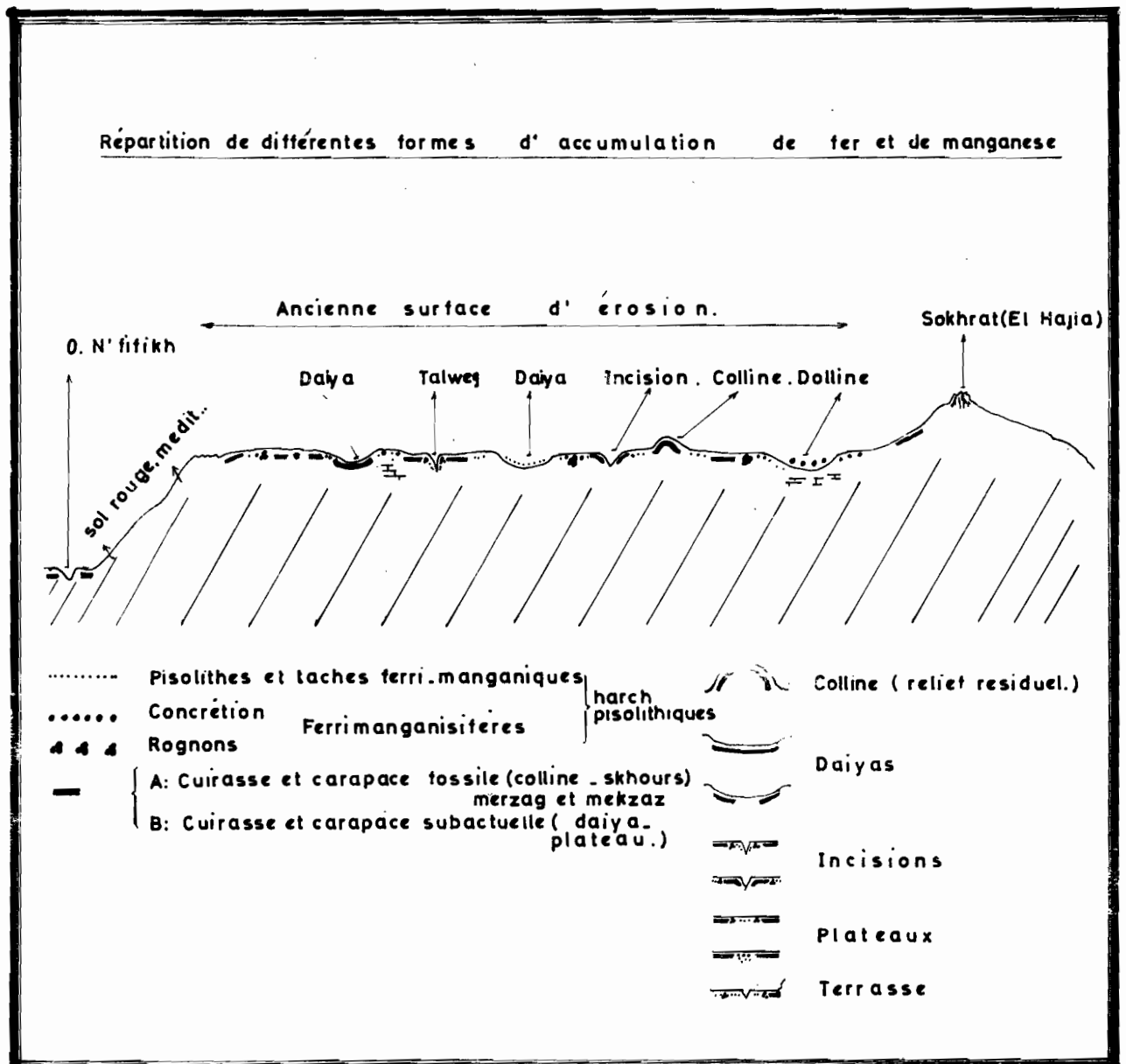


- a) ~~Amas~~ ferrugineux et galets satinés quartzeux
- b) Cuirasse massive
- c) Tâches de et rouilles d'oxydes de fer (goethite-Hématite) et noires d'oxydes de manganèse

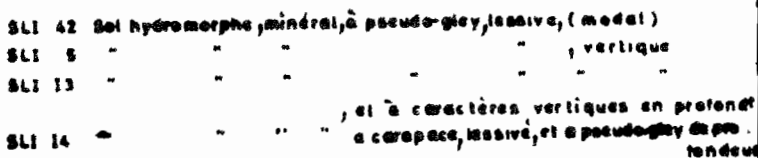
.../..

Planche .....

REPARTITION DES DIFFERENTES FORMES D'ACCUMULATION  
DES SESQUIOXYDES DE FER ( et de Mn )



### EN PROJECTION DE LA PROFONDEUR



--- /) /) microbiologies des Sols hydromorphes ---

II-1) -Activité /) /) microbiologique Globale

| HORIZON<br>Profil n°SLI 13                          | Humidité<br>H % | PH                                                        |          | Cycle de l'Azote                |                 |                                        |                                         |                           |                     | Cycle du Fer                              | Cycle du Carbone                                   |                                |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|----------|---------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                     |                 | H 2 O                                                     | Kel      | Azoto<br>bacter<br>N/gr de<br>T | Clostri<br>dium | Germes<br>Ammoni-<br>ficateurs<br>51 j | Germes<br>dénitrifi-<br>cateurs<br>15 j | Germes<br>Nitreux<br>21 j | Germes<br>nitriques | Germes Ré -<br>ducteurs de fer<br>7 jours | Germes cellu -<br>lolytiques aéro-<br>bes 21 jours |                                |
| O - 10                                              | 3,7             | 6,4                                                       | 5,4      | O                               | 90              | 5,10 <sup>9</sup>                      | 5,10 <sup>2</sup>                       | 5,10 <sup>5</sup>         | 5,10 <sup>2</sup>   | 5,10 <sup>2</sup>                         | O                                                  | AVRIL<br><br>Humide<br>Frais   |
| 20                                                  | 12,8            | 5,8                                                       | 4,4      | O                               | O               | 5,10 <sup>9</sup>                      | 5,10 <sup>3</sup>                       | 5,10 <sup>5</sup>         | 5,10 <sup>3</sup>   | 5,10 <sup>2</sup>                         | O                                                  |                                |
| 30                                                  | 10,0            | 6,1                                                       | 4,7      | O                               | O               | 5,10 <sup>9</sup>                      | 5,10 <sup>3</sup>                       | 5,10 <sup>5</sup>         | 5,10 <sup>3</sup>   | 5,10 <sup>2</sup>                         | O                                                  |                                |
| 40                                                  | 11,1            | 6,6                                                       | 5,7      | 180                             | O               | 5,10 <sup>9</sup>                      | 5,10 <sup>3</sup>                       | 5,10 <sup>5</sup>         | 5,10 <sup>2</sup>   | 5,10 <sup>2</sup>                         | O                                                  |                                |
| 80                                                  | 10,0            | 7,5                                                       | 6,8      | O                               | O               | 5,10 <sup>9</sup>                      | 5,10 <sup>3</sup>                       | 5,10 <sup>5</sup>         | 5,10 <sup>2</sup>   | 5,10 <sup>2</sup>                         | O                                                  |                                |
| O                                                   |                 | idem                                                      | idem     | O                               | O               | 3                                      | néant                                   | O                         |                     | O                                         |                                                    | JUILLET<br><br>Sec et<br>Chaud |
| 10                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         | O                         |                     | O                                         |                                                    |                                |
| 20                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         | 5,10 <sup>2</sup>         |                     | 5,10 <sup>2</sup>                         |                                                    |                                |
| 30                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         | 5,10 <sup>2</sup>         |                     | 5,10 <sup>2</sup>                         |                                                    |                                |
| 40                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         | 5,10 <sup>2</sup>         |                     | 5,10 <sup>2</sup>                         |                                                    |                                |
| 50                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         | 5,10 <sup>3</sup>         |                     | 5,10 <sup>3</sup>                         |                                                    |                                |
| 60                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         | 5,10 <sup>3</sup>         |                     | 5,10 <sup>3</sup>                         |                                                    |                                |
| 70                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         | 5,10 <sup>3</sup>         |                     | 5,10 <sup>3</sup>                         |                                                    |                                |
| 80                                                  |                 |                                                           |          | "                               | "               | "                                      |                                         |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| <div>II-2)</div> : Réducteurs de fer et RH des Sols |                 |                                                           |          |                                 |                 |                                        |                                         |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| S L I 3                                             |                 | Sol Hydromorphe minéral lessivé à Bg                      |          |                                 |                 |                                        |                                         |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
|                                                     |                 | PH                                                        | Ec<br>mv | Ec + E <sup>1</sup> c<br>mv     | RH I            | " RH <sub>2</sub> "                    | Germes Réducteurs de fer (7 j)          |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| O-20                                                |                 | 5,4                                                       | 310      | 523                             | 28,3            | O,51                                   | 5,10 <sup>3</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| 30-50                                               |                 | 5,5                                                       | 250      | 453                             | 26,1            | O,45                                   | 5,10 <sup>3</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| 66-99                                               |                 | 5,6                                                       | 170      | 373                             | 23,5            | O,35                                   | 5,10 <sup>4</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| S L I 4                                             |                 | Sol Hydromorphe minéral lessivé à Carapace                |          |                                 |                 |                                        |                                         |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| O-30                                                |                 | 4,5                                                       | 285      | 488                             | 25,0            | O,48                                   | 5,10 <sup>4</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| 30-50                                               |                 | 4,7                                                       | 280      | 483                             | 25,5            | O,48                                   | 9,10 <sup>2</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| 50-72                                               |                 | 5,2                                                       | 190      | 393                             | 23,5            | O,39                                   | 5,10 <sup>4</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| S L I 5                                             |                 | Sol Hydromorphe minéral lessivé et vertique en profondeur |          |                                 |                 |                                        |                                         |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| O-15<br>nappe                                       |                 | 5,1                                                       | 190      | 393                             | 24,5            | O,39                                   | 5,10 <sup>3</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| S L I 42                                            |                 | Sol Hydromorphe minéral à pseudo-gley lessivé -           |          |                                 |                 |                                        |                                         |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| O-32                                                |                 | 4,9                                                       | 320      | 523                             | 29,0            | O,52                                   | 5,10 <sup>3</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| 32-60                                               |                 | 5,3                                                       | 220      | 423                             | 25,0            | O,42                                   | 5,10 <sup>4</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| 60-81                                               |                 | 5,6                                                       | 230      | 433                             | 24,5            | O,43                                   | 5,10 <sup>5</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |
| 81-113                                              |                 | 5,7                                                       | 280      | 483                             | 28,1            | O,48                                   | 5,10 <sup>4</sup>                       |                           |                     |                                           |                                                    |                                |

Nb: rH : Potentiel d'oxydo-réduction  
rH : 28,3 point neutre ( neutralpunkt ) ou Np  
rH :  $\angle$  Np : milieu réducteur  
rH :  $\Delta$  Np : milieu oxydant

SLI Prélèvement en février ( très humide ) : Sols en phase anaérobique.

- Caractéristiques Physiques des Sols Hydromorphes -

|    | Profondeur | Tamisage à Etat sec |          | Granulométrie |      |      |      |      | Calcaire | Propriétés         |                  | Hydriques |       |       | Densités |       |     | Porosité |       |       | Stabilité Structural |    |      | H <sub>2</sub> % |
|----|------------|---------------------|----------|---------------|------|------|------|------|----------|--------------------|------------------|-----------|-------|-------|----------|-------|-----|----------|-------|-------|----------------------|----|------|------------------|
|    |            | Terre fine          | Cailloux | A %           | L %  | Sf % | SG % | Cs   | Totale   | Cap. Ret<br>pF 2,5 | Pt. Ft<br>pF 4,2 | Hm        | Eu    | Ec    | Da       | Dm    | Dr  | Pt       | Pf    | Pg    | LSP                  | Is | Sf   | Hn %             |
|    |            |                     |          |               |      |      |      |      |          |                    |                  |           |       |       |          |       |     |          |       |       | Pt                   |    | SG   |                  |
| S  | 0 - 21     |                     |          | 18,7          | 8,3  | 42,6 | 22,1 | 19   | tr       | 11,3               | 8,4              | 5,6       | 2,9   | 5,7   |          |       | 2,6 |          |       |       |                      |    | 1,92 | 4,0              |
| L  | 21 - 62    |                     |          | 38,1          | 7,6  | 25,0 | 27,4 | 39   | tr       | 13,3               | 8,8              | 5,9       | 4,8   | 7,9   |          |       | 2,7 |          |       |       |                      |    | 0,91 | 8,1              |
| I  | 62 - 82    |                     |          | 51,7          | 9,0  | 12,6 | 28,6 | 52   | tr       | 24,0               | 13,5             | 9,0       | 10,4  | 14,9  |          |       | 2,7 |          |       |       |                      |    | 0,44 | 11,1             |
| 42 | 82 - 101   |                     |          | 51            | 20,5 | 17,3 | 13,2 | 53   | 1,8      | 24,5               | 14,0             | 9,3       | 10,4  | 14,9  |          |       | 2,8 |          |       |       |                      |    | 1,31 | 12,4             |
| S  | 0 - 21     | 90,6                | 9,4      | 24,9          | 15,0 | 37,8 | 18,3 | 26   | 1,1      | 14,37              | 11,55            | 7,70      | 2,82  | 6,67  |          | 1,980 | 2,7 |          |       |       |                      |    | 2,06 | 3,7              |
| L  | 21 - 35    | 66,1                | 33,9     | 66,7          | 7,2  | 14,9 | 9,5  | 67   | tr       | 14,38              | 11,60            | 7,73      | 2,78  | 6,68  | 1,164    |       | 2,7 | 57       | 7,92  | 49,0  |                      |    | 1,56 | 10,1             |
| I  | 35 - 95    | 98,1                | 1,9      | 70,3          | 5,1  | 13,1 | 6,8  | 70   | tr       | 17,17              | 12,99            | 8,66      | 4,18  | 8,51  |          | 1,860 | 2,9 | 57       | 17,13 | 39,8  |                      |    | 1,92 | 11,8             |
| 13 | 95 - 115   | 98,2                | 1,8      | 78,5          | 5,0  | 12,1 | 8,1  | 79   | tr       | 21,54              | 16,50            | 11,00     | 5,03  | 10,54 | 1,25     |       | 2,8 |          |       |       |                      |    | 1,49 | 10,8             |
|    | 115 - 125  | 77,0                | 23,0     | 79,3          | 4,5  | 10,6 | 5,2  | 79   | 2,7      | 28,37              | 22,54            | 15,03     | 5,8   | 13,31 |          |       | 2,8 |          |       |       |                      |    | 2,03 | 11,1             |
| S  | 0-10       | 80,1                | 19,9     | 22,6          | 21,6 | 40,0 | 12,3 | 25   | tr       | 10,9               | 4,64             | 3,0       | 6,26  | 7,81  | 1,647    |       | 2,5 |          |       |       |                      |    | 3,25 | 2,6              |
| L  | 10-23      | 74,8                | 25,2     | 27,9          | 20,2 | 31,7 | 16,6 | 30   | tr       | 10,3               | 3,59             | 2,3       | 6,71  | 7,91  |          |       | 2,6 | 37       | 15,27 | 21,7  |                      |    | 1,90 | 3,4              |
| I  | 23-58      | 12,0                | 88,0     | 54,0          | 16,2 | 18,1 | 9,3  | 55   | tr       |                    | Cailloux         |           |       |       |          |       | 2,4 | 38       | 28,55 | 9,4   |                      |    | 3,22 | 7,1              |
| 5  | 58-70      | 28,4                | 71,6     | 54,9          | 16,7 | 21,6 | 6,7  | 56   | tr       | 24,1               | 18,28            | 12,1      | 5,82  | 11,91 | 1,491    |       | 2,8 |          |       |       |                      |    | 3,73 | 6,7              |
|    | 70-90      | 89,6                | 10,4     | 51,6          | 16,9 | 16,8 | 4,5  | 53   | 2,2      | 18,9               | 12,38            | 8,2       | 6,52  | 10,65 |          |       |     |          |       |       |                      |    |      |                  |
| S  | 0-6        | 86,6                | 13,4     | 6,1           | 8,1  | 65,6 | 16,2 | 5,58 | tr       | 11,32              | 8,71             | 5,8       | 2,61  | 5,51  |          |       | 2,6 |          |       |       |                      |    | 4,04 | 1,5              |
| L  | 6-15       | 82,9                | 17,1     | 6,1           | 10,1 | 66,7 | 14,8 | 7,79 | tr       | 11,39              | 8,80             | 5,8       | 2,59  | 5,52  |          |       | 2,6 |          |       |       |                      |    | 4,50 | 1,4              |
| I  | 15-44      | 76,0                | 24,0     | 4,0           | 10,6 | 64,3 | 16,6 | 5,71 | tr       | 8,43               | 5,59             | 3,7       | 2,84  | 4,70  |          |       | 2,4 | 31       | 11,24 | 19,76 |                      |    | 3,87 | 1,1              |
| 4  | 44-70      | 73,0                | 27,0     | 5,1           | 9,2  | 47,3 | 34,9 | 6,5  | tr       | 6,74               | 3,60             | 2,4       | 3,14  | 4,34  | 1,647    |       | 2,6 |          |       |       |                      |    | 1,35 | 2,0              |
| S  | 0-20       | 73,2                | 26,8     | 14,3          | 17,3 | 42,2 | 23,3 | 16   | tr       | 24,49              | 16,24            | 10,8      | 8,25  | 13,66 |          | 1,686 | 2,5 |          |       |       |                      |    | 1,81 | 2,0              |
| L  | 20-56      | 47,9                | 52,1     | 6,2           | 12,9 | 29,9 | 47,2 | 7,8  | tr       | 25,00              | 16,44            | 10,9      | 8,56  | 14,04 |          |       | 2,7 |          |       |       |                      |    | 0,63 | 2,9              |
| I  | 56-76      | 79,5                | 20,5     | 48,7          | 4,2  | 24,8 | 19,7 | 49   | tr       | 25,90              | 17,14            | 11,4      | 8,76  | 14,47 | 1,625    | 1,741 | 2,9 | 44       | 34,10 | 9,90  |                      |    | 1,25 | 5,6              |
| 14 | 76-96      | 97,2                | 2,8      | 59,5          | 7,6  | 24,4 | 8,1  | 60   | tr       | 26,48              | 17,70            | 11,8      | 8,78  | 14,68 | 1,485    | 1,977 | 2,9 | 50       | 31,78 | 18,22 |                      |    | 3,01 | 7,6              |
| S  | 0-5        | 81,8                | 18,2     | 11,2          | 16,3 | 61,6 | 12,6 | 13   | tr       | 14,44              | 9,79             | 6,5       | 4,65  | 7,91  |          | 1,913 | 2,6 |          |       |       |                      |    | 4,88 | 1,6              |
| L  | 5-30       | 93,2                | 6,8      | 18,8          | 17,8 | 47,4 | 12,0 | 21   | tr       | 11,99              | 9,85             | 6,5       | 2,10  | 5,38  |          |       | 2,7 |          |       |       |                      |    | 3,95 | 1,8              |
| I  | 30-40      | 64,9                | 35,1     | 34,0          | 9,8  | 41,7 | 11,9 | 35   | tr       | 11,07              | 9,59             | 6,3       | 1,48  | 4,68  |          |       | 2,8 |          |       |       |                      |    | 3,50 | 2,9              |
| 41 |            |                     |          |               |      |      |      |      |          |                    |                  |           |       |       |          |       |     |          |       |       |                      |    |      |                  |
| S  | 0 - 13     | 91,8                | 8,2      | 11,2          | 14,2 | 56,6 | 14,7 | 13   | tr       | 18,99              | 4,91             | 3,27      | 4,08  | 5,72  |          | 1,923 | 2,8 |          |       |       |                      |    | 3,85 | 1,8              |
| L  | 13 - 34    | 80,9                | 19,1     | 14,3          | 13,2 | 55,0 | 14,3 | 16   | tr       | 11,36              | 8,40             | 5,6       | 2,96  | 5,76  |          | 1,883 | 2,6 |          |       |       |                      |    | 3,84 | 1,9              |
| I  | 34 - 55    | 82,2                | 17,8     | 18,5          | 11,3 | 51,3 | 15,4 | 20   | tr       | 13,85              | 8,87             | 5,91      | 4,98  | 7,94  |          | 1,901 | 2,8 |          |       |       |                      |    | 3,33 | 2,6              |
| 8  | 55 - 85    | 95,1                | 4,9      | 31,4          | 10,5 | 35,8 | 18,2 | 32   | tr       | 19,34              | 9,75             | 6,50      | 9,59  | 12,84 |          | 1,885 | 2,7 |          |       |       |                      |    | 1,96 | 4,5              |
|    | 85-115     | 82,9                | 17,1     | 40,9          | 10,5 | 31,3 | 17,0 | 42   | tr       | 24,00              | 13,55            | 9,03      | 10,45 | 14,97 |          | 1,732 | 2,8 |          |       |       |                      |    | 1,84 | 4,7              |
|    | 115-125    | 88,2                | 11,8     | 43,5          | 7,4  | 20,8 | 21,0 | 44   | 2,2      | 22,95              | 11,36            | 7,57      | 11,59 | 15,57 |          | 1,969 | 2,9 |          |       |       |                      |    | 0,99 | 5,8              |

