OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

TOME PREMIER

SOMMAIRES ET BIBLIOGRAPHIE

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

E T U D E P E D O L O G I Q U E

D E L A

P L A I N E D U Z E B R A

*****

TOME PREMIER

SOMMAIRES ET BIBLIOGRAPHIE

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

SOMMAIRES ET BIBLIOGRAPHIE

SOMMAIRE GENERAL

	Pages
SOMMAIRE DES TABLEAUX	XIV
SOMMAIRE DES FIGURES	XX
SOMMAIRE DES PHOTOS	XXIX
SOMMAIRE DES PIECES HORS-TEXTE	XXXIV
BIBLIOGRAPHIE	XXXV
PREFACE, par Monsieur TEMSAMANI, Directeur du Périmètre de la Basse Moulouya	XLI

.../...

Pages

PREAMBULE 1

PREMIERE PARTIE : ETUDE DU MILIEU 6

INTRODUCTION 7

CHAPITRE I : LA GEOLOGIE ANTE QUATERNAIRE 11

I.- Le Secondaire 11

A.- Le Jurassique inférieur et moyen 11

B.- Le Jurassique supérieur 12

C.- Le Crétacé 12

II.- Le Tertiaire 12

A.- L'Eocène - Oligocène 12

B.- Le Miocène 13

a) Le Burdigalien 13
b) Le Vindobonien 13

C.- Le Pliocène 15

D.- Le Villafranchien Inférieur 15

CHAPITRE II : GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DU QUATERNAIRE 21

I.- Le Villafranchien Supérieur = Moulouyen 24

A.- Le Moulouyen inférieur 24

B.- Le Moulouyen supérieur 26

.../...

Pages

II.- Le Salétien 27

III.- L'Ain rien 29

IV.- Le Tensiftien 31

V.- Le Soltanien 36

VI.- Le Rharbien 37

VII.- L'évolution actuelle 39

VIII.- Conclusions 44

A.- Les dépôts quaternaires 44

B.- La topographie 46

CHAPITRE III : LA CLIMATOLOGIE 52

I.- La pluviométrie 55

II.- La température 61

III.- L'hygrométrie et l'évaporation 67

IV.- Les vents 67

V.- Les indices climatiques 70

A.- Les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussens, modifiés par Pujos..... 71

B.- Le quotient pluviothermique d'Emberger..... 72

C.- Les indices climatiques de Thornthwaite..... 73

VI.- Conclusions 74

.../...

Pages

CHAPITRE IV : LA VEGETATION 93

I.- La végétation par rapport au climat 93

A.- La plaine au Sud 94

B.- La bande Nord 95

C.- Les plateaux 96

II.- La végétation par rapport aux sols 101

A.- Les plantes annuelles 101

a) Les plantes annuelles steppiques..... 101
b) Les plantes annuelles non steppiques 102
1º) Plantes à racines peu profondes 102
2º) Plantes à racines profondes 102

B.- Les plantes vivaces, buissonnantes, arbustives.. 103

III.- La végétation par rapport à l'action de l'homme 104

CHAPITRE V : L'EAU DE LA MOULOUYA 109

I.- L'analyse des eaux 110

A.- La salure totale 110

B.- La composition de la salure 112

II.- La qualité des eaux..... 114

A.- Les normes utilisées 114

a) Salure 114
b) Composition de la salure..... 115

B.- Le classement de l'eau de la Moulouya..... 117

a) La salure 117
b) La composition de la salure..... 120

.../...

Pages

CHAPITRE VI : L'OCCUPATION HUMAINE 128

DEUXIEME PARTIE : ETUDE DES SOLS 132

INTRODUCTION : METHODES ET CLASSIFICATION 133

I.- Les méthodes de terrain 134

II.- Les méthodes de laboratoire 138

1º) Granulométrie 138
2º) Stabilité structurale 139
3º) Capacité de rétention 139
4º) pH 139
5º) Calcaire total 140
6º) Salure totale 140
7º) Carbone total 140
8º) Azote total 140
9º) Phosphore assimilable 140
10º) Phosphore total 140
11º) Potasse assimilable 140
12º) Potasse totale 141
13º) Cations échangeables et capacité d'échange 141
14º) Salure des eaux 141

III.- La classification des sols 141

A.- La classification pédologique 141

B.- Le classement des sols 144

CHAPITRE I : LES CARACTERES GENERAUX DES SOLS

I.- Les principaux processus de pédogénèse 146

A.- Les sols steppiques 146

1º) La steppisation proprement dite 147
2º) Le lessivage du calcaire 147
3º) La rubéfaction 148
4º) L'accumulation d'argile 148

.../...

Pages

B.- Paléopédogénèse et sols complexes 150

C.- Les autres types de sols 156

II.- Les principaux caractères physiques et chimiques des sols..... 157

A.- Texture 157

B.- Structure 157

C.- Porosité 158

D.- Capacité de rétention 158

E.- Densité apparente 160

F.- Perméabilité..... 160

G.- Azote 160

H.- Phosphore 160

I.- Potassium 161

J.- Complexe adsorbant 161

K.- Salure et alcalisation..... 161

CHAPITRE II : LES SOLS PROFONDS 169

I.- Les sols chatains steppiques subtropicaux ; à taches, granules et nodules calcaires ; sur roche-mère complexe très argileuse ; non salés, non alcalisés 169

A.- Situation 169

B.- Topographie 169

C.- Roches-mères 170

D.- Couleur 170

E.- Calcaire 170

F.- Granulométrie 170

.../...

Pages

G.- Structure 171

H.- Porosité 171

I.- Capacité de rétention 171

J.- Perméabilité 171

K.- Matière organique 171

L.- Eléments fertilisants 172

M.- Salure et alcalisation 172

N.- Mise en valeur 172

II.- Les sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches, granules et nodules calcaires ; peu calcaires en surface ; sur roche-mère complexe assez argileuse généralement non salés et non alcalisés 174

(mêmes subdivisions que dans le paragraphe I).

III.- Les sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches, granules et nodules calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère complexe assez argileuse ; salure et alcalisation, en profondeur, variables 178

(mêmes subdivisions que dans le paragraphe I).

IV.- Les sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur ; généralement salés et alcalisés en profondeur 183

(mêmes subdivisions que dans le paragraphe I).

V.- Les sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère assez argileuse ; salés et alcalisés en profondeur 187

(mêmes subdivisions que dans le paragraphe I).

VI.- Les sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère assez argileuse ; non ou peu salés, alcalisation variable 190

(mêmes subdivisions que dans le paragraphe I).

.../...

Pages

VII.- Les sols bruns stéppiques subtropicaux, sans taches calcaires, non salés, non alcalisés ; et les sols peu évolués d'apport, non salés, non alcalisés 194

(mêmes subdivisions que dans le paragraphe I)

CHAPITRE III : LES SOLS PEU PROFONDS 241

I.- La classification des sols peu profonds 241

A.- Les sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, peu calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux, avec ou sans dalle rubannée fine en surface, salure variable dans et sous l'encroûtement..... 245

B.- Les sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface, ou les sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec ou sans dalle rubannée fine en surface, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement 246

C.- Les sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface, ou les sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement 247

D.- Les sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface, ou les sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire dure épaisse avec dalle épaisse en surface, salure forte dans et sous l'encroûtement..... 249

II.- Description des divers types de croûtes calcaires 250

III.- Description des sols peu profonds situés sur les croûtes ou encroûtements calcaires 253

A.- Profondeur 253

B.- Couleur..... 253

.../...

Pages

C.- Calcaire 253

D.- Granulométrie 254

E.- Structure 254

F.- Capacité de rétention..... 255

G.- Matière organique 255

H.- Eléments fertilisants..... 255

IV.- Les limons situés sous les encroûtements 255

V.- Porosité et perméabilité 256

VI.- Salure et alcalisation 257

VII.- La mise en valeur des sols peu profonds 258

a) Les sols sur encroûtement 259
b) Les sols sur croûte tendre peu épaisse..... 259
c) Les sols sur croûte dure très épaisse avec dalle épaisse 259

TROISIEME PARTIE : LA MISE EN VALEUR 285

INTRODUCTION..... 286

CHAPITRE I : LES PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS ET LEURS INFLUENCES SUR LA MISE EN VALEUR..... 288

I.- La salure et l'alcalisation..... 288

A.- Le dessalage 289

B.- La désalcalisation 290

.../...

Pages

C.- La structure 290

D.- Les cultures..... 291

II.- Le calcaire 296

III.- La texture 297

IV.- La stabilité structurale..... 298

V.- La capacité de rétention 299

VI.- Les perméabilités 299

VII.- La matière organique 300

VIII.- Les éléments fertilisants 301

CHAPITRE II : LES CULTURES POSSIBLES..... 302

I.- Les cultures fourragères 303

II.- Les cultures industrielles 304

III.- Les cultures maraîchères 305

IV.- Les cultures céréalières 306

V.- L'arboriculture 306

CHAPITRE III : L'AMENAGEMENT DESSOLS 308

I.- Le dessalage et la désalcalisation 309

II.- Le drainage 309

.../...

Pages

III.- Le travail profond du sol 310

A.- Le défoncement 310

B.- Le sous-solage 313

C.- Le labour profond..... 314

IV.- L'épierrage 315

V.- Le nivellement 315

VI.- La lutte contre l'érosion 317

CHAPITRE IV : LES MODES D'IRRIGATION..... 320

I.- Le bassin 321

II.- Le calant et la corrugation 321

III.- Le billon plat..... 322

IV.- La raie 326

V.- Le bassin billonnné : robta 327

VI.- L'aspersion 328

VII.- L'irrigation des céréales et des cultures fourragères demandant peu d'eau 329

VIII.- L'irrigation des arbres 330

IX.- Les irrigations de dessalage 330

.../...

Pages

CHAPITRE V : LE CLASSEMENT DES SOLS POUR LA MISE EN VALEUR 332

CHAPITRE VI : EXTENSIONS POSSIBLES DU PERIMETRE 337

I.- Haut-services 337

II.- Extension Est 339

RESUME ET CONCLUSIONS 342

SOMMAIRE DES TABLEAUX

Tabl. nº			Pages
		PREMIERE PARTIE : CHAPITRE III : LA CLIMATOLOGIE	
1	:	Fonctionnement des stations météorologiques situées dans la région des périmètres rive gauche de la Basse-Moulouya.....	53
2	:	Irrégularité de la pluviométrie	56
3	:	Pluviométrie moyenne	58
4	:	Températures : moyennes mensuelles et annuelles en º Centigrades	63
5	:	Températures : maxima et minima.....	64
6	:	S.E.H.A Zebra : Hygrométrie et évaporation	68
7	:	Le vent à la S.E.H.A du Zebra	70
8	:	Quotients pluviothermiques d'Emberger	72
9	:	Indices de Thornthwaite	85

.../...

Tabl. nº			Pages
10	:	Calcul des indices de Thornthwaite pour la station de Zaio.....	86
11	:	Calcul des indices de Thornthwaite pour la station de S.E.H.A. Zebra.....	87
12	:	Calcul des indices de Thornthwaite pour la station de Hassi Berkane	88
13	:	Calcul des indices de Thornthwaite pour la station de Nador	89
14	:	Calcul des indices de Thornthwaite pour la station de Karia de Arkeman	90
15	:	Calcul des indices de Thornthwaite pour la station de Monte Arruit.....	91
16	:	Calcul des indices de Thornthwaite pour la station de Berkane (T.P.).....	92
		PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE IV : LA VEGETATION	
17	:	Répartition des espèces par rapport aux différents climats locaux arides	98
		PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE V : L'EAU DE LA MOULOUYA	
18	:	Qualités de l'eau de la Moulouya	118
		PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE VI : L'OCCUPATION HUMAINE	
19	:	Répartition de la propriété	130

.../...

Tabl. nº | Pages

DEUXIEME PARTIE ; INTRODUCTION :
METHODES ET CLASSIFICATION

20 : Comparaison entre l'ancienne et la nouvelle classification pédologique 145

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE I :
LES CARACTERES GENERAUX DES SOLS

21 : Répartition des sols alcalisés et salés 163

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE II :
LES SOLS PROFONDS

Résultats d'analyses

I.- Sols chatains steppiques subtropicaux ; à taches, granules et nodules calcaires, sur roche-mère complexe très argileuse ; non salés, non alcalisés.

22 : - Profil nº T 51..... 199

23 : - Profil nº T 62 (encroûtement calcaire en profondeur)..... 201

II.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches, granules, et nodules calcaires ; peu calcaires en surface ; sur roche-mère complexe assez argileuse ; généralement non salés, non alcalisés .....

24 : - Profil nº T 6 203

25 : - Profil nº T 236 205

26 : - Profil nº T 431 207

... /...

Tabl. nº			Pages
		III.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches, granules et nodules calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère complexe assez argileuse; salure et alcalisation, en profondeur, variables.. .	
27	:	- Profil nº T 131	209
28	:	- Profil nº T 144	211
29	:	- Profil nº T 245	213
30	:	- Profil nº T 249	215
31	:	- Profil nº T 309	217
		IV.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur ; généralement salés et alcalisés en profondeur.	
32	:	- Profil nº E 6	219
33	:	- Profil nº T 26	221
34	:	- Profil nº S 287	223
35	:	- Profil nº T 327	225
		V.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère assez argileuse ; salés et alcalisés en profondeur.	
36	:	- Profil nº N 24	227
37	:	- Profil nº S 128a.....	229
		VI.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère assez argileuse ; non ou peu salés, alcalisation variable	
38	:	- Profil nº S 374	231
39	:	- Profil nº T 573	233

.../...

Tabl. nº			Pages
		VII.- Sols bruns steppiques subtropicaux, sans taches calcaires, non salés, non alcalisés ; et sols peu évolués d'apport, non salés, non alcalisés.	
40	:	- Profil nº T 1 (sol brun steppique, non ou peu caillouteux).....	235
41	:	- Profil nº T 375 (sol peu évolué, non ou peu caillouteux).....	237
42	:	- Profil nº N 12 (sol peu évolué, caillouteux).....	239
		DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE III : LES SOLS PEU PROFONDS	
		Résultats d'analyses	
		I.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, peu calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface, salure variable dans et sous l'encroûtement	
43	:	- Profil nº T 216	267
		II.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface ; sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement	
44	:	- Profil nº T 242 (encroûtement granulaire et nodulaire).....	269
45	:	- Profil nº S 160 (encroûtement tuffeux)	271
		III.- Sols brun-calcaires ; sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement	
46	:	- Profil nº T 5 (encroûtement tuffeux)	273

.../...

Tabl. nº			Pages
		IV.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec dalle rubannée fine en surface, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.	
47	:	- Profil nº S 68	275
		V.- Sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement	
48	:	- Profil nº S 316	277
		VI.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire dure épaisse, avec dalle épaisse en surface, salure forte dans et sous l'encroûtement	
49	:	- Profil nº N 148	279
		VII.- Sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire dure épaisse, avec dalle épaisse en surface, salure forte dans et sous l'encroûtement.	
50	:	- Profil nº N 25 (croûte double).....	281

SOMMAIRE DES FIGURES

Fig. nº			Pages
		INTRODUCTION	
1	:	Le périmètre irrigué de la Basse Moulouya.....	10
		PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE I : LA GEOLOGIE ANTE QUATERNAIRE	
2	:	Esquisse géologique des Kebdana d'après J. Marçais et G. Suter	17
3	:	Granulométrie du limon villafranchien inférieur (roche-mère nº 1).....	18
4	:	Carte géologique au 1/200.000º (d'après la carte géologique du Maroc au 1/500.000º).....	20

.../...

Fig. nº — Pages

PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE II :
GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DU QUATERNAIRE

5 : Granulométrie des limons moulouyens (roches-mères nº 2 et 3)..... 28

6 : Granulométrie des limons amiriens et tensiftiens (roches-mères nº 4, 5 et 6)..... 34

7 : Granulométrie des limons tensiftiens (roches-mères nº 7,8 et 9)..... 35

8 : Granulométrie des limons soltaniens (roches-mères nº 10, 11 et 12)..... 40

9 : Granulométrie des limons soltaniens (roches mères nº 13, 14 et 15)..... 41

10 : Granulométrie des limons rharbiens (roches-mères nº 16, 17, 18 et 19)..... 42

11 : Répartition des roches-mères : coupe schématique dans le Nord de la plaine 48

12 : Répartition des roches-mères : coupe schématique dans le Sud de la plaine 49

13 : Répartition des roches-mères : coupe schématique des terrasses de l'oued Zebra 50

14 : Zones topographiques 51

PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE III :
LA CLIMATOLOGIE

15 : Région des périmètres rive gauche de la Basse Moulouya : situation des stations météorologiques 54

16 : Région de la plaine du Zebra : pluviométrie moyenne 59

17 : Autres plaines de la Basse Moulouya : pluviométrie moyenne 60

..../...

Fig. nº			Pages
18	:	Région de la plaine du Zebra : températures moyennes	65
19	:	Autres plaines de la Basse Moulouya : températures moyennes	66
20	:	S.E.H.A du Zebra : hygrométrie et évaporation	69
21	:	Diagramme ombrothermique de la station de ZAIO	76
22	:	Diagramme ombrothermique de la station de S.E.H.A Zebra	77
23	:	Diagramme ombrothermique de la station de Hassi Berkane	78
24	:	Diagramme ombrothermique de la station de Nador	79
25	:	Diagramme ombrothermique de la station de Karia de Arkmane	80
26	:	Diagramme ombrothermique de la station de Monte Arruit	81
27	:	Diagramme ombrothermique de la station de Berkane	82
28	:	Diagramme pluviothermique d'Emberger	83

PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE IV :
LA VEGETATION

29	:	Profil bioclimatique nº 1	99
30	:	Profil bioclimatique nº 2	100

.../...

Fig: nº | Pages

PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE V :
L'EAU DE LA MOULOUYA

31 : Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya en mg/l 122

32 : Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya en meq/l..... 123

33 : Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya en pourcentage 124

34 : Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya en mg/l, d'après F. Mortier 125

35 : Interprétation de quelques analyses de l'eau de la Moulouya..... 126

36 : Qualité de l'eau de la Moulouya..... 127

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE I :
LES CARACTERES GENERAUX DES SOLS

37 : Sol steppique subtropical : représentation schématique 149

38 : Chaîne de sols dans le Nord de la plaine 153

39 : Chaîne de sols dans le Sud de la plaine 154

40 : Chaîne de sols en bordure de l'oued Za..... 155

41 : Corrélation entre le rapport Na/Ca (meq) dans l'extrait de saturation, et le pourcentage calculé de sodium sur le complexe adsorbant 166

42 : Corrélation entre le pH eau d'une part, le rapport Na/Ca (meq) dans l'extrait de saturation et la conductivité en mmhos de cet extrait de saturation d'autre part..... 167

.../...

Fig. nº — Pages

43 : Corrélation entre le pH KCl et le rapport Na/C (meq) dans l'extrait de saturation..... 168

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE II :

LES SOLS PROFONDS

Profils-types

I.- Sols châtains steppiques subtropicaux ; à taches, granules et nodules calcaires; sur roche-mère complexe très argileuse ; non salés, non alcalisés.

44 : - Profil nº T 51 200

45 : - Profil nº T 62 (encroûtement calcaire en profondeur)..... 202

II.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches, granules, et nodules calcaires ; peu calcaires en surface ; sur roche-mère complexe assez argileuse ; généralement non salés, non alcalisés

46 : - Profil nº T 6 204

47 : - Profil nº T 236 206

48 : - Profil nº T 431..... 208

III.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches, granules et nodules calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère complexe assez argileuse, salure et alcalisation, en profondeur, variables.

49 : - Profil nº T 131 210

50 : - Profil nº T 144 212

.../...

Fig. nº			Pages
51	:	- Profil nº T 245	214
52	:	- Profil nº T 249	216
53	:	- Profil nº T 309	218
		IV.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur ; généralement salés et alcalisés en profondeur.	
54	:	- Profil nº R 6	220
55	:	- Profil nº T 26	222
56	:	- Profil nº S 287	224
57	:	- Profil nº T 327	226
		V.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère assez argileuse ; salés et alcalisés en profondeur.	
58	:	- Profil nº N 24	228
59	:	- Profil nº S 128a	230
		VI.- Sols bruns steppiques subtropicaux ; à taches calcaires ; calcaires en surface ; sur roche-mère assez argileuse ; non ou peu salés, alcalisation variable.	
60	:	- Profil nº S 374	232
61	:	- Profil nº T 573	234
		VII.- Sols bruns steppiques subtropicaux, sans taches calcaires, non salés, non alcalisés ; et sols peu évolués d'apport, non salés, non alcalisés.	
62	:	- Profil nº T 1 (Sol brun steppique, non ou peu caillouteux).....	236

.../...

Fig. nº			Pages
63	:	- Profil nº T 375 (sol peu évolué, non ou peu caillouteux).....	238
64	:	- Profil nº N 12 (sol peu évolué, caillouteux).....	240

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE III :

LES SOLS PEU PROFONDS

Profils-types

I.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, peu calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface, salure variable, dans et sous l'encroûtement.

65	:	- Profil nº T 216	268

II.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface; sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.

66	:	- Profil nº T 242 (encroûtement granulaire et nodulaire).....	270
67	:	- Profil nº S 160 (encroûtement tuffeux).....	272

III.- Sols brun-calcaires ; sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.

68	:	- Profil nº T 5 (encroûtement tuffeux)	274

.../...

Fig. nº			Pages
		IV.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec dalle rubannée fine en surface, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.	
69	:	- Profil nº S 68	276
		V.- Sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface, salure généralement forte dans et sous l'encroûtement	
70	:	- Profil nº S 316	278
		VI.- Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire dure épaisse, avec dalle épaisse en surface, salure forte dans et sous l'encroûtement.	
71	:	- Profil nº N 148	280
		VII.- Sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire dure épaisse, avec dalle épaisse en surface, salure forte dans et sous l'encroûtement.	
72	:	- Profil nº N 25 (croûte double).....	282
		VIII.- Sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire dure épaisse, avec dalle épaisse en surface, salure forte dans et sous l'encroûtement.	
73	:	- Profil nº S 262 (croûte moyennement épaisse).....	283
74	:	Quelques exemples de la répartition des croûtes et encroûtements en fonction de la topographie	284

.../...

Fig. nº — Pages

TROISIEME PARTIE ; CHAPITRE IV :
LES MODES D'IRRIGATION

75 : Raies plates - Billons plats 324

TROISIEME PARTIE ; CHAPITRE V :
LE CLASSEMENT DES SOLS POUR LA MISE EN VALEUR

76 : Délimitation des zones d'irrigation intensive 336

TROISIEME PARTIE ; CHAPITRE VI :
EXTENSIONS POSSIBLES DU PERIMETRE

77 : Extensions possibles du périmètre irrigué..... 341

SOMMAIRE DES PHOTOS

Photos nº — Pages

PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE I :
LA GEOLOGIE ANTE QUATERNAIRE

1 : La plaine du Zebra, vue de la chaine des Kebdana 14

2 : La chaine des Kebdana 14

PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE II :
GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DU QUATERNAIRE

3 : Epaisse dalle faillée du Moyen inférieur 45

4 : Griffes d'érosion dans la zone Ouest de la plaine 45

5 : Glaçage des sols permettant le développement de l'érosion 45

.../...

Photos nº — Pages

PREMIERE PARTIE ; CHAPITRE IV :
LA VEGETATION

6 : Rhus pentaphyllum et Ziziphus lotus 105

7 : Pistacia atlantica 105

8 : Ziziphus lotus et Wittania frutescens..... 105

9 : Eryngium illicifolium 106

10 : Glaucium corniculatum 106

11 : Centaurea involuerata 106

12 : Cladentus arabicus 107

13 : Calendula aegyptiaca 107

14 : Lavatera maritima 107

15 : Peganum harmala 108

16 : Anabasis aphylla 108

17 : Aizoon hispanicum 108

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE I :
LES CARACTERES GENERAUX DES SOLS

18 : Dispersion de la structure polyédrocubique fine, à facettes lissées : action de la pluie sur la terre enlevée des trous pédologiques..... 159

19 : Dispersion de la structure polyédrocubique fine à facettes lissées : action de la pluie sur les horizons de profondeur ramenés en surface par le nivellement 159

.../...

Photos nº — Pages

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE II :
LES SOLS PROFONDS

20 : Profil-type de sol brun steppique subtropical profond (profil nº N 24)..... 198

21 : Profil-type de sol brun steppique subtropical profond (profil nº S 374)..... 198

DEUXIEME PARTIE ; CHAPITRE III :
LES SOLS PEU PROFONDS

22 : Sol brun steppique subtropical sur encroûtement tuffeux (profil nº S 133) 263

23 : Sol brun-calcaire sur croûte calcaire tendre peu épaisse sans dalle rubannée en surface (profil nº N 63) 263

24 : Sol brun steppique subtropical sur croûte calcaire tendre peu épaisse sans dalle rubannée fine en surface (profil nº N 37)..... 264

25 : Sol brun-calcaire sur croûte calcaire tendre peu épaisse avec dalle rubannée fine en surface (profil nº N 38) 264

26 : Sol brun steppique subtropical sur croûte calcaire dure très épaisse avec dalle compacte épaisse en surface (route Berkane-Zaio : 1 K après Saf-Saf)..... 265

27 : Sol brun-calcaire sur croûte calcaire dure très épaisse avec dalle compacte épaisse en surface (route Berkane-Zaio : 1 Km après Saf-Saf) 265

28 ; Sol brun steppique subtropical sur croûte calcaire double (profil nº N 30) 266

29 : Coupe de la croûte du Moulouyen inférieur le long de l'affluent Sud de l'Oued Zobra 266

.../...

Photos nº — Pages

30 : Etat de la surface d'un sol peu profond sur croûte calcaire dure très épaisse avec dalle compacte épaisse en surface 266

TROISIEME PARTIE ; CHAPITRE I :
LES PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS ET LEURS INFLUENCES SUR LA MISE EN VALEUR

31 : L Station Expérimentale d'Amélioration des Sols : vue d'ensemble des parcelles établies sur des sols bruns steppiques profonds, salés et alcalisés en profondeur 293

32 : L Station Expérimentale d'Amélioration des Sols : vue d'ensemble des parcelles établies sur des sols bruns steppiques peu profonds sur croûte tendre peu épaisse, salés et alcalisés dans et sous l'encroûtement..... 293

33 : L Station Expérimentale d'Amélioration des Sols : luzerne sur petits billons, sur sol profond salé et alcalisé en profondeur..... 294

34 : L Station Expérimentale d'Amélioration des Sols : coton sur sol profond non salé, non alcalisé 294

35 : La Station Expérimentale d'Amélioration des Sols : coton sur sol profond salé et alcalisé en profondeur 294

36 : La Station Expérimentale d'Amélioration des Sols : betterave sucrière sur sol profond non salé, non alcalisé 295

37 : L Station Expérimentale d'Amélioration des Sols : betterave sucrière sur sol profond salé et alcalisé en profondeur 295

.../...

Photos nº | Pages

TROISIEME PARTIE ; CHAPITRE IV :

LES MODES D'IRRIGATION

38 : Irrigation de la luzerne en billons plats : les raies plates avant le semis 325

39 : Irrigation de la luzerne en billons plats : développement de la luzerne dans les raies plates 325

40 : Irrigation de la luzerne en billons plats : développement de la luzerne dans les raies plates 325

41 : Irrigation de la luzerne en billons plats : luzerne d'un an sur billons plats 325

SOMMAIRE DES PIECES HORS - TEXTE

Pièces nº

I : Esquisse géomorphologique et répartition des formations quaternaires au 1/50.000º (par A. RUELLAN).

II : Carte phytosociologique et bioclimatique des plaines du Zahar, Bou-Arada et Gareb, au 1/100.000º (par I. PERSOGLIO).

III : Carte de situation des profils pédologiques, au 1/20.000º.

IV : Classification des sols (par A. RUELLAN).

V : Carte pédologique, au 1/20.000º (par Ch. MASSONI et A. RUELLAN) (tirage Dorel)

VI : Carte des sols salés et alcalisés en profondeur, au 1/20.000º (par Ch. MASSONI et A. RUELLAN).

VII : Carte des sols profonds, caillouteux en surface, au 1/20.000º (par Ch. MASSONI et A. RUELLAN).

VIII : Carte de classement des sols pour la mise en valeur, au 1/20.000º (par Ch. MASSONI et A. RUELLAN) (tirage Dorel).

IX : Carte de classement des sols pour la mise en valeur de la zone nivelée, au 1/5.000º (par A. RUELLAN).

X : Tableau de classement des sols pour la mise en valeur (par A. RUELLAN).

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

1.- AUBERT G. : "Classification Pédologique" ORSTOM ; 4 p. polyc. (1962).

2.- BEN DRISS E. & RUELLAN A. : "Tri des sols du secteur 17 de la plaine des Triffa" O.N.I ; 6 . polyc. (Juin 1962) ; avec carte de tri des sols au 1/5000º.

3.- BIBERSON P. : "Essai de classification du quaternaire marin du Maroc Atlantique". C.R. Soc. Géol. de Fr. ; nº 3-4 ; pp. 67-70 (Février 1958).

4.- CHEVRON VILETTE A. de : "Notes sur la géologie et la morphologie de la région des Triffa". ORSTOM ; Div. de la Mise en Val. et du G.R. du Min. de l'Agric. du Maroc ; 52 p. polyc. (1954).

5.- CHOUBERT G. : "La limite du Pliocène et du Quaternaire au Maroc" Congrès International de Géologie ; 18º Session ; Part IX ; Angleterre (1948).

6.- CHOUBERT G. : "Note sur la Géologie des terrains récents des Doukkala". Réunion au Maroc des Pédologues d'A.F.N ; 19 p. (Mai 1955).

7.- CHOUBERT G. : "Essai de corrélation entre les cycles marins et continentaux du Pléistocène au Maroc". C.R. Ac. Sci. ; t. 245, nº 13 ; pp. 1066-1069 (Septembre 1957).

8.- CHOUBERT G. : "Essai de corrélation des formations continentales et marines du Pléistocène au Maroc". C.R. du Vº Congrès de l'INQUA (Madrid-Barcelone) (1957).

9.- CHOUBERT G.- : "Compléments à la note intitulée : Essai de corrélation des formations continentales et marines du Pléistocène au Maroc". Note présentée à la réunion au Maroc de la Comm. de Géom. Périgl. de l'Un. Géogr. Int. ; 18 p. polyc. (1959).

10.- CHOUBERT G. & AMBROGGI R. :" Note préliminaire sur la présence de deux cycles sédimentaires dans le Pliocène marin au Maroc". Serv. Géol. Maroc. ; Notes et Mémoires nº 117 ; pp. 5-52 (1953).

.../...

11.- CHOUBERT G. & FAURE MURET A. : "Lexique stratigraphique du Maroc". Services Géologiques du Maroc ; Notes et Mémoires nº 134 ; 165 p (1956).

12.- CHOUBERT G. et Al. : "Essai de classification du quaternaire continental du Maroc". C.R. Ac. Sci. ; t.243 ; pp. 504-506 (Juillet 1956).

13.- DRESCH J. & LE COZ J. : "Observations sur l'étage rharbien (Maroc Occidental)".C.R Soc. Géol. de France ; nº 5 ; pp. 108-110 (Mai 1960).

14.- DRESCH J. & al. : "Aspects de la Géomorphologie du Maroc". Serv. Géol. du Maroc ; Notes et Mémoires nº 96 ; 159 p. (1952).

15.- DUCHAUFOUR P. : "Précis de Pédologie" Masson et Cie ; Paris ; 438 p. (1960).

16.- EMBERGER : "Une classification biogéographique des climats". Recueil des Trav. des Labor. de Botan., Géol. et Zool. de la Fac. des Sci. de l'Univ. de Montpellier ; Série Botan. ; Fasc. 7 ; pp. 3-43 (1955).

17.- FALLOT P. : "Maroc Septentrional - Chaîne du Rif - Introduction". Congrès Géologique International; XIXº Session ; Livret-Guide nº 7 ; pp. 5 à 13 ; Alger (1952).

18.- GEOFFROY J.L : "Etude pédologique de la partie Nord-Ouest de la plaine du Zebra". ORSTOM. Div. de la Mise en Val. et du G.R. du Min. de l'Agric. du Maroc ; 58 p. polyc. (Octobre 1959) ; avec carte pédologique au 1/20.000º.

19.- GEOFFROY J.L & RUELLAN A. : "La plaine du Zebra, étude du milieu". ORSTOM. Div. de la Mise en Val et du G.R. du Min. de l'Agric. du Maroc.; 36 p. polyc. (Octobre 1959).

20.- GIGOUT M. : "Définition d'un étage Ouljien". C.R. Ac. Sci.; t. 229 ; nº 11 ; pp 551-552 (Septembre 1949)

21.- GIGOUT M.- : "Echelle stratigraphique des terrains primaires, secondaires et tertiaires" (1952).

22.- GIGOUT M.- : "L'Ouljien dans le cadre du Thyrrhénien". Bull. Soc. Géol. de Fr. ; 6º série ; t. VII ; fasc 4-5 ; pp. 385-400 (Avril 1957)

.../...

23.- GIGOUT M. : "Chronologie du Quaternaire récent Marocain. Principes de la corrélation fluvio-marine". C.R Ac. Sci. ; t. 244 ; nº 17 ; pp. 2404-2407 (Mai 1957)

24.- GIGOUT M. & RAYNAL R. : "Corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le quaternaire marocain". C.R Ac. Sci. ; t. 244 ; nº 20 ; pp. 2528-2531 (Mai 1957).

25.- GIGOUT M. et RAYNAL R. : "Retouche à la corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le quaternaire marocain" C.R.Ac. Sci. ; t. 248 ; nº 15 ; pp. 2223-2225 (Avril 1959).

26.- GIGOUT M. MORTIER F & RAYNAL R. : "Sur le quaternaire récent de la Basse Moulouya ; coupe-type du quaternaire récent marocain". C.R. Séances Soc. Géol. Fr. ; nº 6 ; p. 101 (Mars 1957).

27.- HAMEL C. : Travaux et carte géologique en cours sur les Béni Snassen Septentrionaux et les Kerker (1962-1963).

28.- HENIN et al : "Le profil Cultural". Soc. d'Edit. des Ing. Agric. ; Paris ; 320 p. (1960).

29.- HEUSCH B. : "Irrigation de la Basse-Moulouya rive droite : étude agronomique du Périmètre des Triffa". SOGETIM. ; Div. de la Mise en Val. et du G.R. du Min. de l'Agric. du Maroc ; 215 p. polyc. (1960) ; avec cartes des sols au 1/20.000º et autres cartes.

30.- JEANNETTE A. & HAMEL C. : "Présentation géologique et structurale du Rif Nord-Oriental". Mines et Géologie ; nº 14 ; pp. 7-16 ; Rabat (1961).

31.- JOLY F. : "Etude des Indices de Thornthwaite pour quelques stations du Maroc". Ann. du Serv. de Phys. du Globe et de Météor. ; tome XVIII ; pp. 119 - 128 (1958).

32.- JOLY F. : "Note sur le calcul des Indices de Thornthwaite Notes Marocaines ; nº 11-12 ; pp. 5-14 (1959).

33.- JOLY F. : "Tableaux de calcul des indices de Thornthwaite pour les 55 principales stations du Maroc". Institut Scientifique ; 60 p. polyc. (1960).

.../...

34.- MAHLER Ph. : "Plaine du Gareb ; tri des sols" ORSTOM ; Div. de la Mise en V l. et du G.R du Min. de l'Agr. du Maroc ; 8 p. polyc. (1960) ; avec carte de tri des sols au 1/100.000º.

35.- MAHLER Ph. : "Note sur la salure des sols du Gareb". ORSTOM. Div. de la Mise en V l. et du G.R du Min. de l'Agric. du Maroc ; 12 p. polyc. (1960) ; avec carte de salure au 1/100.000º.

36.- MAHLER . Ph. : "Périmètre du Bou-Areg : étude pédologique". ORSTOM ; Div. de la Mise en Val. et du G.R du Min. de l'Agric. du Maroc ; 146 p. polyc. (1960) ; avec carte pédologique, carte de salure et carte de tri des sols au 1/50.000º.

37.- MARCAIS J. & SUTER G. : "Description de l'itinéraire des excursions A. 31 et C. 31 (Partie A). Congrès Géologique International ; XIXº session ; livret-guide nº 7 ; Alger (1952).

38.- MASSONI C. : "Etude des sols de la partie Ouest de la Plaine du Z[illegible]".O.N.I ; 33 p. polyc. (Juillet 1962) ; avec carte pédologique et carte de salure au 1/20.000º.

39.- MASSONI C. : "La plaine du Gareb : étude pédologique". ONI 51p. polyc. (Mars 1963) ; avec carte pédologique, carte de salure, carte des textures et carte de classement des sols pour la mise en valeur au 1/50.000º.

40.- MORTIER F. : "Note relative à la qualité chimique des eaux de la Moulouya dérivées à Mechra Hamadi pour l'irrigation des Tr[illegible]". C.E.H. ; 8 p. polyc. (1955).

41.- OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS MISSION REGIONALE DE LA BASSE MOULOUYA "Rapport sur l'Aménagement de la Rive Gauche de la Basse Moulouya". 500 p. polyc. (Décembre 1962). Cartes.

42.- PERSOGLIO I. : "Etudes phytosociologiques dans la Basse Moulouya (voir chap. 5 de la 2º partie du Rapport sur l'Aménagement de la Rive Gauche de la Basse Moulouya). O.N.I (1962-1963).

43.- PUJOS A. : "Etude des érosions dans le bassin de la Moulouya". SOGETIM ; Administration des Eaux et Forêts et de la conservation des sols du Maroc ; 650 p. polyc. (1958). Cartes.

.../...

44.- RAYNAL R. : "Notes de stratigraphie et de morphologie en moyenne Moulouya". Serv. Géol. du Maroc ; Notes et Mémoires ; tome VI ; pp. 51-66 (1952)

45.- RAYNAL R. : "Oscillations climatiques et évolution du relief au cours du Quaternaire". Notes Marocaines ; nº 5 ; pp. 10-14 (1955).

46.- RAYNAL R. : "Plaines et piedmonts du Bassin de la Moulouya". Imframar ; Rabat ; 617 p. (1961).

47.- ROBAUX A. et al. : "Hydrogéologie du Maroc". Serv. Géol. du Maroc ; Notes et Mémoires nº 97 ; 361 p. (1952).

48.- ROBAUX A. et al. : "Hydrogéologie et géologie appliquée aux grands travaux". Congrès Géol. Int. ; XIXº session ; livret-guide nº 14 des excursions A. 38 et C. 38; Alger (1952).

49.- RUELLAN A. : "Etude pédologique d'une partie des terrains collectifs de la plaine du Zebra". ORSTOM ; Div. de la Mise en V l. et du G.R. du Min. de l'Agr. du Maroc ; 92 p. polyc. (Octobre 1959) ; avec carte pédologique au 1/5000º.

50.- RUELLAN A. : "Les sols salés et alcalisés de la plaine du Zebra". Soc. des Sci. Nat. et Phys. du Maroc ; Trav. de la Sect. de Pédologie ; tome 13-14, pp. 157-164 (1958-1959) (paru en 1960).

51.- RUELLAN A. : "La plaine du Zebra, secteur Nord ; carte des sols encroûtés et des sols salés et alcalisés en profondeur, au 1/20.000º". ORSTOM ; Div. de la Mise en V l. et du G.R. du Min. de l'Agr. du Maroc ; avec note de 7 p. polyc. (Août 1960).

52.- RUELLAN A. : "Note sur l'expérimentation entreprise sur les sols salés et alcalisés de la plaine du Zebra". ORSTOM ; Div. de la Mise en Val. et du G.R. du Min. de l'Agric. du Maroc ; 25 p. polyc. (Février 1961).

53.- RUELLAN A. : "Installation, mise en route et programme de la station expérimentale de la plaine du Zebra". O.N.I ; 11 p. polyc. (Juillet 1961).

54.- RUELLAN A. : "Tri détaillé des sols des terrains domaniaux des secteurs 10 & 11 de la plaine des Triffa (Schouyaya)". O.N.I ; 11 p. polyc. (Septembre 1961) ; avec carte de tri des sols au 1/10.000º.

.../...

55.- RUELLAN A.- : "Plaine du Zebra : carte pédologique au 1/20.000º. Description et mise en valeur des types de sols cartographiés" Note provisoire ; ONI ; 42 p. polyc. (Juin 1962)

56.- RUELLAN A. : "Note sur les méthodes d'irrigation". ONI ; 10 p. polyc. (Juin 1962).

57.- RUELLAN A. : "Résumé des résultats déjà obtenus dans l'expérimentation entreprise pour la mise en valeur des sols salés et alcalisés de la plaine du Zebra". O.N.I ; 4 p. polyc. (Juin 1962).

58.- RUELLAN A. : Utilisation de la géomorphologie pour l'étude pédologique au 1/20.000º de la plaine du Zebra (Basse Moulouya)". Rev. de Géogr. du Maroc ; nº 1 & 2 ; pp. 23 à 30 (1962).

59.- RUELLAN A. : "Méthodes d'analyses de la salure des eaux et des sols"O.N.I. ; 47 pages polyc. (Décembre 1962).

60.- SOGETIM : "Exécution d'une campagne de mesures de perméabilité dans les plaines du BOU-AREG, du GAREB et du ZEBRA" Convention Particulière nº 4 (1962).

61.- THORNTHWAITE C.W : "An approach toward a rationnal classification of climate". Géogr. Review ; pp. 55-94 (1948).

62.- TORRES P. : "Etudes chimiques des nappes d'eau" (1957).

63.- TREGUBOV : "Etudes phytosociologiques sur le Maroc Oriental". C.N.R.S. ; Div. de la Mise en Val. et du G.R du Min. de l'Agric. du Maroc ; 45 p. polyc. (1957).

64.- X. X. : "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils". United States Département of Agriculture ; 160 p. (1954).

65.- X. X : "Carte géologique du Maroc au 1/500.000º". Feuille Oujda.

66.- Notes Marocaines : "Fasc. Spécial consacré à la région rifaine"; fasc. nº 9 et 10 (1957).

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

TOME DEUXIEME

PREFACE ET PREAMBULE

PREMIERE PARTIE : ETUDE DU MILIEU

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

E T U D E P E D O L O G I Q U E

D E L A

P L A I N E D U Z E B R A

*****

TOME DEUXIEME

PREFACE ET PREAMBULE

PREMIERE PARTIE : ETUDE DU MILIEU

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

P R E F A C E

par

Mohamed TEMSAMANI
Directeur du Périmètre de la Basse - Moulouya

C'est en Janvier 1959 qu'Alain RUELLAN arriva dans notre pays. Ingénieur Agricole, diplômé en Géomorphologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes et Pédologue Chargé de Recherche de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer, il possédait déjà une solide formation de chercheur qu'il commença à acquérir fort jeune, au Brésil en particulier, sous la direction de son Père, le Professeur Francis RUELLAN.

Dès son arrivée, il fut chargé de réaliser des études pédologiques dans les plaines rive gauche de la Basse-Moulouya, dans la plaine du Zebra en particulier, et de réinstaller le petit laboratoire de campagne créé en 1954 et complètement abandonné pendant plusieurs années. Puis en 1961, lors de la création de l'Office National des Irrigations, il fut nommé Chef du Service de Pédologie du Périmètre de la Basse Moulouya, ce qui l'amena à lancer et à diriger de nombreux travaux de cartographie des sols, d'expérimentation et de contrôle de l'évolution des sols dans tout le périmètre et dans ses petits périmètres annexes. Grâce à son dynamisme, sa compétence et son dévouement, le périmètre de la Basse Moulouya possède certainement maintenant le Service de Pédologie et le laboratoire les mieux organisés et équipés de tous les Périmètres.

.../...

Le Service de Pédologie étant intégré dans une Mission Régionale d'Etudes Générales dont le travail essentiel est de réaliser un Avant-Projet d'Equipement et de Mise en Valeur de l'ensemble du Périmètre de la Basse Moulouya, Alain RUELLAN fut nommé Adjoint au Chef de la Mission. Ceci l'amena à s'intéresser à bien des problèmes d'agronomie, d'économie rurale, d'hydraulique, d'hydrogéologie, etc... et à avoir des contacts fréquents avec les autres Services du Périmètre, celui de la Mise en Valeur en particulier.

Enfin, Alain RUELLAN, en véritable chercheur, s'astreint à poursuivre, dans différents domaines, un certain nombre de travaux de recherche qu'il sait indispensables pour résoudre bien des problèmes que pose la mise en valeur par l'irrigation. Il s'intéresse en particulier à la géomorphologie, à différents problèmes de pédogénèse, à l'analyse et l'évolution des sols salés et alcalisés, à l'action de l'eau sur les sols. En dehors des rapports qu'il a rédigés pour l'ONI, il a déjà publié quelques articles et il doit présenter deux communications au prochain Congrés International de Pédologie qui se tiendra à Bucarest en Septembre 1964.

L'Etude Pédologique de la Plaine du Zebra que j'ai lè plaisir de présenter est un travail qui reflète parfaitement la formation et les connaissances de son Auteur. C'est un travail complet présentant des conclusions concrètes. La Plaine du Zebra est une région ingrate, où, à la fois, un climat très dur et des sols difficiles posent bien des problèmes complexes de mise en valeur : l'Auteur a parfaitement posé ces problèmes et propose des solutions pratiques qui dans bien des cas dépassent le simple cadre de la plaine du Zebra et intéressent l'ensemble de la mise en valeur de la Basse Moulouya.

Pour toutes ces raisons, c'est une grande satisfaction pour moi de féliciter vivement Alain RUELLAN pour son étude. Et bien que son prochain départ doive me priver de l'un de mes meilleurs collaborateurs, je lui souhaite les meilleurs succès dans son nouveau poste de Chef du Centre des Expérimentations de l'O.N.I. à RABAT./.

P R E A M B U L E

La plaine du Zebra, grande plaine synclinale de 25.000 hectares environ, située sur la rive gauche de l'Oued Moulouya à 35 Km de la mer, en prolongation Ouest de la plaine des Triffa, fait partie, par ses 15.000 hectares dominés par un canal principal, en voie d'achèvement, situé à la côte 145 - 150 m, du grand ensemble de la Basse-Moulouya qui constitue avec la plaine des Triffa déjà en partie équipée, les plaines du Bou-Areg et du Gareb en cours d'études, le barrage de retenue de Mechra Klila en onstruction et le barrage de dérivation de Mechra Homadi en fonctionnement depuis plusieurs années, le périmètre d'irrigation nº 1 de l'Office National des Irrigations.

Le rapport pédologique que nous présentons ici, avec sa carte pédologique au 1/20.000º, étant le fruit de plus de trois années de travail, nous pensons qu'il est utile de rappeler brièvement ce que fut le programme de ces trois années et les rapports que nous avons déjà présentés sur ce sujet.

C'est en Mars 1959, donc avant la création de l'Office National des Irrigations, que commencèrent, à la demande de la Division de la Mise en Valeur et du Génie Rural du Ministère de l'Agriculture, les études pédologiques de cette plaine du Zebra, études qui doivent toujours constituer une des bases essentielles de tout projet de mise en valeur. Pour la plaine du Zebra ces études étaient entreprises bien tardivement puisque parallèlement les travaux d'équipement, commencés par les Services Espagnols avant l'indépendance, étaient remis en route. C'est une des raisons pour

.../...

lesquelles il nous fut demandé, à Monsieur GEOFFROY, Pédologue ORSTOM, et moi-même, d'entreprendre dès le départ cette étude à l'échelle du 1/20.000º.

Très rapidement, la médiocrité des sols de la plaine, les nombreuses difficultés et problèmes que poserait leur mise en valeur, furent mis en évidence : topographie très mouvementée, climat difficile, croûtes calcaires très abondantes et souvent impossibles à défoncer, et surtout sous-sols très fréquemment salés, alcalisés et argileux. Autant de barrières pour la mise en valeur ; barrières que nous avons expliquées dans trois rapports présentés en Octobre I959 (18, 19 et 49) (*) et qui nous ont amenés à insister sur la nécessité et l'urgence qu'il y avait, si on désirait absolument irriguer cette plaine, à faire des études très détaillées, le moyen essentiel ne pouvant être qu'une station expérimentale ayant pour objectif l'étude du comportement des sols à l'irrigation et celle des améliorations possibles.

Cette station expérimentale fut créée, mais malheureusement avec bien du retard, en Juin I96I. Entre temps, Monsieur GEOFFROY nous ayant quitté fin Octobre I959, nous avons continué seul la cartographie au 1/20.000º ; en Juillet I960, 7.000 à 8.000 hectares étaient terminés et, à la demande du Génie Rural, nous présentions une carte de mise en valeur du secteur Nord de la plaine (croûtes, salure, alcalisation, épierrage) (51), carte qui permit, dans ce secteur qui est de loin le moins mauvais, de délimiter environ 1.200 hectares susceptibles d'être irrigués sans grands dangers. Parallèlement, afin de gagner du temps, nous mettions en route en Février I960, une micro-expérimentation sur le terrain (200 m2) et quelques essais au laboratoire, et nous proposions divers projets pour une station expérimentale.

La poursuite de la cartographie nous ayant confirmé la gravité du problème de la salure et de l'alcalisation, étant donnée leur étendue, nous avons, dès Octobre I960 estimé inutile de la continuer et préférable de nous consacrer plus complètement à l'expérimentation qui pouvait seule nous éclairer sur ce que serait l'avenir de la plaine du Zebra. Ceci nous permit, en Février I96I, de présenter une note (52)

.../...

(*) : Dans l'ensemble du rapport, les numéros placés entre parenthèses renvoient à la bibliographie placée en tête)

résumant les premiers résultats obtenus, dans l'ensemble assez encourageants, et de préparer la mise en route de la station expérimentale qui eut lieu le 1er Juin 1961 (53). La cartographie fut donc arrêtée pendant plusieurs mois ; elle ne put être reprise que fin Septembre 1961, grâce à l'arrivée de Monsieur MASSONI, Pédologue ORSTOM (38). Elle fut terminée en Mai 1962.