|          | Profond-<br>eur | P H              |     | Matières Organiques |       |     |       | Cations échangeables (S) meq/100 g (t. s) |                  |                  |                  |                 |                |                     |                    | Capac-<br>ité<br>d'échan-<br>-ge | Taux<br>de Satura-<br>tion | Fer ( Fe 2O3 % )            |                 |                 | Matières Humiques |       |       |       |          |             | Cl %  |
|----------|-----------------|------------------|-----|---------------------|-------|-----|-------|-------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|-------|-------|----------|-------------|-------|
| Profil   |                 | H <sub>2</sub> O | Kcl | C <sub>t</sub> %    | N %   | C/N | M O % | P <sub>2</sub> o5                         | K <sub>2</sub> O | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca/Mg <sup>++</sup> | K/Mg <sup>++</sup> | Na/T                             | T meq/<br>100 fg<br>t. s   | Sx100=<br>T(V) <sup>v</sup> | Fe 2O3<br>libre | Fe 2o3<br>total | Fer 1<br>Fer 2    | MHT   | AH    | AF    | AF<br>AH | AF+AH<br>Ct |       |
| S L I 42 | 0-21            | 6,8              | 5,6 | 0,697               | 0,073 | 9   | 1,20  | 0,516                                     | 2,987            | 4,18             | 2,43             | 1,36            | 0,13           | 1,72                | 0,05               | 0,11                             | 11,62                      | 69                          | 1,200           | 3,129           | 0,38              |       |       |       |          |             | 0,314 |
|          | 21-62           | 6,8              | 5,2 | 0,361               | 0,062 | 6   | 0,62  | 0,487                                     | 6,995            | 7,41             | 5,03             | 1,04            | 0,20           | 1,47                | 0,03               | 0,05                             | 18,54                      | 73                          | 2,458           | 5,073           | 0,48              |       |       |       |          |             | 0,221 |
|          | 62-82           | 6,6              | 5,0 | 0,176               | 0,053 | 3   | 0,30  | 0,390                                     | 9,295            | 11,65            | 7,31             | 1,35            | 0,20           | 1,59                | 0,02               | 0,05                             | 26,94                      | 76                          | 3,830           | 6,716           | 0,57              |       |       |       |          |             | 0,311 |
|          | 82-101          | 8,1              | 6,7 | 0,134               | 0,036 | 4   | 0,23  | 0,398                                     | 10,439           | 19,70            | 10,50            | 2,21            | 0,23           | 1,87                | 0,02               | 0,06                             | 32,87                      | 100                         | 3,001           | 7,817           | 0,38              |       |       |       |          |             | 0,562 |
| S L I 13 | 0-21            | 7,0              | 6,0 | 1,00                | 0,08  | 12  | 1,72  | 0,522                                     |                  | 10,89            | 3,11             | 0,85            | 0,33           | 0,50                | 0,10               | 0,63                             | 13,4                       | 113                         | 1,514           | 4,330           | 0,34              | 4,500 | 1,520 | 2,980 | 1,96     | 3,95        | 0,280 |
|          | 21-35           | 6,6              | 5,1 | 0,43                | 0,08  | 6   | 0,74  | 0,458                                     |                  | 6,045            | 8,02             | 2,79            | 0,40           | 0,75                | 0,04               | 0,93                             | 29,9                       | 57                          | 2,243           | 6,316           | 0,35              | 2,050 | 1,420 | 0,630 | 0,45     | 2,78        | 0,190 |
|          | 35-95           | 7,0              | 5,5 | 0,32                | 0,06  | 6   | 0,55  | 0,259                                     |                  | 15,93            | 8,17             | 4,88            | 0,40           | 1,94                | 0,04               | 0,48                             | 32,8                       | 91                          | 2,715           | 7,031           | 0,38              |       |       |       |          |             | 0,315 |
|          | 95-115          | 7,0              | 5,8 | 0,28                | 0,06  | 5   | 0,48  | 0,256                                     |                  |                  |                  |                 |                |                     |                    |                                  |                            |                             | 3,001           | 7,845           | 0,38              |       |       |       |          |             | 0,527 |
|          | 115-125         |                  |     |                     |       |     |       |                                           |                  |                  |                  |                 |                |                     |                    |                                  |                            |                             |                 |                 |                   |       |       |       |          |             |       |
| S L I 5  | 0-10            | 6,5              | 5,7 | 0,98                | 0,09  | 11  | 1,69  | 0,469                                     |                  | 5,37             | 1,53             | 1,19            | 0,38           | 3,50                | 0,24               | 0,12                             | 9,50                       | 89                          | 1,057           | 4,573           | 0,23              | 2,400 | 1,425 | 0,975 | 0,68     | 2,31        | 0,133 |
|          | 10-23           | 7,1              | 5,9 | 0,41                | 0,06  | 7   | 0,71  | 0,568                                     |                  | 8,32             | 4,99             | 1,16            | 0,26           | 1,66                | 0,05               | 0,08                             | 13,02                      | 113                         | 1,200           | 4,859           | 0,24              | 2,100 | 0,900 | 1,200 | 1,34     | 2,36        | 0,133 |
|          | 23-58           | 6,4              | 4,7 | 0,36                | 0,08  | 5   | 0,62  | 0,394                                     |                  | 12,77            | 10,18            | 2,74            | 0,38           | 1,25                | 0,03               | 0,10                             | 25,79                      | 101                         | 1,729           | 5,945           | 0,29              | -     | -     | -     | -        | -           | 0,216 |
|          | 58-70           | 7,9              | 6,2 | 0,31                | 0,08  | ^   | 0,53  | 0,343                                     |                  | 15,84            | 10,62            | 3,61            | 0,40           | 1,49                | 0,03               | 0,14                             | 25,00                      | 105                         | 1,329           | 5,530           | 0,24              |       |       |       |          |             | 0,230 |
|          | 70-90           | 8,65             | 7,4 | 0,22                | 0,06  | 3   | 0,38  | 0,366                                     |                  | 12,37            | 8,60             | 4,60            | 0,42           | 1,43                | 0,04               | 0,17                             | 25,56                      | 101                         | 1,257           | 5,530           | 0,22              |       |       |       |          |             | 0,579 |
| S L I 4  | 0-6             | 7,0              | 6,6 | 1,36                | 0,09  | 15  | 2,34  | 0,348                                     |                  | 4,57             | 0,46             | 0,74            | 0,51           | 9,93                | 1,10               | 0,12                             | 5,81                       | 108                         | 0,914           | 1,615           | 0,56              | 3,235 | 1,725 | 1,510 | 0,875    | 1,98        | 0,332 |
|          | 6-15            | 6,9              | 6,0 | 0,51                | 0,50  | 10  | 0,88  | 0,371                                     |                  | 2,28             | 0,25             | 0,72            | 0,26           | 9,12                | 1,04               | 0,18                             | 3,98                       | 88                          | 1,057           | 1,743           | 0,60              | 2,250 | 1,050 | 1,200 | 1,14     | 3,15        | 0,111 |
|          | 15-44           | 7,7              | 6,5 | 0,19                | 0,04  | 5   | 0,33  | 0,371                                     |                  | 2,22             | 0,12             | 0,81            | 0,18           | 18,5                | 1,50               | 0,28                             | 2,89                       | 115                         | 0,900           | 1,729           | 0,52              |       |       |       |          |             | 0,101 |
|          | 44-70           |                  |     |                     |       |     |       |                                           |                  |                  |                  |                 |                |                     |                    |                                  |                            |                             |                 |                 |                   |       |       |       |          |             |       |

|                       |                                                      | PH                                   |                              | Matières Organiques              |                                  |                           |                              | Cations échangeables ( S ) meq / 100 g ( t.s ) |                               |                              |                               |                              |                              |                                     |                              |                              | Capacité d'échange.             | Taux de saturation   | Fer ( Fe 2O3 % )                 |                                |                                                                     | Matières humiques |                |                |              |              |
|-----------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Profil                |                                                      | H <sub>2</sub> O                     | KCl                          | C %                              | N %                              | C/N                       | 1.0%                         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                  | K <sub>2</sub> O              | Ca ++                        | Mg ++                         | Na +                         | K +                          | Ca <sup>++</sup> / Mg <sup>++</sup> | K/Mg <sup>++</sup>           | Na <sup>+</sup> / T          | T meq / 100 fg t.s              | Sx 100 T= V (V)      | Fe 2o3 libe                      | Fe 2o3 total                   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1 / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t | MHT               | AH             | AF             | AF / AH      | AF+AH Ct     |
| S<br>L<br>I<br>- 14 - | 0-20<br>20-56<br>56-76<br>76-96                      | 6,30<br>6,5<br>6,15<br>5,55          | 5,40<br>5,30<br>4,70<br>4,20 | 1,044<br>0,587<br>0,097<br>0,150 | 0,096<br>0,063<br>0,034<br>0,098 | 10,8<br>9,3<br>2,9<br>4,0 | 1,79<br>1,00<br>0,17<br>0,26 | 1,312<br>0,790<br>1,016<br>0,519               | 2,34<br>2,32<br>3,51<br>7,40  | 2,61<br>1,31<br>3,43<br>5,95 | 1,57<br>1,05<br>1,58<br>5,68  | 0,42<br>0,40<br>0,39<br>1,09 | 0,07<br>0,06<br>0,05<br>0,12 | 1,66<br>1,24<br>2,17<br>1,04        | 0,04<br>0,05<br>0,03<br>0,02 | 0,06<br>0,08<br>0,03<br>0,06 | 6,79<br>4,71<br>10,41<br>15,82  | 68<br>59<br>52<br>81 | 0,715<br>0,958<br>2,78<br>5,80   | 2,33<br>12,80<br>6,72<br>7,57  | 0,316<br>0,342<br>0,41<br>0,46                                      | 1,875<br>1,050    | 0,370<br>0,225 | 1,505<br>0,825 | 4,07<br>3,67 | 1,79<br>3,57 |
| S<br>L<br>I<br>- 41 - | 0-5<br>5-30<br>30-40                                 | 6,25<br>6,25<br>6,30                 | 5,30<br>5,20<br>5,10         | 0,509<br>0,330<br>0,333          | 0,069<br>0,045<br>0,041          | 7,4<br>7,3<br>8,1         | 0,87<br>0,57<br>0,57         | 0,625<br>0,698<br>0,916                        | 3,26<br>3,31<br>3,74          | 2,31<br>2,04<br>2,06         | 3,08<br>1,79<br>2,06          | 0,27<br>0,68<br>0,85         | 0,26<br>0,23<br>0,20         | 0,75<br>1,13<br>1,00                | 0,08<br>0,12<br>0,09         | 0,03<br>0,11<br>0,08         | 6,93<br>5,87<br>10,06           | 85<br>80<br>51       | 1,58<br>1,90<br>2,65             | 2,78<br>3,06<br>4,16           | 0,56<br>0,62<br>0,63                                                |                   |                |                |              |              |
| S<br>L<br>I<br>- 8 -  | 0-13<br>13-34<br>34-55<br>55-85<br>85-115<br>115-125 | 6,30<br>6,90<br>8,00<br>7,85<br>6,35 | 5,45<br>5,50<br>6,30<br>6,35 | 0,915<br>0,378<br>0,269<br>0,191 | 0,078<br>0,054<br>0,049<br>0,044 | 11,6<br>7,0<br>5,5<br>4,3 | 1,57<br>0,65<br>0,46<br>0,33 | 0,290<br>0,295<br>0,254<br>0,164               | 2,59<br>4,90<br>5,48<br>11,32 | 4,17<br>6,35<br>5,28<br>6,07 | 3,65<br>5,29<br>4,76<br>12,14 | 0,36<br>0,52<br>0,48<br>2,32 | 0,22<br>0,22<br>0,20<br>0,24 | 1,14<br>1,20<br>1,10<br>0,50        | 0,06<br>0,04<br>0,04<br>0,01 | 0,04<br>0,03<br>0,03<br>0,09 | 8,61<br>14,23<br>15,06<br>24,83 | 97<br>86<br>71<br>83 | 0,672<br>1,215<br>1,501<br>2,659 | 20,02<br>3,675<br>3,67<br>4,97 | 0,53<br>0,33<br>0,41<br>0,53                                        | 2,325<br>1,050    | 1,500<br>0,675 | 0,800<br>0,375 | 0,55<br>0,55 | 2,41<br>2,07 |

Topographie : zone plane faiblement ondulée : P = 1-2% - drainage : interne et externe très réduits.

Végétation fossile : Subéraie (forêt de chêne-liège : Quercus Suber).  
V. actuelle : reboisement d'Eucalyptus.

Géomorphologie : Extrémité S. W. du plateau primaire arrasé, pénéplanisé et incliné en pente douce vers la mer (Hte surface "Villafranchienne")

Erosion : En nappe ou "Sheet-flood".

Surface du sol : Litière et pisolites et concrétions ferrugineuses.  
"Self-mulching".

Edifice biologique : Quelques fourmillières.

Coordonnées Lambert : X = 334,750 , Y = 333,350 , Z = 258 m.

Lieu dit : Oulad El Bahloul des MOUALINE LOUTA - ZIAIDA -

#### MORPHOLOGIE :

Aoo - Litière très peu épaisse (0,5cm) (Feuilles et brindilles d'Eucalyptus très peu décomposées. Quelques concrétions.

0 à 21 cm. Horizon gris-noirâtre, 10 YR 3/2 -humifère, sableux finement limoneux, non calcaire, très riches en pisolites et en concrétions ferrugineuses de petit diamètre (0,5 à 1 cm de Ø) La structure est particulière à tendance polyédrique émoussée (Etat humide) et massive (Etat sec) : phénomène de battance.

A 11  
fe La cohésion est faible, la compacité et la consistance faibles (état humide) forte à (l'état sec).

Les racines sont nombreuses (racines de chamaerops humilis et de graminées) présence de quelques bulbes (Asphodelus microcarpus) de galets satinés et de débris de quartzites. La matière organique est bien décomposée, bien mélangée à la matière minérale et onctueuse (Humus du type Mull-Hydro-mull). La limite est nette (fente sub-horizontale quand le sol est sec).

de 21 à 62cm. Horizon beige-brunâtre 10 YR 5/4, limoneux sableux-argileux, très peu humifère, non calcaire, très riche en tâches, pisolites et concrétions ferrugineuses ; la macro-structure est massive (état humide) à tendance prismatico-cubique (Etat sec).

(A-B)  
fe La structure est polyédrique moyenne peu développée (Horizon faiblement structuré). La cohésion et la compacité sont fortes (état sec). Pénétration diffuse des matières organiques (recrouvement des "agrégats" le long des canalicules et des tubes de racines mortes et des galets quartziteux satinés).

Présence de racines de Chamaerops et d'Eucalyptus, de galets quartziteux, roulés et satinés, de quartz cariés, de crotonides (déjections animales Lumbriscus terrestris). En période sèche l'horizon est jaune beige. La limite est tranchée (non discordante).

de 62 à 101 cm : Horizon beige argileux 10 YR 4/4, limoneux, non calcaire très peu humifère ; la structure est massive (Etat humide), prismatique (Etat sec) et délimitée par des fentes verticales, qui, vues en plan, se rejoignent en un réseau de fentes polygonales. Les faces lisses de glissement (Slikensides) sont de faible étendue. La structure est polyédrique peu développée. A l'état humide : Traînées grises et jaunâtre et grises en profondeur (pseudo-gley). Les tâches noires, ou "sesquanes" les pisolites et les concrétions ferrugineuses sont très nombreux - Quelques rares amas ferrugineux (et manganiques ?). Présence de galets roulés recouverts d'une pellicule de sesquioxides de fer, de quartz carriés et de débris de schistes à la base de l'horizon.

- B<sub>fe</sub>

- B<sub>g</sub>

Limite nette :

à plus de 101 cm : Schistes gris-noirs en voie d'altération, puis schistes non altéré (primaire OR.) et tâches calcaires (pliocène).

### CYCLE MORPHOLOGIQUES :

Le sol évolue sur un matériau originel fort complexe: Soit qu'on invoque "l'ensablement de surface" qui aurait affecté tout le plateau villafranchien (et résulterait de l'érosion normale "aréolaire" en glacis à pente douce repris par l'érosion actuelle (ruissellement et incisions) on le lessivage par descensum (vertical et de haut en bas) des éléments fins du sol (voir : Genèse).

Le sol situé dans son cadre géomorphologique, aurait évolué sur une surface plane ou faiblement ondulée relativement stable pendant les périodes post-villafranchiennes qui se caractérisent par les variations des amplitudes thermiques et ombriques sans que le cadre bioclimatique ait subi des modifications profondes (climat de type méditerranéen pendant la période post-villafranchienne (8). La genèse du sol fut dominée et orientée, pendant les périodes humides par des phénomènes de forte altération (ou de météorisation) des roches-mères (schistes et quartzites) soit par une continuelle néoformation de minéraux argileux au dépens des schistes et quartzites et par de fortes mobilisations (libérations, migrations et individualisations) du fer (en milieu acide), ainsi que par le lessivage vertical et latéral (ruissellement, érosion en nappe des argiles au fur et à mesure de leur formation - et pendant les périodes sèches et chaudes (inter-pluviaux) par des phénomènes de désagrégation des (roches) d'immobilisation du fer (et du manganèse) alors qu'altérations des roches, mobilisation de la "silice colloïdale" et du fer seraient plus réduites. Les premiers processus auraient atteint leur optimum pendant les périodes humides, et les seconds pendant les périodes biologiquement "sèches" (P < 2t).

D'où 1) - la discordance texturale du sol ne résulterait pas de l'ensablement de surface, mais du lessivage et de l'appauvrissement (lessivage latéral) des horizons du sol en argile au fur et à mesure de sa formation (et de l'approfondissement du sol) au dépens des schistes et quartzites primaires, corrélativement à l'individualisation et à l'accumulation des oxydes de fer (et de manganèse) v. Genèse.

2) la successions de périodes humides et de périodes sèches pendant le quaternaire aurait orienté soit les processus de mobilisations des minéraux argileux et des cations métalliques (du Fer et de manganèse notamment : voir analyses triacides), soit le processus d'immobilisation et d'accumulation relative ou "absolue" des sesquioxides de fer.

3) La succession de phase d'anaérobiose et d'aérobiose dans le sol régie par le climat actuel, accentue les mêmes processus (oxydo-réduction et argilification préférentielle).

4) L'érosion "en nappe" et le ruissellement appauvrissent continuellement pendant les périodes des pluies, les horizons de surface en éléments fins et favorisent l'accumulation d'éléments grossiers (sables et concrétions ferrugineuses).

5) La richesse du sol en matériaux "allochtones" tels les galets roulés satinés, les quartz cariés résulteraient d'un "remaniement" du sol (apport résultant de l'érosion "norma-aréolaire en glacis).

D'où la genèse des concrétions et des pisolites (ou des amas ferri-manganiques) auraient été antérieure à celle du pseudo-gley de profondeur (due à l'hydromorphie actuelle) sans atteindre un "stade de sénilité", soit à des phénomènes de paléo-hydro-morphie. Les concrétions évoluent vers des carapaces et des cuirasses ferri-manganiques par enrichissement en fer des horizons à pisolites, à concrétions et amas ferrimanganiques, par ascensum (\*) et/ou par "ferrolyse".

#### DISCUSSION :

Le sol évolue sur un matériau complexe sablo-limoneux en surface et d'origine probablement allochtone (Eandage Villafranchien) et argileux en profondeur (Néoformation de minéraux argileux au dépens des schistes). Les périodes d'engorgement et de dessiccation du sol n'ont pas uniquement un caractère saisonnier mais entrent dans le cadre des fluctuations climatiques quaternaires au Maroc. Elles orientent les processus de mobilisation (libération des oxydes de fer ( et de manganèse ?) et leur immobilisation (individualisation sous-forme de tâches ou de pseudo-gley ou de gley et leur accumulation progressive sous-forme de pisolites, concrétions et amas ferrugineux ou de pellicules ferrugineuses sur les galets.....

Soit : L'engorgement périodique "actuel" du sol et la succession des processus de réduction et d'oxydation avec redistribution du fer sur l'ensemble des horizons. L'alternance des processus de "foisonnement" et du "retrait" des argiles (du type Montmorillonite) sont d'intensité et de durées relativement plus faibles (ou interstratifiés)

Le sol ayant une réaction neutre à faiblement acide, l'argile migre des horizons A et A-B vers l'horizon B (présence de revêtements argileux en profondeur) qui devient plus compact et moins perméable, d'où : (Anaérobiose de courte durée et réduction du fer qui migre sous des horizons A et A-B vers B ou latéralement. (\*) ou s'individualise. ... à l'apogée le profil (Zone de translation réduite).

---

(\*) Equilibre entre les migrations du fer latéralement, par ascensum ou par descensum (voire : ferrolyse et genèse des sols hydromorphes.).

-Classification

1°) SOL HYDROMORPHE peu humifère (ou minéral) à pseudo-gley : Aubert 1955-66.

2°) CPSC : analogue.

Proposition

classe : SOL HYDROMORPHE

Sous-classe : peu humifère (ou minéral)

Groupe : à pseudo-gley et concrétionnés.

Sous groupe : Lessivé, et pseudo-gley de profondeur.

Famille : Schistes et épandage "Villafranchien" (?)

Série : Harch à pisolites, concrétions ferrugineuses de surface et de profondeur, à texture sableuse en surface, argileuse en profondeur ou "Planosol".

Facies : Vertique (Tirsifié en profondeur).

Phase : reboisé (Eucalyptus).

-Exemple 2-

-PROFILS N° 5 et 5 b -

-Facteurs de pédogénèse :

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérothermique atténué - P = 490 mm ; t = 18° C.

Roche-mère : Schistes et quartzites paléozoïques (Ordovicien) Matériau originel : complexe : schistes altérés et épandage sablo-limoneux (Villafranchien) (?).

Topographie : Zones planes faiblement ondulées - Pente 1 à 2 %.

Végétation fossile : Subéraie et chamaeropaie.

Actuelle : Eme hygrophile cultivée.

Géomorphologie : Plateau arrasé, pénéplanisé et incliné en pente douce vers la mer (surface Vi).

Surface du sol : **Pisolithique** "self-mulching".

Edifice biologique : fourmillière.

Erosion : en nappe - ou "Sheet-Flood".

Coordonnées Lambert: N° SLI 5 : X = 334,650 Y = 343,750

Z = 170 m

N° SLI 5b X = 334,500 Y = 343,800

Z = 170 m

Lieu-dit : Arab - au Nord de la forêt de Rhabet Bir-El Kelb.

Morphologie du profil N° 5 b.

de 0 à 6 cm : Horizon gris-noir - 10 YR 6/2 - humifère, sableux - limoneux, très riche en pisolites et en concrétions ferrugineuses. La structure est monoparticulaire à tendance polyédrique emoussée. A l'état humide, la cohésion et la compacité sont faibles à l'état sec : prise en masse ou "battance".

( A<sub>11</sub> )<sub>fe</sub>

Les racines et radicelles sont nombreuses - La limite est progressive.

- de 6 à 15 cm : Horizon gris-foncé - 10 YR/6/2 - sablo-limoneux humifère : la matière organique est bien décomposée, bien mélangée à la matière minérale et au toucher onctueux (humus du type hydro-mull). La structure est polyédrique moyenne emmoussée et peu développée. Les pisolites et les concrétions ferrugineuses sont plus abondantes, les radicelles plus rares. Limite nette surtout en période de dessiccation. (fente sub-horizontale).
- (A<sub>12</sub>) fe
- de 15 à 44 cm : Horizon gris-clair - 10 YR 5/2 Limoneux sableux, très riche en pisolites, concrétions et amas ferrugineux partiellement indurés en carapace pisolitique (pseudo-carapace à ciment limoneux gris). La limite est tranchée, correspond au niveau de la frange d'évaporation de la nappe temporaire.
- (A-B) fe
- de 44 à 70 cm : Horizon beige (jaunâtre à l'état sec) limoneux argileux, un peu plus argileux à la base, peu structuré : la structure est polyédrique moyenne peu développée.
- B<sub>g</sub> B<sub>fe</sub> La macro-structure massive ; la compacité est moyenne, la cohésion assez forte (e.s.) Les pisolites et les concrétions sont moins nombreux qu'en A-B, apparition de tâches noires d'oxydes de fer (et de manganèse ?) passage progressif vers l'horizon bigarré.
- de 70 : Horizon argileux compact à structure massive : tâches rouges et jaunes (Etat sec) ou grises (humide) "gley" en profondeur quand le sol est engorgé d'eau (période hivernale) limite assez tranchée. Les traînées grises sont particulièrement abondantes le long du système racinaire (actuelle). A plus de 70 cm : Schistes versicolores en voie d'altération.
- B<sub>g</sub>
- B-C

Cycle morphologique : (voir Profil suivant).

Morphologie : SLI N° 5

Ce profil est situé à une centaine de mètres du précédent, en bordure d'une Daiya (dépression temporairement inondée). Leurs caractères morphologiques sont analogues, mais les horizons A et B sont distincts de part leur texture et leur structure. Le profil SLI N° 5 présente une "discordance" entre les horizons A et B, l'horizon humifère étant très riche en concrétions ferrugineuses partiellement indurées en pseudo-carapace et l'horizon B très argileux, de couleur grise, compact, cohérent et à structure massive (état humide) ou prismatique délimitée par de larges fentes de retrait (état sec) analogue aux horizons des Tirs des dépressions (Vertisols topomorphes non grumosoliques hydromorphes : voir profil N° 44.)

-La carapace pisolitique est de faible épaisseur, et périphérique à la dépression (Daiya) elle correspond à la frange d'évaporation de la nappe temporaire (hivernale) qui remonte jusqu'à 20 - 30 cm de profondeur des sols situés en bordure des daiyas.

-Alors que l'horizon B du profil précédent présente en profondeur un pseudo-gley typique "Tâches bleutées et rouges de (fer réduit et oxydé) en période hivernale, le profil N° 5b a un horizon B très

.../...

argileux qui foisonne (gonflement des agrégats et des argiles du type Montmorillonite) quand il est engorgé d'eau ou devient compact et cohérent quand il est sec (phénomène de retrait), et présente en profondeur des fentes de retrait verticales qui, vues en plan, se rejoignent en un réseau de fentes polygonales dont les mailles ont un  $\emptyset$  de 20 à 25 cm environ. Ce profil constitue un intergrade entre les sols hydromorphes minéraux du plateau et les vertisols des dépressions. Ceci traduit que les phénomènes de vertisolisation (Tirsification) dépendent non seulement du régime hydrique actuel du sol, mais de la richesse en "bases" de la roche-mère (grès calcaire) dont l'altération donne lieu à une continuelle néoformation d'argiles du groupe de la montmorillonite ou argile "gonflante" et enrichit le sol en alcalino-terreux qui "stabilisent" les matières organiques et les "protègent" contre une rapide décomposition sous l'action de la microflore (34b).

D'autre part, deux phénomènes se superposent tant dans le temps que dans l'espace : l'hydrogénèse ou plutôt la paléo-hydrogénèse ayant donné naissance à la pseudo-carapace pisolitiques des horizons de surface : et la "Tirsification" (ou vertisolisation) ayant affecté l'horizon  $B_1$  à caractère verticale - d'où :

### La classification :

#### SLI 5b

#### SOL HYDROMORPHE

peu humifère (ou minéral)  
à pseudo-gley (à pseudo-carapace)

-Proposition Groupe et sous groupe

#### a) SLI 5

a) Lessivé à pseudo-gley de profondeur

#### SLI 5

#### SOL HYDROMORPHE

peu humifère  
à pseudo-gley

#### b) SLI 5

Lessivé et verticale en profondeur

Famille : Schistes et épandage limoneux ou sur grès calcaire et épandage (Vi ?).