Depuis cette date, il ne nous avait guère été possible, étant donnée l'urgence de la réalisation d'autres travaux pédologiques, de rédiger le rapport que nous présentons maintenant. Nous n'avions pu que faire quelques notes provisoires (55, 56 et 57) présentant la carte pédologique et ses annexes (carte des sols salés et alcalisés en profondeur ; carte de tri des sols) et rédiger certains chapitres du Rapport sur l'Aménagement de la Rive Gauche de la Basse Moulouya (41).

Le rapport qui va suivre se présente donc comme une synthèse d'écrits déjà assez nombreux : il ne comporte que peu de nouveautés par rapport aux notes rédigées en 1962. Il tient compte cependant de l'évolution de quelques idées, fruit de travaux récents et fruit des nombreuses discussions que nous avons pu avoir avec d'autres pédologues et avec les Ingénieurs de l'O.N.I. qui ont à s'intéresser à nos travaux.

Ce rapport ne peut cependant pas être quelque chose de définitif. Une étude pédologique n'est jamais terminée : des problèmes sont posés, mais faute de recherches fondamentales, faute de temps et de moyens, ces problèmes ne sont de loin pas toujours résolus ; la cartographie elle-même est toujours imparfaite et doit souvent être précisée à des échelles plus grandes. Dans le cas présent de l'étude pédologique de la plaine du Zebra, ceci est particulièrement vrai sur le plan des conclusions qu'il est possible d'en tirer pour orienter la mise en valeur. En effet, rappelons qu'un problème essentiel n'est pas encore résolu : celui de l'amélioration, des possibilités de mise en valeur des sols salés et alcalisés en profondeur. Une station expérimentale est en route, mais quelques premiers résultats concrets ne pourront être obtenus avant une année ou deux. Ce rapport est donc peut-être prématuré : l'étude pédologique ne permet pas encore de déterminer quelles seront les surfaces irrigables, quelles seront toutes les cultures possibles, quels seront les aménagements nécessaires. C'est un point sur lequel nous serons obligés d'insister très souvent.

.../...

Nous tenons enfin à resouligner que ce rapport que nous sommes chargés de rédiger, n'est pas le fruit de notre seul travail. Nous avons été trois : Monsieur GEOFFROY de Mars à Octobre I959, Monsieur MASSONI de Septembre I96I à Juin I962 et moi-même depuis Mars I959. Cela aurait pu soulever quelques difficultés de synthèse ; comme nous étions tous trois Pédologues ORSTOM, ces difficultés se sont réduites à bien peu de choses.

*

* *

D'une façon très classique, ce rapport sera divisé en trois parties. Dans la première partie nous ferons une étude rapide du milieu naturel, ce qui permettra de mieux comprendre l'existence et la répartition des divers types de sols qui recouvrent la plaine. Cette étude nous amènera d'autre part à signaler les problèmes qui seront posés par ce milieu à la mise en valeur. La deuxième partie sera consacrée à l'étude détaillée des sols : descriptions, analyses, répartition, possibilités agronomiques. Enfin, dans la troisième partie, nous tenterons de faire une synthèse de toutes les données exposées précédemment, synthèse qui nous amènera aux conclusions agronomiques possibles et surtout à poser les problèmes qui restent à résoudre.

PREMIERE PARTIE

E T U D E DU M I L I E U

INTRODUCTION

Les sols étant un résumé assez parfait du milieu naturel qui les a fait naître, qui les a fait évoluer et au milieu duquel ils évoluent encore, il est normal et même indispensable que toute étude pédologique soit précédée d'une étude aussi complète que possible de ce milieu, étude qui doit s'attacher à le définir tel qu'il est actuellement, mais aussi et surtout, les sols, en particulier au Maroc, étant souvent très vieux, à essayer de comprendre quel était ce milieu autrefois, en particulier au cours du quaternaire, et quelle fut son évolution.

Cette étude nous l'avons faite. Ceci, soit en consultant les travaux déjà existants ou en cours de réalisation par divers spécialistes, soit par nos observations personnelles dans la mesure de nos connaissances et du temps dont nous disposions, l'étude pédologique elle-même nous apportant beaucoup de précisions sur les milieux actuels et anciens.

Il nous serait donc possible de présenter une étude du milieu assez complète ; en particulier pour la géomorphologie que nous avons du beaucoup détailler pour mieux comprendre la répartition des sols ; la géologie du quaternaire qui a une grande influence sur les caractères

.../...

physico-chimiques des sols et leur répartition (58), la chimie de l'eau de la Moulouya dont nous suivons l'évolution depuis plus de 3 ans (52 et 41), la végétation qui vient d'être étudiée d'une façon détaillée par Monsieur PERSOGLIO, Phytosociologue de l'O.N.I. (42) ; le milieu humain qui vient d'être étudié par les Economistes de la Direction des Etudes Générales et par Monsieur ANDRE, Ingénieur Agricole de la Mission d'Etudes Générales de la Basse-Moulouya (41). Beaucoup d'éléments nous manquent par contre pour la géologie ante-quaternaire, ce qui n'est pas très grave, et pour la climatologie ce qui est beaucoup plus gênant.

Il n'est cependant pas dans notre intention de développer longuement cette étude. Nous n'oublions pas que ce rapport ne peut avoir un objectif scientifique d'étude des pédogénèses. Nous nous contenterons donc de résumer l'essentiel de ce qui est connu en insistant seulement sur les points dont la connaissance nous semble importante étant donnés les obstacles qu'ils peuvent soulever à la mise en valeur.

*

* *

La plaine du Zebra, située à une altitude variant de 250 m en bordure des montagnes, à 70 m en bordure de la Moulouya, est limitée:

- Au Nord et au Nord-Ouest, par la petite chaîne des Kebdana qui la sépare de la mer, le col de Moulay Rachid, et l'extrémité Est de la chaîne du Kerker.

- Au Sud et au Sud-Ouest, par la chaîne des Béni Snassen septentrionaux.

- A l'Est et au Sud-Est par l'Oued Moulouya.

Elle peut, géographiquement et géologiquement, être rapidement définie par les quelques caractères suivants :

.../...

- C'est une plaine synclinale située entre deux axes anticlinaux grossièrement orientés Est-Ouest, l'axe des Kebdana, situé au Nord et culminant à plus de 900 mètres, la barrant d'une façon assez efficace des influences marines.

- Elle est située à la limite des domaines atlasiques et rifains, l'autochtone de la chaine des Kebdana supportant l'avancée la plus orientale des nappes d'affinités rifaines.

- C'est au cours du quaternaire que les traits de son relief actuel furent dessinés.

- Enfin, elle est actuellement en grande partie drainée par le seul Oued Zebra et ses affluents, oueds toujours à sec en dehors des quelques crues qui suivent les plus gros orages.

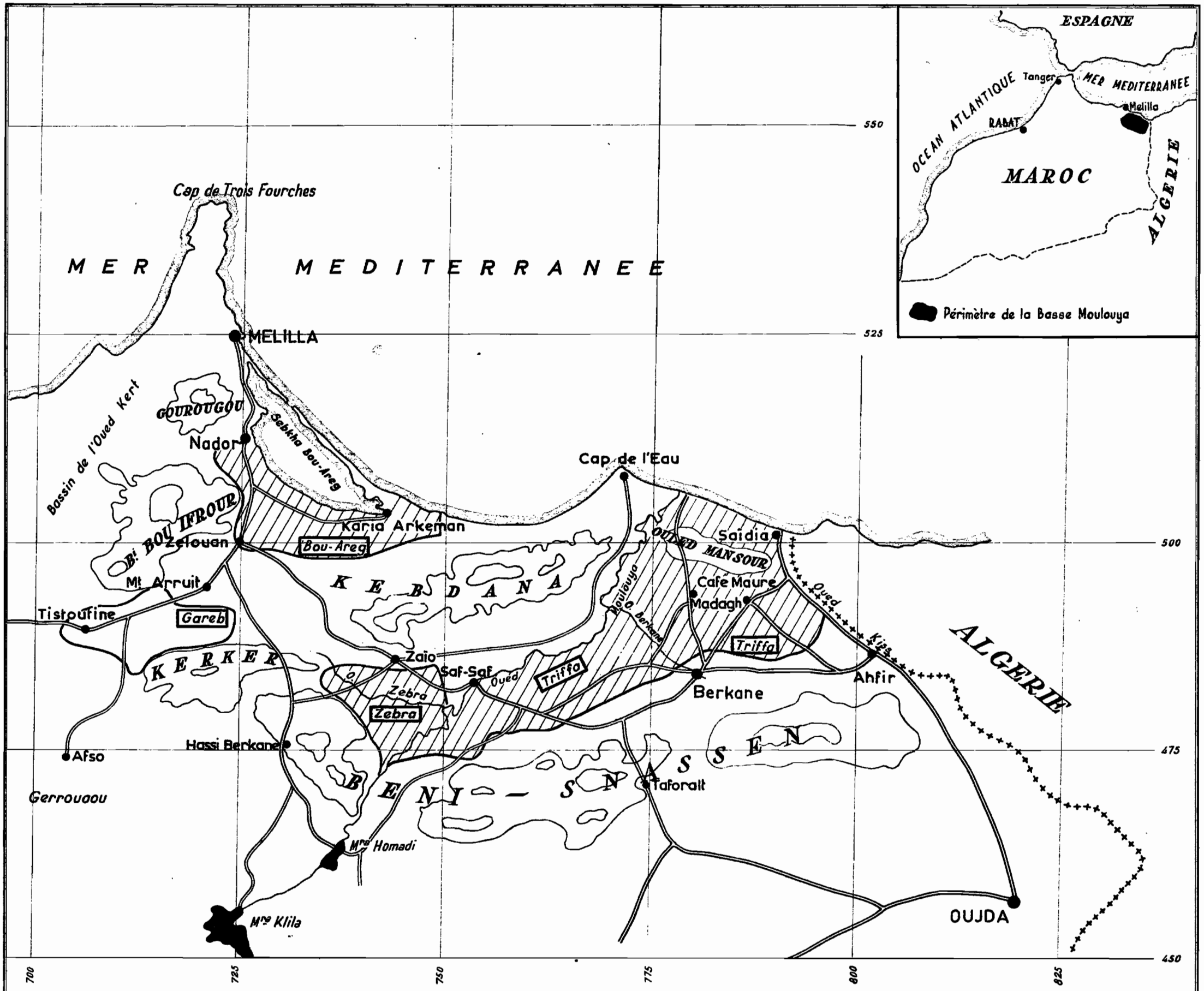


FIGURE Nº 1

LE PERIMETRE IRRIGUE DE LA BASSE MOULOUYA

Zones irrigables

Echelle 1/500.000e

CHAPITRE I . - LA GEOLOGIE ANTE QUATERNAIRE

Puisqu'il nous suffit de remonter jusqu'au Jurassique inférieur pour expliquer l'histoire géologique de cette région, nous pensons qu'il est inutile de parler de ce qui s'est passé avant (fig. nº 2 et 4) (*).

I.- LE SECONDAIRE

A/.- Le Jurassique inférieur et moyen

Il est marqué par :

- Les calcaires noirs dolomitiques de l'Infralias, puissants d'une centaine de mètres ; ils nous intéressent peu puisqu'on ne les trouve que sur le flanc Nord de la chaîne des Kebdana

.../...

(*) L'ensemble de ce chapitre a été rédigé d'après les travaux de plusieurs Géologues et Géographes : voir la bibliographie placée en tête de ce rapport.

- Les calcaires dolomitiques à silex et les calcaires lités du Lias inférieur et moyen, formant les grands escarpements de la chaine des Kebdana ; cette série a une épaisseur de 300 mètres.

- Les séries marneuses et marno-calcaires du Lias supérieur et du Bajocien (Jurassique moyen ou Dogger), épaisses de 200 à 300 mètres, très développées dans les Kebdana.

B/.- Le Jurassique supérieur (Malm)

C'est lui qui forme toute la chaine des Béni Snassen septentrionaux : marnes du Callovien, grès et argiles du l'Oxfordien et de l'Argovien (Lusitanien inférieur), formations gréso-marneuses avec bancs de calcaire du Lusitanien, et surtout facies calcareo-dolomitiques du Kimméridgien et du Portlandien. On retrouve également ce Jurassique supérieur dans la chaine du Kerker. Dans les Kebdana, seules des formations schisto-gréseuses à bancs quartzitiques, épaisses de 500 à 600 mètres, sont présentes ; les facies du Kimméridgien et du Portlandien manquent complètement.

C/.- Le Crétacé

Il n'est représenté que dans la chaine du Kerker. Il s'agit d'un synclinal à facies côtier (essentiellement marno-gréseux jusqu'à l'Albien, puis calcaire au Cénomanien) semblant marquer le rivage méridional de la Méditerranée au Crétacé.

II.- LE TERTIAIRE

A/.- L'Eocène - Oligocène

C'est en réalité à la fin du Crétacé que commencent les mouvements orogéniques (Phase Andine) ; mais c'est seulement à la fin de

.../...

l'Oligocène (Aquitanien), au moment du maximum de l'orogénie alpine, que ces mouvements intéressent notre région. Les Béni Snassen d'une part, les Kebdana et la chaine du Kerker d'autre part, se soulèvent pour former deux grandes rides anticlinales à peu près parallèles. Entre les deux, un grand synclinal effondré prend naissance : c'est la plaine des Triffa et la plaine du Zebra. Dans la chaine des Kebdana, ces mouvements tectoniques ont été accompagnés de remontée de Trias diapir jalonnant une ligne de fracture.

B/.- Le Miocène

a) Le Burdigalien : c'est la transgression "Cartennienne", qui intéresse aussi le début de l'Helvétien. Cette mer carténnienne va déposer le Miocène ante-nappe. Il s'agit de conglomérats, grès calcaires, micro-conglomérats, qui vont recouvrir, en discordance, la chaine des Kebdana au relief déjà très évolué, la chaine du Kerker et une partie de la chaine des Béni Snassen septentrionaux. Ils vont également se déposer le long du couloir de la Moulouya qui utilise déjà une énorme fracture SW - NE avec rejet de 400 mètres pour traverser le massif des Béni Snassen. Ils ne recouvriront pas la partie Est du Massif des Béni Snassen qui fut une île de la mer Cartennienne.

b) Le Vindobonien : c'est à l'Helvétien (Vindobonien inférieur) que commencent les grands charriages du Rif qui vont intéresser, ainsi que nous l'avons déjà souligné au début, une partie de notre région. En effet, une nappe (unité de Senhadja), poussée du Nord, va recouvrir le Miocène ante - nappe de la chaine des Kebdana. Cette nappe est essentiellement formée de cipolins, schistes et quartzites vert-olive un peu métamorphiques, Trias gypso-salin avec débris de dolomies noires et de roches éruptives très altérées (ophites, granites), calcaires dolomitiques du Lias, brèches tectoniques recristallisées à ciment phylliteux et calcaire. Juste après et même pendant la mise en place de cette nappe, une phase tectonique Vindobonienne se produit ; elle va plisser les dépots Miocène ante-nappe et la nappe elle-même.

Nouvelle transgression à l'Helvétien supérieur. Elle va déposer le Miocène post-nappe (marnes vertes souvent gypsifères) en

.../...



PHOTO Nº 1 .- La Plaine du Zebra, vue de la chaine des Kebdana (au centre de la photo, le village de Zaïo).



PHOTO Nº 2 .- La Chaine des Kebdana.

discordance sur le Miocène ante-nappe et la nappe. Dans le domaine continental, c'est à cette époque que commencent à se former les dépôts très importants du Pontico-Pliocène. Ces dépôts vont remplir toutes les grandes cuvettes synclinales existantes. Ils sont formés, au Pontien, de marnes roses à la base, de conglomérats à cailloux roulés au sommet.

Un nouveau plissement à grand rayon de courbure va déformer le Miocène post-nappe, suivi du dépôt en légère discordance des formations gréseuses et des marnes vertes souvent gypseuses et salées, très puissantes, appartenant au Tortonien, et des formations marno-gréseuses appartenant au Sahélien.

C/.- Le Pliocène

Une phase tectonique post-Pontienne marque le début du Pliocène. Ce dernier est caractérisé par la continuation des dépôts marins marno-gréseux, et surtout des dépôts continentaux Pontico-Pliocène : à la base, des conglomérats à cailloux ovoïdes à pâtines calcaires ; au sommet des calcaires lacustres ou des marnes type lacustre.

Ces dépôts Pliocènes, ou Pontico-Pliocène, non visibles dans le Centre de la plaine, étant donnée l'importance des dépôts quaternaires sont par contre très visibles en bordure de la plaine, le long de la Moulouya et du cours inférieur de l'Oued Zebra.

D/.- Villafranchien Inférieur

Une nouvelle phase tectonique sépare le Pliocène du Villafranchien inférieur. Ce dernier est caractérisé par des calcaires lacustres que nous avons pu reconnaître en bordure de la plaine du Zebra ; ils sont cependant souvent difficiles à séparer de ceux du Pliocène.

On peut également attribuer au Villafranchien inférieur un dépôt très caractéristique qui atteindrait 80 mètres d'épaisseur au centre de la plaine du Zebra, mais qui n'apparaît près de la surface qu'en

.../...

bordure de la plaine (bordure Est surtout) à la faveur de failles postérieures (voir la carte géomorphologique et de répartition des roches-mères : pièce hors texte nº 1). Il s'agit d'un limon extrêmement durci (fig. nº 3 : roche-mère nº 1) de couleur saumon, à petites tâches noires (fer ou manganèse ?), se débitant en gros agrégats assez arrondis à cassure concoïdale ; d'après Monsieur AUBERT, ce serait à rapprocher du "Silt-Stone" des Américains ou du "Lutêta" des Mexicains. C'est un limon à la fois très argileux et très limoneux, les éléments inférieurs à 0,02 mm pouvant atteindre 90 % . Il est toujours très calcaire (40 à 50 %), fortement salé (10 gr/kg et plus) et contient souvent du gypse sous forme de filons et de rognons, mais aussi sous forme de croûte gypseuse en général peu développée. Ceci ne l'empêche pas d'être fortement alcalisé dans les zones qui ne sont pas en contact direct avec le gypse.

Enfin, et c'est là que nous placerons le début du quaternaire, des mouvements tectoniques, bien visibles dans la plaine du Zebra, marquent la fin du Villafranchien inférieur. Des déformations se produisent et le réseau très important de failles orthogonales qui couvre toute la région rejoue ; par ailleurs, la subsidence du centre de la plaine s'accentue ; tous les dépôts du Pontico-Pliocène et du Villafranchien inférieur plongent vers ce centre.

*

* *

Que nous faut-il retenir de ce rapide tour d'horizon géologique ?

1º) Les formations calcaires sont très abondantes ; or, les limons quaternaires, qui constituent les roches mères des sols de la plaine du Zebra, proviennent de l'érosion de ces formations ; ils sont donc à peu près tous très calcaires et le sont restés, étant donné le climat presqu'aride qui a du presque toujours prédominer tout au cours du quaternaire.

2º) Ces formations calcaires sont très souvent dolomitiques ; ceci explique l'abondance du magnésium dans les sols de la plaine : magnésium sous forme de carbonate, mais aussi magnésium en quantité importante

.../...

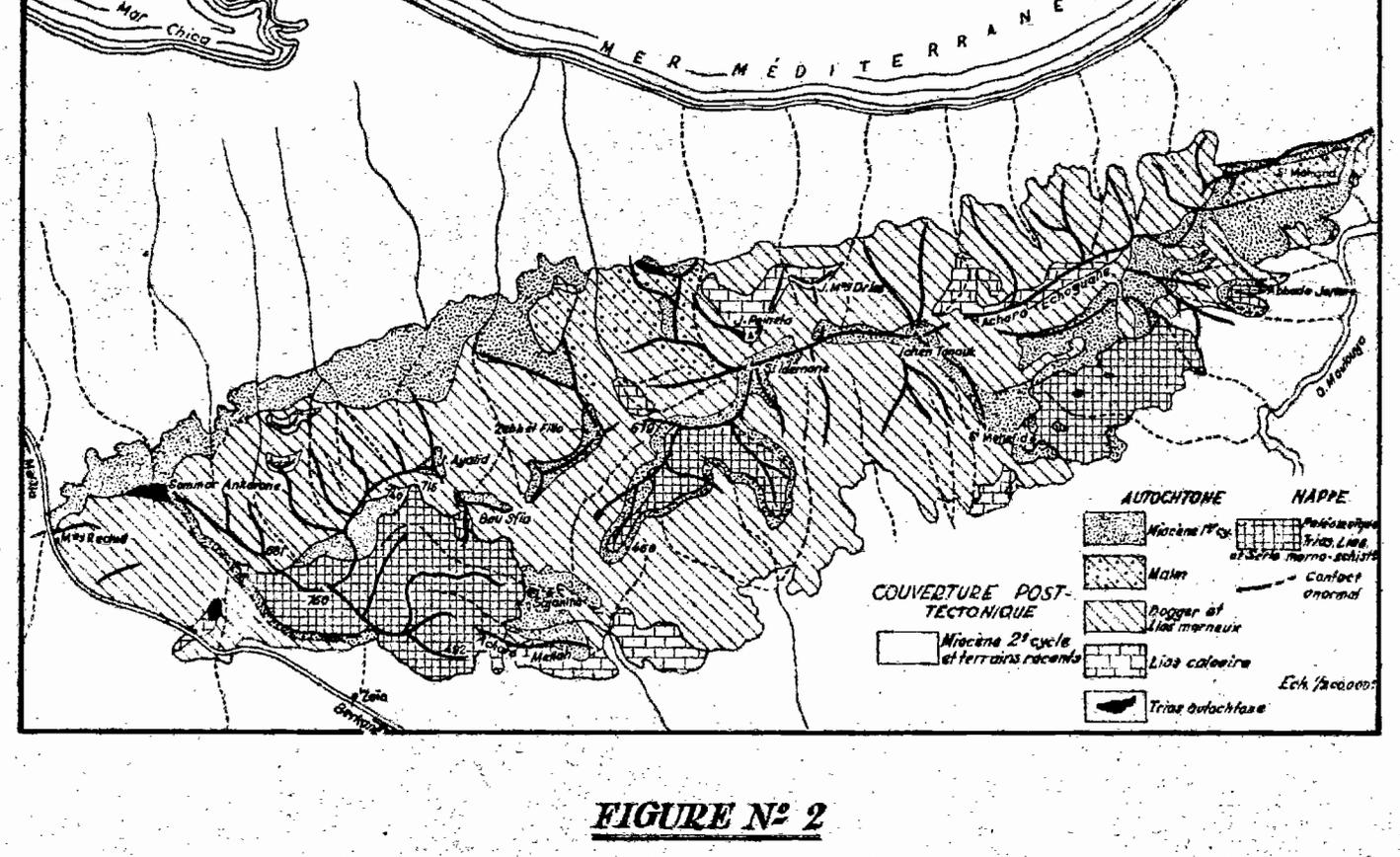


FIGURE Nº 2

Esquisse géologique des Kebdana d'après J. Marçais et G. Suter (37)

PLAINE DU ZEBRA
GRANULOMETRIE
DU LIMON VILLAFRANCHIEN INFERIEUR
(Roche-Mère nº 1)

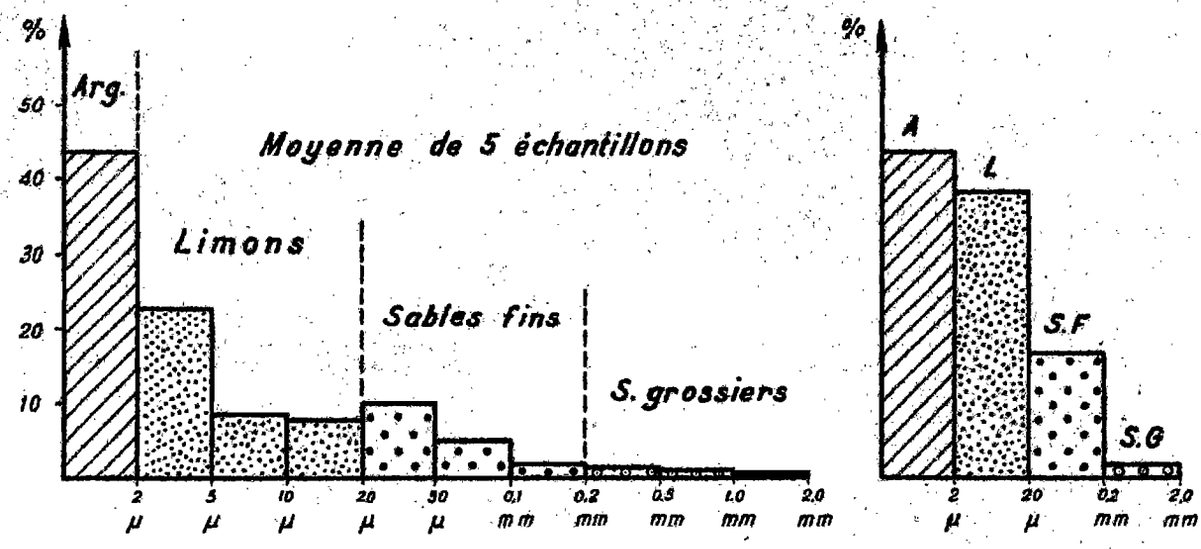


FIGURE Nº 3

sur le complexe adsorbant et très probablement magnésium dans les produits d'altération (les argiles doivent souvent être magnésiennes). C'est probablement ce magnésium, par sa présence en trop grande quantité sur le complexe adsorbant des sols, qui est fréquemment responsable de l'alcalisation des sols de la plaine.

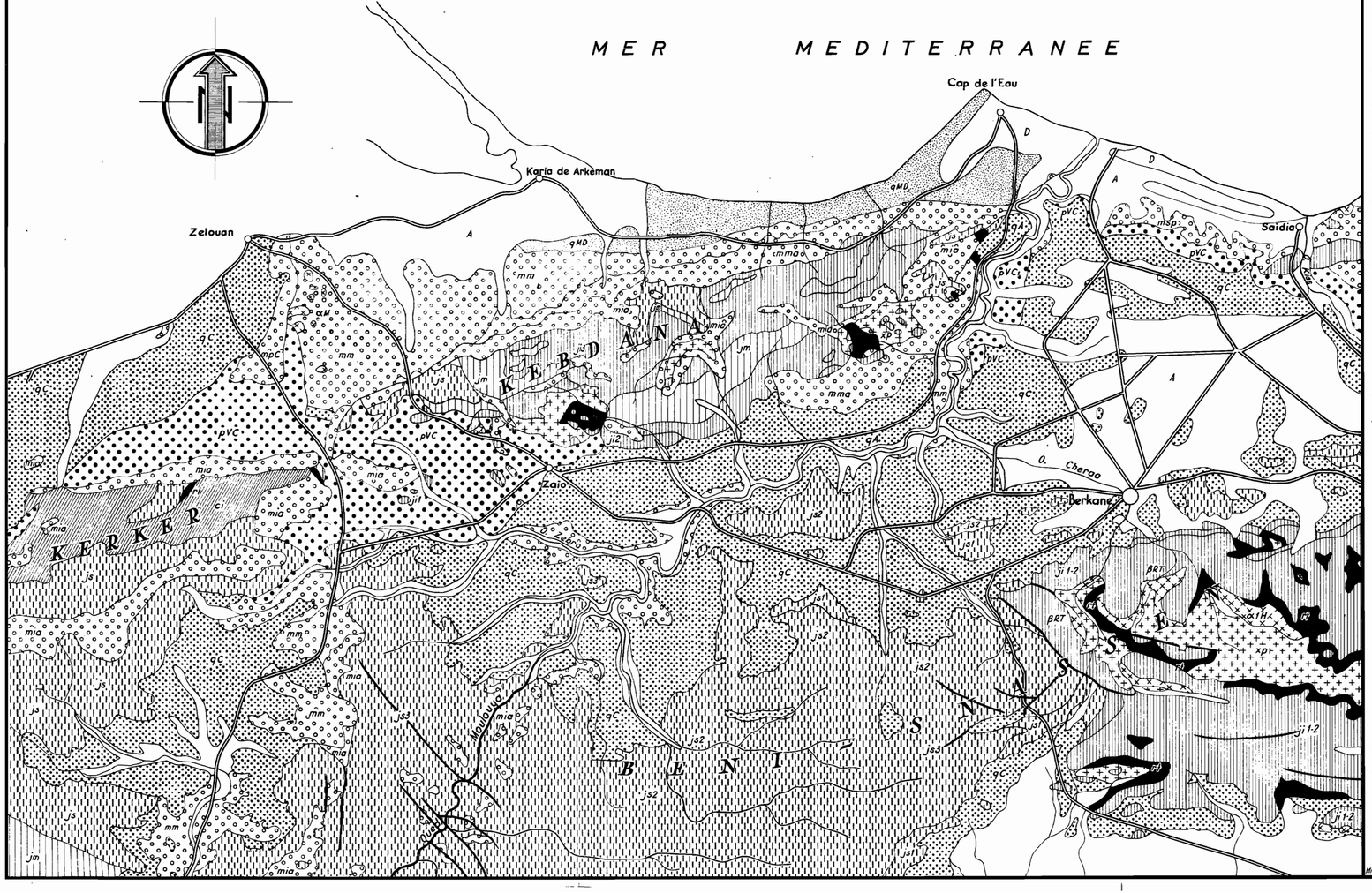
3º) Les formations marneuses et shisteuses sont très fréquentes. Ceci permet d'expliquer la richesse en éléments fins de la plupart des limons quaternaires (argile et limon).

4º) Il y a dans les Kebdana, et en particulier dans la zone située au Nord de Zaio, des shistes et quartzites vert-olive de la nappe. Ces formations sont responsables des seuls limons quaternaires non calcaires et très rubéfiés que l'on peut trouver dans la plaine, dans la région de Zaio ; ces limons, pour les plus anciens et pour ceux qui se sont étendus assez loin dans la plaine, se sont recalcarifiés; mais les plus récents, situés près de la montagne, sont restés absolument non calcaires ; d'où des sols très différents (sols châtains steppiques subtropicaux, très argileux) de ceux que l'on trouve habituellement dans l a plaine.

5º) Enfin, les formations fortement gypseuses et salées, appartenant soit au Trias, soit surtout au Miocène et au Villafranchien sont présentes tout autour de la plaine. Il ne faut donc pas s'étonner que, étant donné le climat, les sous-sols soient restés salés jusqu'à nos jours.

CARTE GEOLOGIQUE

(D'aprés la Carte Géologique du Maroc au 1/500.000)



TERRAINS SEDIMENTAIRES

A	Formations modernes (alluvions, éboulis, dayas, sebkhas) et quaternaire récent (limons, terrasses limoneuses)		
D	Dunes vives ou actuelles		
qC qA	qC Quaternaire moyen et ancien (regs, surfaces encroutées) qA Terrasses.		
qMD	Formations marines et dunaires consolidées.		
pVC ~~pVCl~~	pVC Villafranchien (et pliocène continental): conglomérats, cailloutis, couches rouges, Cl calcaire lacustre.		
mpC	Mio-pliocène continental (Pontico - Pliocène)		
msp	ms Faciés sahélien sableux, localement Pliocène p.p.		Miocène post - orogénique.
mm	mm Faciés des marnes bleues	Tortonien	(Vindobonien)
mma	a Faciés trangressif	Tortonien	(Vindobonien)
mia	a Faciés trangressif	Helvètien, Burdigalien	Miocène anté - orogénique (Cartennien)
ci	Crétacé inférieur marin		
js3	kimméridgien et portlandien		
js2	Lusitanien		
js1	Callovien et Oxfordien		
jm	Bathonien - Bajocien.		
ji3	Lias supérieur: Toarcien, Aaleinien		
ji2	Lias moyen: Pliensbachien, Domérien		
ji1	Lias inferieur: Sinémurien . Lotharingien		
rt	Permo-Trias continental.		
xp	Primaire indeterminé ou Précambrien.		

ROCHES ERUPTIVES

αm	Trachytes - Andesites. (Miocène)
βRT	Basaltes. (Permo - Trias)
αH	Granites (Hercynien)

FIGURE N°: 4

Echelle 1/200.000

Mimoun

CHAPITRE II . - GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE DU QUATERNAIRE

La succession des pluviaux plus ou moins froids et interpluviaux plus ou moins chauds qui correspondent très probablement aux glaciaires et inter-glaciaires européens, étant à la base de toute la morphologie du quaternaire marocain, il nous semble intéressant de rappeler brièvement ce que furent ces deux types de périodes.

Un pluvial correspond :

- à une pluviométrie forte ;
- à des phénomènes périglaciaires et même glaciaires dans les régions froides (montagneuses) ;
- à une régression marine.

Un interpluvial correspond :

- à une pluviométrie faible ;
- à un réchauffement général du climat ;
- à une transgression marine.

.../...

Il s'ensuit que :

1º) Au cours d'un pluvial :

- Dans la zone de l'Eustatisme (régions côtières), il y a, du fait du recul de la mer, creusement des oueds qui entaillent les dépôts de l'interpluvial précédent ; il y a formation des terrasses eustatiques.

- Dans la zone du Climatisme (régions continentales), il y a du fait de la forte pluviométrie, d'une part, ruissellement en nappe sur les pentes, d'où dépôts de pente et formation des grands glacis d'accumulation et d'érosion au pied des montagnes ; d'autre part, engorgement des oueds, d'où dépôt des futures terrasses climatiques.

2º) Au cours d'un interpluvial

- Dans la zone de l'eustatisme, il y a, du fait de la remontée de la mer, donc du niveau de base, engorgement des lits d'oueds ; les dépôts des futures terrasses eustatiques se forment, les matériaux provenant en grande partie de la zone continentale qui est en période d'érosion.

- Dans la zone du climatisme, le ruissellement est devenu linéaire, d'où ravinement des dépôts de pente et recreusement des lits d'oueds : il y a formation des terrasses climatiques.

C'est bien entendu dans la zone du climatisme que se situe la plaine du Zebra. D'autre part, comme il s'agit d'une plaine synclinale où le creusement ne fut jamais important, du moins depuis le quaternaire moyen, les emboîtements de terrasses sont rares : on ne les trouve que le long du Zebra et de quelques uns de ses principaux affluents. Ce sont les dépôts de pentes, les grands glacis d'accumulation polygéniques qui dominent, ce qui bien sûr complique énormément et la reconnaissance géomorphologique, et la cartographie pédologique.

Sur le nombre des pluviaux qui se sont succédés depuis le Pliocène, et surtout sur la chronologie relative des terrasses climatiques et eustatiques, les différents Géographes et Géologues ne sont pas encore tous d'accord (voir la bibliographie placée à la fin de ce rapport) ;

.../...

nous ne pouvons ici rentrer dans le détail de ces discussions. Signalons seulement que nous avons pris comme base de travail les conclusions des travaux les plus récents (CHOUBERT, RAYNAL), conclusions que nous avons dépendant quelquefois modifiées en fonction des observations de terrain que nous avons pu faire nous-même.

*

* *

Dans les pages qui vont suivre, nous nous attacherons essentiellement, pour chaque période climatique du quaternaire, à décrire les dépôts que nous leur avons attribués et quelle est leur répartition dans la plaine.

Ce travail qui a pour but essentiel de définir les roches-mères des différents sols, est assez délicat. En effet, il est certain que l'on ne retrouve plus actuellement, sauf pour les dépôts très récents, leurs caractères tels qu'ils étaient lors de leur mise en place. Ces dépôts ont tous subi , du moins sur l'épaisseur sur laquelle nous pouvons facilement les observer, une très longue pédogénèse : pédogénèse probablement toujours orientée dans le même sens, mais qui, pendant de courtes périodes, a du être plus intense que celle observée actuellement ; pédogénèse compliquée par ailleurs par les phénomènes d'érosion ou de dépôts, témoins des périodes interpluviales et pluviales. Les roches-mères que nous pouvons observer actuellement sont donc en réalité, le plus souvent, des paléo-sols, plus ou moins tronqués, plus ou moins évolués, d'autant plus complexes qu'ils sont plus anciens. Pour étudier ce que furent ces roches-mères avant toute intervention pédologique, il faudrait pouvoir les observer en profondeur : c'est un travail que nous n'avons pas toujours pu entreprendre, et qui d'ailleurs est très souvent impossible, la plupart des dépôts de la plaine du Zebra, en dehors de ceux du Villafranchien, étant peu épais. Nous ne pourrons donc que préciser les grandes lignes des différents dépôts, en nous attachant surtout aux caractères granulométriques puisqu'il s'agit toujours de formations alluviales et colluviales.

.../...

I.- LE VILLAFRANCHIEN SUPERIEUR = MOULOUYEN

. Bien que l'existence de deux pluviaux moulouyens soit encore très discutée, nos observations de terrain nous ont conduit à admettre que dans la plaine du Zebra il existait bien, à l'intérieur du Moulouyen, deux périodes différentes. Il serait donc tentant de rapprocher la plus récente de ces deux périodes du pluvial Régregien défini par Monsieur CHOUBERT (1959) (9). Nous préférons être prudent et nous nous contenterons de parler de Moulouyen inférieur et supérieur.

A.- Le Moulouyen inférieur

Ce pluvial est avant tout défini par les très grosses croûtes calcaires à dalle puissante qui recouvrent presque partout ses dépôts. Il s'agit de grands glacis appuyés aux montagnes qui entourent la plaine, et venant se rejoindre au centre. Ces glacis sont maintenant très disséqués. Leurs vestiges restent cependant encore très nombreux, soit sous la forme de grands plateaux faiblement inclinés, ceci surtout en bordure de la Moulouya ; soit au contraire sous la forme de glacis très inclinés et très courts appuyés aux collines situées autour et dans la plaine ; soit enfin, sous la forme de buttes et d'éperons, très fréquents au Sud de l'Oued Zebra.

Les dépôts du Moulouyen inférieur, qui sont assez épais au centre de la plaine (10 à 20 mètres), apparaissent rarement près de la surface. En effet, ils sont presque toujours recouverts, soit par la croûte très épaisse, soit par une épaisseur d'au minimum un mètre (et en général beaucoup plus) de dépôts postérieurs. Ils ne constituent la roche-mère de sols postérieurs qu'en bordure des plateaux, sur les pentes fortes qui les limitent ou dans certaines petites vallées s'encaissant faiblement dans ces plateaux.

Ces dépôts (fig. nº 5 : roche-mère nº 2) se présentent généralement sous la forme d'un limon souvent assez fortement caillouteux,

.../...

d'autant plus caillouteux que l'on se rapproche soit des montagnes, soit de l'Oued Zebra, où ils peuvent le devenir très fortement ; ceci est d'ailleurs une loi générale : les dépôts d'un glacis ont une granulométrie d'autant plus fine que l'on s'éloigne d'une part du piedmont, d'autre part de la terrasse. La granulométrie de la terre fine (*) est nettement moins argileuse que celle du limon villafranchien inférieur (fig. nº 3), et surtout beaucoup moins limoneuse ; ce sont les sables fins qui prennent de l'importance. Ces limons sont en général de couleur rose-rouge, à taches calcaires jaunâtres et petites taches noires. Ils sont souvent très durcis. Ils présentent une structure polyédrique très anguleuse, les agrégats étant très soudés les uns aux autres. En profondeur, loin de la croûte, ils ne sont pas très calcaires : 20 - 25 %. Ils sont toujours fortement salés (5 à 10 ‰), fortement alcalisés, et peuvent être gypseux (concrétions et filons) : ils sont alors nettement plus rouges.

La fin du Moulouyen inférieur a été marquée dans l'ensemble du Maroc par des mouvements tectoniques assez importants. Dans la plaine du Zebra, ces mouvements ont profondément marqué le relief : on peut considérer que ce sont eux qui ont dessiné les grandes lignes du relief actuel (voir pièce hors-texte nº I) :

- En bordure de la Moulouya, des effondrements et surtout des flexures se sont produits.

- Dans le centre Nord de la plaine, un grand synclinal effondré, orienté E-W, bordé de failles, postérieurement rempli par des dépôts appartenant essentiellement au Quaternaire moyen, s'est formé. La croûte du Moulouyen inférieur n'apparaît plus qu'au pied des Kebdana et en bordure du Zebra où elle est affectée d'un pendage très marqué vers le Nord.

- A l'Ouest, deux autres synclinaux, orientés NW-SE et E-W, probablement déjà existants, se sont accentués, permettant également un remplissage important de quaternaire moyen.

(*) Terre fine = éléments inférieurs à 2 mm

.../...

- Dans le centre Sud et Ouest, probablement à l'aide du rejeu de petites buttes du Jurassique et du Miocène ante-nappe parsemées dans la plaine, des plissements souvent très serrés ont eu lieu ; ils sont grossièrement orientés E-W dans le centre Sud, et NW-SE dans le centre Ouest.

- Enfin, à l'Est, au Sud-Est et au Sud, les glacis du Moulouyen inférieur ont été d'une part ondulés : ondulations larges et de faible amplitude, s'atténuant et disparaissant quand on se rapproche de la Moulouya ou des collines situées au Sud ; d'autre part violemment fracturés et faillés, en général dans l'axe des anticlinaux, les bords des fractures et failles étant souvent effondrés ou flexurés. L'oued Zebra utilise une de ces grandes failles pour rejoindre la Moulouya ; il en a utilisé, au cours du quaternaire moyen, une autre située plus au Nord et qui reste très marquée dans le relief : c'est ce que nous appelons la vallée morte.

Ces mouvements tectoniques post-moulouyens ont donc énormément bousculé le relief de la plaine, d'autant plus qu'ils ont provoqué une reprise d'érosion importante qui fut accentuée par l'arrivée d'un interpluvial. Il en résulte aujourd'hui des obstacles souvent graves pour la mise en valeur. Ceci en particulier dans le Sud et Sud-Ouest de la plaine où l'existence de ce relief dans une zone où les autres facteurs limitant la mise en valeur sont nombreux (grosses croûtes, salure, alcalisation, argile), nous amènera à déconseiller complètement l'équipement de surfaces assez importantes.(voir chap. V de la 3º partie, et fig. nº 76).

B.- Le Moulouyen supérieur

L'existence de ce pluvial est donc très discutée. Nous pensons cependant l'avoir reconnu dans la plaine du Zebra. Il existe en effet fréquemment, emboîtés dans les plateaux du Moulouyen inférieur, des lambeaux de terrasses ou des petits éperons portant une croûte encore puissante mais nettement moins que celle du Moulouyen inférieur. Dans notre carte pédologique nous ne l'avons pas distinguée de la croûte du Moulouyen inférieur car cela est difficile, et sur le plan de la mise en valeur, elle

.../...

reste assez difficile à défoncer (voir p. 244 et 310). Elle est cependant beaucoup moins épaisse, et surtout elle ne possède pas en surface cette dalle rose compacte qui caractérise le Moulouyen inférieur, mais seulement une dalle rubannée qui peut être un obstacle moins absolu à la mise en valeur.

Les dépôts du Moulouyen supérieur que l'on trouve sous les croûtes sont très différents de ceux du Moulouyen inférieur (fig. nº 5; roche-mère nº 3). Ce sont des limons très peu ou non caillouteux, à très grosses taches (plusieurs cm) rouges et blanches. Les taches rouges sont fortement argileuses (plus de 40 %) et souvent très peu calcaires ; elles présentent une structure finement ployédrique. Les taches blanches sont par contre très fortement calcaires (50 % et plus). L'ensemble est peu durci, salé (5 à 10 g/oo), alcalisé, et possède une texture riche en argile et limons. Nous n'avons jamais trouvé de gypse dans ces limons.

En dehors des zones à croûtes, les limons du Moulouyen supérieur n'apparaissent que très rarement près de la surface.

Il est possible qu'une phase tectonique ait marqué la fin de ce pluvial. En effet nous pensons qu'une partie des plissements que nous venons d'attribuer au Moulouyen inférieur, en particulier ceux du centre Est de la plaine, datent plutôt de la fin du Moulouyen supérieur, les croûtes qui ont été plissées étant elles-mêmes probablement à attribuer au Moulouyen supérieur.

Pendant l'interpluvial qui suivit, le creusement reprit ; il semble qu'il fut faible sauf en bordure de la Moulouya ; d'autre part, il fut très dirigé par les accidents tectoniques.

II.- LE SALETIEN

Ce pluvial, considéré comme étant, avec le Moulouyen, le plus important du quaternaire marocain, est en général caractérisé par

.../...

PLAINE DU ZEBRA
GRANULOMETRIE
DES LIMONS QUATERNAIRES

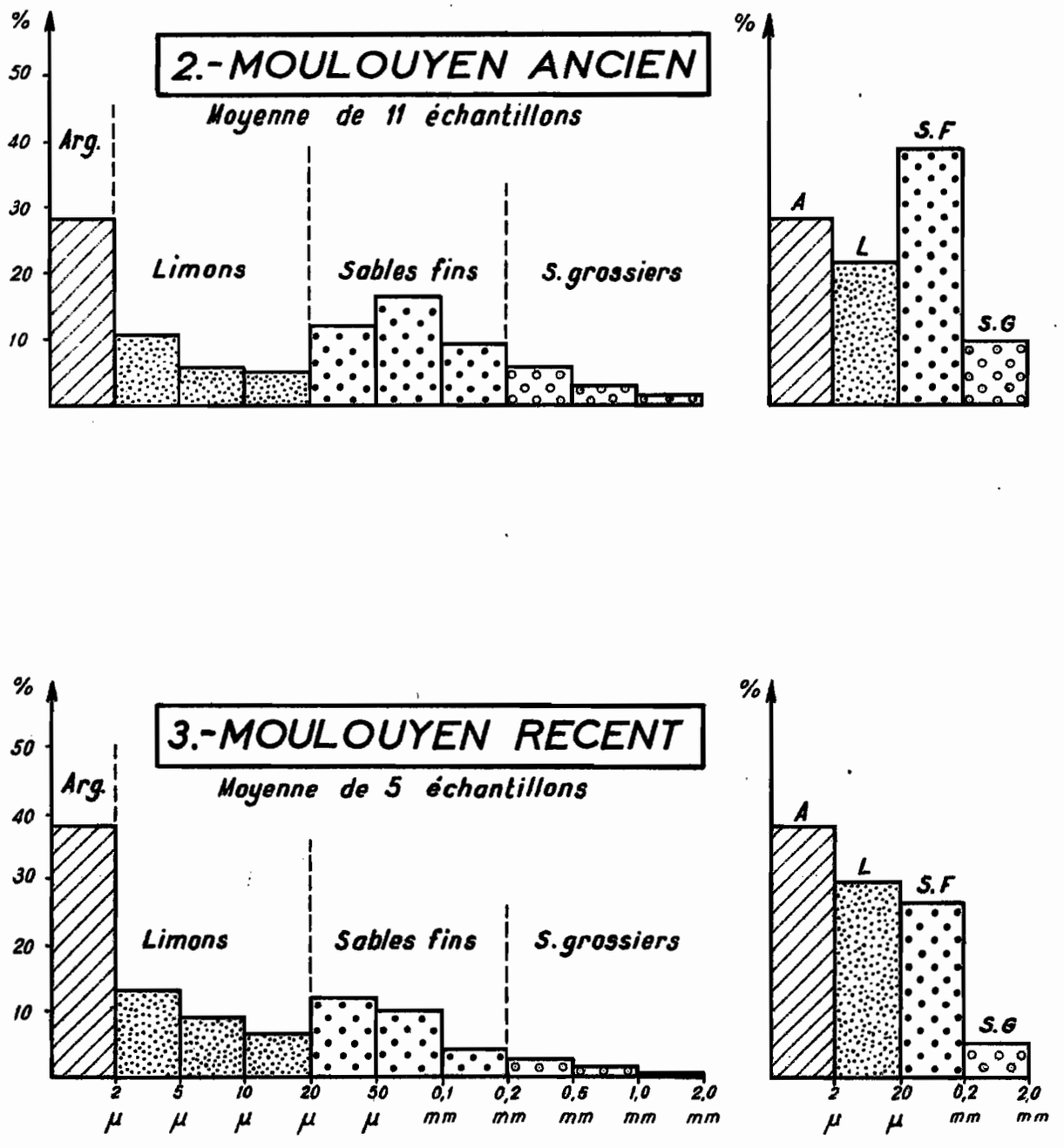


FIGURE N° 5

d'énormes cônes de déjections à gros blocs (ranias), témoins d'un climat qui dut être très froid.

Dans la plaine du Zebra, ces cônes existent ; mais seulement, en bordure de la plaine, appuyés aux Kebdana et aux Béni-Snassen, comblant en partie des zones où le Moulouyen s'est affaissé. Ils sont toujours fortement enterrés sous les dépôts postérieurs, et ne constituent donc jamais la roche-mère des sols actuellement en surface. Ce n'est que grâce à quelques puits creusés par le Service des Ressources en Eaux que nous avons pu reconnaître leur existence. Ces puits nous ont par ailleurs permis de constater que ces cônes disparaissaient très vite dès que l'on s'éloignait des montagnes (fig. nº 11).

III.- L'AMIRIEN

Les limons amiriens sont largement représentés dans l'ensemble de la plaine. Ils ont, sur une faible épaisseur mais partout, rempli les vallées et les grandes dépressions créées à la fin des pluviaux moulouyens. Depuis ils ont été recouverts par des épaisseurs variables, pouvant atteindre quelques mètres, de dépôts postérieurs, mais, du fait de l'érosion ou de recouvrements postérieurs peu épais, ils apparaissent actuellement assez souvent à une profondeur faible (quelques dizaines de cm) ; ils nous intéressent donc en temps que roche-mère.