Série : Harche à pseudo-carapace ou Harche argileux en profondeur

Facies : Cuirassement ou Tirsifié

Phase : : Cultivé/jachère ou Erme hygrophile.

N.B. Les sols décrits sont, d'après la classification de G. Aubert des sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley. La classification et la comparaison de ces deux types de sol à pour objet de préciser et de classer les principaux sous-groupes des sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley, les groupes des sols hydromorphes à carapace ou à cuirasse.

### - Exemple 4 -

### - PROFIL N° SLI 13-

### Facteurs de pédogénèse :

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérothermique atténué.

|                            |                                                                   |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <u>roche-mère</u>          | : Schistes et calcaire (Primaire et Moghrébien marin).            |
| <u>Matériau originel</u>   | : Epandage sablo-limoneux "Villafranchien".                       |
| <u>Topographie</u>         | : Plateau faiblement ondulé : Pente : 2-3%                        |
| <u>Végétation actuelle</u> | : Culture de céréales.                                            |
| <u>Géomorphologie</u>      | : Plateau "Moghrébien marin"                                      |
| <u>Surface du sol</u>      | : Pisolitique et faiblement caillouteuse (galets roulés satinés). |
| <u>Coordonnées Lambert</u> | : X = 341,700 Y = 329,600 Z = 282 m.                              |
| <u>Lieu dit</u>            | : Bled El Kantra des MOUALINE RHARBA - ZIADA -                    |

### MORPHOLOGIE

- de 0 à 21 cm : Horizon gris-noirâtre - 10 YR 3/2 - humifère (humus Hydro-mull) la matière organique est bien décomposée, bien mélangée à la matière minérale, humus au toucher onctueux (Etat humide).  
A<sub>fe</sub> La texture est sableuse finement argileuse, non calcaire. La macro-structure est fondue (e.h.) à tendance massive à l'état sec : Battance. La macro-structure est monoparticulaire à tendance polyédrique émousée.  
La cohésion et la compacité sont faibles, la porosité est faible. Les racines sont nombreuses et bien développées. Présence de nombreuses pisolites et de concrétions ferrugineuses de faible diamètre. La limite est tranchée : A l'état sec - pendant la dessiccation du sol - apparition de fentes sub-horizontales : Discordance entre A et B - puis des fentes verticales : la limite est alors discontinue et sinusoïdale.
- de 21 à 35 cm : Horizon grisâtre - 10 YR 5/4 et gris clair à l'état sec, limoneux sableux finement argileux non calcaire, très peu humifère. La structure est massive (Etat humide) polyédrique moyenne émousée (Etat sec) -  
(A-B)<sub>fe</sub> Forte compacité et forte cohésion, nombreuses concrétions ferrugineuses (cortex de couleur noirâtre et noyau ocre-jaune de diamètre moyen (1-2cm) et des tâches ferrugineuses noires. Quelques recouvrements de matières organiques le long des racines et des revêtements argileux. Présence de galets roulés quartzeux satinés qui sont plus abondants à la base de l'horizon (Stone-line discontinue) et de quartz cariés. Les pisolites et les concrétions ferrugineuses sont particulièrement abondantes à la base de l'horizon (Frange d'évaporation de la nappe temporaire) La limite est tranchée.

.../...

de 35 à 95 cm : Horizon ocre-jaune - 10 YR 4/4 - argileux, non calcaire - la macro-structure est massive et la sur-structure est colonnaire :

Prismes arrondis au sommet et délimités par des fentes de retrait verticales larges en B et la fente sur-Horizontale sinusoïdale entre B et A-B. La structure est polyédrique grosse (état sec) A la base du profil, apparaissent des faces lisses - slickensides gauchies - assez étendues et inclinées par rapport à l'horizontale, et des tâches jaunes et grisâtres au niveau de canalicules racinaires, ou rouges et grises (pseudo-gley). Présence de Crotonines (débris de déjections animales "Lumbriscus terrestris") et de canalicules avec des revêtements argileux - de pisolites ferrugineuses. A la base : traînées filiformes grises (de gley) des tâches noires ferrimanganésifères ou "sesquies", puis des tâches calcaires pulvérulentes. Limite tranchée.

à plus de 95cm : Schistes en voie d'altération entourés de calcaire secondaire, d'épaisseur variable puis schistes finement psammitiques gris-noirs.

### Cycle Morphologique :

En hiver, le sol est engorgé d'eau, la "nappe" remonte jusqu'à l'horizon A-B, l'horizon A est peu cohérent, à structure monoparticulaire. Une faible érosion "en nappe" ou "Sheet Flood" appauvrit le sol en éléments fins.... Au fur et à mesure que le sol se dessèche (niveau de la nappe temporaire de plus en plus bas) l'horizon A-B prend une teinte jaune-brunâtre puis jaune-beige alors que l'horizon A passe du noir au gris-noir. La frange d'évaporation de la nappe temporaire se situe entre 20 et 30 cm de profondeur : à ce niveau, les pisolites et les concrétions ferrugineuses sont assez abondantes ainsi que les traînées filiformes de pseudo-gley de couleur grisâtre. En été le sol étant entièrement ressuyé présente de 20 à 80 cm une structure (sur-structure) en colonnettes - ou structure colonnaire - qui rappelle celle des solnetz (ou des sols salés) alors qu'une large fente de retrait sub-horizontale sépare les horizons A-B et B de l'horizon A Humifère et sableux et entraîne une discontinuité texturale et structurale des horizons argileux de profondeur et de surface : cette discontinuité "lithologique" a été qualifiée de "Discordance texturale". Elle serait due non à une dégradation de la structure sous l'action d'un alcali en forte quantité dans le sol, mais au phénomène de retrait des argiles (de A-B et B) au moment de la dessiccation du sol, et qui serait essentiellement orientée par le régime hydrique du sol. Le phénomène serait analogue au foisonnement et au retrait des vertisols : tirsification avec apparition d'une fente sub-horizontale de "dérochement" de la masse argileuse ou mono-argileuse (A-B et B) de la masse sableuse (A). En période d'humectation ou d'engorgement du sol, les fentes verticales et horizontales disparaissent, le sol foisonne en profondeur - augmentation du volume des agrégats et de la distance

.../...

inter-floliaire des argiles. La période d'engorgement, voir d'anaérobiose ou phase anaérobique (due à la nappe temporaire étant de durée égale à 3 à 4 mois) conditionne les processus de réduction et de migration du fer (en milieu acide) et la dessiccation du sol assez poussée, leur accumulation sous-forme de tâches, puis de pisolites et de concrétions ferrugineuses (ou ferri-manganiques) sur l'ensemble du profil, ou de pseudo-gley et de "tâches noires ou sesquanes" en profondeur. L'érosion en nappe "favorise" une relative accumulation des pisolites en surface (Self-Mulching), et l'appauvrissement des horizons de surface en éléments fins. La succession des périodes d'humectation, d'engorgement et de dessiccation du sol oriente donc les phénomènes d'hydro-génèse, voire de vertisolisation en profondeur (celles-ci étant réalisées quand la roche-mère est basique: et calcaire moghrébien limitrophe ou sus-jacents aux schistes dans le cas du profil décrit, de part sa texture, présente des caractères morphologiques particuliers). (v. génèse).

## CLASSIFICATION

1°)- SOL HYDROMORPHE PEU HUMIFERE (ou minéral) à pseudo-gley (Aubert 1965-66) (et CPCS - Grignon 1967).

## PROPOSITION

### SOL HYDROMORPHE

Peu humifère

à pseudo-gley, à concrétions

Lessivé, et à caractères vertique en profondeur

Famille : Schistes et calcaires et épandage limoneux sableux (matériau originel complexe : voir profil N° SLI 42).

Série : Harch à pisolites et concrétions, à A salo-limoneux humifère, à Bg argileux ou Planosol vertique.

## - PROFIL N° SLI 4 -

### Facteurs de pédogénèse :

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou xérothermique - P = 490 m/m T = 18° C.

Roche-mère : Schistes Primaires (Ordovicien).

Matériau originel: Epandage limoneux Villafranchien.

Topographie : Zone plane faiblement ondulée, à drainage externe faible : P = moins de 2%.

Végétation : Actuelle : Subéraire (Forêt claire de chêne-liège) et plage d'Eucalyptus (Daiya).

Sous-bois : Rhus pentaphyllum, Cytisus longustifolius, Lavandula Stoechas, Asphodelus microcarpus, Chamaerops humilis etc....

Géomorphologie : Plateau Villafranchien.

Erosion : En nappe

Surface du sol : Sableuse, très riche en pisolites. Affleurement de quartzites (skhirat).

Coordonnées Lambert : X = 335, 500 Y = 342,000 Z = 192 m.

Lieu dit : Sfrejla de Rhabet Bir El Kelb (Ex-forêt de Boulhaut). Meseta marocaine.

MORPHOLOGIE :

de 0 à 0,5cm : Litière de feuille morte, de mousses, de brindilles, A<sub>0</sub> l'ensemble étant faiblement décomposé..

de 0,5 à 10 cm : Horizon brun-grisâtre - 10 YR 5/2 - humifère (humus doux faiblement onctueux, bien mélangé à la matière minérale et du type hydromull) ; sableux-limoneux, non calcaire. La structure est monoparticulaire à tendance grenue (A l'état sec : la macro-structure est massive : prise en masse ou battance de l'horizon A). La cohésion est faible, la consistance et la compacité sont très faibles, la propreté est bonne. Les pisolites sont très nombreux, de diamètre moyen de 0,5 à 1 cm environ, de couleurs brunes (cortex) et noires (noyau), Les racines et les radicelles sont bien développées. La transition est progressive.

(A<sub>II</sub>)<sub>fe</sub>

de 10 à 23 cm : Horizon brun-foncé, peu humifère, sableux finement limoneux, peu structuré, très riche en pisolites et en concrétions ferrugineuses brunâtres et noires, La limite est tranchée.

(A<sub>12</sub>)<sub>fe</sub>

de 23 à 58 cm : Horizon brun-grisâtre clair- 10 YR 5/3 - sableux limoneux, à structure polyédrique émoussée (macrostructure) à tendance massive, peu cohérent, peu consistant (Etat humide). De nombreuses pisolites, concrétions ferrugineuses et galets quartzeux sont noyés dans la matrice limoneuses. Les racines sont rares. Quelques amas ferrugineux (ou ensemble de pisolites, concrétions, galets et quartz cimentés). La limite est progressive.

(A-B)<sub>fe</sub>

de 58 à 70 cm : Carapace ferrugineuse, pisolitique, partiellement indurée, discontinue ou ensemble d'amas ferrugineux partiellement indurés et reposant directement sur des quartzites satinés (imprégnés d'oxydes de fer en une pellicule peu épaisse) (ou sur les pochettes d'argile rouge tâchetée).

"B<sub>fe</sub>"

à plus de 71 cm: Quartzites en voie d'altération.

.../...

### Cycle morphologique :

- Le profil décrit présente un ensemble de caractères morphologiques des sols à texture sableuse et limoneuse reposant soit directement sur des quartzites, soit sur un horizon argileux (ou des schistes fortement altérés) et qui couvrent toute la forêt de Ben-Slimane (Ex-Boulhaut). La carapace pisolitique est très discontinue et la surface couverte par la forêt n'est pas entièrement "cuirassée". La carapace peut être réduite à des amas ferrugineux plus ou moins bien indurés ou à un niveau de concrétions, de rognons et de pisolites ferrugineuses cimentées par un limon-gris riche en quartz, en galets roulés satinés.

- Pendant la période des pluies (hiver), le sol est engorgé d'eau (une nappe temporaire remonte jusqu'aux 20 premiers centimètres environ). En été le sol est entièrement desséché, la dessiccation étant brutale et rapide. Cette succession de périodes d'engorgement et de dessiccation oriente les processus d'oxydo-réduction, de décomposition des matières organiques et l'activité microbiologique globale (notamment des réducteurs de fer).

- La morphologie du sol traduit l'intensité graduelle des processus cités. Cependant l'épaisseur et l'étendue des carapaces ne peuvent être la seule résultante des processus pédogénétiques actuels. En effet, le profil décrit est situé sur le plateau Villafranchien qui "serait resté stable pendant toute la période Post-Villafranchienne" et aurait évolué sous des conditions climatiques différentes mais à caractère méditerranéen ou Xérothérique. Les fluctuations climatiques au cours du quaternaire, et notamment les périodes pluviales et inter-pluviales, ont orienté les processus pédogénétiques, tels que les sols actuels présentent une superposition de caractères morphologiques d'intensités variables. Les processus pédogénétiques fondamentaux auraient été : l'oxydo-réduction ou ferrolyse. Le lessivage et l'appauvrissement du sol en argile et l'accumulation relative des oxydes de fer et enfin l'intense immobilisation du fer sous-forme de pisolites, de concrétions, d'amas et rognons puis de carapace ferrugineuses plus ou moins indurée, plus ou moins cimentée. L'action de la nappe temporaire actuelle se traduit par une continuelle mobilisation du fer (Pseudo-gley de profondeur), et la dessiccation du sol par l'immobilisation à des profondeurs variables des fer oxydé, deshydraté.

- La genèse du sol fut donc dominée par des phénomènes de paléohydromorphie (ou paléo-hydrogénèse) et par une hydromorphie actuelle qui affecte la presque totalité du profil (voir rH, pH et microbiologie des sols hydromorphes) par le lessivage intense des horizons supérieurs (ou leur appauvrissement sous l'action d'une érosion en nappe et du ruissellement).

L'engorgement temporaire des horizons profonds favorisent l'altération des schistes et des quartzites et la néoformation de minéraux argileux (ou argilification préférentielle). L'horizon Bt, est d'épaisseur variable 10cm à 2/3m pour les sols de la forêt de Boulhaut et Rhabert Bir El Keïd.

.../...

## CLASSIFICATION

### 1°) - SOL HYDROMORFHE

Peu humifère  
à pseudo-gley  
Modal

(1° d'après Aubert G.)  
Aubert :1965

### 2°) SOL HYDROMORFHE

peu humifère  
à carapace et cuirasse

(d'après la classification du  
C.P.C.S. FRANCE).

### 2°) PROPOSITION

C SOL HYDROMORPHE

S/G Peu humifère

G/A carapaces (discontinue)

S:g Lössivé (modal ?) et à Bg

Famille : Quartzites et schistes (et matrice limoneuse : épan-  
dage Villafranchien) (?).

Série : Merzag pisolitique peu épais, discontinue et partiel-  
lement induré, à texture sableuse.

Facies : Argilification préférentielle faible, Accumulation  
des sesquioxides de fer par imprégnation des quart-  
zites. (carapace rubanée).

Phase : Forêt claire de chêne-liège.

## PROFIL N° SLI 14

### Facteurs de pédogénèses

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérothermique  
atténué : P = 490 m/m T = 18°C.

Roche-mère : Schistes - (Carbonifère).

Matériau originel : Matrice limono-sableuse (Villafranchien).

Topographie : Zone plane faiblement ondulée : pente inférieure  
à 2 % (dépression).

Végétation : Erbe hygrophile cultivée (terre cultivée partiel-  
lement dédoumée).

Fossile : Subéraie (Quersus Suber).

Géomorphologie : Plateau villafranchien reposant sur un substratum  
schisteux arrasé, pénéplanisé, incliné en pente  
douce vers la mer (Ancienne surface d'érosion).  
(A l'Est de Ben-Slimane).

.../...

Surface du sol :Pisolithique et caillouteuse.

Action anthropique :Défrichement.

Erosion : en nappe.

# MORPHOLOGIE :

de 0 à 20 cm :Horizon gris-noirâtre - 10 YR 4/2 - sableux finement limoneux humifère, non calcaire, faiblement structuré, la macro-structure est faiblement polyédrique, à tendance monoparticulaire (faible agrégation) - A l'état sec, l'horizon est massif et assez compact (battance)- à l'état humide, il est peu cohérent, peu consistant, la transition est progressive.

(A"12) fe Présence de nombreuses pisolites et concrétions ferrugineuses, de racines et radicelles, de racines mortes et de crotovines.

de 20 à 30 cm :Horizon sableux-limoneux finement argileux, peu humifère (pénétration diffuse de la matière organique). La macro-structure est massive, la microstructure est polyédrique moyenne peu développée. La cohésion et la consistance sont moyennes. L'horizon est gris à l'état humide, gris-brûnâtre à l'état sec, assez riche en sesquanes, en pisolites et en concrétions ferrugineuses. La limite est tranchée.

(A-B) fe

de 30 à 56 cm :Carapace pisolitique, continue, assez épaisse, partiellement indurée en cuirasse. Les éléments constitutifs de la carapace sont des concrétions ferrugineuses de diamètre moyen (2 à 4 cm) de couleur brune et noire, cimentés par un limon gris. Dans la masse des oxydes de fer, on distingue des débris de quartzites, des grains de quartz. La faune est absente, les racines et les radicelles ne traversent pas la carapace. La limite est tranchée.

Bfe

de 56 à 76 cm :Horizon bigaré : tâches de pseudo-gley en période hivernale. Texture argileuse, forte compacité, cohésion moyenne, faible porosité. La structure est polyédrique moyenne peu développée (e.s.) Transition progressive. Traînés grisâtres le long des radicelles. Présence de tâches ferrimanganésifères (sesquanes).

Bg

à plus de 76cm :Schistes versicolores en voie d'altération, à grains  
B<sub>g1</sub> G D6 quartzeux et fines paillettes de micas

# CYCLE MORPHOLOGIQUE :

Le cycle morphologique actuelle se traduit par une succession de périodes de dessiccation de périodes d'humification ou d'engorgement sur la totalité du profil.

.../...

En hiver la présence d'une nappe temporaire est fréquente quand la pluviosité moyenne est assez forte. Cette nappe remonte jusqu'en surface du sol. Au fur et à mesure que le sol se dessèche, le fer libéré (sous l'action directe de la nappe - ions OH - ou indirecte milieu réducteur, acide, microflore réductrice active, rH, bas V. résultats des analyses) migrent et s'individualisent à des profondeurs variables. En périodes de dessiccation, le fer se pectise et s'accumule, s'immobilise progressivement, sous-forme de tâches, de pisolites, puis de concrétions, d'amas et rognons qui sont eux-mêmes cimentés par une matrice limoneuse très riche en fer, en carapace pisolitique ou massive (v. cuirassement). La libération, l'individualisation et enfin l'immobilisation du fer sous différentes formes atteignent dans les horizons A, A-B un stade de sénilité, alors qu'en profondeur, soit en B, les mêmes processus sont à leur stade initiale - Il en résulte que la morphologie du sol résulte non seulement de l'hydrogénèse actuelle, mais d'un ensemble de phénomène d'hydromorphie ancienne (ou paléo-hydromorphie) et actuelle - l'intensité des dessiccations du sol tant dans le contexte climatique actuel, qu'au cours du quaternaire et notamment pendant les interpluviaux - ainsi que la succession des périodes d'engorgement - ou de phase anaérobique du sol, entraîne une forte individualisation des sesquioxides de fer et leur accumulation sur des grandes épaisseurs (de 20 à 60 cm environ, voir sur 1 à 2 m d'épaisseurs).

Au fur et à mesure que le sol s'enrichissait en sesquioxides, il s'appauvrissait en ses éléments fins sous l'action de l'érosion en nappe (voir en rigole ou en chenaux au cours des pluviaux). Cette appauvrissement du sol qui s'accompagne d'un lessivage vertical des argiles et probablement une dégradation partielle des minéraux argileux en A et A-B est difficile à mettre en évidence du fait de l'absence d'un horizon d'accumulation continue dans les sols de la forêt de Boulhaut. Par contre l'horizon de pseudo-gley doit sa richesse en argile à une forte altération des schistes (ou argilification préférentielle).

Hydro-génèse en milieu réducteur et acide, pauvre en bases :  
Humification : sol enrichi en matières organiques (décomposition de matières organiques fraîches issues de la forêt ou de la strate ligneuse sous forêt); Appauvrissement du sol en surface, (lessivage vertical et latéral) argilification en profondeur, sont les principaux processus qui régissent la génèse du sol.

#### CLASSIFICATION :

##### Proposition :

|                     |                                     |
|---------------------|-------------------------------------|
| <u>Classe</u>       | SOL HYDROMORPHE                     |
| <u>Sous-classe</u>  | Minéral (ou peu humifère)           |
| <u>Groupe</u>       | à carapace                          |
| <u>Sous-groupes</u> | ( Lessivé (ou appauvri)             |
|                     | ( à pseudo-gley de profondeur (v.). |

Famille : Sur schistes en voie d'altération et matrice limoneuse sablée.

Série : Merzag pisolitique, discontinue, partiellement induré en en Mekzaz et d'épaisseur moyenne, à texture sablo-limoneuse.

Facies : Engorgement temporaire en profondeur.

Phase : Cultivé.

N.B. - La classification de ce sol a pour but de définir les principaux groupes et sous-groupes des sols hydromorphes minéraux (classification de G. Aubert 1965-66-67).

# - PROFIL N° SLI 8 -

## Facteurs de pédogénèse :

Climat : Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérothermique atténué, P = 490 m/m T = 18°C.

Roche-mère : Schistes (Carbonière) - et calcaire.

Matériau Originel : Epandage sablo-limoneux (Villafranchien).

Topographie : Zone moyennement ondulée : Drainage externe réduit.

Végétation actuelle : Cultures de céréales.

Fossile : Suberaie (Quercus Suber) et strate ligneuse buissonnante.

Géomorphologie : Plateau Villafranchien reposant sur un substratum primaire schisteux quartzitique arrasé, pénéplanisé, incliné en pente douce vers la mer.

Surface du sol : Mottes et pisolites.

Erosion : En nappe "faible".

Action anthropique : Défrichement et déforestation.

Edifice biologique : Quelques fourmillières.

Coordonnées Lambert : X = 344,500 Y = 342,850 Z = 238 %

Lieu dit : El Aïoun - Clairière de la Forêt de Ben Slimane (Chaouïa N° 8).

## MORPHOLOGIE :

de 0 à 13 cm : Horizon gris-foncé, humifère, sablo-limoneux, peu structuré (tendance monoparticulaire)-Quelques pisolites ferrugineux, des racines et des radicelles, des bulbes d'asphodelles. L'humus est bien mélangé à la matière minérale (mull-hydro-mull).  
( A<sub>1</sub> ) fe  
(Etat sec : 10 YR 5/2) . La limite est nette.

.../...

de 13 à 34 cm : Horizon brun-grisâtre - 10 YR 4/2 limoneux-sableux finement argileux, très peu humifère. La structure est polyédrique moyenne émousée (à tendance particulaire) Les pisolites et les concrétions ferrugineuses sont plus abondants. Présence de galets roulés, satinés, de quartz cariés et de rares racines (Chamérops) A l'état sec, l'horizon est brun-jaunâtre.

de 34 à 55 cm : Pseudo-carapace pisolitique faiblement indurée de couleur brune et brun-noire, à ciment limoneux grisâtre (10 YR 5/4) très riche en grains de quartz, et quelques galets roulés. La faune et les racines sont très rares.

La carapace est un ensemble de concrétions ferrugineuses (ferri-manganique de grains de quartz de débris de quartzites), le tout partiellement induré et d'épaisseur variable.

de 55 à 85 cm : Horizon jaune-beige - 10 YR 5/8, argileux non calcaire La macro-structure est prismatique, la micro-structure polyédrique moyenne (Etat sec) ou massive (Etat humide), l'argile est collante, plastique. Quelques tâches de pseudo-gley le long de radicelles, tâches noires d'oxydes de fer (et de manganèse ?) ou sesquioxides et de rares pisolites ferrugineux. Quelques racines mortes et des quartzites satinés. Revêtement argileux et recroûtement de matières organiques le long des canalicules racinaires (ou des lombrics). Transition progressive.

de 85 à 115 cm : Horizon brun-rougeâtre, plus rouge à sa base - 10 YR 4/4 argileux, peu calcaire - amas de calcaire pulvérulent. La sur-structure est massive (sous-structure polyédrique à prismatique à l'état sec). Présence de facettes de glissements d'étendue moyenne à faible. Quelques pisolites et des traînées filiformes de pseudo-gley.

à plus de 115 cm Calcaire marneux de faible épaisseur reposant sur des schistes primaires.