Les limons amiriens (fig nº 6 : roche-mère nº 4) sont essentiellement caractérisés par :

1º) Une forte rubéfaction ; ils sont en général, en surface, rouges à petites taches blanches de calcaire, en profondeur, uniformément rouges-sombres. Des petites taches noires de fer ou manganèse (?) sont assez fréquentes

2º) Une texture riche en argile et limons ; cette texture est voisine de celle des limons du Moulouyen supérieur, mais en moyenne légèrement plus riche en argile et limons, des chiffres de 50 % d'argile

.../...

et 80 % d'argile + limons pouvant être exceptionnellement dépassés. Ils ne sont jamais caillouteux et toujours très pauvres en graviers (95 à 100 % de terre fine).

3º) Une structure très particulière, finement polyédrique à cubique, en général très friable, les petits polyèdres, eux-mêmes assez durs, présentant un grand nombre de facettes lissées, brillantes, souvent distordues, concaves ou convexes ; une sur-structure verticale apparaît fréquemment; Cette structure est très instable et semble correspondre à une dispersion très poussée des éléments argileux. Il ne semble cependant pas qu'elle soit en étroite relation avec l'alcalisation sodique : beaucoup d'autres limons alcalisés de la plaine n'ont pas cette structure ; elle peut exister dans des limons amiriens désalcalisés (fonds de vallées) ; la présence d'une quantité importante de gypse ne la fait pas disparaître ; de même elle semble totalement indépendante du taux de calcaire. Par contre, il est possible que cette structure soit liée à la présence de magnésium sur le complexe adsorbant : c'est un point que nous étudions de près dans le cadre de la station expérimentale.

4º) Une richesse en calcaire assez faible : 20 à 30 %, ceci bien sûr en profondeur, en dessous de la zone fortement affectée par les pédogénèses.

5º) Une salure généralement forte, mais dépassant rarement 5 à 6 o/oo. Ils peuvent contenir du gypse, mais c'est assez rare.

6º) Une forte alcalisation, probablement à la fois sodique et magnésienne.

Il n'y a pas eu d'encroûtement généralisé à la fin de l'Amirien. Mais le climat de ce pluvial ayant été, semble-t-il, très humide et très doux, il est possible que des étangs aient existé ; en effet, on trouve dans les dépôts amiriens des lentilles de calcaire néritique continental : débris de coquilles d'escargots cimentés par du calcaire ; l'épaisseur de ces lentilles peut atteindre un à deux mètres.

Pendant l'interpluvial qui suivit, l'érosion semble avoir été relativement importante dans les grands Oueds comme le Zebra : on

.../...

ne trouve pas de terrasses amiriennes. Par contre, cette érosion fut très faible dans les petites vallées et les dépressions où, comme nous l'avons déjà dit, on retrouve fréquemment les limons amiriens. Ils servent alors de support à des sols qui sont parmi ceux qui soulèvent bien des problèmes pour la mise en valeur, surtout en ce qui concerne leur évolution future sous irrigation.

IV.- LE TENSIFTIEN

C'est un pluvial très important pour la plaine du Zebra, ceci essentiellement pour deux raisons. La première, c'est l'importance des dépôts, non en épaisseur, mais en surface : ils servent de roche-mère à de très nombreux sols. La deuxième, c'est la croûte : tous les dépôts tensiftiens ont été plus ou moins fortement encroûtés ; mais, et ceci est très important pour la mise en valeur, les croûtes tensiftiennes ne sont presque jamais très épaisses, indéfonçables ; elles se réduisent même très souvent à de simples encroûtements peu épais, plus ou moins tuffeux, non durcis.

Les dépôts tensiftiens sont donc très fréquents, mais il faut souligner qu'ils ne sont pas généralisés ; ceci soit parce qu'ils ont été en partie érodés, soit également parcequ'en de nombreux points, ils ne se sont pas déposés : on voit alors la croûte tensiftienne reposer directement sur des dépôts plus anciens : amiriens, moulouyens et même ante-quaternaires.

Ce qui caractérise avant tout les dépôts tensiftiens, les différenciant souvent nettement des formations plus anciennes, ce sont :

1º) Une texture toujours assez riche en graviers et cailloux. En bordure des montagnes ou dans les zones de terrasses, les formations tensiftiennes sont toujours très caillouteuses, le pourcentage de terre fine pouvant tomber à moins de 50 ; il existe même des dépôts à peu près entièrement caillouteux. Quand on s'éloigne des montagnes ou des terrasses, le pourcentage de cailloux diminue sensiblement, mais il subsiste toujours beaucoup

.../....

de graviers et dans la granulométrie de la terre fine, il y a toujours une quantité assez forte de sables grossiers (10 à 25 %).

2º) La présence de granules et nodules calcaires (*), vraiment caractéristiques de la pédogénèse de cette époque, ce qui contribue encore à diminuer le pourcentage de terre fine. Ceci nous amène à préciser que nous pensons que le Tensiftien est en réalité un pluvial double ; c'est une hypothèse déjà avancée par quelques auteurs mais encore discutée. Nous pensons qu'il y a eu :

- Un pluvial Tensiftien majeur, caractérisé par des dépôts en général peu rubéfiés, contenant des granules calcaires mais surtout des grosses taches et des nodules calcaires. La texture de la terre fine de ces dépots (fig. nº 6 : roches-mères nº 5 et 6) est assez pauvre en argile, mais riche en limons et surtout en sables fins. Quand ils sont encroûtés, ils le sont assez fortement.

- Un pluvial Tensiftien mineur, caractérisé par des dépôts en général nettement plus rubéfiés et ne contenant que des petites taches calcaires et des granules : il n'y a pas ou très peu de nodules. La texture de la terre fine de ces dépôts est nettement plus riche en argile, sans atteindre cependant le niveau des limons amiriens (fig. nº 7, : roche-mère nº 7). Quand ils sont encroûtés, ils le sont assez faiblement.

Cette différence, c'est surtout sur le pourtour de la plaine, en particulier dans la zone du périmètre située près de la chaine des Kebdana, que nous avons pu la faire assez facilement. Dans le centre de la plaine, elle est plus délicate à mettre en évidence. En effet, on retrouve bien dans cette zone les deux niveaux de croûtes, même en général assez bien emboîtés alors que sur le pourtour de la plaine ils sont le plus souvent superposés. Mais sous les croûtes majeures, c'est un limon assez argileux surtout caractérisé par assez peu de limons, beaucoup de sables fins et très peu de sables grossiers, que l'on trouve (fig. nº 2 : roche-mère nº 8) ; c'est probablement leur éloignement des montagnes qui peut expliquer cette texture (plus d'argile, moins de sables grossiers). Et sous les croûtes mineures, c'est un limon à peu près identique à celui de l'Amirien, qui existe : très argileux, non ou très peu caillouteux, pauvre en graviers, fortement rubéfié. Rien ne nous permet donc d'affirmer, en dehors de la présence de quelques granules, qu'il y a des dépots du

---

(*) On appelle nodules des concrétions calcaires très durcies ayant environ 1 à 2 cm de diamètre. On appelle granules des concrétions calcaires plus petites.

Tensiftien mineur dans le centre de la plaine. C'est cependant très probable : nous avons vu que pour le Tensiftien majeur, les dépôts avaient une granulométrie plus fine au centre de la plaine ; pour les dépôts du Tensiftien mineur, il doit en être de même ; mais étant déjà assez argileux sur le pourtour de la plaine, il est normal qu'au centre ils se confondent avec les limons amiriens, d'autant plus qu'ils se situent comme ces derniers dans les vallées. Il s'ensuit que, sur le plan pédologique, les sols développés sur les deux types de limons sont identiques.

En dehors des caractères granulométriques que nous venons de décrire, les dépôts tensiftiens sont caractérisés par :

- Une couleur très variable, du brun-gris à l'ocre-rouge ; les petites taches noires sont assez fréquentes.

- Une structure polyédrique qui peut être, en particulier dans les limons du Tensiftien mineur, assez polyédro-cubique à facettes lisses comme celle de l'Amirien ; mais elle n'atteint jamais le développement et l'instabilité de la structure de l'Amirien. Cette structure est souvent assez soudée. Les traces de racines sont fréquentes : elles se présentent sous la forme de boudins d'argile plus ou moins calcaires.

Une richesse en calcaire très variable ; sous les encroûtements, elle peut varier de 20 à 40 %.

- Une salure fréquente mais non généralisée ; en bordure de la chaine des Kebdana, ils ne sont pas ou peu salés.

- Une alcalisation assez générale.

Signalons pour terminer l'influence très marquée qu'ont eu les shistes et quartzites vert-olive de la nappe rifaine sur la granulométrie des dépôts tensiftiens (probablement tensiftien mineur) : les limons provenant de l'altération de ces roches sont toujours caillouteux et riches en sables grossiers, mais aussi très argileux et ceci au dépend des sables fins et surtout des limons. Ils sont fortement rubéfiés (fig. nº 7 ! roche-mère nº 9). Ils n'existent que par petites taches en bordure des Kebdana;

.../...

PLAINE DU ZEBRA
GRANULOMETRIE
DES LIMONS QUATERNAIRES

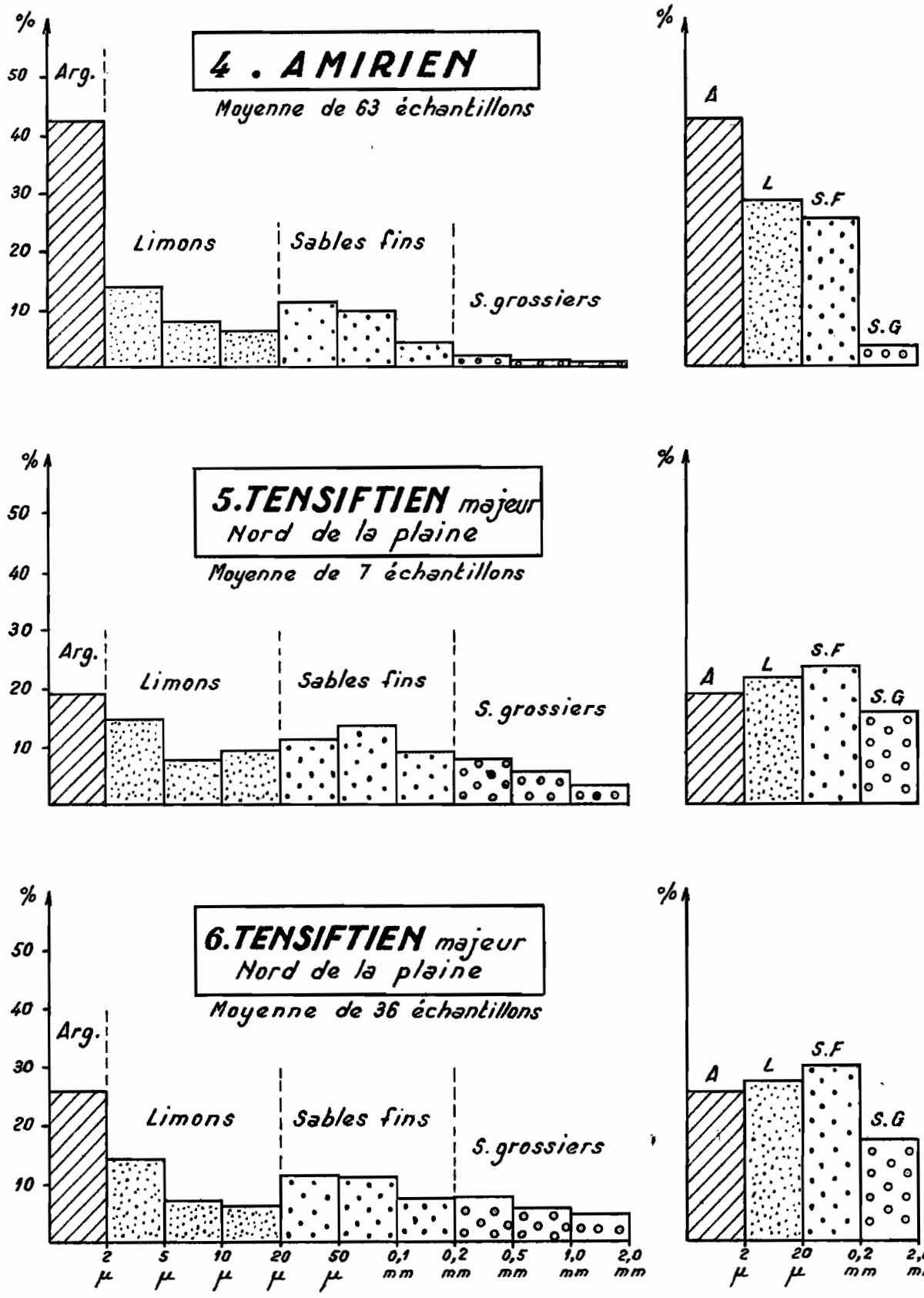


FIGURE N° 6

PLAINE DU ZEBRA
GRANULOMETRIE
DES LIMONS QUATERNAIRES

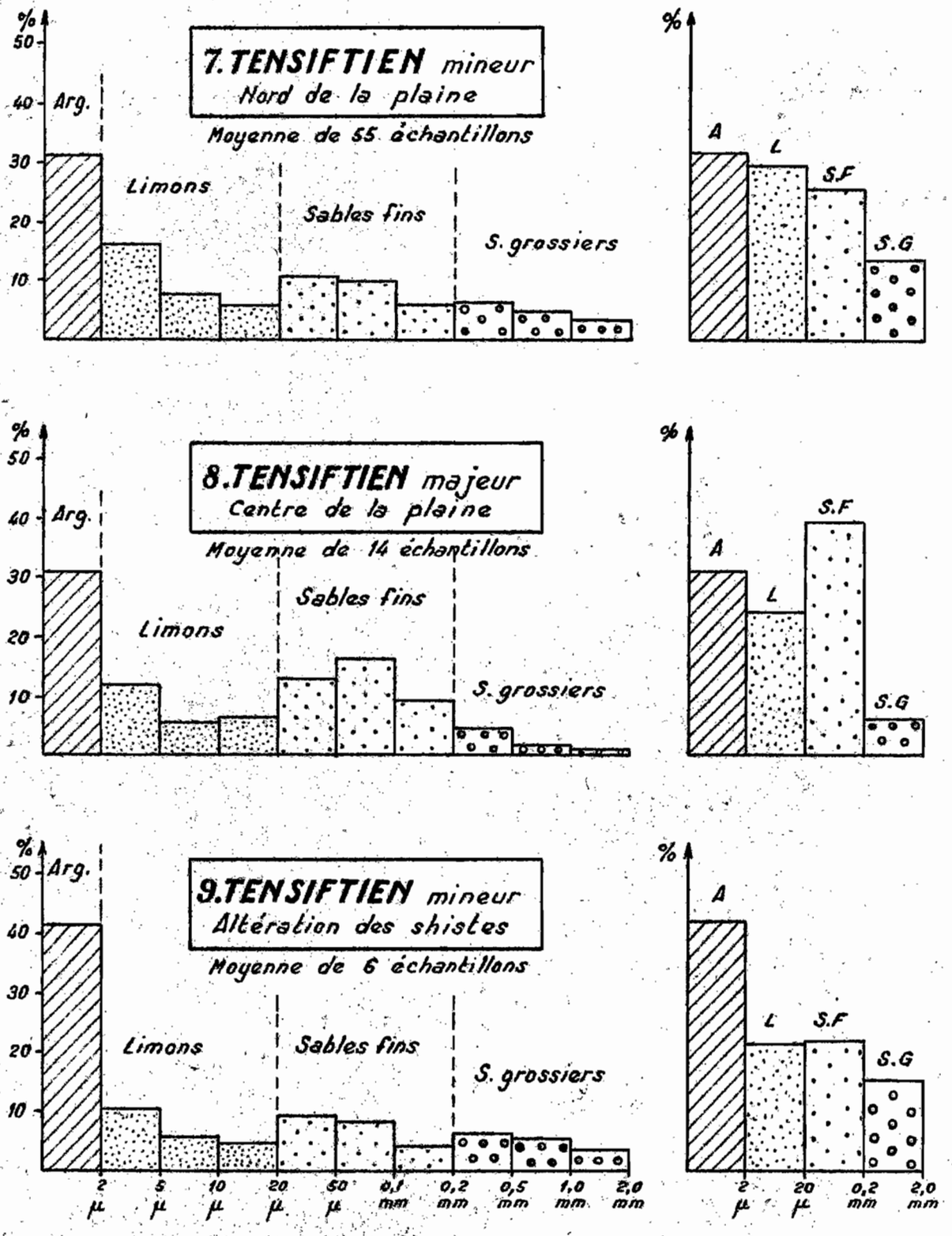


FIGURE N° 7

Comme le creusement post-amirien, celui qui suivit le tensiftien fut assez fort dans les grandes vallées ; on retrouve cependant de nombreuses terrasses tensiftiennes, ceci grâce à la protection efficace des croûtes calcaires. Ailleurs, ce creusement fut très faible : on retrouve souvent les croûtes tensiftiennes dans les fonds de vallons.

V.- LE SOLTANIEN

Les dépôts soltaniens sont généralisés dans la plaine du Zebra. A peu près partout ils recouvrent toutes les formations antérieures. Mais ce recouvrement est toujours faible : 20 à 50 cm. Ce n'est que dans les fonds de vallon d'une part, et pas dans tous ; en bordure de l'oued Zebra d'autre part, où subsistent des terrasses soltaniennes importantes, que l'on trouve une épaisseur plus grande de dépôts, dépassant cependant rarement les deux mètres.

L'étude des dépôts soltaniens, en particulier en ce qui concerne la granulométrie, est donc bien difficile, la pédogénèse les ayant presque toujours entièrement affectés. Par ailleurs, comme il s'agit de dépôts assez récents, ils conservent encore l'hétérogénéité qu'ils avaient lors de leur dépôt, hétérogénéité due, comme pour tous les limons de la plaine, à leur provenance variée : la pédogénèse les a affectés sur toute leur épaisseur mais n'a pas eu le temps de les uniformiser autant que les dépôts plus anciens.

Dans les figures nº 8 et 9, sont représentées les granulométries des différents types de limons soltaniens que nous avons cru pouvoir différencier. Nous pensons qu'il est inutile de les commenter longuement ; nous attirons seulement l'attention sur les trois points suivants :

- La richesse en argile n'est en général pas très forte, sauf pour les limons provenant de la décomposition des shistes et quartzites vert-olive de la nappe rifaine (roche-mère nº 11).

.../...

- Les dépôts des terrasses soltaniennes situées le long du Zebra sont pauvres en limons et très riches en sables fins (roche-mères nº 14 et 15).

- La teneur en graviers et cailloux est assez variable ; elle est en général plus faible que celles des limons tensiftiens, mais comme toujours, elle augmente sensiblement dans les zones de terrasses ou quand on se rapproche des montagnes.

En ce qui concerne les autres caractères, il faut souligner :

- Une couleur toujours assez rouge.

- Une structure généralement polyédrique. Mais elle peut être également, soit inexistante (en profondeur quand le dépôt est épais), soit polyédrique à facettes lisses (roche-mère nº 14), soit prismatique (roche-mère nº 11).

- Une teneur en calcaire très variable : 0 à 30 %. Ils contiennent souvent des taches calcaires et même quelquefois des granules. Ils ne sont presque jamais recouverts d'une croûte ou d'un encroûtement.

- Une salure rare ; seuls certains limons situés en bordure du Zebra sont fortement salés (roche-mère nº 14).

- Une alcalisation assez fréquente, mais non généralisée.

Les creusements post-soltaniens furent très faibles partout, même dans la vallée de l'Oued Zebra où subsistent de nombreuses terrasses de cette époque.

VI.- LE RHARBIEN

Les dépôts rharbiens sont assez rares dans la plaine du Zebra. On pourrait bien sûr attribuer à cette époque qu'il faudrait alors

.../...

prolonger jusqu'à nos jours, une mince pellicule de quelques centimètres formant l'horizon tout à fait superficiel de tous les sols. Il s'agit là en réalité d'un simple remaniement sur très faible distance, ou même sur place, des dépôts sous-jacents en général soltaniens. Ce remaniement, qui doit être en partie éolien, a provoqué le départ d'éléments fins : argile et limons.

On peut cependant trouver des dépôts rharbiens (ou subactuels) ayant une certaine épaisseur, dans les situations suivantes :

1º) En bordure des montagnes qui entourent la plaine, sous forme de petits cônes de déjection. Ces cônes, qui sont le plus souvent en dehors du périmètre à irriguer, sont faits de dépôts presque toujours très caillouteux ; on a, soit une succession d'horizons peu épais (10 à 50 cm) de dépôts caillouteux et de dépôts sablo-limoneux plus ou moins caillouteux, soit un dépôt à peu près entièrement caillouteux sur une grande épaisseur.

2º) Localement dans la plaine, en général dans des zones légèrement déprimées ou proches de la montagne, sous la forme d'un dépôt de quelques centimètres d'épaisseur (rarement plus de 30 cm) que l'on peut nettement différencier des dépôts sous-jacents par une plus grande richesse en cailloux ou par un léger cailloutis de base. Il s'agit de limons (fig. nº 10 roche-mères nº 16 et 17) à granulométrie assez grossière : cailloux, graviers, assez peu ou peu d'argile, beaucoup de sables, pouvant, si on fait des comparaisons d'un point à un autre de la plaine, avoir une granulométrie plus fine que certains limons soltaniens, mais ayant toujours en un point donné une granulométrie plus grossière que celle des limons soltaniens sous-jacents.

3º) Au fond de certaines vallées assez profondes, telle la vallée morte, où on peut les trouver sur une forte épaisseur (2 mètres et plus). Il s'agit alors de limons (fig. nº 10 : roche-mère nº 18) à granulométrie assez fine, pouvant même être localement très fine (plus de 30 % d'argile et plus de 70 % d'argile + limons).

4º) Enfin, en terrasses en bordure de l'oued Zebra, sous forme de dépôts souvent très hétérogènes, mais à granulométrie toujours grossière : succession d'horizons plus ou moins caillouteux et d'horizons riches en sables (fig. nº 10 : roche-mère nº 19).

.../...

En dehors de la granulométrie, les dépôts rharbiens sont caractérisés par :

- Une structure polyédrique à nuciforme en surface ; quand il s'agit de dépôts assez épais, la structure disparaît rapidement avec la profondeur.

- Une couleur généralement claire, sauf en surface où ils sont brunis par la matière organique.

- Une teneur en calcaire en général assez forte (10 à 30 %) mais il n'y a jamais de taches calcaires. En bordure de la chaine des Kebdana on peut cependant trouver des limons rharbiens très peu calcaires.

- Une salure très faible.

- Une alcalisation rare.

VII.- L'EVOLUTION ACTUELLE

Nous n'insisterons pas sur les caractères des dépôts subactuels et actuels. Etant donnée leur faible importance et la difficulté qu'il y a de les distinguer des limons rharbiens nous les avons regroupés avec ces derniers. Signalons seulement l'existence le long de l'oued Zebra de très basses terrasses, formant le lit majeur de l'oued, recouverts de dépôts très hétérogènes et presque toujours très caillouteux.

Depuis la fin du Rharbien, érosion et accumulation, favorisées par un régime de pluies courtes mais violentes et par des vents forts et fréquents, continuent cependant d'une manière qui est loin d'être négligeable. Actuellement, on peut observer :

1º) Le remaniement, plusieurs fois par an, à chaque crue, du lit mineur et plus rarement du lit majeur de l'oued Zebra et de ses principaux

.../...

PLAINE DU ZEBRA
GRANULOMETRIE
DES LIMONS QUATERNAIRES

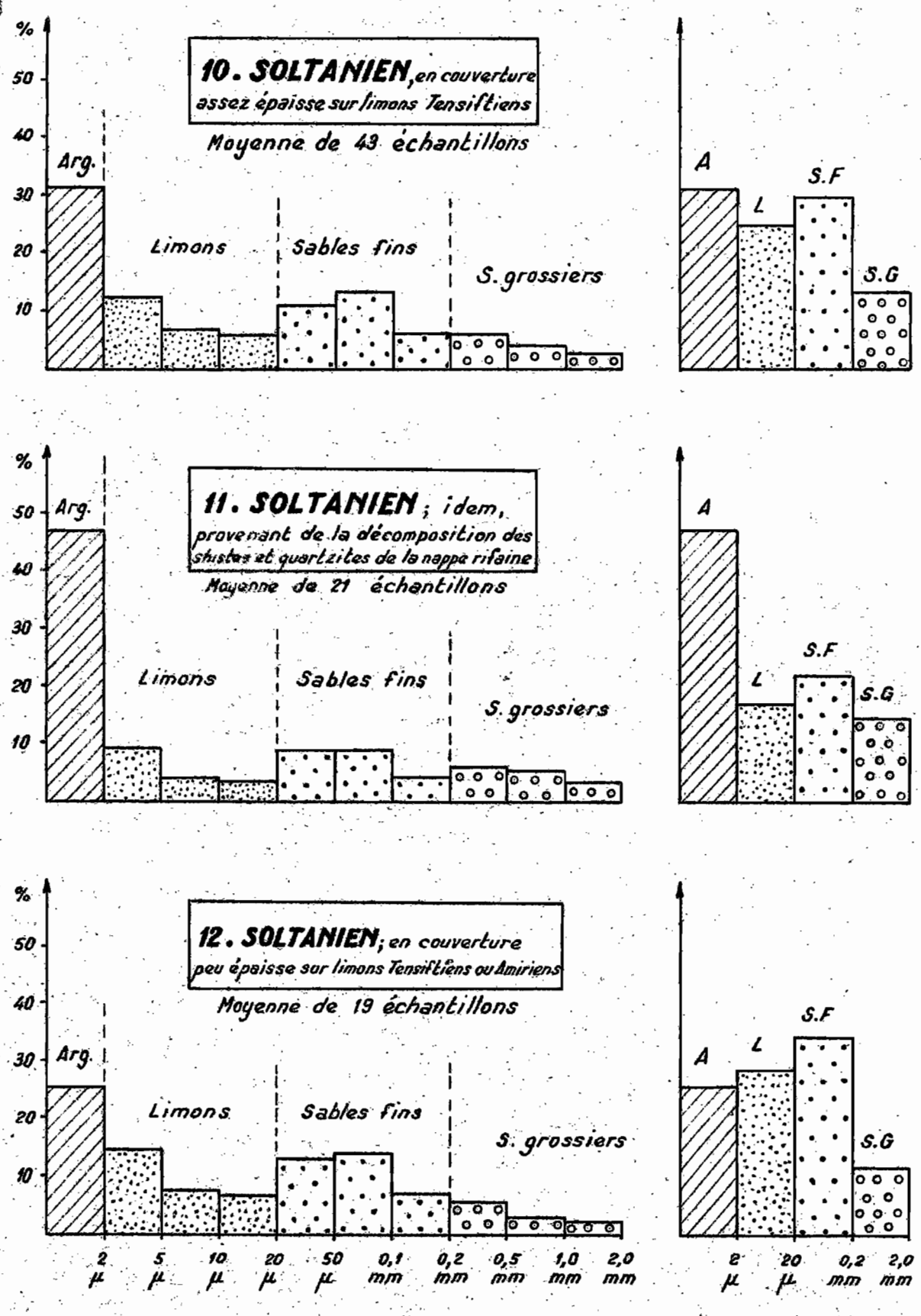


FIGURE Nº 8

PLAINE DU ZEBRA
GRANULOMETRIE
DES LIMONS QUATERNAIRES

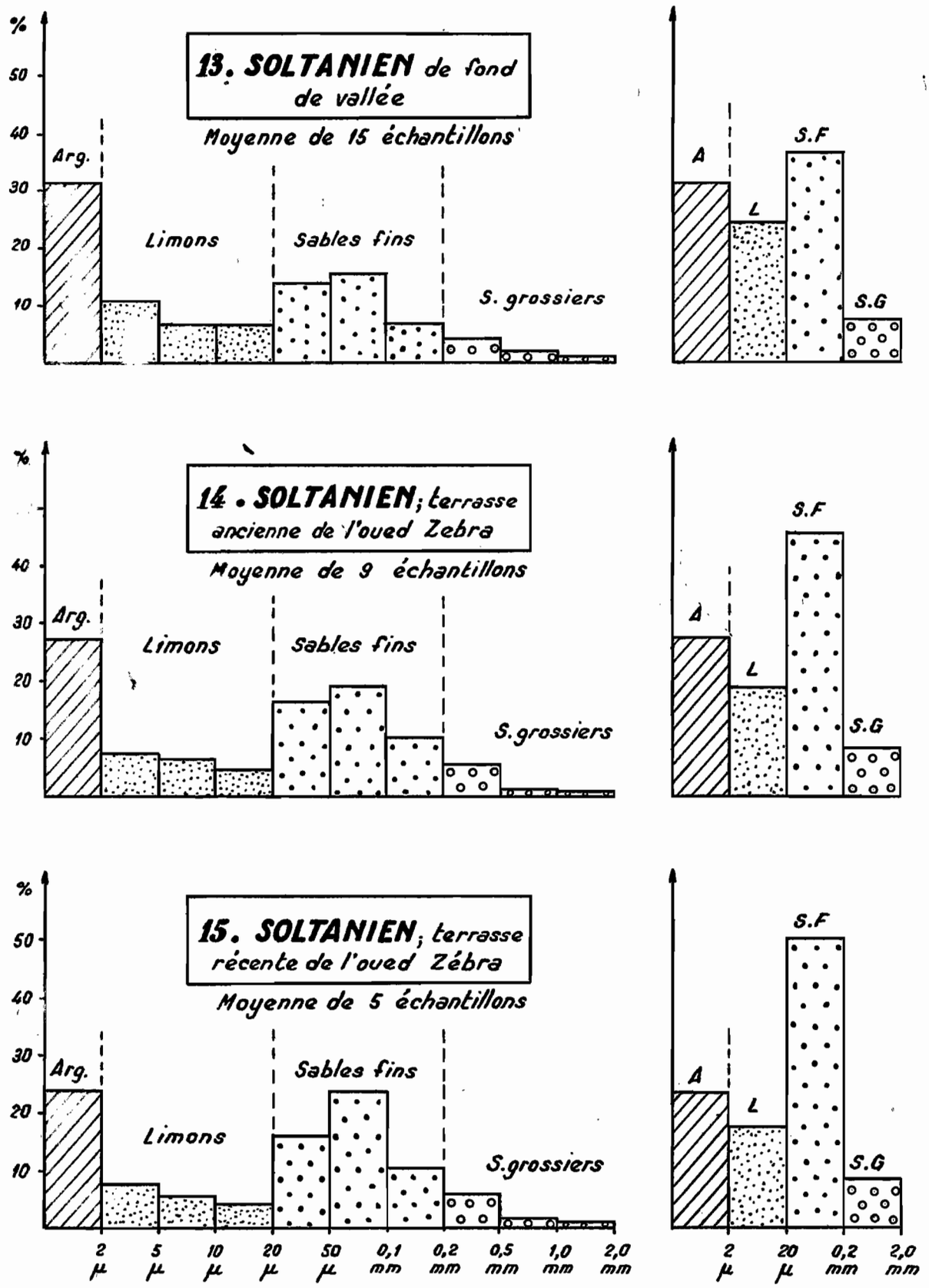


FIGURE Nº 9

PLAINE DU ZEBRA
GRANULOMETRIE
DES LIMONS QUATERNAIRES

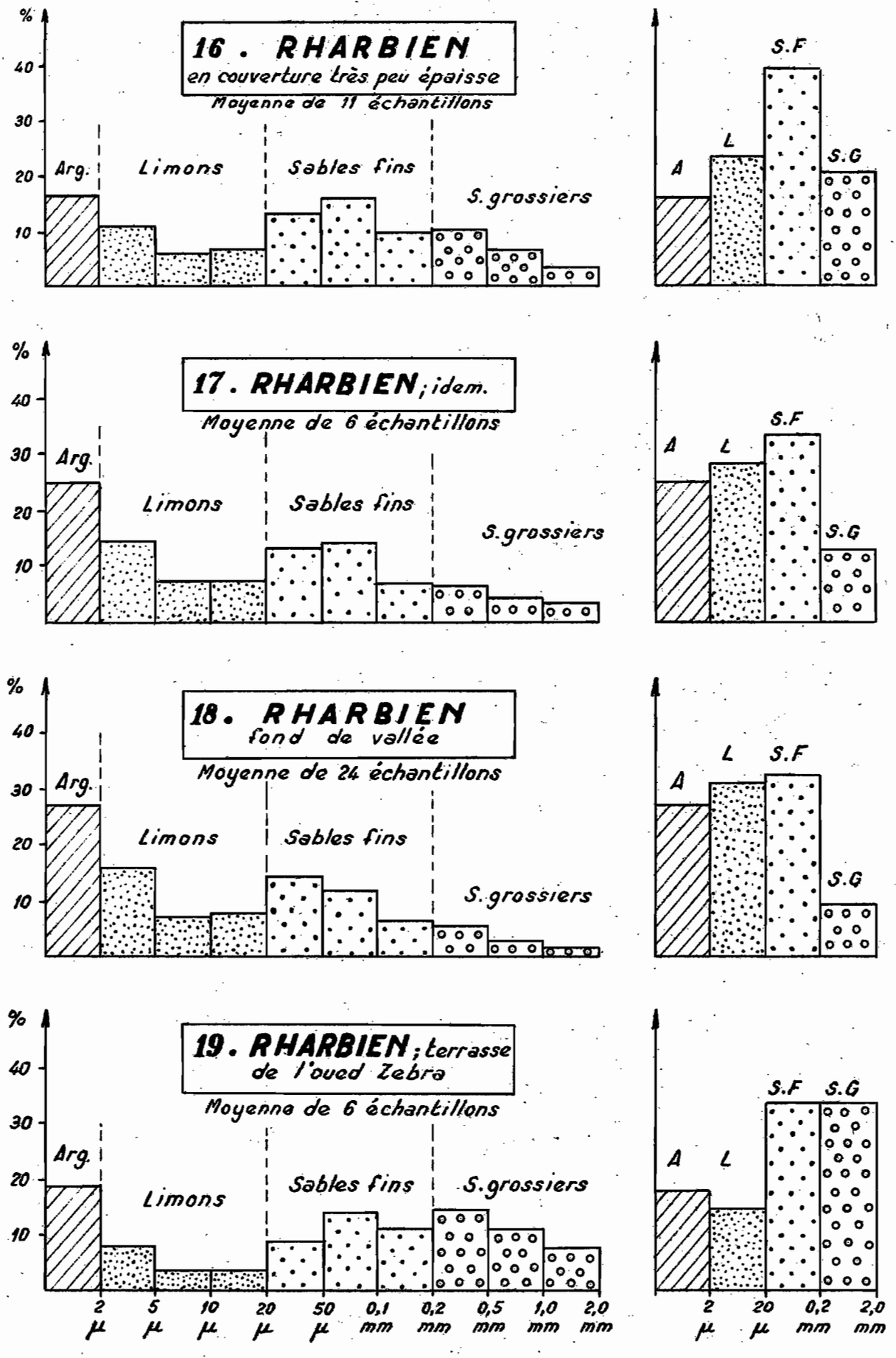


FIGURE N° 10

affluents. Il y a érosion des berges, modification de la disposition des dépôts du lit mineur, et, quand il y a des grosses crues, dépôts sur toute la terrasse sub-actuelle (et même quelquefois rharbienne : crue de Mai 1962).

2º) L'évolution rapide des griffes d'érosion, des petits ravins peu profonds, qui sont très nombreux dans la plaine. A chaque grosse pluie ces ravins s'élargissent un peu et surtout reculent leur tête, et de nouvelles petites griffes prennent naissance à la faveur d'une rupture de pente un peu brutale souvent créée par l'homme (pistes, nivellement). Ce qu'il faut noter c'est que ces ravins, en particulier dans la zone Nord, ne sont généralement pas très longs et ne rejoignent pas sous cette forme encaissée les oueds plus importants ; les zones d'épandage des dépôts arrachés un peu plus haut sont très fréquentes et souvent assez larges. Il sera donc nécessaire avant la mise en valeur de certains secteurs de creuser des fossés destinés à supprimer ces zones d'épandage par la concentration du ruissellement ; l'exécution de ces fossés exigera l'établissement préalable d'une carte précise de ces zones d'épandage, carte qu'il sera facile d'exécuter à l'aide des photographies aériennes et de la carte pédologique.

3º) Sur l'ensemble de la plaine, une certaine érosion en nappe, favorisée par le glaçage des sols en surface, mais limitée par les pentes assez fortes qui entraînent la concentration du ruissellement; et une érosion éolienne assez forte, mais avec transport sur faible distance, les vents violents capables de provoquer une érosion étant presque toujours sous forme de tourbillons. Il s'agit là du remaniement, avec essentiellement appauvrissement en éléments fins, qui domine depuis le Rharbien. Il faut noter que ce remaniement (voir chapitre IV, p. 104) et chapitre VI) est grandement facilité par la mise en culture qui fait disparaitre la steppe protectrice, pour la remplacer par des cultures de céréales, très extensives, ou des jachères ; mise en culture qui entraîne d'autre part, par l'action des labours peu profonds qui effritent la terre, une baisse très sensible de la stabilité structurale des horizons de surface, horizons qui sont d'abord glacés par les pluies, puis rendus très "poussiéreux" par la sécheresse. Il est très probable que le remaniement éolien disparaitra à peu près complètement quand les sols seront irrigués : les sols seront plus humides et la couverture végétale plus forte. Par contre, si les précautions élémentaires ne sont pas prises, l'érosion linéaire par l'eau se développera,

.../...

les pentes étant toujours assez fortes dans l'ensemble de la plaine du Zebra.

VIII.- CONCLUSIONS

La plaine du Zebra se présente donc comme une grande plaine d'accumulation de dépôts quaternaires, au relief très varié et souvent même très mouvementé.

A.- Les dépôts quaternaires

Parmi les dépôts quaternaires, deux sont dominants : ceux du Moulouyen, presque toujours recouverts d'une très grosse croûte, et ceux du Quaternaire moyen (Amirien et Tensiftien) également très souvent encroûtés mais beaucoup moins fortement ; ce sont eux qui constituent les roches-mères, toulours légèrement enterrées sous des dépôts plus récents, de la majorité des sols. Mais étant donné le relief mouvementé de la plaine, relief qui s'accompagne d'une variation permanente de l'épaisseur des dépôts appartenant aux pluviaux successifs, les roches-mères des sols sont extrêmement variables dans l'espace ; ces roches-mères ayant (de par leurs caractères propres et du fait que les sols qu'elles portent évoluent généralement depuis qu'elles existent) une grande influence sur les types de sols, leur variabilité dans l'espace entraîne une répartition très hétérogène des types de sols, hétérogénéité encore accentuée par l'influence du relief sur la différenciation des sols situés sur un même dépôt.

D'une façon générale, les dépôts quaternaires n'ont pas beaucoup de caractères communs. Ils en ont cependant quelques-uns qui sont :

- Une granulométrie où dominent toujours les éléments inférieurs à 0,005 mm (argile + limons très fins), les éléments les moins

.../...

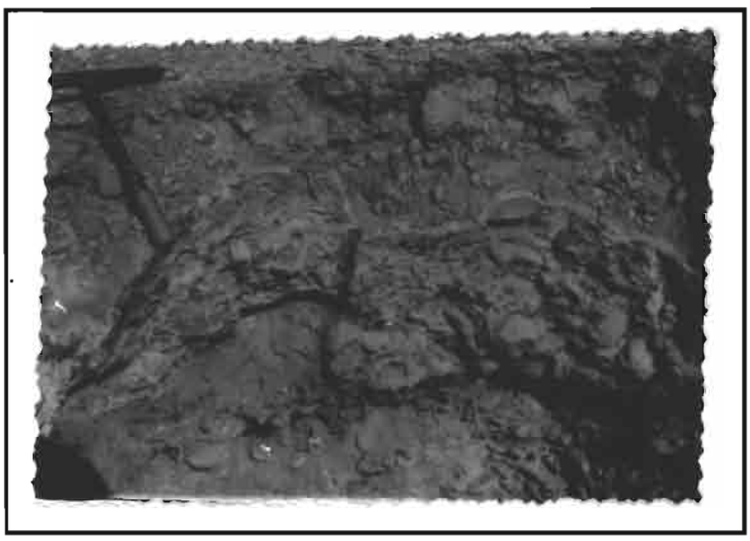


PHOTO Nº 3 .- Epaisse dalle faillée du Moulouyen inférieur



PHOTO Nº 4 .- Griffes d'érosion dans la zone Ouest de la plaine.

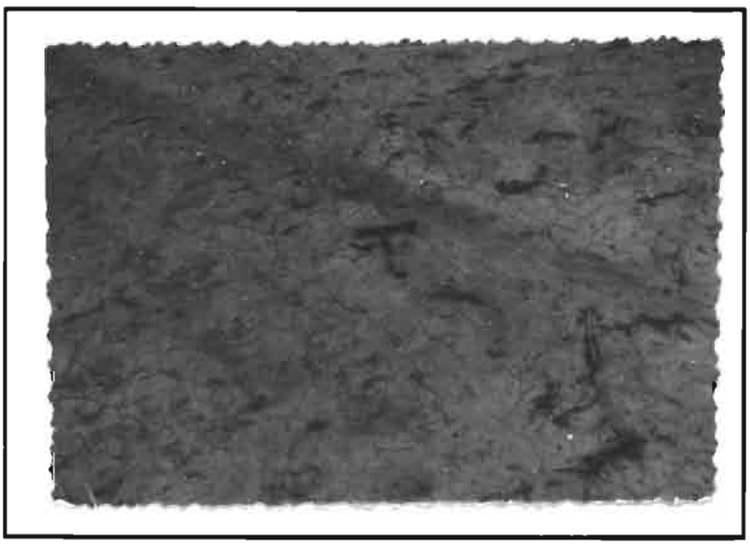


PHOTO Nº 5 .- Glaçage des sols permettant le développement de l'érosion.

représentés étant généralement les limons 0,005 - 0,020 mm et les sables grossiers.

- Une structure polyédrique plus ou moins développée, plus ou moins fine, et en général assez instable.

- Une teneur en calcaire, très variable, mais le plus souvent supérieure à 10 %, et oscillant généralement autour de 25 à 35 %.

- Une salure et une alcalisation très fréquentes et souvent très fortes.

B.- La topographie

Sur le plan de la topographie (fig. nº 14), la plaine peut être divisée en quelques grands ensembles :

- A l'Est et au Sud-Est (zone 1), domine une topographie de plateaux, légèrement ondulés, mais de pente générale faible (vers la Moulouya) : il s'agit des glacis du Moulouyen inférieur. Cette topographie assez régulière est cependant violemment perturbée par quelques grandes failles, les deux principales étant celle de l'oued Zebra et celle de la vallée morte ; ces failles ont permis le développement d'un réseau assez serré de petits oueds qui dissèquent, souvent assez profondément, les bords des plateaux.

- A l'Ouest de cette zone 1, dans toute la partie de la plaine située au Nord de l'oued Zebra (zone 2), la topographie est dominée par la présence d'un vaste glacis tensiftien, adossé à la chaine des Kebdana et venant buter le long du Zebra, sur les restes des glacis plus ou moins effondrés du Moulouyen. Ce glacis a une pente générale assez forte (1 à 3 %), d'autant plus forte, bien entendu, que l'on se rapproche de la chaine des Kebdana. Ce glacis, surtout, repris par les érosions soltaniennes, rharbiennes et actuelles, n'a pas une topographie très régulière l'ensemble est sillonné de petits oueds, généralement orientés NW - SE, qui ont dessiné des bombements serrés près des Kebdana, puis assez amples, puis de nouveau de plus en plus serrés, de plus en plus accentués, quand on se rapproche de l'oued Zebra.

.../...

- Au Sud et au Sud-Ouest de l'oued Zebra et dans une bande limitant à l'Ouest la zone 2 (zone 3), c'est de nouveau une topographie dominée par les glacis moulouyens qui prend place. Mais au contraire de la zone 1, ces glacis ayant été très ondulés par la tectonique, la topographie de cette troisième zone est extrêmement bousculée : il s'agit d'un émiettement de petits plateaux fréquemment basculés, de buttes souvent minuscules, séparés par des vallons plus ou moins profonds mais ayant généralement un profil assez évasé, à fond plat. Quand on va vers le Sud et le Sud-Ouest, cette topographie a tendance à se régulariser (zone 4) : on repasse à des glacis moulouyens ou tensiftiens plus calmes, simplemat disséqués par quelques entailles parfois violentes.

- Dans la zone Ouest de la plaine (zone 5), large vallée synclinale bordée au Nord et au Sud de glacis moulouyens courts et à pente forte, c'est une topographie assez régulière que l'on retrouve : c'est certainement la zone la plus calme de l'ensemble de la plaine. Il s'agit de glacis tensiftiens assez réguliers, assez peu entaillés, à pente forte près des montagnes, mais s'amortissant rapidement. Dans le centre de la vallée, le comblement Soltano-Rharbien a contribué à la régularisation de la topographie (mises à part quelques entailles violentes sub-actuelles et actuelles).

- Enfin, le long de l'Oued Zebra et de ses deux principaux affluents (zone 6), c'est bien entendu une topographie de terrasses emboîtées que l'on trouve, cette zone étant plus ou moins large, plus ou moins encaissée.

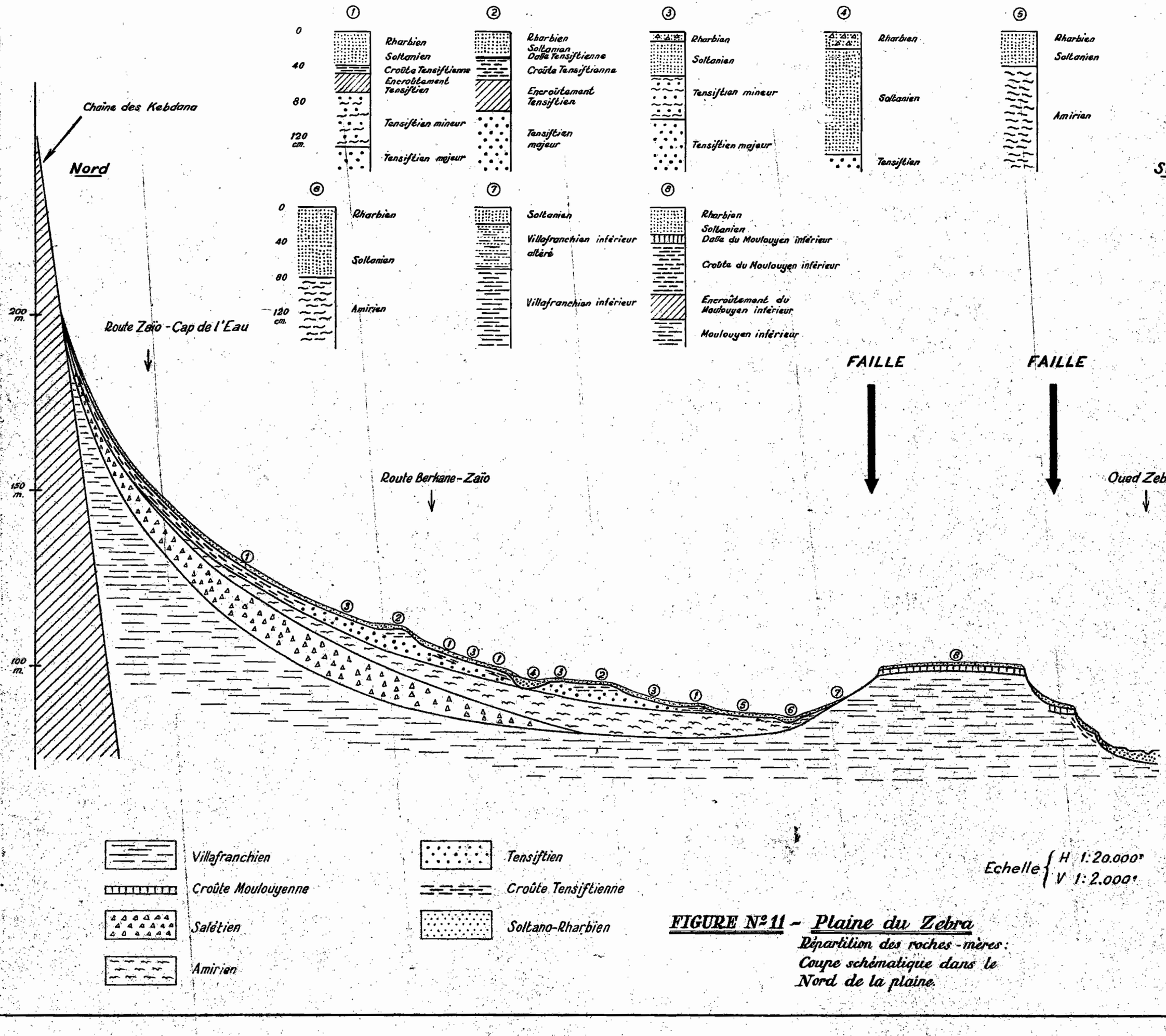


FIGURE N° 11 – Plaine du Zebra

Répartition des roches-mères : Coupe schématique dans le Nord de la plaine.