#### Cycles morphologiques :

Ce profil présente un ensemble de caractères morphologiques très différents les uns par rapport aux autres et qui traduisent l'interaction de plusieurs processus pédogénétiques complexes ; en surface le sol est appauvri, voire lessivé en argile, très riche en sesquioxides de fer immobilisés sous forme de carapace, de concrétions et de pisolites ferrugineuses (ou individualisé sous-forme de pseudo-gley en profondeur).

Dans les horizons moyens et profonds (illuviaux) le sol est rougeâtre (Fer oxydé individualisé) et présente des facettes de glissement et des fentes de "retrait" verticales en période sèche. D'où trois phéno-

mènes pédogénétiques essentiels : L'hydrogénèse, la rubéfaction et la tirsification (ou verticisation), puis le lessivage ou appauvrissement en argile.

L'intensité de ces processus en surface du sol ou en profondeur dépend de la durée et de l'importance de la phase anaérobique, de l'engorgement des horizons profonds et du drainage interne et externe du sol, soit du régime hydrique du sol, de la nature lithologique du matériau originel et des roche-mères. L'hydrogénèse est intense dans les horizons illuviaux du fait que la zone de battement de la frange d'évaporation de la nappe temporaire se situe entre 10 et 30 - 40 cm de profondeur. La perméabilité très faible de l'horizon argileux rouge et l'intensité des pluies hivernales sont à l'origine de cette nappe temporaire.

Par contre, l'horizon profond, (ou niveau Villafranchien inférieur) de couleur rouge brunâtre correspondrait à un sol rouge "fossile" dans la genèse se situerait postérieurement à la période fini-Villafranchienne (Les horizons de surface correspondraient à un épandage (en accumulation) de limons au Villafranchien moyen et supérieur ?).

La rubéfaction de ce sol fossile ou enterré est plus ou moins bien masquée par les phénomènes d'hydrogénèse actuelle (ceci étant dû à un drainage relativement assez bon du sol) ou par des phénomènes de verticisation, ce phénomène, d'intensité moyenne, se développe en profondeur du fait que la roche-mère est riche en bases fournies par le calcaire et que le régime hydrique du sol est du type hydroaéropédique en profondeur : d'où la succession des périodes d'engorgement et de dessiccation du sol orientent les processus de "foisonnement" et de "retrait" des argiles en profondeur (voir : les Tirs).

Cependant en période pluviale actuelle prolongée des phénomènes de réductions peuvent avoir lieu en profondeur et donner naissance à un pseudo-gley gris-bleuté au niveau des radicelles et de la zone d'altération de schistes.

La complexité des processus pédogénétiques découlent de la variation des facteurs de pédogénèse au cours du quaternaire et qui portent notamment sur la nature du matériau originel et sur sa morphogénèse : les horizons au niveau supérieurs correspondraient à des épandages limoneux (et non à un ensablement de surface) pendant la période fini-Villafranchienne, la zone concrétionnée ou cuirassée serait subactuelle (le cuirassement s'intensifiant en profondeur sous les conditions climatiques actuelles) et enfin l'horizon rubéfié serait "un apport" (au villafranchien inférieur) soit sous-forme de boue, soit de solution, d'un matériau limono-argileux "rouge" ou ayant été rubéfié sur place, les horizons profonds au niveau inférieur subissant des alternances d'humidification et de dessiccation plus ou moins intenses auraient été tirsifiés parallèlement à l'argilification préférentielle (en profondeur) au dépens des minéraux des Schistes, quartzites et calcaires.

Cette complexité des processus portent également sur les variations des amplitudes thermiques et ombriques au cours du quaternaire. Pendant les pluviaux, l'altération poussée des roches s'accompagneraient d'une intense mobilisation (lixivations et individualisation) du fer (et du manganèse) et pendant les interpluviaux, plus secs, sur des processus

.../...

d'immobilisation du fer sous-forme de tâches ou "sesquanes", concrétions, d'amas et enfin de carapaces. (Oxydation du fer et deshydratation des oxydes). La dynamique du fer, fort complexe dans le sol, aurait été régie par une microflore (ou nappe microbienne) réductrice dont l'activité globale fut d'intensité variable en fonction de l'humidité des sols, du pH et du potentiel d'oxydo-réduction du sol ou rH, des apports de matières organiques, qui auraient été plus abondants sous strate arborée (Quecus Suber), puis s'amusaient au fur et à mesure de la dégradation de la végétation.

## CLASSIFICATION :

### SOL HYDROMORPHE :

Feu humifère (ou minérale)  
A carapace pisolitique  
Lessivé et à pseudo-gley de profondeur  
sur matériau originel complexe limons-schistes et calcaire).

Série : Merzag pisolitique faiblement induré et discontinu, sableux en surface argileux en profondeur et à "SliKenside" ou Tirsifié ou "Sol Polygénique".

Facies : Paléo-hydromorphe, paléo-rubéfaction et verticisation actuelle en profondeur.

Phase : Cultivé (Céréales).

- PROFIL N° SLI 41 et 41 b -

- Facteurs de pédogénèse -

Climat : Méditerranéen semi-aride à hiver frais au Xérotérique atténué.

Roche-mère : Schistes et bancs de quartzites alternés (Strunien-Carbonifère).

Topographie : Pente moyenne 5-6 %

Végétation : Chamaeropaie (Forêt de chêne-liège très dégradée).

Géomorphologie : Versant de la Sokhrat El Hafsa: relief résiduel, où ancienne surface d'érosion au Sud de Ben Slimane.

Erosion : En nappe.

Action anthropique : Dégradation de la forêt (en pseudo-chamaeropaie).

Edifice biologique : Fourmillières.

Surface du sol : Très caillouteuse (débris de roches quartzitiques ou cônes d'éboulis et affleurement rocheux ou "Zokhrat".).

Coordonnées Lambert SLI 41 b : X = 344,000, Y = 330,750, Z = 285 m.

Lieu dit : Sokhrat El hafsa des Ziaida (Chaouia N-E).

Coordonnées Lambert SLI 41 : X = 344,750 ; Y = 331,250 ; Z 370 m

MORPHOLOGIE : (1) PROFIL SLI 41 b :

de 0 à 30 cm : Horizon brun-jaunâtre, peu humifère, limoneux sableux finement argileux très caillouteux, peu structuré (faible agrégation). Le chevelu racinaire est peu dense, racines (de chamaerops) et bulbes (asphodeles) Quelques pisolites. Limite tranchées.

de 30 à 68 cm : Cuirasse massive de couleur brune et noire, fortement indurée, très épaisse, mais discontinue. Les principaux éléments constitutifs sont des amas ferrugineux, des concrétions ferrugineuses cimentés par des sesquioxides de fer (et de manganèse) des grains de quartz, des galets quartzeux satinés fortement imprégnés d'oxydes de fer. Limite discontinue.

de 68 à 75 cm : Schistes et quartzites en voie d'altération et pochettes d'argile jaune beige. La discontinuité de la cuirasse (ou sa localisation sur de faibles surfaces) a été mise en évidence par des profils établis sur le cône d'ébouli de la sokhrat El Hafsa, notamment, par le profil SLI 41 situé à une cinquantaine de mètres de la cuirasse, à la même altitude. Ce profil est très peu profond (20 à 30 cm), peu humifère, peu structuré et très caillouteux, faiblement pisolitique (débris de cuirasse) mais sans horizon d'induration des sesquioxides de fer. D'où le cône d'ébouli périphérique de la Sokhrat El Hafsa est constitué d'une association de sols hydromorphes à cuirasse fossile (I) et de sols peu évolués d'érosion lithique (et de pochettes de sols rouges peu développés. (Voir: Carte pédologique).

La genèse de la cuirasse "Fossile" est à situer dans un cadre bioclimatique et géomorphologique subactuel. (Quaternaire ancien et moyen) corrélativement aux fluctuations climatiques au cours des pluviaux et des inter-pluviaux et à l'évolution du relief (abaissement de la surface d'érosion tel qu'il ne subsiste que des arêtes de quartzite d'EL Hafsa et d'El-Hajiba La cuirasse observée est "fossile" et reprise par l'érosion (arrêt des processus du cuirassement). Ce cuirassement aurait été plus intense pendant les "périodes climatiques humides", le drainage externe

.../...

du sol étant réduit (ancien relief plan). Ces phénomènes d'hydromorphie (ou d'hydrogénèse ancien ou de paléo-hydromorphie) ne sont plus réalisés sous les conditions climatiques et surtout topographiques actuelles du sol. L'érosibilité de la cuirasse étant plus faible que celle des horizons supérieurs, il ne subsiste que des plages de cuirasse, alors que les sols sont entièrement décapés par ruissellement. (Affleurement de la cuirasse, partiellement érodée.

La cuirasse de la SOKHRAT EL HAFSA est typique des cuirasses observées dans les régions de Ben-Slimane par son site topographique (relief résiduel), son couvert végétal (chamaéropaie dégradée) résultant de la gaudation de la Subéraie, sa roche-mère (acide), sa morphologie (épaisseur, induration, texture et couleur : voir plus haut) et de l'évolution actuel des sols limitrophes. Ce serait probablement le type de cuirasse anté-quaternaire (fimioliocène. Villa-sup.), que l'on ne rencontre que sur des reliefs résiduels (colline, versant de Sokhrat, bordure de Talwegs ou de Daiyas).

#### CLASSIFICATION :

SLI 41 b SOL HYDROMORPHE MINERAL (ou peu humifère)

A cuirasse  
Modal (ou fossile) (1)  
sur quartzites (et schistes).

Série : Mekzaz (ou cuirasse) massive, épaisse et discontinue.

Facies : "remanié".

Phase : érodée

SLI 41 : Sol peu évolué

S/c : non climatique

Groupe : d'érosion

S/Groupe : lithique.

sur schistes et quartzites

Série : à pisolites "allochtone" ou "Harch" pisolitique dégradée.

Phase : Chamaeropaie dégradée.

(1) -Cuirasse fossile : ou entérée ou "sénile" : est un horizon d'accumulation et d'induration des sesquioxides de fer (et de manganèse) tel que les phénomènes d'hydromorphie qui lui ont donné naissance ne se reproduisent plus sous les mêmes conditions topographiques (relief résiduel) ou bioclima-

.../...

: tiques : soit que l'un ou plusieurs-facteurs pédogénétiques aient subi des modifications profondes. La cuirasse est dite "entérée" quand elle n'affleure pas, . fossile quand un sol "jeune" se développe sur les zones cuirassées.

(2) Cuirasse subactuelle ou Paléo-cuirasse

: Est un horizon d'individualisation, d'accumulation et d'induration des sesquioxides de fer et de manganèse tel que les phénomènes d'hydrogénèse (oxydo-réduction, dessiccation) qui lui ont donné naissance se développent sous les conditions pédoclimatiques, topographiques et lithologiques actuelles : hydrogénèse actuelle et subactuelle ou paléo-hydromorphie : Les processus de réduction, de migration, d'oxydation, de dessiccation et d'accumulation (concrétionnement) ayant été d'intensités variables au cours de la formation des cuirasses ou des carapaces, mais dominant la génèse, des sols, l'un des facteurs de pédogénèse ayant été plus ou moins favorable (climat plus humide, topographie plane et drainage défectueux, roche-mère acide, forte activité des "happes microbiennes" notamment des réducteurs de fer,....)

(3) Carapace fossile et paléo-carapace

; Même définition quant aux phénomènes qui leur ont donné naissance (voir concrétionnement et cuirassement sous climat méditerranéen), mais faible induration de la matrice pisolitique ou concrétionnée.

PROFIL N° SLI II et 109

Facteurs de pédogénèse :

Climat

: Méditerranéen Semi-aride à hiver frais ou Xérothermique atténué - P compris entre 320 et 580 m/m ( $\bar{P}$  = 490 m/m)  
 $\bar{T}$  = 18°C.

Roche-mère

: quartzites et schistes (Carbonifère).

Matériau Originel

: épannage sablo-limoneux (Villafranchien)  
"Zone d'accumulation" (?).

Topographie

: Zone plane faiblement ondulée (pente inférieure à 2 %).

Végétation

: Subéraie claire, partiellement défrichée.  
Sous-bois : Strate ligneuse buissonnante (Rhus penta-phylium "Tizra", chamaerops..etc).

|                           |                                                                                                                                       |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Géomorphologie</u>     | : Plateau Villafranchien reposant sur un substratum schisteux quartzitique, arrasé pénéplanisé et incliné en pente douce vers la mer. |
| <u>Surface du sol</u>     | : Pisolitique (pisolites et concrétions dans une matrice limoneuse grise).                                                            |
| <u>Erosion</u>            | : en nappe (accumulation des concrétions en surface : "Self-maching" et appauvrissement du sol en éléments fins.                      |
| <u>Action anthropique</u> | : Dégradation de la forêt.                                                                                                            |

# MORPHOLOGIE :

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| de 0 à 16 cm              | : Horizon <u>gris-noirâtre</u> , humifère, sableux-limoneux, peu structuré (micro-structure à tendance monoparticulaire) très riche en concrétions et en pisolites ferrugineux, peu cohérent, peu compact (état humide) et poreux.<br>Prise en masse en période de dessiccation, ou "battance".<br>Nombreuses racines (chamaerops, chêne-liège) et bulbes (asphodelles) quelques Lombrics en hiver. La matière organique est bien décomposée, bien mélangée à la matière minérale et au toucher onctueux (humus du type hydro-mull acide). La limite est tranchée. |
| de 16 à 50 cm<br><br>A-Bg | : Horizon <u>brun-grisâtre</u> , limoneux sableux finement argileux, très peu humifère. La macro-structure est massive, la micro-structure polyédrique moyenne peu développée. La cohésion est moyenne, la compacité forte (sol sec). Quelques traînées de matières organiques le long des canalicules racinaires. L'horizon est très riche en pisolites et en concrétions ferrugineuses (soit environ 30 % de la masse totale). Quelques quartzites satinés - Limite tranchée.                                                                                    |
| de 50 à 120 cm            | : <u>Cuirasse massive</u> très épaisse, fortement indurée, de couleur noire et brune constituée de concrétions et d'amas ferrugineux, de quartz, de quartzites cimentés par des sesquioxides de fer et d'une matrice limon-neuse grisâtre. Les racines et la faune sont absentes de cet horizon.                                                                                                                                                                                                                                                                   |

- de 120 à 135 cm : Pénétration de la cuirasse en languettes : po-  
chettes de cuirasses et d'argiles jaune-beige  
Bfe (voir: schéma hors-texte : Morphologie des  
sols hydromorphes).
- à plus de 135 cm : Horizon jaune-beige, argileux massif, compact  
cohérent, pisolitique. Quelques traînées de  
pseudo-gley en profondeur, puis passage pro-  
gressif à un horizon brun rougeâtre profond  
Bge (de 2 m à plus de 3 mètres) : et puis schistes  
(Carbonifère).

### Cycle Morphologique :

Le sol est situé dans une clairière de la forêt de Ben-Slimane à proximité de la source "Aïn Tizra". Le matériau Original sur lequel s'est développé le sol est un complexe de sables et limons qui correspondraient à des épandages pendant le Villafranchien "supérieur", d'argile plus ou moins rubéfiée en profondeur (très profonde) et qui correspondrait probablement à une zone d'accumulation pendant les périodes humides (ou pluviaux) du quaternaire et enfin par le matériau argileux de profondeur et qui résulterait de l'altération des schistes primaires (carbonifère).

Les conditions de drainage externe du sol ont été au cours du quaternaire très mauvaises (ancienne surface d'érosion plane reposant sur un substratum schisteux imperméable) et le drainage interne du sol très réduit au delà des premiers 50 cm supérieurs (niveau argileux très peu perméable, et zone de battement de la nappe temporaire en période hivernale).

La cuirasse et les concrétions ferrugineuses résulteraient d'une succession de phénomènes d'hydromorphie d'intensités variables au cours du quaternaire (ou paléo-hydromorphie) et de phénomène d'hydromorphie actuelle (ou d'hydrogénèse actuelle) celle-ci se poursuit sous les conditions pédoclimatiques et topographiques actuelles du sol: pénétration de la cuirasse en profondeur (cuirassement), accumulation des sesquioxides de fer sous-forme de tâches de pisolites puis de concrétions et d'amas ferrugineux.

Les processus de réductions, d'oxydation, de migration puis d'immobilisation du fer sous-forme de tâches, de pisolites, de concrétions d'amas et carapace et enfin de cuirasse sont très poussés mais d'intensités variables tant au cours du quaternaire qu'à l'époque actuelle : les processus d'hydrolyse et de "mobilisation du fer" auraient été plus poussés pendant les périodes humides et notamment pendant les pluviaux alors qu'immobilisation et accumulation du fer furent plus intenses pendant les saisons biologiquement sèches et chaudes-(et pendant les inter-pluviaux). Il résulte des successions des périodes d'humidification et de dessiccation poussées du sol, (1) la "rectification" et l'induration du fer (et du manganèse) sur plus d'un mètre d'épaisseur.

(1) A l'échelle du climat actuel et des fluctuations climatiques au cours de la période post-villafranchienne.

Le rôle indirecte de la végétation (produits de décomposition des matières organiques susceptibles de complexer le fer et de "favoriser sa migration") et des nappes microbiennes qui se succèdent dans le sol (notamment le rôle des groupes de réducteurs de fer) est fort complexe du fait de la variation des quantités de matières organiques fraîches apportées au sol et de leur décomposition (degré de décomposition très variable en fonction des conditions bioclimatiques). Le phénomène d'hydrogénèse ayant porté sur de longues périodes, on ne peut attribuer à un groupe donné de "réducteurs" le rôle essentiel de tous les processus de réduction et de solubilisation du fer. Le rôle direct de la végétation peut s'observer actuellement (réduction du fer essentiellement au niveau des systèmes racinaires).

Le matériau originel, pauvre en bases, impénétrable en profondeur entraîne un engorgement temporaire (voire en période très pluvieuse, la formation d'une nappe temporaire qui remonte jusqu'en surface du sol) : Cette phase d'anaérobiose, (de durée variable) conditionne les processus de réduction et de mobilisation du fer, les roches-mères étant acide (V. chap. I) et du lessivage des argiles (voir : genèse).

Le climat, par la succession de périodes humides et tempérées et de périodes sèches et chaudes, oriente les processus de libération (mobilisation) et d'accumulation (immobilisation relative et absolue du fer. L'érosion du sol et notamment l'érosion "en nappe" entraîne une continuelle migration des éléments fins (latéralement). Drainages en grand par les talwegs ou "incisions des plateaux" et une accumulation d'éléments grossiers en surface (notamment de concrétions et de pisolites qui constituent un "self mulching").

En conclusion, la genèse du sol est dominée par le phénomène d'hydrogénèse (actuelle ou ancienne) qui se traduit par un cuirassement poussé et par la formation de pseudo-gley en profondeur.

Le sol n'est pas un sol fossile, ni enterré, du fait que le même phénomène dominant du sol se poursuit actuellement, mais c'est un paléo-sol (ou sol subactuel actuel) (voir cuirasse fossile et paléo-cuirasse : Profil SLI N° 41).

#### CLASSIFICATION :

##### SOL HYDROMORPHE :

Peu humifère ou minéral  
à cuirasse épaisse (modale)  
lessivé et à pseudo-gley de profondeur (ou appauvri)  
sur matériau complexe limoneux, argileux et schistes altérés.

Série : Merzag (cuirasse) épais, continu, massif, sableux en surface.

Facies : Encuirassement subactuel-actuel.

Phase : Forêt dégradée (en erme).

PROFIL N° 3 :

- Géologie : Marno-calcaires de faible épaisseur sur schistes ordocicien-Caradoc).
- Géomorphologie : Plateau très peu ondulé.
- Matériau originel : Matériau sablo-limoneux (Villafranchien)(?).
- Topographie : Zone claire (pente très faible : 1 à 2 %).
- Végétation : Forêt plane claire : à base de Chêne-liège (Quercus suber).  
Sous-bois : strate ligneuse buissonnante (Lavande, Tizra, Cytis). Strate herbacée inférieure (Rume, Raphanus) acidophile.
- Climat : méditerranéen semi-aride à hivers frais.  
(P=491 m/m).
- Drainage : externe (en grand) : très faible) : intense : bon sur les 30 premiers cm.
- Action anthropique : Dégradation de la forêt.

Description du profil :

- de 0 à 15 cm : Horizon brun très foncé, humifère, sableux finement limoneux, la structure est peu développée à tendance particulière l'humus est du type hydromull. Les racines sont ombreuses. Les pisolites de faible diamètre sont noyées dans la masse, limite nette. (horizon non calcaire).
- de 15 à 34 cm : Horizon de transition : sableux limoneux, peu humifère, à structure monoparticulaire (Etat sec), très riche en pisolites de petit et moyen diamètre. Les racines sont moins nombreuses.
- de 34 à 116 cm : Carapace massive et continue : constitué de pisolites, d'amas ferrugineux de couleur noire et marrons cimentés par une masse sablo-limoneuse très pauvre en argile. (Présence de galets quartzeux et de canalicules racinaires dans les carapaces). L'épaisseur de la carapace est variable ; la porosité est très faible. L'enracinement est presque nul. La faune est très réduite surtout en période sèche.
- à plus de 116 cm : Marno-calcaire en voie d'altération : pochettes d'argiles de décalcarification.
- à plus de 120 cm : Schistes peu altérés.

.../...

CLASSIFICATION :

SOL HYDROMORPHE :

Peu humifère (ou minéral).

A carapace

Lessivé "à pseudo-gley" de profondeur.

Série : Merzag massif, continu, à texture sableuse en surface.

Facies : Vertique

Phase : Forêt dégradée.

## VI

ESSAIS DE SYNTHESE: Les lois de répartition des sols

- Les régions cartographiées couvrent 650 à 690 Km<sup>2</sup> environ (65 à 70.000 Ha) dont plus de 50 pour cent occupés par les Harch, Merzag et Mekzaz ou SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX LESSIVES à pseudo-gley, à carapace ou à cuirasse. (Plainsols-Aqualf), et 20 à 30 % par les Tirs et les sols tirsifiés (ou Vertisols) et les Hamri ou sols à sesquioxides de fer, rouges et bruns méditerranéens et de 10 à 15 % par divers types de sols dont par ordre décroissant : les sols lessivés et les sols bruns (sols brunifiés), les sols peu évolués et les sols minéraux non climatiques, les sols calcimagnésiques et sur quelques centaines d'hectares seulement les sols isohumiques subtropicaux. (châtains et bruns).

-Le climat xérothérique et le drainage en grand très réduit semble jouer un rôle déterminant : sur les hautes surfaces villafranchiennes le drainage est très réduit et relativement faibles sur les anciennes surfaces d'érosion du Sud et du Sud-Est de Ben-Slimane, leur substratum étant respectivement schisteux-quartzitique et calcaire ou basalitique. Sur les versants des gorges du Cherrat et Neffitikh, le drainage externe est très bon et la répartition des sols différent de celle des plateaux./ ;

I°) - LOIS DE REPARTITION DES SOLS dans les Ziaida et ARAB-SUD

Les sols résultent de l'interaction de plusieurs facteurs de pédogénèse d'intensité, variable, dont : le climat, la topographie (drainage) la roche-mère (ou le matériau original) la végétation, la faune et la microflore, l'érosion, l'homme... ces divers facteurs variant en latitude, en longitude et en altitude et dans le temps (variation du relief et du climat notamment) ;

La répartition des sols sur une surface donnée, dépend de l'interaction des différents facteurs et de l'intensité de l'un ou de plusieurs d'entre eux-qui domine(nt) et oriente(nt) la genèse des sols et leur évolution ./

Quand un seul facteur domine la genèse du sol et son évolution, la répartition du sol est dite monofactorielle ou bifactorielle si la genèse est dominée par deux facteurs, ou encore plurifactorielle si la genèse et l'évolution des sols sont déterminées par plusieurs facteurs d'intensité analogue. - (室)

La loi de répartition monofactorielle des sols implique/la  
genèse est déterminée par un des facteurs de pédogenèse, les autres  
étant sensiblement analogues (constants dans le temps et dans l'es-  
pace). Cette loi de répartition est difficile à mettre en évidence  
et fut sujet à caution. Citons comme exemples les premières loi de  
répartition des sols en fonction du climat (1) et leur expression en  
"sols zonaux, intrazonaux et azonaux" et qui fut rapidement abandonnée  
et répartition des sols en fonction de la végétation qui implique  
l'analogie de tout sol sous-forêt, de sols de prairies.. etc., ou  
encore la répartition des sols en fonction de la roche-mère (sol sur  
roche-acide, basique ou neutre...) ou encore en fonction du relief  
(sol des montagnes, des bas-fonds, des plaines...)  $\{++\}$  ces diverses  
lois de répartition monofactorielle impliquent l'analogie des sols  
d'une unité géographique donnée./.

(2) Loi de répartition monofactorielle :  $S = f(x) + Cte$   $\begin{cases} S_1, S_{61}, \\ \text{domin.} \end{cases}$   
 Loi de répartition plurifactorielle :  $S = f(x_1 + x_2 + \dots + x_{n-1})$   $\begin{cases} x_1 \text{ divers} \\ x_2 \text{ fact-} \\ x_3 \text{ eur} \end{cases}$

(大) Nombre de cartes des sols des régions du Maroc ont été dressées d'après les critères cités mais pris séparément. .../...

Or dans une même unité géographique, les sols évoluent différemment.

La loi de répartition plurifactorielle est plus générale mais ses limites sont peu précises.

A l'échelle d'une région, ce qui exclut nombre de lois de répartition des sols (longitudinales latitudinales, altitudinales et loi de répartition monofactorielle stricte), il apparaît que les sols se répartissent en fonction d'un nombre donné et limité de facteurs de pédogenèse, mis en évidence par les coupes pédologiques et pédogéologiques ainsi que par la superposition des cartes pédologiques, des formations superficielles et de la carte de la végétation, celle-ci intégrant la presque totalité des facteurs du milieu. Il en résulte que :

Les sols à sesquioxides de fer : sols rouges et bruns méditerranéens se répartissent sur des surfaces à drainage externe bon à très bon quelque soit leur roche-mère • le type de végétation ou les variations d'intensité des autres facteurs de pédogenèse. Leur loi de répartition est donc bifactorielle et fait intervenir la topographie-ou drainage-et le climat-ou régime hydrique-, la topographie ayant un rôle dominant-

- Les vertisols Tirs et sols tirsifiés se répartissent essentiellement sur des roches basiques - ou roches dont l'altération donne lieu à la néoformation de minéraux argileux de type Montmorillonite et enrichit le sol en alcalino-terreux quelque soit les conditions de drainage externe des sols (ou topographiques) la végétation et la topographie ayant un rôle secondaire dans la genèse des sols. La tirsification est liée à la nature lithologique des roches-mères et au régime hydriques des sols et apparaît à des niveaux différents dans le sol et à des degrés d'intensité plus ou moins grands : "Vertisol, sol vertique sol rouge vertique, sol isohumique vertique, sol hydromorphe vertique, : tous ces sols évoluant soit sur des roches basiques, soit sur un complexe de roches-mères dont une d'entre elles est basique.

La répartition des Tirs obéit à la loi de répartition bifactorielle , la roche-mère et le régime hydrique (climat) dominant la genèse de ces sols. Un autre exemple de loi de répartition bifactorielle apparaît pour les sols hydromorphes minéraux qui à l'opposé des sols à sesquioxides de fer méditerranéens, n'évoluent que sur des surfaces à drainage externe nul à très réduit. L'hydrogenèse est liée comme la tirsification et la rubéfaction au climat xérothermique actuel ou "subactuel"

- Les sols isohumiques et calcimagnésiques obéissent à des lois de répartition plurifactorielles aux limites peu précises : diverses roches, topographies planes ou ondulées ou versants intensité de l'activité biologique, diverses strates herbacée ou ligneuses, régimes hydriques, etc...

- A l'échelle d'une sous-unité géographique, il est probable que la répartition des sols soit monofactorielle "stricte" ce qui impliquerait que tous les autres facteurs de pédogenèse soient constants (ou analogues) Exemples : Sols sur versants du Cherrat et Neffikh : Le microclimat, et sous son expression géographique l'exposition des versants, semble être un des facteurs dominant la genèse des sols. Le micro-climat serait un facteur de différenciation entre les sols peu évolués non climatiques et les sols brunifiés (sols bruns et sols lessivés), ces sols se répartissent sur les versants à drainage en grand bon à très bon leur substratum géologique étant schisteux quartzitique et le micro-climat "tempéré" ou "aride" respectivement pour les sols brunifiés et les sols peu évolués.

Cependant leur répartition n'obéit pas à une loi de répartition monofactorielle "stricte" du fait que le micro-climat agit indirectement par le biais de la végétation et notamment de la strate herbacée inférieure (cf chap I: la végétation) qui elle-même réduit l'intensité de l'érosion hydrique.

- CONCLUSION -

La genèse et l'évolution des sols des ZIAIDA et ARAB-SUD de la Meseta atlantique marocaine, semble être orientée essentiellement par :

- 1°) le drainage "en Grand" ou le régime des sols
- 2°) la nature lithologique des roche-mères (ou matériaux originels);

la flore et la faune ayant un rôle important, mais ne détermine pas l'évolution et la morphogenèse des sols, il en est de même de l'érosion hydrique, de l'action de l'homme qui modifie l'intensité des phénomènes pédogénétiques

-----

Appendice : Les principales caractéristiques chimiques et physiques des principaux types de sols des régions cartographiées ont été portées sur le tableaux (...) assez explicite en soi et qui regroupent les principaux critères de différenciations des sols - cf : Chap II, : MORPHOLOGIE ET CARACTERISTIQUES DES SOLS.

-----

PHILOSOPHIE - à propos de la cartographie des sols.

Toute cartographie des sols devrait intégrer les études générales du milieu (climatologie, phytosociologie, érosion...) et être menée parallèlement aux travaux de laboratoire en vue de mieux définir chaque type de sol par ses caractères morphologique et génétiques propres - d'où l'intérêt de la recherche semi-fondamentale, qui devrait être menée au Maroc, parallèlement aux recherches appliquées.

Toute prospection des sols dans diverses régions naturelles du Maroc devrait porter au moins sur deux observations de chaque profil type aux périodes de forte intensité des pluies et aux périodes de dessiccation des sols : (optimum climatique)

Les légendes établies pour les cartes pédologiques aux échelles moyennes (1/50,000-1/100000) devraient faire apparaître au moins les caractères des groupes et des sous-groupes de sols logiquement ordonnés d'où l'élaboration d'une typologie adaptée aux sols extrêmement variés du Maroc "Musée de sols" s'avère aussi nécessaire que l'utilisation correcte d'une classification à caractère mondiale. A ce propos, E.H. Del Villar a écrit "que la nature ne se prête pas à un système de compartiments conçu par l'homme, il faudrait plutôt systématiser la "forme d'expression" - (2)

.../...

- 1°) -Communication orale (Tavernier)
- 2°) -In la classification universelle des sols.

### CHAP III

---

LES APTITUDES CULTURALES DES SOLS DES ZIAIDA ET ARABESUD (MESETA MAROCAINE)

---

Chap : III - LES APTITUDES CULTURALES DES SOLS

La carte des aptitudes culturelles des régions des ZIAIDA et Arab-Sud a été établie d'après : - l'occupation des terres actuelle (forêts, matorrals, herbes, herbes cultivées ...), la végétation actuelle de ces régions en nous basant sur les travaux de Vindt et Théron (24) et sur nos propres observations de terrains

- les productions agricoles et leur rendements moyens estimés  
- les caractères intrinsèques et extrinsèques de fertilité et d'infertilité des sols - ou facteurs limitants - que nous essaierons de dégager dans ce chapitre.

1°) - LES FACTEURS LIMITANTS EXTRINSEQUES DES SOLS

a - Le climat -

Nous avons vu dans les chapitres précédents que le climat se caractérise par l'inégale répartition des pluies au cours de l'année, par une longue période sèche et par des amplitudes thermiques élevées et de faibles pluviosités moyennes annuelles. Il en résulte que "l'aridité" temporaire à laquelle succèdent des périodes de forte intensité des pluies constitue un des facteurs limitants - ou aléa - le plus aiguë et difficilement contrôlable. Les rendements moyens estimés sont très bas (6-7 qx : Ha en générales), voire les plus faibles rendements obtenus dans les régions de la Méséta atlantique Marocaine les hautes surfaces Villafranchiennes de l'arrière - pays de Rabat (Zaer) sont parmi les "régions pauvres" du Maroc occidentale-

Les productions forestières réagissent mieux que les céréales à l'aridité climatique ou à l'excès d'eau et donnent des résultats satisfaisants, notamment les Eucalyptus qui sont très peu "exigents" et qui s'adaptent aux sols Merzag, Merzaz et Harch. Cependant la régénération naturelle de la Subéraie est moyenne à faible sur certaines zones des plateaux villafranchiens : "le chêne-liège" recule devant les productions céréalières ou viticoles. Le chêne-liège qui recouvrait la presque totalité des plateaux est réduit au Sud-Est et Sud-Ouest de Ben Slimane (Rhabet Bir El Kelb et "forêt" de Boulhaut) à de faibles étendues, et ne subsiste au Nord et au Sud de Ben-Slimane que sous-formes de tâches éparses témoins d'anciennes subéraies. Ce recul de la suberaie résulterait des ruptures de l'équilibre climacique (24a) des conditions édaphiques défavorables et de la dégradation du chêne-liège par l'homme et les animaux (24b).

b - Le drainage "en grand" (Topographie)

- Le drainage défectueux des vastes surfaces planes de Ziaida et Arab-Sud est un facteur ambigu, soit limitant, soit favorable en fonction de l'intensité et de la répartition des pluies au cours de l'année : En période sèche, le drainage réduit amène les sols à un taux d'humidité viable au développement des racines (vignes et chêne-liège notamment). Par contre, en période de forte intensité des pluies, l'engorgement des sols et l'asphyxie des sols Merzag et Harch en profondeur nuit considérablement aux céréales, aux vignes et aux légumineuses.

- d'où la nécessité du drainage des sols à l'échelle régionale parallèlement aux possibilités d'irrigation. Cependant celle-ci est limitée sur les plateaux exhaussés par rapport aux Oueds la nappe aquifère étant très profonde et son débit faible (v/Hydrogéologie : chap. I).

## II - LES FACTEURS INTRINSEQUES DES SOLS

### a - l'hydromorphie et l'engorgement temporaire des sols .

L'asphyxie qui résulte de l'hydromorphie plus ou moins prolongée en profondeur des sols, généralement en B et entre 30 à 60 cm de profondeur, pendant les périodes des "grosses pluies" (hivers et début printemps) est en liaison avec:

- la discordance texturale des Harch et sols Merzag
- les drainages "interne" et "en grand" très réduits
- la texture lourde de tirs et leur forte capacité de rétention pour l'eau

l'hydromorphie ou l'engorgement temporaire des sols constituent les deux facteurs intrinsèques les plus aigus, ils limitent les possibilités d'extension et d'intensification des productions agricoles, corrélativement à l'aridité climatique. Ce paradoxe-aridité climatique et excès d'eau dans les sols traduit et intègre toutes les limitations à l'extension des productions agricoles, forestières ou fourragères.

Cependant, quand la répartition des pluies au cours de l'année est régulière, en fonction des cycles des productions agricoles, les sols tirs et Hamri donnent de très bons résultats en céréales et en légumineuses, les Harch en vignes et eucalyptus voire en nappier (cultures fourragères sur quelques ares au Sud-Est de Ben-Slimane).

La dessiccation brutale des sols consécutive à la sécheresse estivale ou période biologiquement sèche, amène les sols à des taux d'humidité proches ou inférieurs à leur coefficient de flétrissement permanent (pF<sub>4,2</sub>) ceci corrobore la nécessité d'irriguer les sols - apport d'eau de complément - des printemps (voir : profils hydriques des hamri, Tirs et Merzag).

#### b-LES ACCUMULATIONS DU FER ET DU CALCAIRE

La succession dans le temps et dans l'espace des phénomènes d'hydromorphie ou d'engorgement des sols et de dessiccations intenses, entraîne l'accumulation du fer et du calcaire sur plusieurs centaines d'hectares connue sous les termes locaux de "Merzag et Mekzaz" pour les accumulations du fer et de loin les plus importantes, et "Biada" pour les accumulations du calcaire ( cf. chap II ).-

- Les carapaces et cuirasses ferrugineuses et les Harch à pisolites et à concrétions occupent la presque totalité des hautes surfaces Villafranchiennes. leur accumulation et leur induration poussées entre 25 et 50 cm de profondeur limitent la pénétration des racines et réduisent toute activité biologique à ces niveaux. Les accumulations de calcaire se rencontrent surtout dans les régions de Ziada-Bled El Kettaba ou en périphérie des plateaux plio-moghrebien; et sont de moindre importance sur les dunes consolidées plio-quaternaire au Nord de Benslimane (Arab).

- Le défoncement des carapaces et cuirasses et des croûtes devrait précéder toute introduction de la vigne, d'eucalyptus ou autres productions agricoles (cf: Carte des aptitudes culturales i.f.) et être réalisé à l'échelle de plusieurs régions naturelles, étant donné que le cuirassement et l'encroûtement ne sont pas au stade de sénilité et que les processus qui leur ont donné naissance atteignent leur optimum sous les conditions bioclimatiques actuelles - (voir: genèse des Croûtes et des carapaces ).

.../...

3°) - La discordance texturale et les textures "déséquilib-rées"

- Les Harch, Merzag et Mekzaz ou planosols - sont des sols à texture sableuses ou sablo-limeneuses en surface et peu ou moyennement argileuse en profondeur: cette discordance texturale accentue les effets des carapaces et cuirasses et limitent les possibilités d'exploitation de toute la profondeur des sols par les systèmes racinaires. Nous avons observé dans ces sols des racines d'encalyptus et de chêne-liège s'incurver à la limite qui sépare les horizons sableux et les horizons argileux et qui se situe en moyenne au niveau d'induration des sesquioxides de fer en carapace et cuirasse.

Les horizons éluviaux très pauvres en éléments fins et très riches en limons fins sont le siège des phénomènes de battance en période d'humidification et de fortes dessiccations des sols.

Les Tirs, connus pour leur texture lourde, à éléments fins dominants, et pour leur forte capacité de rétention pour l'eau, sont des terres riches et "susceptibles de donner de meilleurs rendements si leur structure et leur propriétés physiques sont améliorées par le biais des méthodes culturales classique (26) (binage, sous-solage, modéré labour profond et régularisation du régime hydrique...)

4°) - Les éléments nutritifs.

Les teneurs en éléments nutritifs des sols sont très variables selon les types de sols et leur profondeur respective (v. Tableau recapitulatif...) - les tirs et sols tirsifiés sont en général bien pourvus en potasse, en magnésie, en chaux et en phosphore total, et pauvre en phosphore assimilable. Les Hamri montrent en surface une déficience en ces éléments: carence optimale dans les Harch, les Merzag et les Mekzaz.

sont

Tous les sols/peu pourvus en sodium échangeable et les risques d'alcalisation ou de salinisation sont très faibles.

Le Fer, oligo-élément mineur le plus important pour les plantes, se trouve en quantité plus que suffisante dans tous les sols.

Le calcaire actif est absent dans les Merzag et les sols rouges lessivés - Il augmente légèrement dans les Tirassans atteindre des teneurs nocives - les sols châtaîns subtropicaux et quelques sols bruns iso-humiques encroûtés montrent des teneur de l'ordre de 100 à 120 p. mille, qui d'après l'indice Gallet, sont des teneurs au delà desquelles la chlorose peut se manifester.

#### - CONCLUSION -

Les sols bruns isohumiques subtropicaux modaux (à cumuli. épipédon mollique ou à horizon épais) constituent des sols de référence du point de vue de leur fertilité potentielle, analogues aux chernozem de Russie, Les Merzag et Mekzaz seraient par contre analogues aux latérites des pays tropicaux, du point de vue de leur caractère d'infertilité et de leur aptitudes culturales très limitées.

Entre ces deux extrêmes, toute attribution d'une échelle de valeurs aux sols serait implicite, voire aléatoire. Les échelles que d'aucuns attribuaient aux divers types de sols du Maroc sont arbitraires et difficilement généralisables. Par contre il est nécessaire de préciser les caractères de fertilité ou d'infertilité potentielles des sols logiquement classifiés, et situés dans leur cadre bioclimatique et géomorphologique.

.../...

Manuscrit écrit en Mars 1970  
Refondu en Mai 1970

TABLEAU RECAPULATIF DES QUELQUES CARACTERISTIQUES  
PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS DES ZIAIDA - ARAB

|                                                            |                          | Coefficient<br>Surf. |       | Indice de<br>plasticité | I. de<br>maniabilité | Capacité<br>rétention            | Point de<br>flétrissement<br>permanent | Calcaire | pH   |     | matières<br>organiques | quotient | Taux<br>d'humifica-<br>tion | Complexe<br>Absorbant |              | Oxydes<br>de fer                                                                               | Fer %<br>Argile   | Eléments<br>" Fertilisants " |                    |                           |                       |              |         |         |        | Calcaire | Texture<br>Ø / 2 |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------|-------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------------|----------|------|-----|------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|--------------|---------|---------|--------|----------|------------------|
|                                                            |                          | CS                   | Sf/Sg | Ip                      | Im                   | C <sub>p</sub> - Ret<br>Pf = 2,5 |                                        | Total    | Eau  | Kcl | C <sub>t</sub> %       | C N      | AH + AF<br>Ct               | T /<br>Meq/100 g      | S x 100<br>T | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>1</sup><br><br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2</sup> | Fer 100<br>Argile | N %                          | P %<br>Assimilable | O <sub>2</sub> %<br>Total | K<br>Assimi-<br>lable | O %<br>Total | Ca<br>T | Mg<br>T | K<br>T | Actif    | Argile           |
| SLI 45<br>Rendzine                                         | A <sub>11</sub> 0-30     | 67                   | 1,52  | 29                      | 13                   | 33,8                             | 23                                     | 9,7      | 8,3  | 7,2 | 3,8                    | 12       | 1,3                         | 71,9                  | 102          |                                                                                                |                   | 0,18                         |                    | 0,92                      |                       | 4,3          | 0,83    | 0,15    | 0,13   | 6,8      | 65,5             |
| SLI 128<br>Sol brun<br>isohumique                          | A <sub>11</sub><br>0-20  | 18                   | 4,10  | 27                      | 6                    | 41                               | 27                                     | 28,5     | 8,2  | 7,2 | 6,4                    | 12       | 1,5                         | 45,1                  | 106          |                                                                                                |                   | 0,30                         |                    | 1,4                       |                       | 5,9          | 0,87    | 1,31    | 0,32   | 102,04   | 14,6             |
|                                                            | A <sub>12</sub><br>20-40 | 17                   | 5,08  | 22                      | 5                    | 37                               | 20                                     | 30,1     | 8,2  | 7,2 | 6,2                    | 13       | 1,5                         | 44,08                 | 100          |                                                                                                |                   | 0,28                         |                    | 1,4                       |                       | 6,1          | 0,86    | 1,02    | 0,18   | 103,31   | 13,6             |
| SLI 62 b<br>Sol châtain<br>rouge                           | A <sub>11</sub><br>0-30  | 77                   | 4,15  | 20                      | 3                    | 32                               | 23,8                                   | 3,4      | 8,2  | 7,1 | 4,0                    | 12       | 1,5                         | 45                    | 103          |                                                                                                |                   | 0,18                         |                    | 0,42                      |                       | 6,7          | 0,76    | 0,25    | 1,55   |          | 76,3             |
|                                                            | B<br>30-60               | 14                   | 0,89  | 29                      | 7                    | 32                               | 23,8                                   | 26,4     | 8,2  | 7,1 | 3,8                    | 12       | 1,3                         | 41                    | 105          |                                                                                                |                   | 0,18                         |                    | 0,57                      |                       | 6,5          | 0,77    | 0,24    | 1,36   |          | 10,7             |
| S L I 21<br>TIRS GRIS                                      | A <sub>11</sub><br>0-20  | 23                   | 0,83  |                         |                      | 15,5                             | 7,3                                    | Tr       | 7,8  | 6,5 | 1,19                   | 11       | 3,2                         | 21,3                  | 96           | 0,13                                                                                           | 18,3              | 0,06                         |                    | 0,238                     |                       |              | 0,54    | 0,25    | 0,10   |          | 21,8             |
|                                                            | A <sub>12</sub><br>40-60 | 36                   | 0,81  |                         |                      | 16,9                             | 10,7                                   | 4,5      | 8,8  | 7,8 | 0,46                   | 8        | 1,7                         | 35,1                  | 106          | 0,13                                                                                           | 10,8              | 0,03                         |                    | 0,146                     |                       |              | 0,35    | 0,43    | 0,06   |          | 35,1             |
| SLI 48<br>TIRS<br>NOIR                                     | A <sub>11</sub><br>0-20  | 79                   | 4,78  | 31                      | 9                    | 42                               | 23                                     | 1,9      | 7,7  | 6,3 | 1,85                   | 12       | 1,4                         | 67,9                  | 95           | 0,17                                                                                           | 97                | 0,09                         |                    | 0,391                     |                       |              | 0,68    | 0,24    | 0,10   |          | 78               |
|                                                            | A <sub>12</sub><br>20-60 | 73                   | 7     | 25                      | 5                    | 40                               | 23                                     | 1,4      | 7,5  | 6,0 | 1,81                   | 13       | 1,4                         | 64,5                  | 97           | 0,19                                                                                           | 10,3              | 0,08                         |                    | 0,341                     |                       |              | 0,67    | 0,24    | 0,07   |          | 71,3             |
| S L I 60<br>TIRS<br>MARRON                                 | A <sub>11</sub><br>0-20  | 69                   | 3,55  | 18                      | 6                    | 19                               | 12,8                                   | 2,9      | 8,2  | 7,6 | 2,0                    | 10       | 2,2                         | 55,4                  | 87           | 0,48                                                                                           | 10,5              | 0,12                         |                    | 0,620                     |                       |              | 0,86    | 0,05    | 0,12   |          | 68               |
|                                                            | A <sub>12</sub><br>20-50 | 49                   | 0,87  | 18                      | 8                    | 17,4                             | 13                                     | 32,4     | 8,4  | 7,7 | 1,6                    | 9        | 3,2                         | 48,8                  | 80           | 0,36                                                                                           | 14,6              | 0,10                         |                    | 0,478                     |                       |              | 0,72    | 0,05    | 0,08   |          | 48               |
| SLI 125 SOL<br>ROUGE ME-<br>DITERRAN-<br>EEN LESS-<br>IVE. | A <sub>11</sub><br>0-30  | 24                   | 2,21  |                         |                      | 18,2                             | 14,9                                   | Tr       | 7,1  | 5,9 | 1,18                   | 10       | 2,2                         | 10,3                  | Saturé       | 0,75                                                                                           | 21,2              | 0,06                         | 0,12               | 2,91                      |                       | 7,97         | 0,77    | 0,14    | 0,33   | 3,8      | 23,2             |
|                                                            | A<br>30-60               | 35                   | 2,29  |                         |                      | 35,1                             | 22,0                                   | Tr       | 7,2  | 6,1 | 0,57                   | 6        | 2,4                         | 17,6                  | 86           | 0,98                                                                                           | 18,9              | 0,05                         | 0,23               | 4,26                      |                       | 4,56         |         |         |        | 8,6      | 14,5             |
| SLI 24 -SOL<br>BRUN MED-<br>ITERRANEEN                     | A <sub>11</sub><br>0-30  | 58                   | 3,63  |                         |                      | 16,6                             | 12,2                                   | Tr       | 7,0  | 5,8 | 1,04                   | 6        | 4,4                         | 21,9                  | 89           | 0,57                                                                                           | 12,2              | 0,10                         |                    | 0,51                      |                       |              |         |         |        |          | 57,5             |
|                                                            | B<br>30-60               | 59                   | 4,14  |                         |                      | 17,6                             | 12,3                                   | Tr       | 7,1  | 5,8 | 2,85                   | 20       |                             | 21,5                  | 98           | 0,59                                                                                           | 12,1              | 0,08                         |                    | 0,48                      |                       |              |         |         |        |          | 58,8             |
| SLI 14 -SOL<br>HYDROMOR-<br>PHE à Bg<br>Lessive.           | A <sub>11</sub><br>0-20  | 16                   | 1,81  |                         |                      | 24,49                            | 16,24                                  | Tr       | 6,30 | 5,4 | 1,79                   | 10,8     | 1,79                        | 6,79                  | 68           | 0,316                                                                                          |                   | 0,09                         |                    |                           |                       |              | 0,38    | 0,23    | 0,01   |          | 14,3             |
|                                                            | Bg<br>56-76              | 49                   | 1,25  |                         |                      | 25,90                            | 17,14                                  | Tr       | 6,15 | 4,7 | 0,17                   | 2,9      |                             | 10,41                 | 52           | 0,41                                                                                           |                   | 0,03                         |                    |                           |                       |              | 0,32    | 0,15    | 0,004  |          | 18,5             |

ANNEXE I et II

~~6.6.54~~

BIBLIOGRAPHIE et METHODES D'ANALYSES DES SOLS

-ANNEXE II -

- METHODES D'ANALYSES -

I- ANALYSES CHIMIQUES -

-Préparation des échantillons :

-Terre finement pulvérisée et tamisée à 2/m/m ; 1m/m  
et 0,2 m/m -

a- Réaction des sols :  $PH_{\text{eau}}$  et KCl

- Méthode électropotentiométrique ( électrode combinée )

b- Carbone organique

- Méthode Walkley et Black : Oxydation du carbone par  
un mélange Sulfo-chromique " à froid "- et titrage de l'excès  
du bichromate par les "Sel de Mohr "

c- Matières organiques :

Taux de carbone C% x 1,724

d- Matières humiques

- Méthode MONONOVA modifiée par Ch THOMMAN - extraction  
par le pyrophosphate de sodium 0,1N à pH 10 : dosage des matières  
humiques totales par le Sel de Mohr - Séparation des acides hu-  
miques et fulviques par précipitation à l'acide sulfurique con-  
centré et dosage des acides humiques par le sel de Mohr après  
oxydation au bichromate de potassium - Les acides fulviques sont  
obtenus par différence .

e- Azote total

- Méthode Kjeldhal

f- Phosphore total

- Attaque par l'acide nitrique et l'acide perchlorique  
Dosage colorimétrique du phosphore -

g- Phosphore assimilable

- Méthode Olsen simple et méthode Truog

h- Potassium total

- Attaque à l'acide nitrique et perchlorique  
- Dosage par photométrie de flamme

i- Potassium assimilable :

- Extraction à l'acétate d'ammonium  
- dosage par photométrie de flamme

### j-Fer total

-Methode

-Attaque à l'acide chloridrique concentré. Dosage du fer par la méthode iodométrique. Réduction de l'ion ferrique par l'iodure de potassium et dosage de l'iode libre par le tiosulfate de sodium.