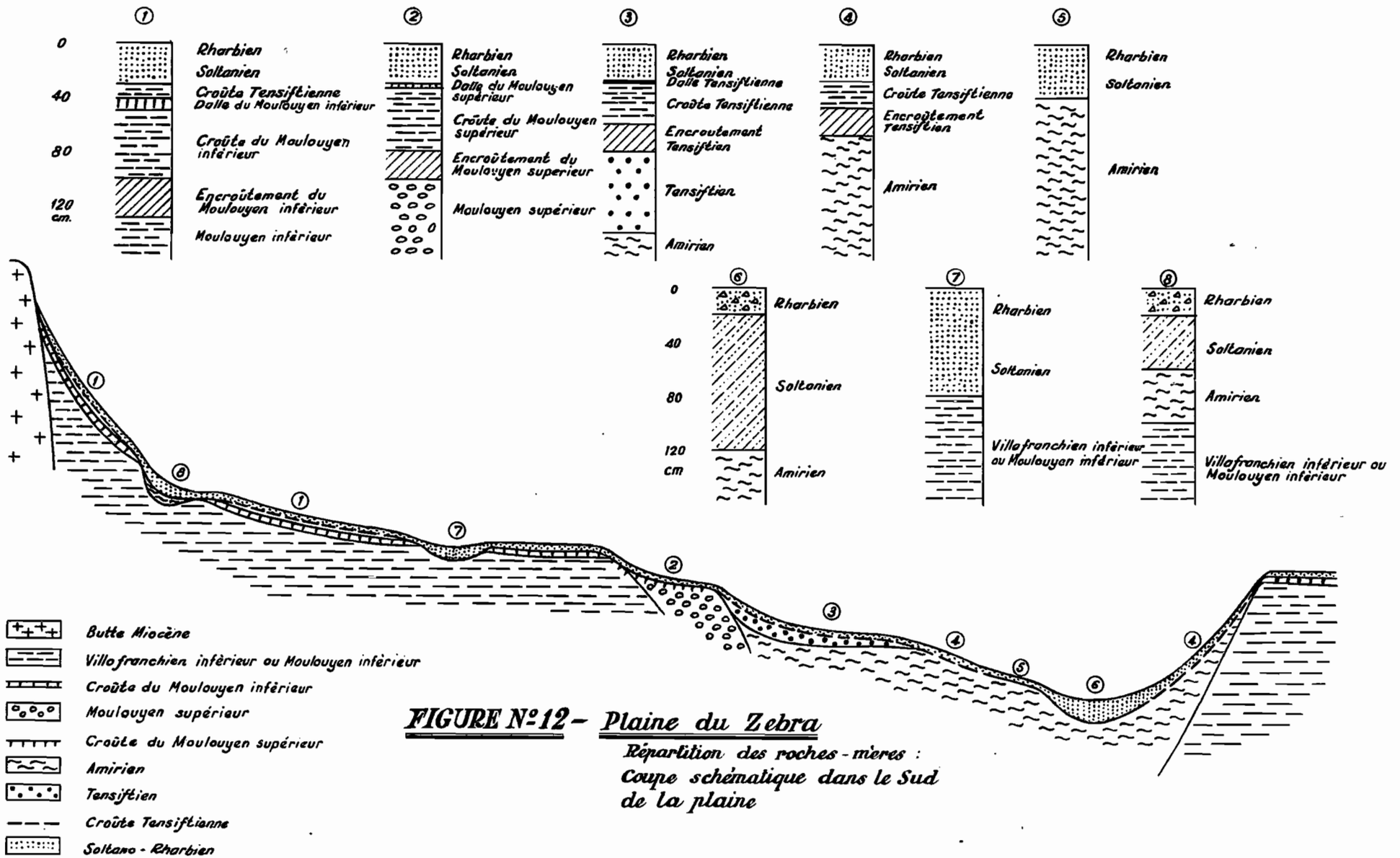


FIGURE N°12 – Plaine du Zebra

Répartition des roches-mères : Coupe schématique dans le Sud de la plaine

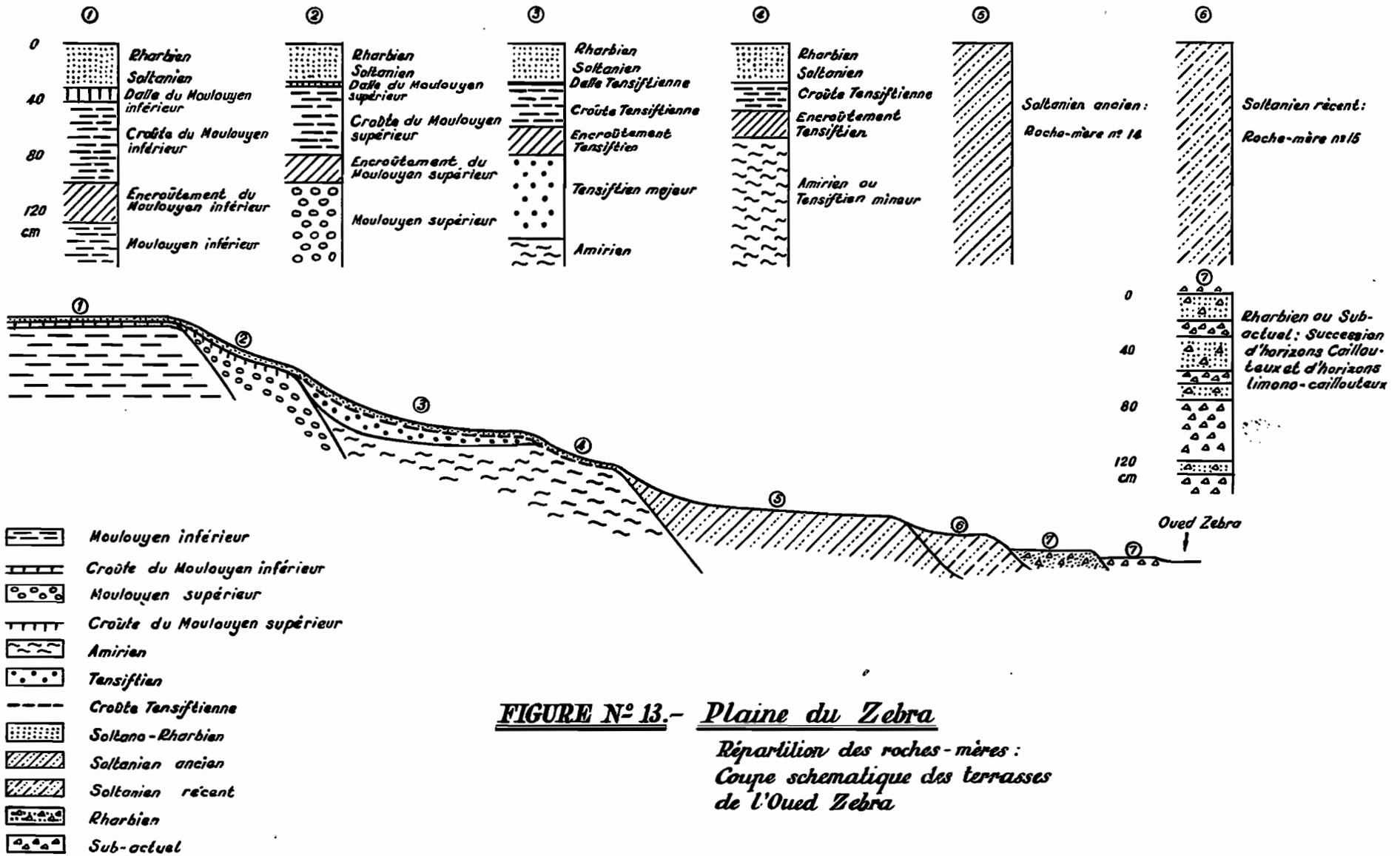


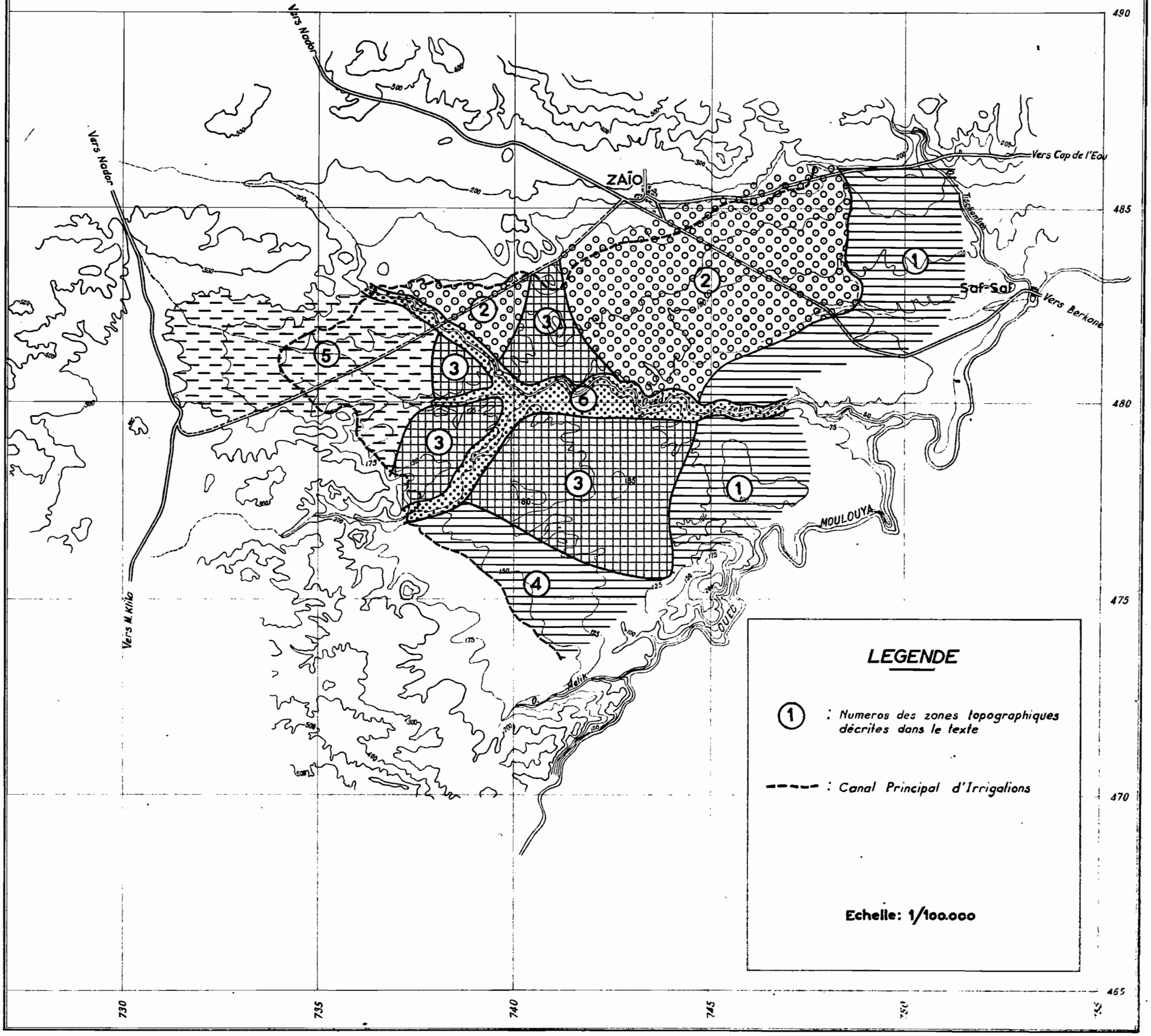
FIGURE N° 13.- Plaine du Zebra

Répartition des roches-mères : Coupe schematique des terrasses de l'Oued Zebra

FIGURE Nº 14

PLAINE DU ZEBRA

ZONES TOPOGRAPHIQUES



CHAPITRE III . - LA CLIMATOLOGIE

Les données météorologiques concernant les trois plaines de la rive gauche de la Basse-Moulouya (Zebra, Bou-Areg, et Gareb) et les régions avoisinantes, sont particulièrement incomplètes. En effet, d'une part le nombre de stations est assez réduit et elles sont le plus souvent situées sur le pourtour et non à l'intérieur des plaines ; d'autre part, ces stations n'ont généralement fonctionné que durant un petit nombre d'années, de manière discontinue, et dans des conditions telles que les relevés semblent parfois douteux.

Si les données existantes, complétées par une bonne étude de la végétation (voir chapitre IV), peuvent malgré tout nous suffire pour définir les traits essentiels du climat de la région, elles sont par contre très insuffisantes pour les besoins de l'expérimentation agronomique d'une part, des projets et de la réalisation de la mise en valeur d'autre part. Il est donc indispensable que soient réalisées à très brève échéance :

1º) La remise en état des stations existantes dans la région (voir fig. nº 15 et tabl. nº 1).

2º) L'installation de quelques stations complètes à l'intérieur des futurs périmètres irrigués. Un minimum d'une station par périmètre serait nécessaire, soit deux stations :

.../...

Nom de la Station	Périodes d'Observations		Remarques
	Début	Fin	
BENI ENZAR	Février 1954	Novembre 1960	Arrêt à cette date
CAP DE L'EAU	Décembre 1944		Continue
NADOR TAUIMA	1942		Continue (Aérodrome)
MELILLA GRANJA	1945	Décembre 1960	Continue (mais renseignements transmis en Espagne)
KARIA ARKEMAN	Novembre 1946	Mai 1958	Arrêt à cette date
SEGANGAN	Septembre 1942	Avril 1958	Arrêt à cette date
S.E.H.A ZEBRA	Août 1960		Continue (ne fonctionne régulièrement que depuis Juin 1961)
GRANJA MOULOUYA	1947	Octobre 1959	Arrêt à cette date
ZAIO	1943		Continue
HASSI BERKANE	Janvier 1948	Janvier 1957	Arrêt à cette date
MOULAY RECHID	Octobre 1944	Décembre 1956	Arrêt à cette date (manque 1952)
SAF SAF	Janvier 1953	Février 1958	Arrêt à cette date
MONTE ARRUIT	Décembre 1944	Septembre 1959	Arrêt à cette date
TISTUTINE	1944	Mai 1958	Arrêt à cette date
DAR DRIUCH	Février 1945	Mars 1958	Arrêt à cette date

TABLEAU Nº 1

FONCTIONNEMENT DES STATIONS METEOROLOGIQUES

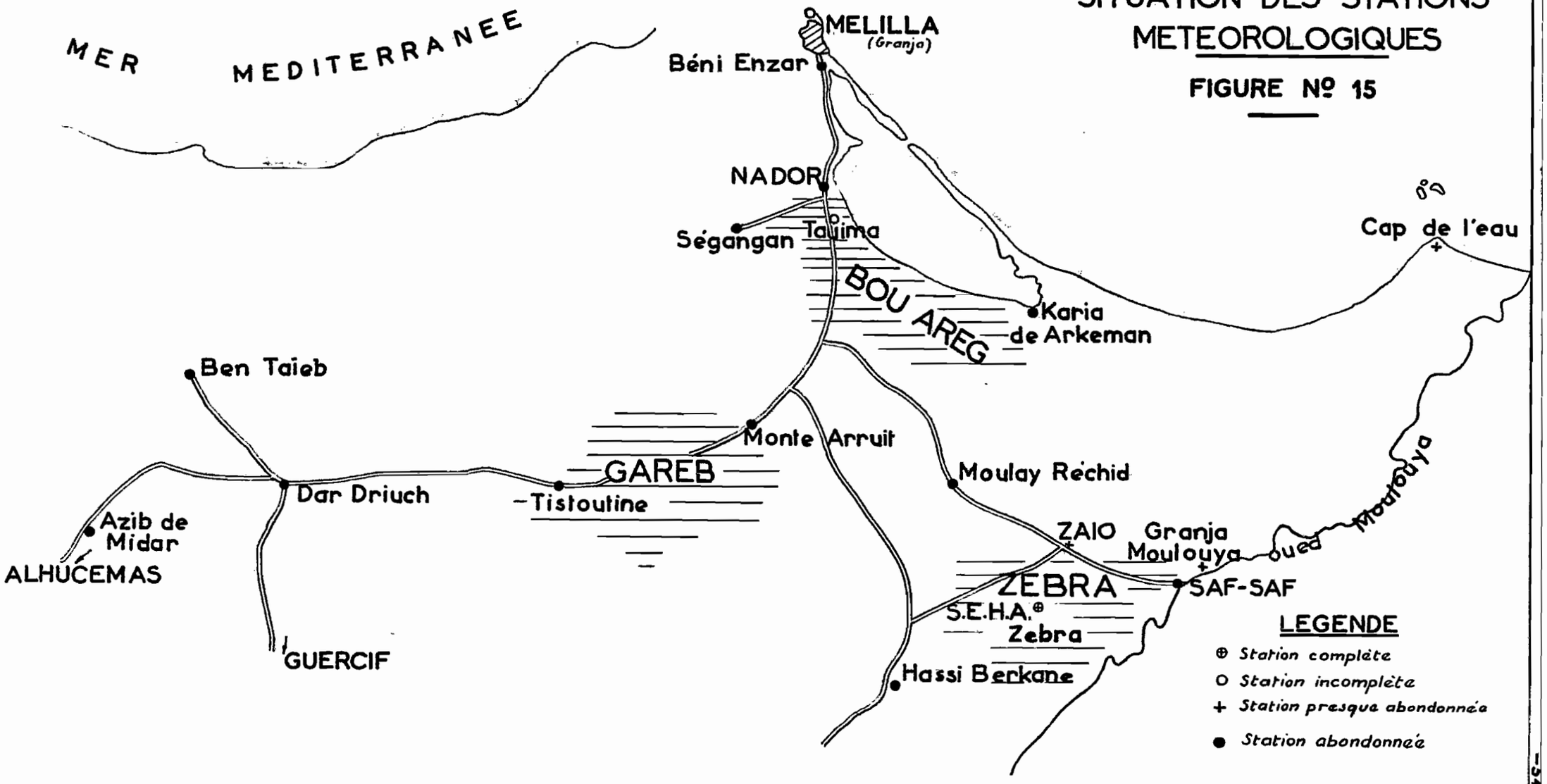
SITUEES DANS LA REGION DES PERIMETRES RIVE GAUCHE DE LA

BASSE MOULOUYA

REGION DES PERIMETRES RIVE GAUCHE DE LA BASSE-MOULOUYA

SITUATION DES STATIONS METEOROLOGIQUES

FIGURE Nº 15



- une dans le Bou-Areg

- une dans le Gareb

Dans le Zebra, une station à peu près complète fonctionne depuis près de deux ans à la station expérimentale. (*).

3º) L'installation, à l'intérieur des périmètres mais aussi à l'extérieur des périmètres (étude des bassins versants), d'un réseau assez serré de petites stations n'étudiant que la pluviométrie et la température.

*

* *

Voyons cependant ce que l'on peut dégager d'essentiel sur le climat de la plaine du Zebra d'après les chiffres que nous avons pu recueillir.

I.- LA PLUVIOMETRIE

Il faut d'abord souligner la très grande irrégularité de cette pluviométrie : il n'existe pas d'année moyenne mais plutôt une succession d'années sèches et d'années humides. Les chiffres du tableau nº 2 sont évocateurs.

Cette irrégularité est une des caractéristiques des climats méditerranéens. Cependant, elle est dans l'ensemble de la Basse-Moulouya particulièrement accusée : la raison en est probablement le relief assez marqué de cette région, relief déjà responsable de l'hétérogénéité des climats dans l'espace, et qui doit fortement accentuer l'influence d'une faible variation de la direction des vents pluvieux du NNE.

.../...

(*) Pour désigner cette station expérimentale nous utiliserons fréquemment dans ce rapport les initiales S.E.H.A qui désignent la Station Expérimentale d'Hydraulique Agricole, adjointe à la Station Pédologique en 1962.

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	Moyenne
Z A I O	251	442	295	289	345	388	330 mm
HASSI BERKANE	337	450				241	310 mm
GRANJA MOULOUYA	323	454	323	229			328 mm
KARIA DE ARKEMAN		219	375	278	564	480	365 mm
MONTE ARRUIT		231	237	288	422		364 mm

TABLEAU Nº 2

IRREGULARITE DE LA PLUVIOMETRIE

Si nous faisons cependant abstraction de cette irrégularité, l'observation des chiffres de pluviométrie moyenne annuelle (tableau nº 3) nous permet de séparer nettement la plaine du Zebra des autres plaines de la région : en effet, elle est franchement plus sèche. La station de la S.E.H.A du Zebra ne fonctionnant que depuis Juin 1961, nous ne disposons pas actuellement de chiffres valables pour la plaine elle-même ; cependant, quatre années de tournées dans cette région, nous ont permis d'observer à quel point le centre de la plaine était un "ilôt d'aridité", ceci étant confirmé par les études pédologiques et phytogéographiques (voir chapitre IV). Nous pensons donc que, les stations situées autour de la plaine donnant des chiffres moyens de 330 mm, la pluviométrie moyenne de la plaine elle-même doit être inférieure à 300 mm. Ceci n'a rien d'anormal : la chaîne des Kebdana constitue une barrière efficace contre les vents humides et pluvieux du NNE ; et quand ces vents arrivent dans la plaine du Zebra après avoir traversé la chaîne des Kebdana, ils sont devenus secs et chauds (perte de l'humidité, sous forme de pluies, par refroidissement en montant le versant Nord ; réchauffement en descendant le versant Sud).

.../...

En ce qui concerne la répartition des pluies au cours de l'année, l'observation des courbes des figures nº 16 et 17 et des chiffres du tableau nº 3, laisse apparaître une certaine homogénéité dans l'ensemble de la région. C'est en principe au mois de Septembre (en général au cours de la 3ème décade de ce mois) que tombent les premières pluies, la "saison des pluies" se prolongeant ensuite jusqu'au mois de Juin ; seuls donc, les mois de Juillet et Août sont absolument secs. Mais si, à première vue, cette répartition des pluies semble assez étalée, en réalité seuls 4 mois par an sont vraiment humides, totalisant 55 à 70 % des pluies : ce sont les mois de Décembre et Janvier d'une part, Mars et Avril d'autre part, séparés par un mois de Février nettement plus sec.

Le mois de Juin peut être considéré comme très sec (pluviométrie presque toujours inférieure à 10 mm.). Quant aux autres mois (Septembre, Octobre, Novembre, Février et Mai) ils ont des pluviométries faibles assez voisines, avec cependant fréquemment une petite pointe d'humidité en Octobre.

Pour ce qui est du régime des pluies, il est très important de souligner :

1º) Que le nombre de jours de pluie par an est faible : 35 à 50, et qu'il est très rare d'avoir plus de trois journées pluvieuses consécutives ; le beau temps, et l'évaporation qu'il entraîne, reviennent toujours très vite.

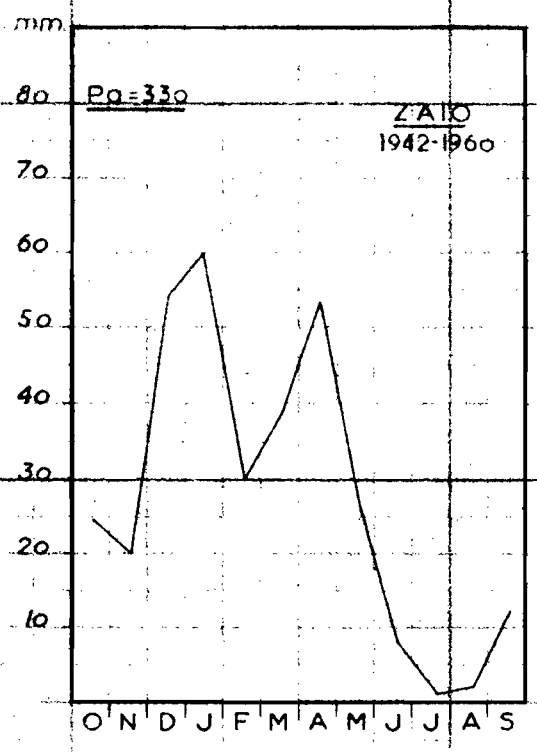
2º) Que les pluies fines sont assez rares. Le plus souvent, et en particulier en Octobre, Mars, Avril et Mai, les pluies tombent en orages courts et violents. Il s'ensuit que l'eau n'a pas le temps de pénétrer dans le sol, d'une part parceque les sols se glacent rapidement en surface, d'autre part parce que les quelques centimètres supérieurs sont rapidement saturés (ceci est bien entendu grandement facilité par la très faible stabilité structurale des horizons de surface ; en particulier la perméabilité à l'eau de pluie, qui est pour ainsi dire de l'eau distillée, est très faible). Il y a donc ruissellement, en nappe d'abord, puis rapidement, concentré en quelques chaabas dont les débits de nuls qu'ils étaient, deviennent rapidement considérables. Nous avons déjà parlé, dans le chapitre II des conséquences de ce ruissellement (voir page 39).

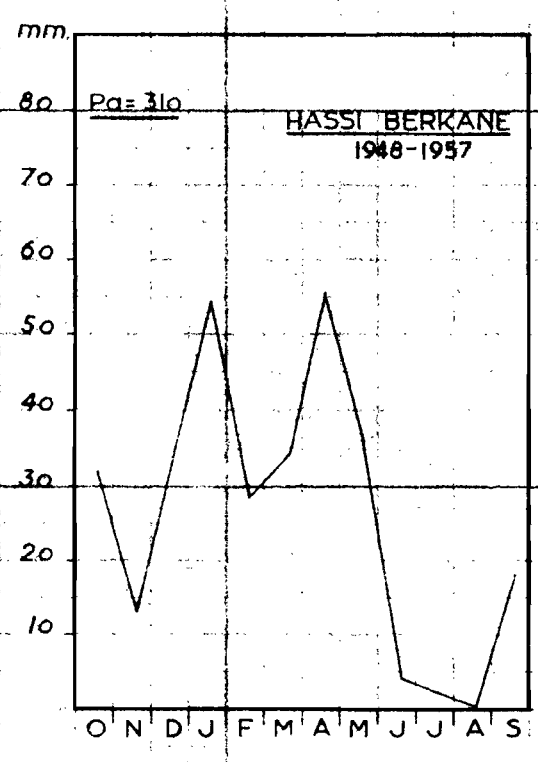
.../...