### k-Fer libre

-Méthode Kilner.

-Extraction par l'eau en présence de dithionite de sodium. -à pH 3,5 - 4,0. dosage du fer par la méthode colorimétrique à l'orthophénantroline.

### l-Eléments totaux

-Méthode JACKSON.

-Extraction par attaque triacide ( $H_2SO_4, HNO_3, HCl$ ). Dosage de  $CaO, MgO, K_2O, Na_2O, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$ , par les méthodes gravimétriques, photométriques et colorimétrique. Les oligo-éléments traces Mo, Ti, Co n'ont pas été déterminés (manque de capsules appropriés).

### m-Calcaire actif

-Méthode DROUINEAU

-Extraction par l'oxalate de  $NH_4$  0,2N neutre et titrant par  $KMnO_4$  0,1N.

### n-Cations échangeables

-Sols non calcaires: Extraction des cations échangeables par l'acétate de  $NH_4$  1N à pH 7,0. Dosage de Ca et Mg par photométrie de flamme.

-Sols calcaires: Extraction de Na et K par l'acétate de  $NH_4$  1N à pH 7,0. Dosage de Ca et Mg par complexométrie, de Na et K par photométrie de flamme.

-Sols calcaires: extraction de Na et K par l'acétate de  $NH_4$  1N à pH 7,0. Dosage par photométrie de flamme. Extractions des ions Ca et Mg par l'acétate de Na 1N à pH 8,2 et dosage de Ca et Mg par complexométrie, avec correction pour la solubilité du calcaire.

-Sols très calcaires (beaucoup de calcaire actif): Extraction des ions Ca et Mg par l'acétate de Na 1N à pH 8,2. Elimination de Ca par oxalate de  $NH_4$  et dosage de Mg par complexométrie. La teneur en calcium est obtenue par différence entre la valeur de la capacité d'échange et la somme de Mg, Na et K.

### p-Capacité d'échange

-Méthode BOWER.

-Saturation du sol par l'acétate de Na IN à ph 8,2;  
lavage du sol par l'alcool et extraction de l'ion Na par l'acé-  
tate de  $\text{NH}_4$  IN à ph 7,0. Dosage de Na par photométrie de flamme.

II- ANALYSES PHYSIQUES -

a- Granulométrie

-Densité sur terre deshumifiée et décalcarisée.

b- Calcaire total

-Calcimètre "Bernard".

c- Propriétés hydriques

-Méthode Richard.

d- Densités réelles : au picnomètre.

e- Limites mécaniques : Atterberg.

III- ANALYSES MINÉRALOGIQUES -

IV- ANALYSES THERMIQUES DIFFÉRENCIELLES (ATD) -

V- ANALYSES MICROBIOLOGIQUES -

-Reducteurs de fer : milieu de Bromfield.

|          |                     |                        |
|----------|---------------------|------------------------|
|          | -Cycle de l'Azote-- |                        |
| -Cermes- |                     | -Méthode: Winogradsky. |
|          | -Cycle du carbone-- |                        |

REFERENCE

I- Récis de Pédologie. Ph. Duchaufour.

II- Cours inédit.

III- Extrait de méthodes d'analyses ORSTOM. Labo. de BONDY. FRANCE

IV- Méthodes extraites: Notions de pédologie appliquée. IV Méthodes  
d'analyses. Bryssine. G.

V- Walkley et Black.

VI- Méthodes d'analyse du laboratoire (DRA).

ANNEXE I - BIBLIOGRAPHIE -

I - GENERALITES -

A- CLIMAT

- 1-Bagnouls.F et Gaussen.H:-Saison sèche et indice xérothermique.  
Toulouse,Fac.Scientif.,I953,Doc. pour la carte des  
product.vég, t 3,vol I,art 8 (pp 47).
- 2-Bidault.G et Débrach.J:-Climatologie du Maroc.  
Encycl.marit. col.I950.
- 3-Brignon.C et Sauvage.C:-carte des étages bioclimatiques du  
Maroc au I/500.000.  
Rabat,Com. Nat. Géogr. Maroc-I962. Atlas Maroc,  
(Pl 6b.)
- 4-Butzer.K.W:-Les changements climatiques dans les régions arides  
depuis le pliocène.  
in "Hist.Utilis.terres des régions arides".Paris,  
U.N.E.S.C.O.I96I.Rech. Zones arides.XVII (pp35-64).
- 5-Sauvage.Ch:-5a)Les étages bioclimatiques.  
in:Annales du serv.Phys. du globe et de la météo  
de l'Inst.Scién.Cherif.,TomeXX et XVIII.  
-5b)Quotient pluviométrique d'Emberger,son utilis-  
ation géographique de ses variations au Maroc.  
in: Annales du serv.phys. du globe et de la météo  
de l'Intitut Scien.Cherif. Tome XX I963 (pp II-23).
- 6-I.N.R.A. et IONESCO:-6a)Bibliographie d'études et recherches  
sur les zones arides (en particulier au Maroc).  
-6b)Considérations bioclimatiques et phyto-écolo-  
giques sur les zones arides au Maroc.  
in:Les cahiers devla Recherche Agronomique N° I9  
du I965.

B-GEOLOGIE

- 7-Arembourg :-Eustatisme et Isostasie.  
I952,C.R. Ac.Scientif. T.234 p.226.
- 8-Baudet.G,MAURIER.G et Ruellan.A:-Quaternaire marocain,observa-  
tions et hypothèses nouvelles.  
Extrait de la revue de géographie physique et géo-  
logie dynamique,vol IX fasc 4-Juillet-Octobre I967.
- 9-Bourcart.J:-La géologie du quaternaire au Maroc.  
Revue Scientifique I943 (pp. 3II - 336 - I2f).
- IO-Bourcart.J,Choubert.G et Marçais:-Sur la stratigraphie du  
quaternaire côtier à Rabat.  
C.R. Ac.Scientif. T.I28 P I949 (pp.I08 & I99).
- II-Choubert.G:-IIa)Aperçude la géologie marocaine.  
I946 N° 2 et 3 (pp.59 & 77).  
-IIb)Sur l'influence des pluviaux sur le creuse-  
ment et le comblement fluviatils pendant le qua-  
ternaire.  
C.R. Ac;Sc.,T.223, p.8IO.
- I2-Choubert.G et Bryssine.G:-I946.Sur les formations continen-  
tales du quaternaire marocain.  
C.R. Acad.Scientif. T.223, p.863.
- I3-Choubert.G:-I3a)I948.Au sujet des crôutes calcaires quater-  
naires.  
C.R. Ac.Scientif.,T.228,P.1630.

- I3b) 1948. Sur l'âge des limons rouges superficiels au Maroc.  
 C.R. Ac.Sc., T.227. P.588.
- I3c) 1948. Sur la nature des limons rouges superficiels au Maroc.  
 C.R. Ac.Sc., T.227. p.639.
- I4-Choubert.G(1956), Joly.F, Gigout.M, Marçais.J et Raynal.R(1956):  
 -Essais de classification du quaternaire continental du Maroc.  
 C.R. Ac.Sc., T.243. Séance du 30 Juillet 1956.
- I5-Destombes.j et Jeannette.A: -Mémoire explicatif de la carte géotechnique de la Méséta côtière à l'Est de CASABLANCA au 1/50.000. Région de MOHAMMADIA, BOUZNICA et BEN SLIMANE.  
 Notes et mémoires du service géologique du Maroc N° 180 bis. 1966.
- I6-Gigout.M: - Etude géologique de la Méséta marocaine occidentale 1951. chronologie du quaternaire récent marocain. Principe de la corrélation fluvio-marine.  
 C.R. Ac.Sc., T.244.p.2504 - 2507.
- I7-Gigout.M et Le Coz: -Aspect de la géomorphologie du Maroc(1952) p.135 Raynel et Dresh.
- I8-Gigout.M et Le Coz: -I8a) Notice explicative de la carte géologique provisoire de la région de CASABLANCA. 1949.  
 -I8b) Carte géologique provisoire des environs de CASABLANCA au 1/200.000.  
 Notice explicative " B III " 1949.
- I9-Le Coz: -I9a) Recherche sur la Néogénèse et le quaternaire marin de la côte atlantique du Maroc.  
 Notes et mémoires, ser. géol. du Maroc, N° 72 bis. P. 42 1950 - 52.  
 -I9b) Recherches géologiques dans la méséta marocaine. Mém.Serv.Scientif. Nat. Maroc. N° 14-1926 (158p., 32f., 18pl., 1 carte en couleur au 1/200.000).  
 -I9c) Etude géologique dans la région paléozoïque comprise entre Rabat et Tiflet. C.R. Ac. B II 17.
- 20-Russo.P: -Chronologie du quaternaire récent marocain, principes de la corrélation fluvio-marine.  
 C.R. Ac.Scientif. Tome.224, P. 2504 - 2507.
- 21-Termier.H et Termier.G: -Modes de gisement des basaltes "permotriassiques" au Maroc.

## C-VEGETATION

- 22-Emberger.L: -Aperçu sur la végétation au Maroc (avec une carte au 1/500.000).  
 in: mémoire hors série de la société des sciences naturelles du Maroc 1938.
- 23-Emberger.L et Régnier.P: -Aperçu sur la végétation de l'embochure de Bou-Regreg.  
 in: Bul. des Sci. Nat. du Maroc. Tome VI, 1926 (pp 78 - 86) 2pl.
- 24-Theron et Vindt: -Carte de la végétation du ZAER.  
 (Echelle 1/200.000)..
- 24b-IONESCO.T: -Considérations générales concernant l'érosion et la végétation du Maroc.  
 Revue géogr. Marocaine N° 6 1964 p.17 à 28.

- 25-Aubert.G :- Cours inédit.
- 26-Bryssine.G:-Les propriétés hydriques des Tirs du GHARB.  
page 87 des Cahiers de la Recherche Agronomique  
N° 20 du 1965.
- 27-Bryssine.I:-27a) LA richesse des sols marocains en germes cellulolytiques selon les conditions écologiques.  
Revue de la Recherche Agronomique AL AWAMIA N°24 du 1967.  
-27b) Notes au sujet de l'activité microbiologique de quelques types de sol des DOUKKALAS.  
Tiré à part AL AWAMIA N° II p.89 à 110 du Avril 1964.  
-27c) Quelques données sur la microflore des sols présahariens du Tafilalet.  
AL AWAMIA (Revue de la Recherche Agronomique)  
N° 23 du Avril 1967. page 125.
- 28-Bromfield.S.M:-The reduction of iron oxide by bacteria.  
(Rothamsted experimental station, Harpenden) 10 February 1953.
- 29-Cointepas.J.P:-Les sols rouges et bruns méditerranéens de Tunisie.  
O.R.S.T.O.I.. Service pédologique de Tunisie.
- 30-Decroux.J:- Bilan hydrique dans trois types de sols marocain.  
Cahier de la Recherche Agronomique N° 22 du 1966.
- 31-Duchaufour.Ph et Jacquin.F:-Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlés par l'électrophorèse.  
Annales Agronomiques, 1963, 14(6), 885 - 918.
- 32-Dudal.R :- Sols argileux foncés des régions tropicales et subtropicales.  
Collection FAO: Progrès et mise en valeur Agriculture cahier N° 83. Rome 1967.
- 33-Durand.J.H:-Sols rouges et crâtes. (Extrait).
- 34-Duchaufour.Ph:-Précis de Pédologie.  
Deuxième édition 1967.
- 35-Hess.C et Schoen.U:-Tirsification et classification des Vertisols.  
Tiré à part AL AWAMIA N° 13 du Octobre 1964 Page 41 à 92 .
- 36-Hess.C, Missante.G et Schoen.U:-Etude minéralogique des argiles de quelques roches-mères et sols des Béni Moussa (TADLA).  
Tiré à part AL AWAMIA N° 10 du 1964. p.115 à 139..
- 37-Hess.C, Icole.A et Schoen.U:-Aspects minéralogiques de quelques pédogénèses fossiles en haute CHAOUIA.  
Tiré à part AL AWAMIA N° 12 du Juillet 1964.  
p.95 à 119.
- 38-Lamouroux.L:-Les sols bruns méditerranéens et les sols rouges partiellement brunifiés du LIBAN.  
O.R.S.T.O.I., vol VI, N° 1-1968 (p.63).
- 39-Laurer.G et Schoen.U:-La méthode d'analyse des argiles appliquée à l'étude morphologique du RIF.  
Tiré à part AL AWAMIA N° 13 du Octobre 1964.  
(p. 93 à 117).

- 40-Margat.J, Raynal.R et Taltasse.P:-Deux séries d'observations nouvelles sur les croûtes au Maroc.(Couloir sud-rifain et Maroc oriental)
- 41-Maignien.R:-Induration des horizons des sols ferrallitiques. O.R.S.T.O.M. vol IV, N° 4-1966 (p.29).
- 42-Fujos.A:- Terres rouges,noires,grises.  
Travaux de la section de pédologie:Tome I2-1957.
- 43-Roederer.P:-43a)Les sols de la région maraichères CASABLANCA-BOUZHNIKA.  
Extrait des tomes 8 et 9 - 1954 in: Société des Scien.Nat.et Phys. du Maroc.  
-43b)Les sols de la station expérimentale d'ELLOUI-ZIA.  
Station centrale d'écologie (1957). D/ECL II I2.
- 44-Ruellan.A:-Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc.  
O.R.S.T.O.M. vol V,N° 4-1967. (p.42).  
-44b)Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc.  
Ronéotypé - Mai 1968.
- 45-Schoen.U:- Contribution à la connaissance des minéraux argileux dans le sol marocain.  
Station de Pédologie.Laboratoire de minéralogie du sol. Juin 1966.
- 46-Starkey.R.L et Wight.K.M:-Anaerobic corrosion of iron in soil. Final report of the American gas association iron corrosion research fellowship 1945.
- 47-Wilbert.J:-47a)Localisation géographique de la tirsification au Maroc.  
Cahier de la Recherche Agronomique N° 20 du 1965. (page I).  
-47b)Tirs et sols tirsifiés au Maroc.  
Cahier de la Recherche Agronomique N° 20 du 1965. (page 23).

### III-CLASSIFICATION

- 48-Aubert.G:- Classification des sols.Tableau des classes,sous-classes,groupe et sous-groupe de sols utilisés par la section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M.  
Cahier de l'O.R.S.T.O.M. vol III,fasc 3-1956.
- 49-Del Villar.E.H:-Méthode de classification analyse des sols.  
N° 2 Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien.
- 50-Dupont.J.P:-La classification pédologique du professeur Huguet Del Villar et les sols d'Afrique du Nord.  
Tome 2 et 3 du 1951.in:Soc. des Scien.Nat. Du Maroc.
- 51-Bryssine.G:-Réflexion sur la classification des sols.  
Centre de Recherche Agronomique,22 Mai 1956.  
-51b)Typologie des sols du Maroc.  
Extrait des tomes 8 et 9 années 1954.Soc. des Sci. Nat. et Phys du Maroc.
- 52-Dudal.R :- Définitions of soil units for the soil map of the World.  
FAO-U.N.E.S.C.O. 33.Avril 1968.
- 53-CPCS-Grignon:-Classification des sols.  
Document diffusé par le laboratoire de géologie-Pédologie de l'E.N.S.A. de Grignon, Edition de 1967.

- 54-Classification américaine:-Supplément to soil classification system.  
U.S.département of Agriculture Mars 1967.
- 55-FAO-UNESCO:-Approches to soil classification.  
FAO-UNESCO N° 32 du 1968.

#### IV-DIVERS

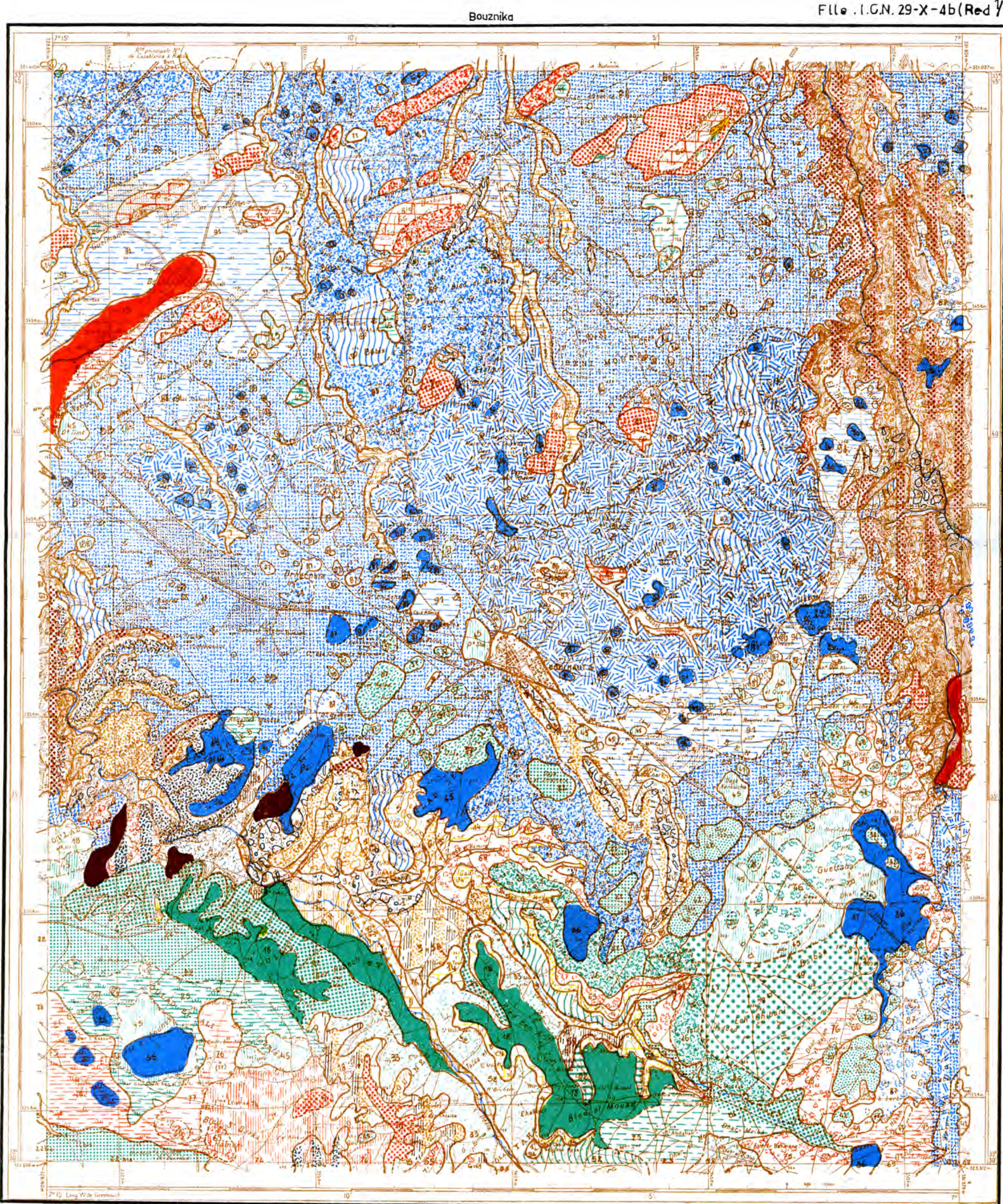
- 56-Bryssine.G:-Fertilité naturelle du sol et efficacité des engrais.  
Tiré à part AL AWAMIA N° I du Octobre 1961(p.II à 43).
- 57-Bachelier.G:-La vie animale dans le sols.  
Cahier de l'O.R.S.T.O.M. -3- 1963.
- 58-Bryssine.G:-Note sur la coloration des sols.  
Tomes 2 et 3 - 1951. Soc. des Sci.Nat. du Maroc.
- 59-Igbo Unamba-Oparah,Hans Pagel und Hasson Azziz Ramadan:-Beiträge zur kenntnis des Nährstoffhaushaltes wichtiger Böden der humiden Tropen.  
Thaer-Archiv.Bd.12.1968.H.7.S.591-605.BERLIN.
- 60-Jaminet.R:- Essai de normalisation de la cartographie des sols au Maroc.  
Extrait des tomes 4 et 5 année 1952.in: Soc. des Sci.Nat. du Maroc.
- 61-Joly.F et Sauvage.Ch:-Une excursion aux environs de RABAT.  
Extrait du numéro spécial du bulletin de l'enseignement public au Maroc consacré à l'enseignement des sciences (fasc. N° 2:les sciences naturelles).
- 62-Roederer.P:-Notice explicative de l'esquisse préliminaire des sols de Tunisie au 1/1.000 000.  
Section Spéciale d'Etudes de Pédologie et d'Hydrologie.République Tunisienne (Septembre 1959)(E-SII).
- 63-Roederer.P et les Pédologues de la Tunisie:-Légende des cartes pédologiques utilisée dans les études de la subdivision d'études pédologiques en Tunisie.  
Subdivision d'Etudes Pédologiques.République Tunisienne(E-S 52).
- 64-Yankovitch.L:-Etude Pédo-Agrologique de la Tunisie.  
Extrait des Annales du service Botanique et Agronomique de Tunisie.T.XII-XIII-1935-1936.
- 65-Segalen.F:- Le fer dans le sol.  
Cahier de l'O.R.S.T.O.M. Paris 1964.
- 66-Cavallar.W:-Esquisse de la carte du Maroc.
- 67-Monition.L:-Hydrogéologie-carte phréatique de l'Ouest de Ben-Slimane.

# CARTE PEDOLOGIQUE de BEN-SLIMANE (Ex BOULHAUT.)

Régions des ZIAIDA et de Sud-ARAB

PAR  
H. GHANEM

Service de la  
CARTOGRAPHIE  
des sols  
I. N. R. A  
Rabat Maroc  
1968



Dessiné par A. KHOBIZA & A. BENABDALLAH & H. GHANEM  
Prospection Pedologique avec la Collaboration de M. AGOUD.  
Echelle 1/100 000  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Km

## LEGENDE des SOLS - Carte Pédologique de Ben - Slimane (ex - Boulhaut )

Régions des Ziaida et de Sud - Arab

Echelle : 1/100.000 - 1968

### 1 SOLS MINERAUX BRUTS

. non climatiques

- d'érosion (sols squelettiques) lithosols à - psolites sur schistes ou quartzites satinés
- régosols { sur argile rouge gypsifère sur schistes altérés
- d'apport (d'hess caillouteux) alluvial et/ou colluvial sur limons, sables, galets

### 2 SOLS PEU EVOLUES

. non climatiques

- d'érosion
- d'apport (d'hess / froids)
- sols lithiques sur schistes ou sur quartzites satinés
- sols régiques sur schistes altérés, argile rouge
- calcimorphes { d'hess "légers" calcaires
- vertiques { d'hess "lourds" tirsifiés
- isohumiques { d'hess légers humifères
- hydromorphes { d'hess lourds à psolites

### 3 SOLS CALCIMAGNESIQUES

. Rendziniiformes

- rendzines vraies
- rendzines à horizons
- noires sur basalte doléritique
- encroûtées sur calcaire tendre siliceux
- sols bruns calcaires sur calcaire, loess et argile rouge

### 4 VERTISOLS\* et PARAVERTISOLS\* (TIRS et SOLS TIRSIPIFIÉS)

Topolithomorphes (à drainage externe réduit ou nul)

- grumosoliques (à structure arrondie sur au moins les 15cm supérieurs)
- noirs sur basalte doléritiques sur alluvions récentes (Tirs et sols tirsifiés noirs madoaux)
- gris sur marno-calcaires grés calcaires (Tirs gris Madoaux)
- encroûtées sur grés calcaire sur calcaire saccharoïde (Tirs sur croute)
- très hydromorphes sur marno-calcaires
- non grumosoliques (à structure anguleuse sur au moins les 15cm supérieurs)
- noirs sur basalte doléritique calcaire gréseux
- gris sur marno-calcaires sur grés calcaires { Tirs gris à psolites
- marrons sur calcaire friable { Tirs marrons et bruns
- très hydromorphes (sur grés)
- à c.v. moy! accentuée sols tirsifiés

. Lithomorphes (a drainages externe possible)

- grumosoliques
- non grumosoliques
- noirs sur basalte doléritique (Madoaux et sols tirsifiés des calcaires)
- noirs sur basalte doléritique (Tirs et sols tirsifiés madoaux)
- à c.v. moy! accentuée sur basalte doléritique et grés calcaire, argile rouge gypsifère

### 5 SOLS ISOHUMIQUES

à pédo-climat frais pdt la saison pluvieuse

- \* sols marrons (sols châtaîns subtropicaux) - typiques sur argile rouge du trias
- argileux, tirsifiés - vertiques sur argile rouge
- argileux, à psolites - hydromorphes sur colluvions

### 6 SOLS BRUNIFIES

des climats tempérés continentaux

- sols buns (neutres ou faiblement basiques) - eutrophes sur schistes argileux altérés

### 7 SOLS A SESQUIOXYDES DE FER (sols Fersialitiques)

- sols rouges méditerranéens (Hamri)
- non lessivés (ou peu lessivés) - peu développés sur lopiaz et grés calcaires - re sur schistes altérés
- (Hamri argileux) - modaux { profonds grés calcaire dunaire
- isohumiques (ou steppiques) sur grés calcaire dunaire
- encroûtées sur grés calcaire dunaire
- lessivés (Hamri léger) - hydromorphes " " "
- isohumiques (ou steppiques)
- modaux { profonds sur grés calcaire dunaire
- peu profonds sur lopiaz grés calcaire
- Sols bruns méditerranéens lessivés - hydromorphes sur grés calcaire

### 8 SOLS HYDROMORPHES

peu humifères (ou minéraux)

- à pseudo-gley argileux - vertiques sur schistes en voie d'altération
- riches en concrétions et amas ferrugineux sableux en surface et très riches en psolites - lessivés (avec/ou sans gley de profondeur) sur schistes
- à carapace (Merzag) massive, continue - modaux sur quartzites satinés
- discontinue, massive ou psolitique - lessivés sur schiste, quartzites, trachytes
- à texture sableuse en surface argileuse - lessivés et à Bg ou Bgg en profondeur sur schistes en voie d'altération
- à cuirasse (Mekzaz) massive - modaux sur quartzites satinées
- discontinue, massive ou psolitique - lessivés sur schistes quartzites
- à texture sableuse en surface argileuse - lessivés à Bgg sur schistes en voie d'altération en profondeur

### - Associations de sols

- Litosols (Régosols) ou (sols lithiques)
- Régosols (sols peu évolués hydromorphes) ou (sols marrons)
- Sols lithiques (sols peu évolués hydromorphes)
- Sols rouges méditerranéens - sols peu évolués régiques ou lithiques
- Sols brun (tempérés) eutrophes + sols régiques + S. Rouge Méditerranéens
- Sols hydromorphes minéraux (à carapace et à cuirasse) ou + sols rouge méditerranéens ou + litosols (sur schistes)

Region des ZIAIDA et de Sud-ARAB ( Ex - Boulhaut ) Par H. GHANEM

File 162-29-X1-4b (Red 1/2)

Institut National de la Recherche Agronomique. MAROC

Cartes consultées

Carte géologique du Maroc éch : 1/500 000

Carte géotechnique de la Meseta cotiere à l'Est

de Casablanca (ech; 1/50.000 par J. Destombes  
et A. Jeannette



## LEGENDE

QUATERNAIRE

 ALLUVIONS RECENTES } GHARBIEN

ql LIMONS et SABLES PISOLITHIQUES } VILAFRANCHIEN  
sur schistes et quartzites primaires

**NÉOGÈNE**

 CRES CALCAIRE DUNAIRE

**ppm** CALCAIRE SABLEUX MARIN et calcaire marneux

## PERMO - TRIAS

 ARGILE ROUGE à attapulgite (et à sépiolite)

## CARBONIFERE

 SCHISTES argileux

**HS** . QUARTZITES blancs - rosés à interlits schisteux } STRUNIEN

## DEVONIEN

 SCHISTES argileux micacés, calcaire récifal, marbre bleu

## SILURIEN

 SCHISTES argileux.

## ORDOVICIEN

**OR** SCHISTES noirs et gris hypermicacés et QUARTZITES grossiers

## CAMBRIEN

 SCHISTES argileux et PSAMMITES

## ROCHES ERUPTIVES

BASALTE - DOLERITIQUE (du Trias) (Oued Dir - Oued Séfrou)

 TRACHY- ANDESITE (Acadien ) Oued Rhbar.



Cônes d'éboulis

**AFFLEUREMENTS ROCHEUX**

 QUARTZITES Soukhrat (pl. Skhour-s )



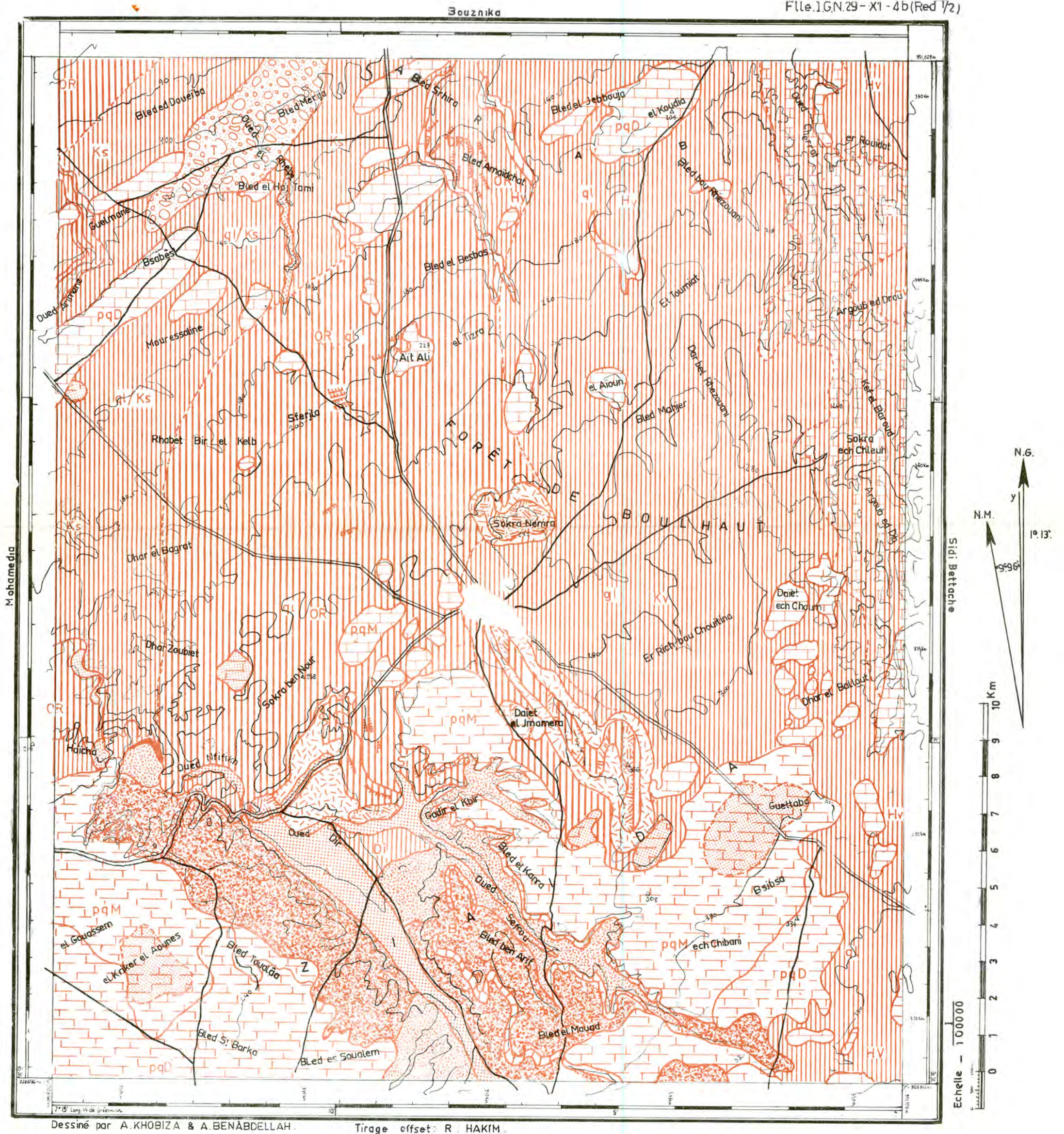
QUARTZITES skhirat

 CALCAIRES : ( crêtes

— Limites observées ou interprétées

--- Limites hypothétiques ~~~~~ cues

     Routes principales           Routes secondaires

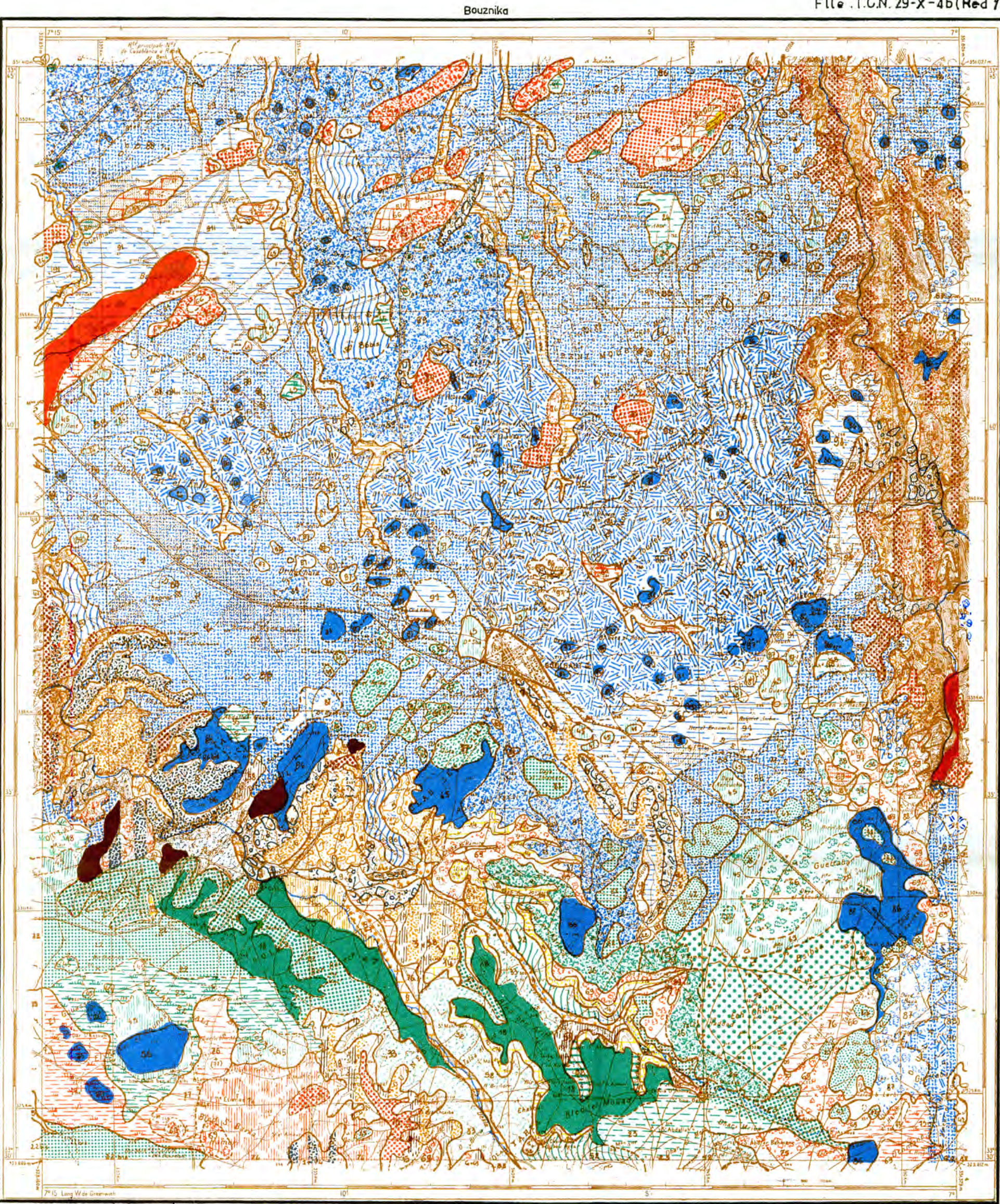


CARTE PEDOLOGIQUE de BEN-SLIMANE (Ex BOULHAUT.)

Régions des ZIAIDA et de Sud-ARAB

PAR  
H. GHANEM

Service de la  
CARTOGRAPHIE  
des sols  
I. N. R. A  
Rabat Maroc  
1968



Dessiné par A. KHOBIZA & A. BENABDALLAH. & H. GHANEM  
Prospection Pedologique avec la Collaboration de M. AGOUD

Echelle 1/100000  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Km

LEGENDE des SOLS - Carte Pédologique de Ben - Slimane (ex - Boulhaut )

Regions des Ziaida et de Sud - Arab

Echelle : 1/100.000 - 1968

1 SOLS MINERAUX BRUTS

. non climatiques

- d'érosion (sols squelettiques)

lithosols à - psolithes sur schistes  
ou quartzites satinés  
régosols { sur Argile rouge gypsifère  
sur schistes altérés



- d'apport (d'hess caillouteux)

alluvial et/ou colluvial  
sur limons, sables, galets



2 SOLS PEU EVOLUES

. non climatiques

- d'érosion

sols lithiques sur schistes  
ou sur quartzites satinés  
sols régiques sur schistes  
altérés, argile rouge  
calcimorphes { d'hess "légers"  
calcaires



- d'apport (d'hess / froids)

vertiques { d'hess "lourds"  
tristifiés  
isohumiques { d'hess légers  
humifères  
hydromorphes { d'hess lourds  
à pisolithes



3 SOLS CALCIMAGNESIQUES

. Rendziniiformes

- rendzines vraies

noires sur basalte doléritique



- rendzines à horizons

encroûtées sur calcaire tendre  
siliceux  
sols bruns calcaires  
sur calcaire, lohm et argile rouge



4 VERTISOLS\* et PARAVERTISOLS\*\* (TIRS et SOLS TIRISIFIES)

Topolithomorphes (à drainage externe réduit ou nul)

- grumosoliques (à structure  
arrondie sur au moins les 15cm supérieurs)

noirs sur basalte doléritique  
sur alluvions récentes  
(Tirs et sol tirisifiés noirs madox)  
gris sur marno-calcaires grés  
calcaires (Tirs gris Madox)



- très hydromorphes sur  
marno-calcaires

encroûtées sur grés calcaire  
sur calcaire saccharoïde  
(Tirs sur croute)  
gris sur basalte doléritique  
calcaire gréseux



- non grumosoliques (à structure  
anguleuse sur au moins les 15cm supérieurs)

noirs sur basalte doléritique  
calcaire gréseux  
gris sur marno-calcaires  
sur grés calcaires



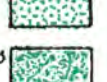
- lithomorphes (à drainages externe possible)

noirs sur basalte doléritique  
(Tirs et sol tirisifiés des cailloux)  
noirs sur basalte doléritique  
(Tirs et sol tirisifiés madox)



- à c.v. moy! accentué

sur basalte doléritique et  
grés calcaire, argile rouge  
gypsifère



5 SOLS ISOHUMIQUES

à pédo-climat frais pdt la saison pluvieuse

\* sols marrons (sols châtaîns subtropicaux) - typiques sur argile rouge  
du trias



argileux, tristifiés - vertiques sur argile rouge



argileux, à pisolithes - hydromorphes sur collu-  
vions



6 SOLS BRUNIFIES

des climats tempérés continentaux

sols buns (neutres ou faiblement - eutrophes sur schistes argileux altérés  
basiques (mésotrophes)



7 SOLS A SESQUIOXYDES DE FER (Sols Fersialitiques)

- sols rouges méditerranéens (Hamri)

- non lessivés (ou peu lessivés) - peu développés sur lapias et grés calcai-  
- re sur schistes altérés  
(Hamri argileux) modaux - profonds grés calcaire dunaire



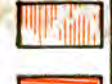
- isohumiques (ou steppiques) sur grés calcaire dunaire



- encroûtées sur grés calcaire dunaire



- lessivés (Hamri léger) - hydromorphes " " "



- isohumiques (ou steppiques)



- profonds sur grés calcaire dunaire



- peu profonds sur lapias grés calcaire



- Sols bruns méditerranéens lessivés - hydromorphes sur grés calcaire



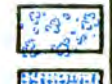
8 SOLS HYDROMORPHES

peu humifères (ou minéraux)

- à pseudo-gley argileux - vertiques sur schistes en voie d'alté-  
- ration  
- à carapace (Merzag) massive, con- lessivés (avec/ou sans gleyde prof-  
- ondeur) sur schistes  
- sableux en surface et très riches en pisolithes



- à cuirasse (Mekzaz) massive, con- modaux sur quartzites satinés -  
- tinue



- discontinue, massive ou pisolithique - lessivés sur schiste, quartzites, trachytes



- à texture sableuse en surface argileuse - lessivés et à Bg ou Bgg  
- en profondeur sur schistes en voie d'altération



- à cuirasse (Mekzaz) massive - modaux sur quartzites salinées -  
- continue



- discontinue, massive ou pisolithique - lessivés sur schistes quartzites



- à texture sableuse en surface argileuse - lessivés à Bgg sur schistes en voie  
- en profondeur d'altération



- Associations de sols

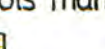
Litosols + Régosols (ou + sols lithiques)



Régosols + (sols peu évolués hydromorphes) ou + (sols marrons)



Sols lithiques + (sols peu évolués hydromorphes)



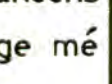
Sols rouges méditerranéens + sols peu évolués régiques ou lithique



Sols brun (tempérés) eutrophes + sols régiques + S. Rouge Mé diterranéens



Sols hydromorphes minéraux (à carapace et à cuirasse) ou + sols rouge mé



- diterranéens (sur schistes) ou + litosols

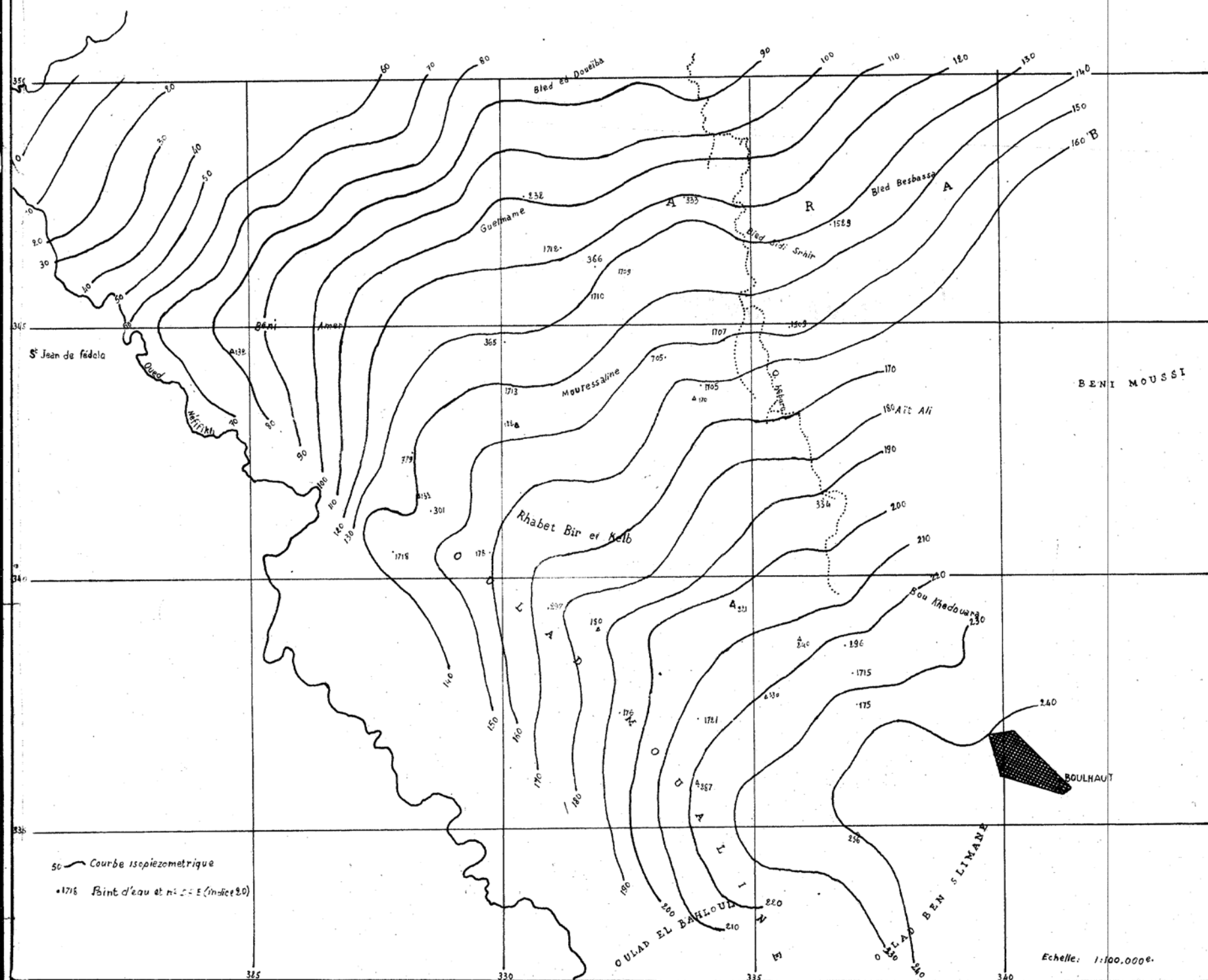


H. GHANIM

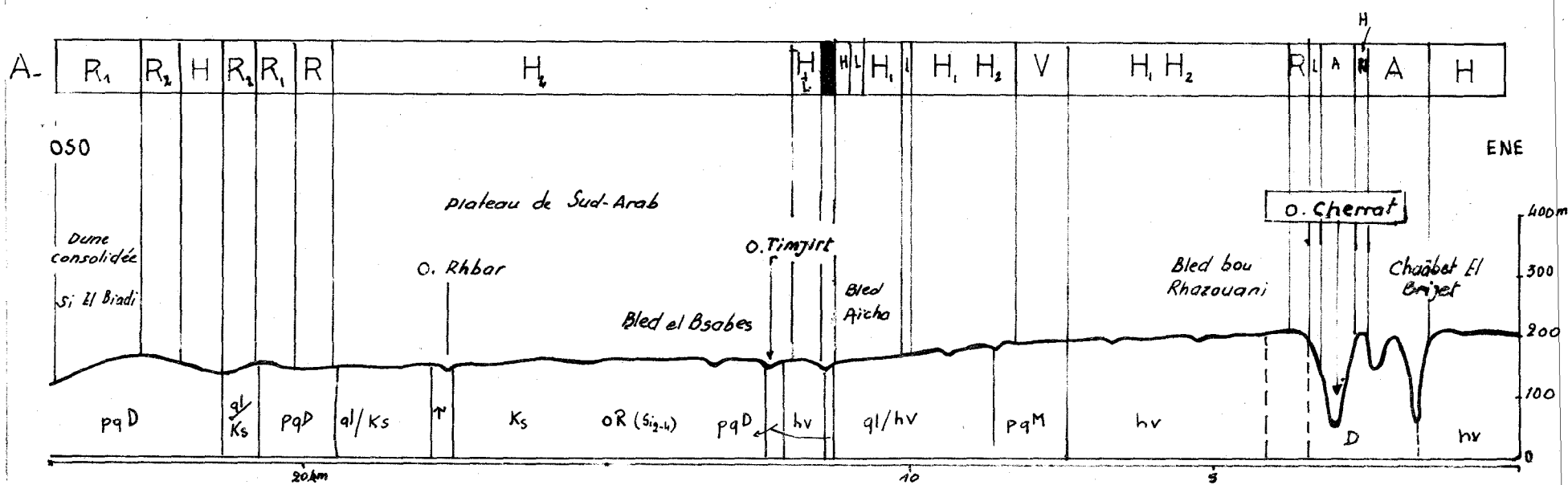
# CARTE PHREATIQUE DE LA REGION OUEST DE BEN SLIMANE (EX-BOULHAUT)

D'APRES L. MONTION

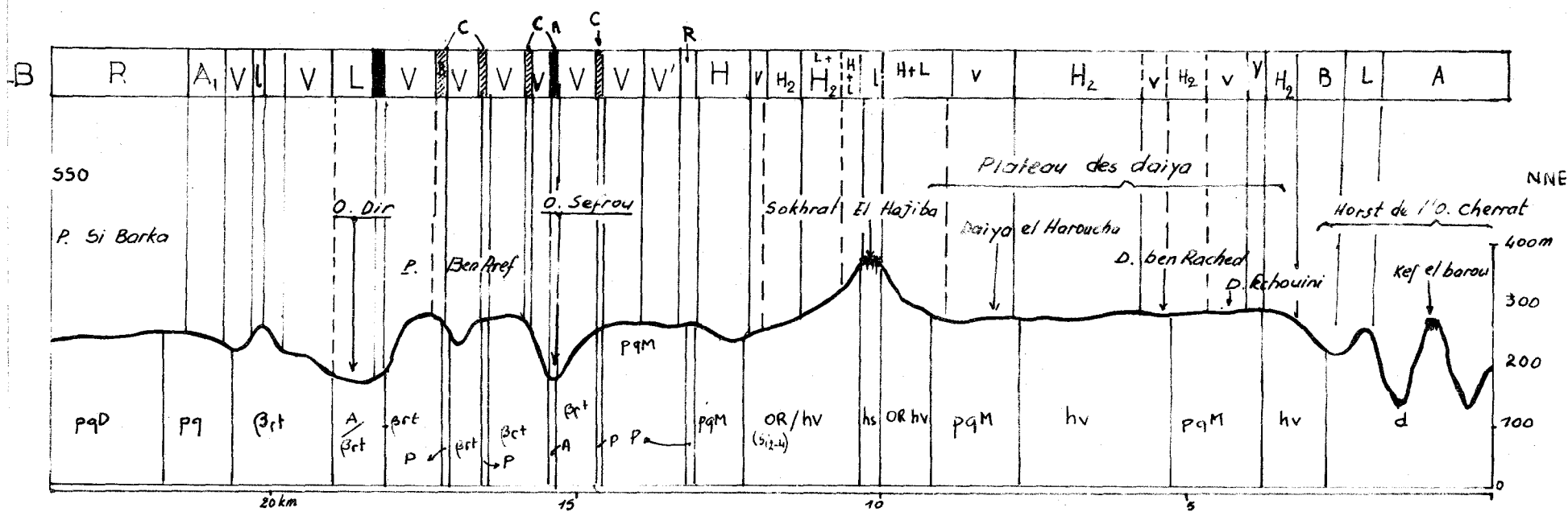
N.



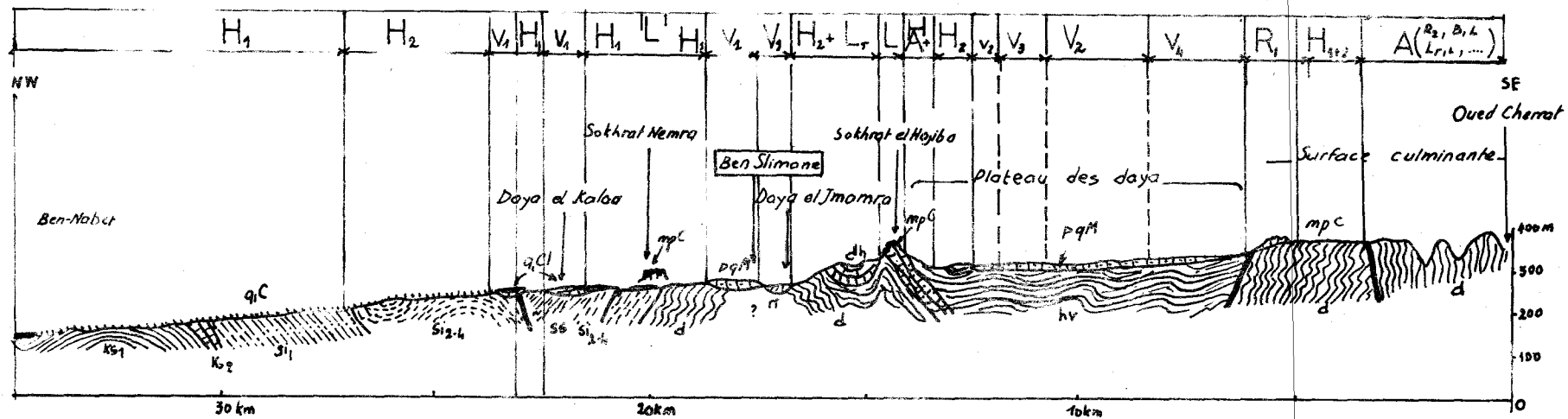
## REPARTITION DES SOLS Sur les diverses formations géomorphologiques



Coupes Pédoto-topo-lithogiques A et B



Coupe Pédogéologique. C.



## LEG ENDES

SOLS

- [illegible]

## Formations géomorphologiques

- $p_{qM}$  Moghreben (grès-calcaire)
- $q_{CI}$  Villafranchien — { - calcaire lacustre
- $q_{IC}$  — { - Limons à "pisolithes"
- $m_{PC}$  Mio-pliocène — H<sup>te</sup> surface de Ben-Slimane
- $r_{t-}$  Permo-trias — Basalte doléritique - Argile rouge gypsifère
- $h_v$  Carbonifère — schistes
- $d$  Dévonien — schistes, calcaire "recifal" (marbre bleu)
- $s_s$  Silurien — schistes, quartzites
- $s_i$  Ordovicien — quartzites et schistes
- $K_{s_1}$  {
- $K_{s_2}$  { Acadien quartzites - schistes.
- $r$  : trachyte de L'oued Rhbar

# CARTE DES APTITUDES CULTURALES REGIONS DE BEN SLIMANE (ZIAIDA - ARAB)

PAR H. GHANEM

Ech: 1/100.000

## LEGENDE

### I VEGETATION NATURELLE

#### FORETS (et/ou Matorrals)

- SUBERIAIE** Quercus Suber (chêne-liège) Forêt de  
sous bois: Rhus pentaphyllum (Tizra) et Cytisus l. (cytises) ben Slimane, Rhabet Bir et kelb
- CALLITRIAIE** Colliris articulata: Thuya de Berberie versant du  
Pistacia, lentiscus N'fifikh  
Olea Europa, phytol. latifolia et cherrat
- CHAMAEROPAIE** Plateau  
Chamaerops humilis (palmier nain ou doum) Villafrane  
asphodelus microcarpus (asphodelles) chien  
Rhus pentaphyllum (Tizra)  
(terres cultivées partiellement dédomées)
- ERMES HYGROPHILES** Toutes  
Strates herbacées inférieures à base de papyrus

### II VEGETATION "Introduite"

- Céréales (ble, orge, maïs, sorgho...) et vignes
- Céréales et légumineuses (fèves, féveroles...)
- Agrumes
- Oliveraie (et arbres fruitiers divers)

### III PRINCIPALES APTITUDES CULTURALES

- Chêne-liège:** Forêt de Ben-Slimane, Rhabet Bir-Ekelb
- Thuya (et pin d'Alep):** Versants des Oueds Cherrat et N'fifikh
- Eucalyptus:** Daiyas, Plateau et Versants (Sud. Arab)
- Céréales et vignes:** Plateau Villa-Franchien "Arab"
- Céréales et légumineuses:** Plateau (Au S.O.) Moghrebi "Ziaida"
- Prairies temporaires:** Toutes Daiyas (ou dollines)
- Agrumes (genre citrus):** Alluvions des Oueds Dir et N'fifikh
- Arbocultures (olivier, amandier, figuier...):** Versants des Oueds Dir
- Betteraves et céréales:** Ziaida (Oued Setrou)
- Polycultures:** dunes consolidées quaternaires

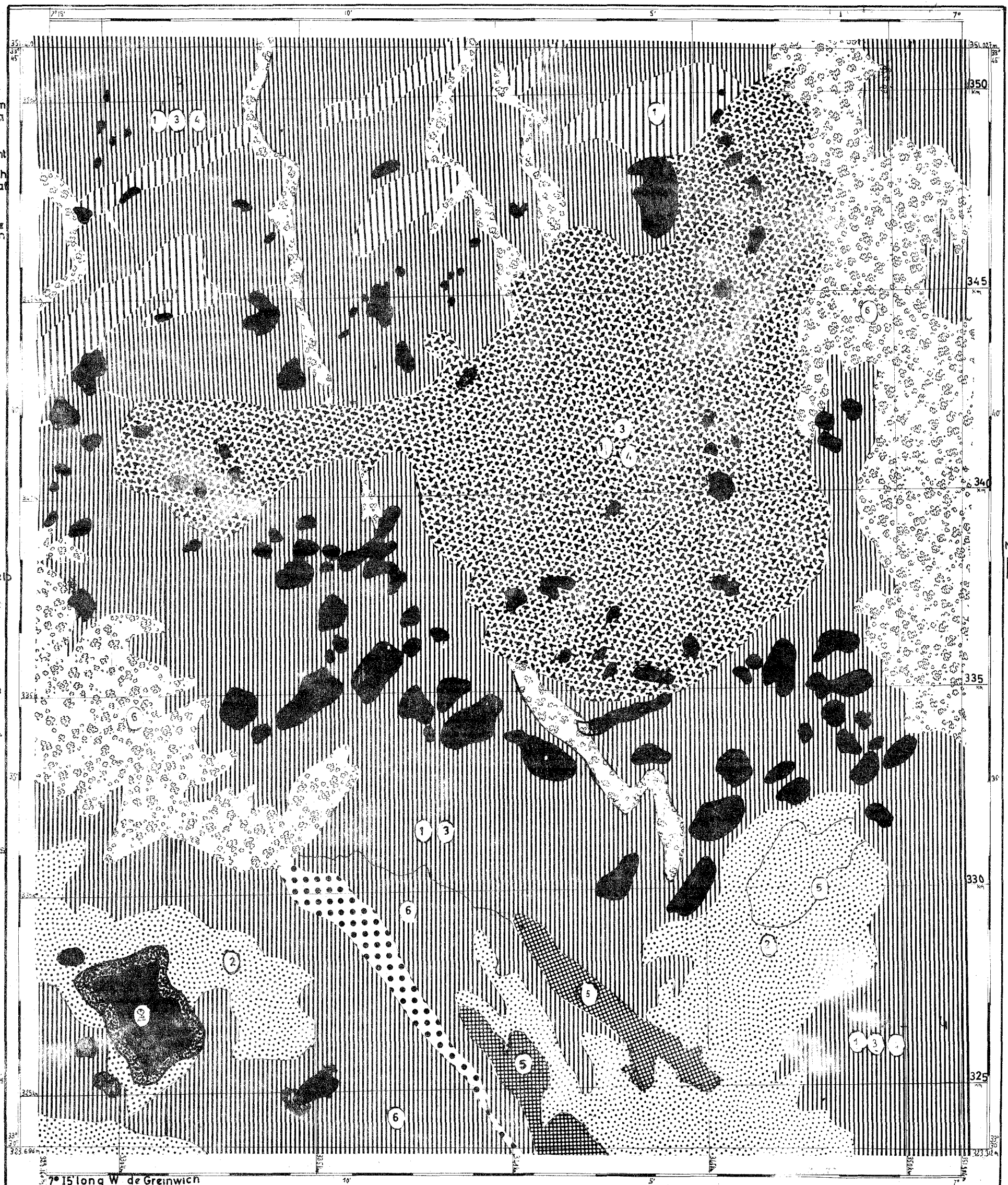
#### PRINCIPAUX FACTEURS LIMITANTS INTRINSEQUES DES SOLS

- 1 Discorde texturelle ①
- 2 Sol trop lourd ②
- Hydromorphie (exès d'eau en profondeur ou nappe temporaire) ③
- 2 Carapace-cuirasse et niveau d'induration des sesquioxides ④
- 3 Encroûtement et croûte ⑤

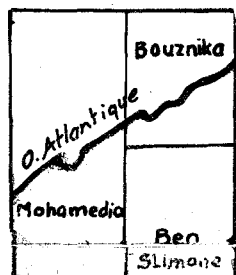
#### PRINCIPAUX FACTEURS LIMITANTS EXTRINSEQUES DES SOLS

- CLIMAT** (Pluviosité faible, irrégularité des pluies, sécheresse)
- (Irrigation limitée (aux basses terrasses) (nappe aquifère: débit faible) (nappe aquifère: profonde))

- ⑥ **EROSION:** en ravins ou généralisée (et topographie)



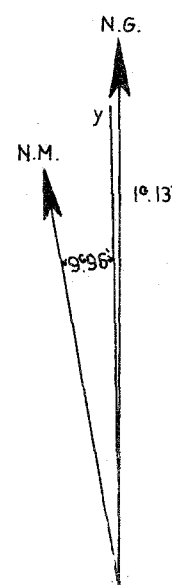
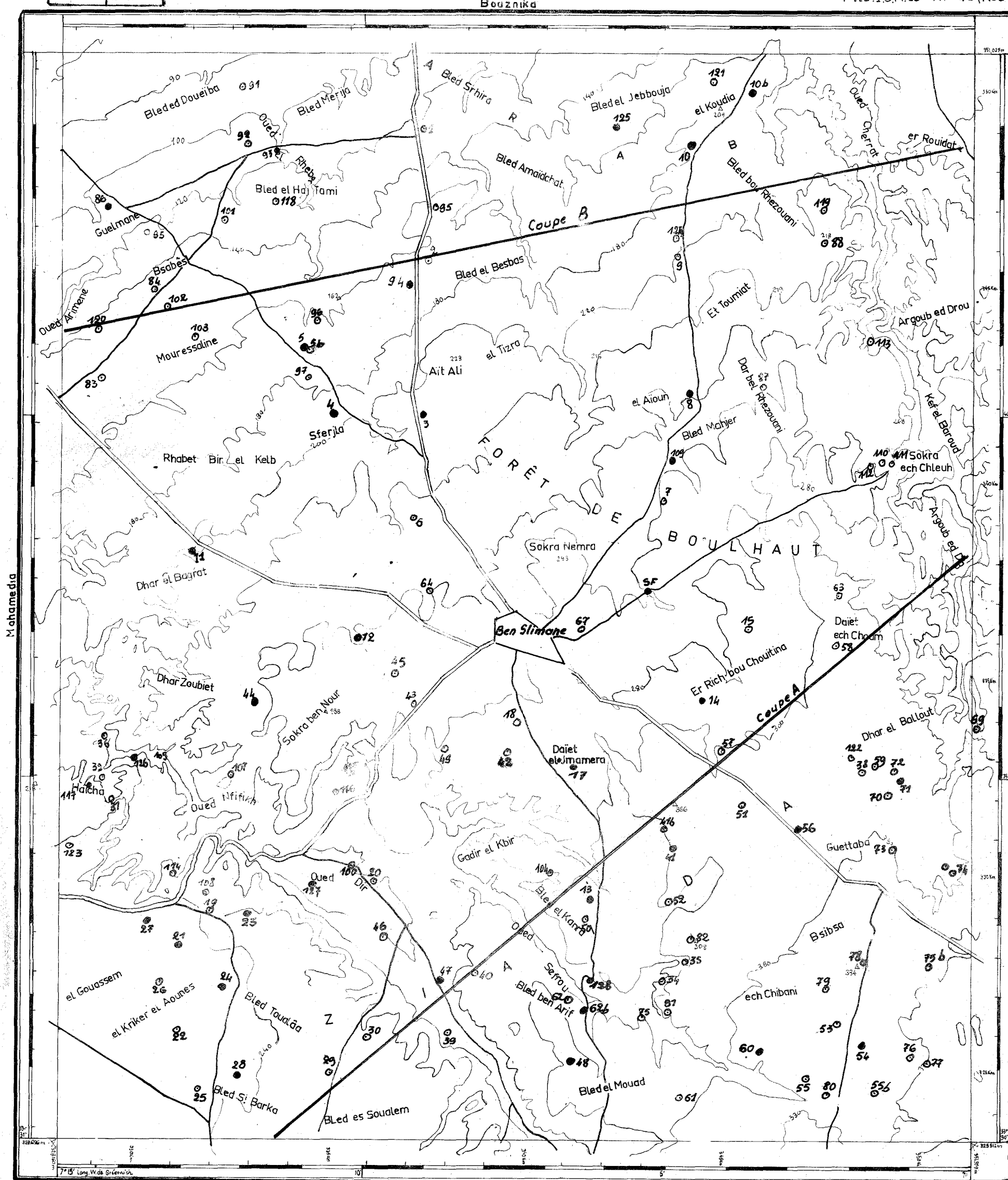
7° 15' long W de Greenwich



# ZIADA et Sud-ARAB : Croquis de situation (Régions de BEN-SLIMANE)

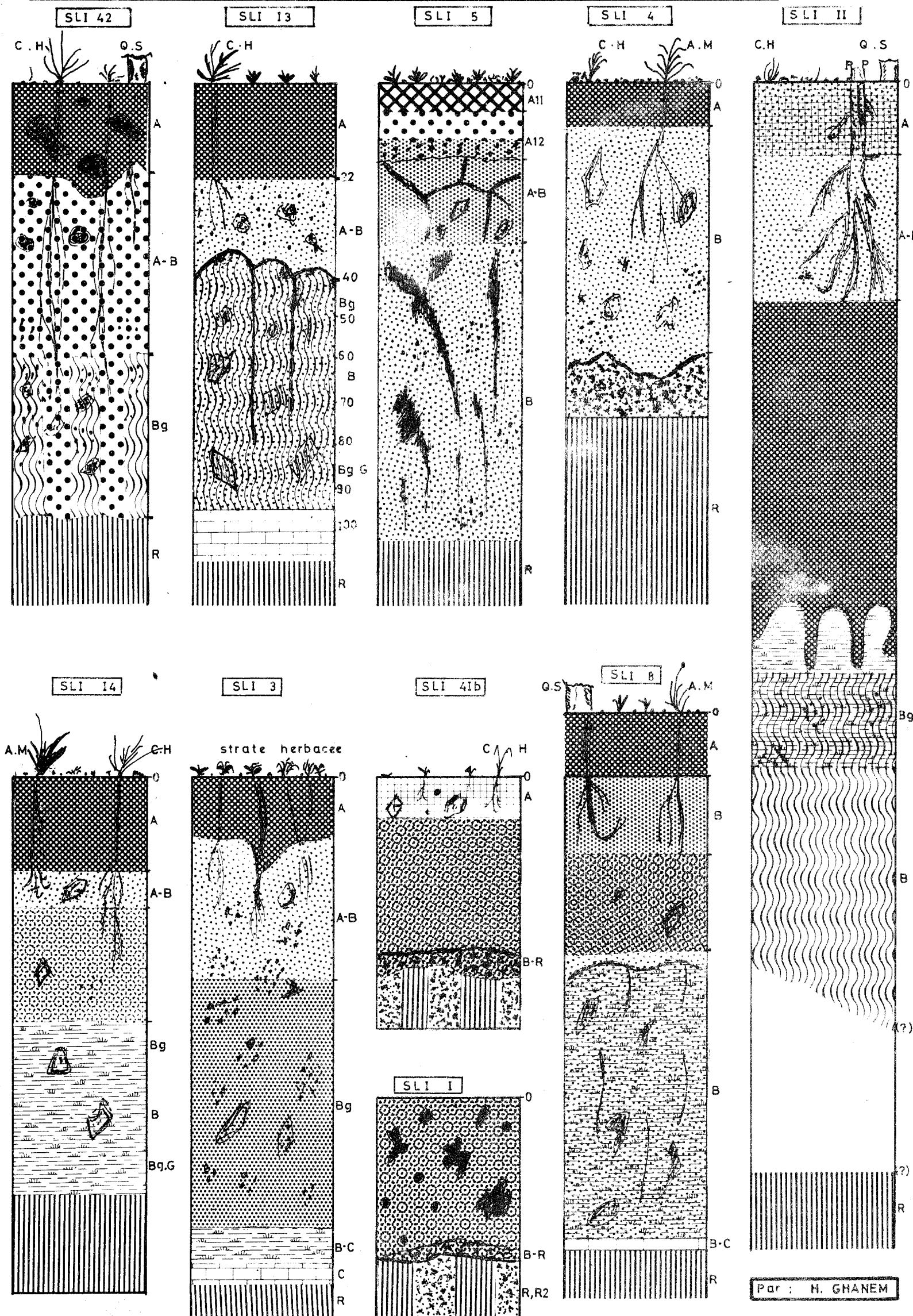
- Profils types (décrits et analysés)
- Profils décrits
- A et B : coupes pédonologiques

Fille.IGN.29-XI-45(Red 1/2)



H. GHANEM

# MORPHOLOGIES DES SOLS HYDROMORPHES



## MORPHOLOGIE DES HORIZONS

### A) HORIZONS

|                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Horizons Humifères (A1):           | Humus doux                         |
| à pisolithes limoneux non calcaire | Mull (s/s culture)                 |
|                                    | Litière                            |
|                                    | Mull - Moder (s/s Forêt, s/s Erme) |
|                                    | Mull (h. peu humifère.)            |
| Horizons Eluviaux                  | Limone sableux                     |
|                                    | Sableux                            |
| Horizons Illuviaux                 | Argileux à pisolithes              |
|                                    | Argileux à Slikensides             |
|                                    | A pseudo gley de profondeur        |
|                                    | Marno. calcaires                   |
| Roches. meres                      | Quartzites                         |
|                                    | Schistes                           |

### B) FORMES D'ACCUMULATION DU FER ET DU MANGANESE

|                                                        |
|--------------------------------------------------------|
| Pisolithes (ferri-manganiques)                         |
| Concrétions dans matrice sable-limoneuses              |
| Concrétions et Amas ferrugineux (ou ferri-manganiques) |
| Carapace fer. pisolithique                             |
| Cuirasse fer. pisolithique                             |
| Cuirasse de fer massive + quartzites (galets)          |
| Quartzites satinés                                     |
| Surface du sol riche - en concrétions ferrugineuses    |
| Structure en colonettes (ou colonnaires)               |

### VEGETATION

|      |                             |
|------|-----------------------------|
| C.H. | Chamaerops humilis (doun)   |
| A.M. | Asphodelus microcarpus      |
| Q.S. | Quercus suber (chêne-liège) |
| R.P. | Rhus pentaphyllum (Tizra)   |
| *    | Strate herbacée inférieures |

## TYPOLOGIE DES SOLS

|        |                                                        |
|--------|--------------------------------------------------------|
| SLI 42 | Sol hydromorphe minéral à pseudo gley, lessivé         |
| " 13   | S.H.M. à pseudo gley, lessivé et vertique              |
| " 5    | " " à amas ferrugineux de surface, lessivé et vertique |
| " 4    | " " à pseudo gley, lessivé à pseudo-carapace           |
| " 14   | " " à carapace, lessivés et à Bg.                      |
| " 3    | " " à carapace partiellement indurée, lessivé          |
| " 41b  | " " à cuirasse, modal                                  |
| " 8    | " " à cuirasse, lessivé et à Bg                        |
| SLI I  | " " à cuirasse fossile                                 |
| SLI II | " " à cuirasse épaisse, lessivé, à Bg profond          |

### Echelle des profondeurs