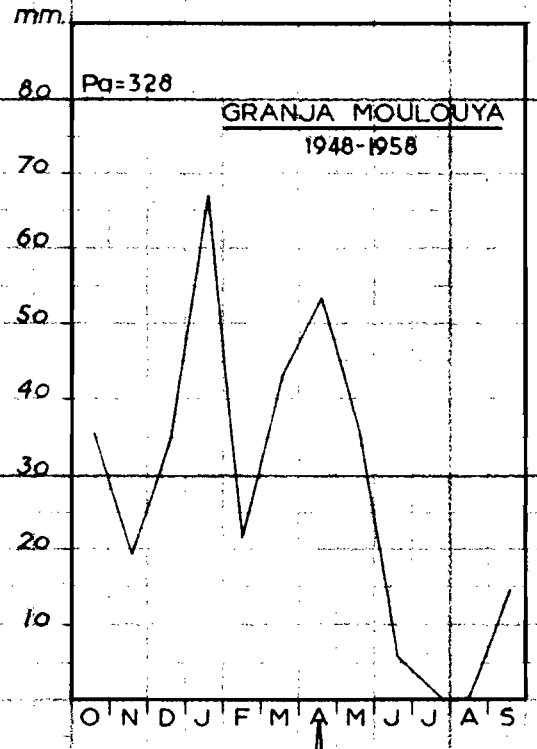
LIEU	ANNEES	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Annuelle
1º/ Plaine du Zebra														
ZAIO	1942-1960	24	20	54	60	30	39	54	26	8	1	2	12	330 mm.
S.E.H.A. ZEBRA	1961-1962	22	13,5	6	5	61	45	64,5	58	30	0	0	0	305 mm.
HASSI BERKANE	1948-1957	32	13	33	54	28	34	56	36	4	2	0	18	310 mm.
GRANJA MOULOUYA	1948-1958	35,5	19	34	66,5	21	42,5	53,5	35	7	0	0	14	328 mm.
SAF SAF	1953-1958	8	26,5	32	71	37	43,5	88	3	7	0	0	12	328 mm.
MOULAY RECHID	1948-1955	40	10	35	64,5	45,5	27	96,5	12	4	0	0	18,5	353 mm.
2º/ Plaine du Bou-Areg														
NADOR	1939-1943 1948-1955	37,5	42	81	63,5	28,5	43	52	15,5	7	2	3	12	387 mm.
KARIA DE ARKEMAN	1948-1955	36	13	47	68	24	59	78	23,5	2	2,5	3,5	8,5	365 mm.
3º/ Plaine du Gareb														
MONTE ARRUIT	1920-1921 1948-1955	31,5	32	32	43	37	59	77	22	6,5	1	0	23	364 mm.
4º/ Plaine des Triffa														
BERKANE (T.P.)	1925-1958	39,3	33,4	46,1	50,3	42,4	36,7	52,6	30,5	7,3	0,9	2,8	22,5	365 mm.

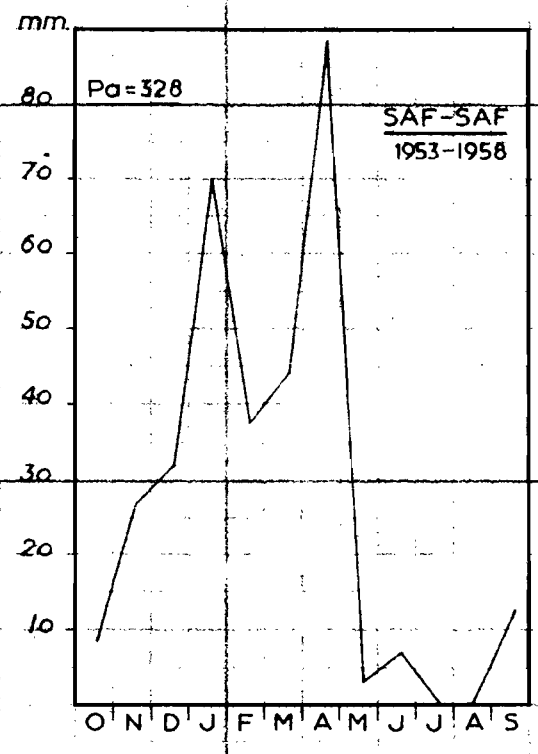
TABLEAU Nº 3

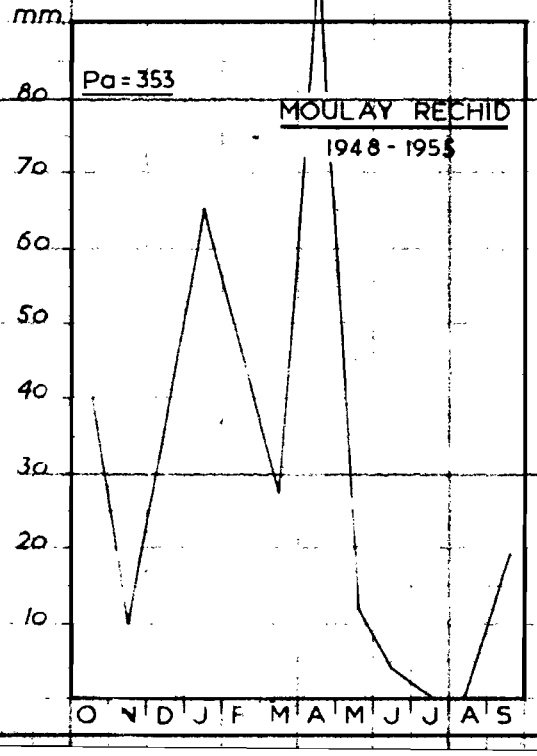
PLUVIOMETRIE MOYENNE









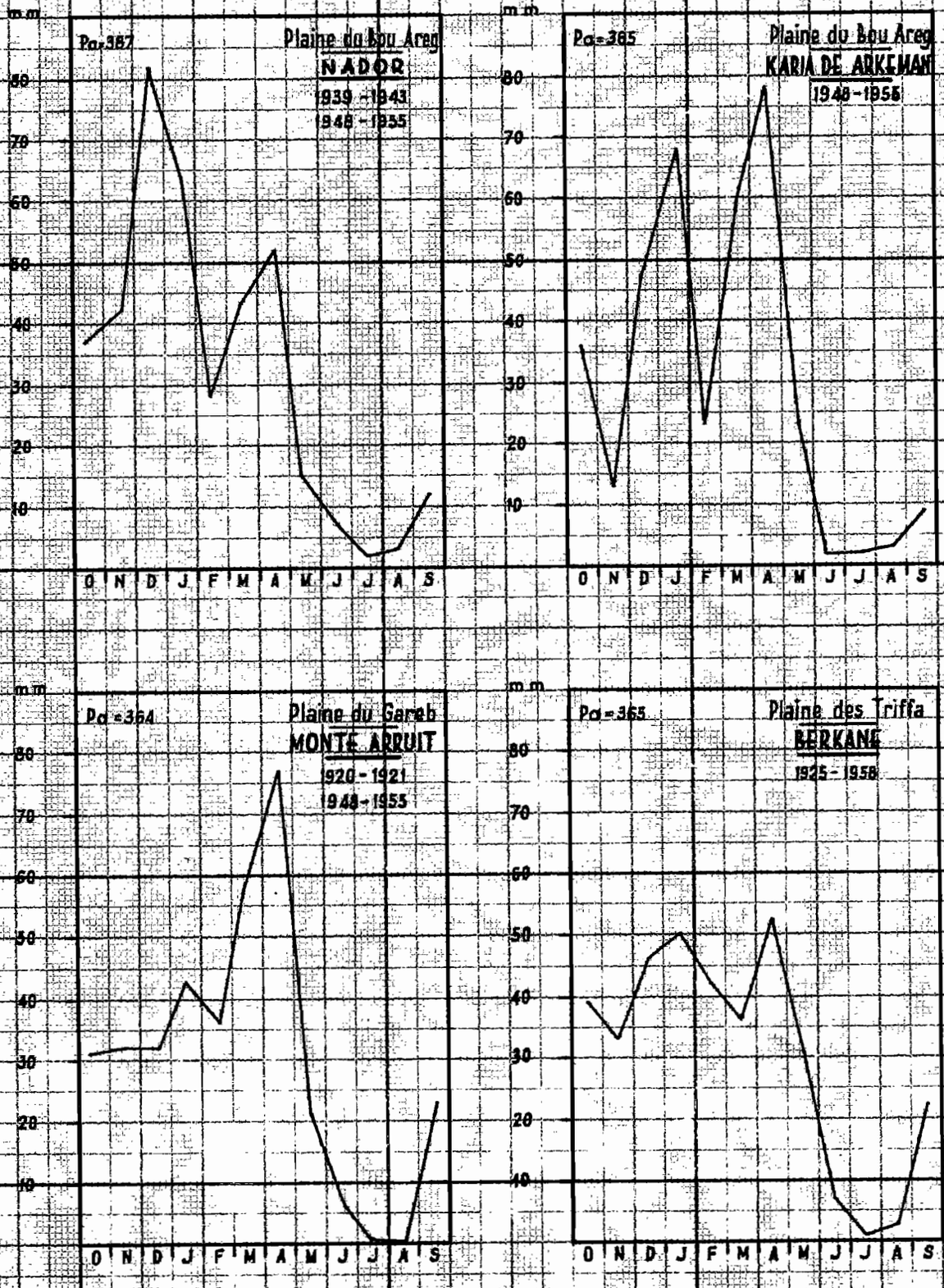


Pa= Pluviometrie annuelle en m/m.

FIGURE Nº 16

REGION DE LA PLAINE DU ZEBRA

PLUVIOMETRIE MOYENNE



Pa= Pluviometrie annuelle en m m

FIGURE Nº 17

AUTRES PLAINES DE LA BASSE MOULOUYA

PLUVIOMETRIE MOYENNE

Ce régime des pluies, assez particulier, a donc pour résultat une perte d'eau par évaporation et ruissellement. Depuis maintenant plus d'un an, nous suivons, dans la plaine du Zebra, l'évolution de l'humidité d'un sol non irrigué, non cultivé, ayant une pente de l'ordré de 1 %. Les résultats sont étonnants, montrant à quel point les pertes sont considérables. A titre d'exemple, citons les chiffres suivants : en Avril, après une pluie de 60 mm, soit 600 m3 par hectare, nous n'avons retrouvé dans le sol, immédiatement après, que 300 à 350 m3 ; près de la moitié de l'eau avait donc ruisselé. 17 jours après, il ne restait plus, sur les 600 m3 apportés, qu'environ 100 m3. D'autre part, nous avons pu remarquer que tout au cours de cette année, marquée pourtant par quelques très grosses pluies, l'eau n'est vraiment descendue que jusque vers 40 cm (sur le sol sec, des pluies de 15 mm ne descendent pas au-delà de 20 cm de profondeur). Au-delà de 40 cm et jusqu'à 60 cm les augmentations d'humidité furent toujours inférieures à 1 %. Au-dessous l'eau n'est jamais arrivée.

Le pédoclimat est donc encore beaucoup plus sec que le climat des météorologistes. Il est bien entendu certain que sous végétation et avec des travaux culturaux correctement menés, l'eau naturelle sera beaucoup mieux utilisée. Nous voulons cependant souligner que, malgré tout, des pertes importantes subsisteront, surtout au début, tant que la structure superficielle des sols ne sera pas très sensiblement améliorée. Il ne faut donc pas compter sur la pluviométrie totale comme apport d'eau au sol. Surtout, il ne faut pas compter sur les pluies pendant les premières années pour descaler périodiquement les sols.

Signalons pour terminer que les orages de grêle sont rares, mais très violents.

II.- LA TEMPERATURE

Au contraire de la pluviométrie, les températures sont beaucoup plus constantes d'une année à l'autre et même d'une plaine à l'autre.

.../...

L'observation des chiffres présentés dans les tableaux nº 4 et 5, et par les courbes des figures nº 18 et 19, nous conduit à souligner les points suivants :

1º/ La température moyenne annuelle de la plaine du Zebra (19º), n'est pas beaucoup plus forte que celles des autres plaines (18º) ; sauf peut-être dans le Nord de la plaine : la station de Zaio donne des chiffres de températures nettement plus élevés (il faut cependant considérer ces chiffres avec prudence : cette station est très mal placée, à l'abri de tous les vents).

2º/ Comme dans les autres plaines, le mois le plus froid de la plaine du Zebra est soit Janvier, soit Février. Le mois le plus chaud est généralement le mois d'Août, quelquefois le mois de Juillet.

3º/ Les minima absolus, très importants pour certaines cultures (arboriculture, primeurs) sont plus forts dans le Zebra que dans le Bou-Areg, le Gareb et les Triffa, ces minima étant cependant en moyenne toujours supérieurs à zéro. Mais il s'agit de moyennes sur plusieurs années : pour en avoir vu dans la plaine du Zebra, nous pouvons affirmer que les gelées sont possibles. Elles sont cependant rares, probablement assez localisées (cuvettes) et ne se produisent pas tous les ans.

4º/ Les moyennes mensuelles du mois le plus froid confirment que la plaine du Zebra est légèrement moins froide que les autres plaines.

5º/ L'étude des maxima montre que la plaine du Zebra est, surtout dans le Nord de la plaine, plus chaude en été et même tout au cours de l'année, que les trois autres plaines. Les maxima absolus de la plaine du Zebra peuvent être très élevés.

6º/Enfin, les écarts entre les températures maxima et minima font ressortir que la plaine du Zebra est très nettement plus continentale que les trois autres : étant donnée sa situation par rapport à la mer, ces résultats n'ont rien d'étonnant.

.../...

L I E U	ANNEES	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Mensuel
1º/ Plaine du Zebra														
ZAIO	1942-1943 1948-1955	21,5	18,5	14,5	13,5	13	15,5	18,5	21	25,5	28,5	30	26,5	20,5
S.E.H.A. ZEBRA	1961-1962	18,5	16	14	12	12,5	14,5	17,5	20	22	26	26	24,5	18,6
HASSI BERKANE	1948-1951 1954-1955	19	16	11,5	10,5	11,5	13,5	15,5	18,5	21,5	26	26,5	23	17,7
2º/ Plaine du Bou-Areg														
NADOR	1939-1943 1948-1955	19,5	16	13,5	11,5	12	14	16	19	22	24,5	25,5	23,5	18,1
KARIA DE ARKEMAN	1949-1955	20	16,5	14	11,5	11	13,5	16	18	21,5	25	24,5	22	17,8
3º/ Plaine du Gareb														
MONTE ARRUIT	1920-1921 1948-1955	19	17	14	11,5	12	13,5	14,5	17	21	24	24,5	23	17,6
4º/ Plaine des Triffa														
BERKANE (T.P.)	1925-1930 1932-1956	19,8	15,7	12,3	11,6	12,5	14,2	16,4	18,5	22,4	25,6	26,0	23,8	18,2

TABLEAU Nº 4

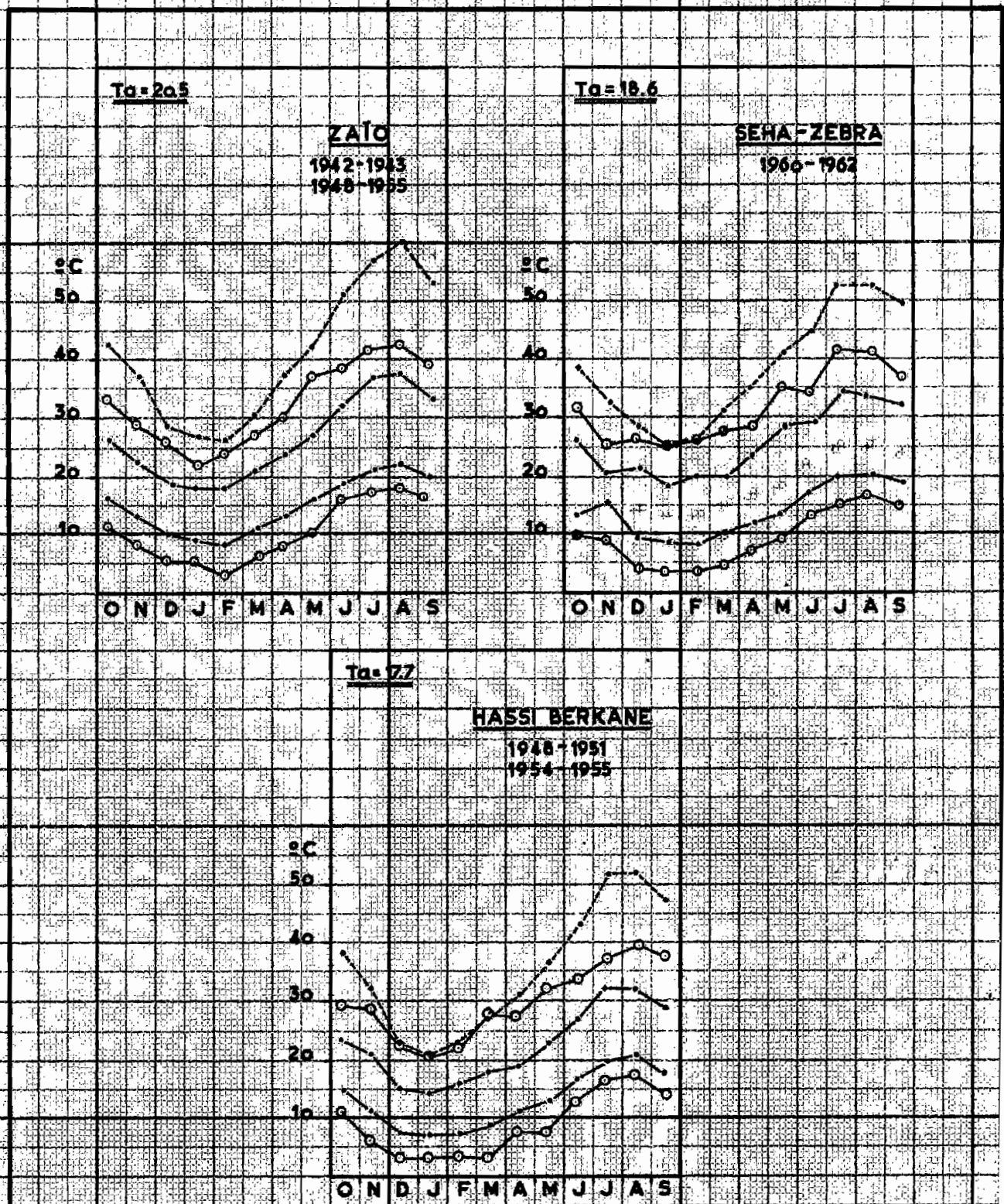
TEMPERATURES : Moyennes mensuelles et annuelles
en º Centigrades

LIEU	1	2		3		Ecart 3-2	4		5		Ecart 5-4	6		7		Ecart 7-6
	º C	Mois	º C	Mois	º C	º C	Mois	º C	Mois	º C	º C	Mois	º C	Mois	º C	º C
1º/ Plaine du Zebra																
ZAIO (1942-43 et 48-55)	20,5	Févr.	13	Août	30	17	Févr.	8	Août	37	29	Févr.	3	Août	42	39
S.E.H.A. ZEBRA (1960-1962)	18,6	Janv.	12	Juil.	26	14	Févr.	7,5	Juil.	33,5	26	Janv. Févr.	3,5	Juil.	41	37,5
HASSI BERKANE (1948-51 et 54-55)	17,7	Janv.	10,5	Août	26,5	16	Janv.	6,5	Août	32	25,5	Déc. Janv.	2,5	Août	39,5	37
2º/Plaine du Bou-Areg																
NADOR (1939-43 et 48-55)	18,1	Janv.	11,5	Août	25,5	14	Janv. Févr.	7	Août	30	23	Janv.	2	Août	36,5	34,5
KARIA DE ARKEMAN (1949-1955)	17,8	Févr.	11	Juil.	25,0	14	Févr.	7	Juil.	31	24	Févr.	2	Juil.	34	32
3º/ Plaine du Gareb																
MONTE ARRUIT (1920-21 et 48-55)	17,6	Janv.	11,5	Août	24,5	13	Janv Févr.	6,5	Août	31,5	25	Févr.	1,5	Août	38	36,5
4º/ Plaine des Triffa																
BERKANE (T.P.)	18,2	Janv.	11,6	Août	26,0	14,2	Janv.	5,5	Août	32,8	27,3	Janv.	0,9	Juil.	40	39,1

TABLEAU Nº 5

TEMPERATURES

1 = Moyenne annuelle
2 = Moyenne mensuelle du mois le plus froid
3 = Moyenne mensuelle du mois le plus chaud
4 = Moyenne des minima du mois le plus froid
5 = Moyenne des maxima du mois le plus chaud
6 = Minima absolu moyen de l'année
7 = Maxima absolu moyen de l'année



Ta = température moyenne annuelle en °C

: température moyenne mensuelle (multipliée par deux)

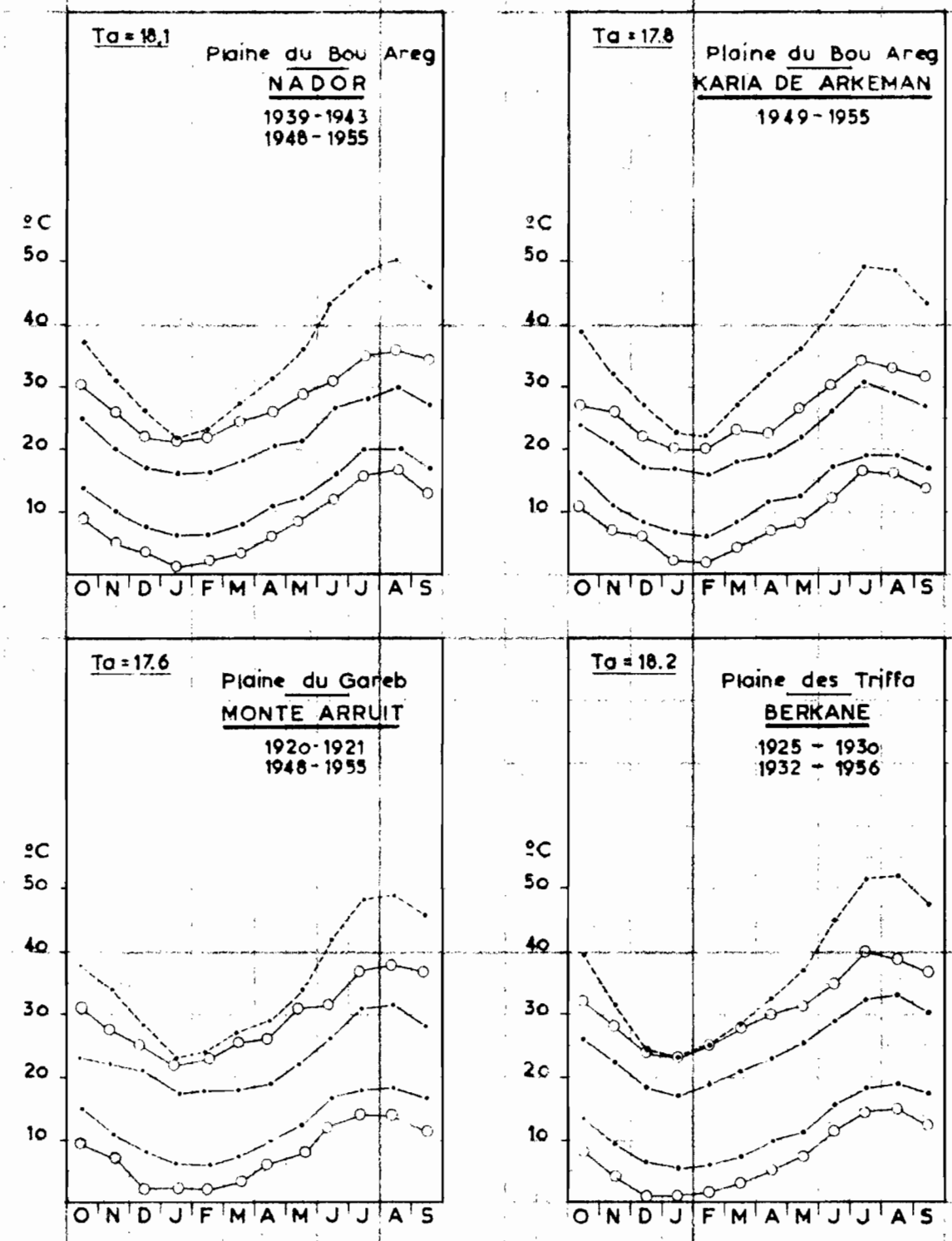
: températures moyennes mensuelles des : maxima absolus / minima absolus

: températures moyennes mensuelles des : maxima journaliers / minima journaliers

FIGURE N° 18

REGION DE LA PLAINE DU ZEBRA

TEMPERATURES MOYENNES



Ta = température moyenne annuelle en °C

: température moyenne mensuelle (multipliée par deux)

: températures moyennes mensuelles des { maxima absolus / minima absolus

: températures moyennes mensuelles des { maxima journaliers / minima journaliers

FIGURE N° 19

AUTRES PLAINES DE LA BASSE MOULOUYA
TEMPERATURES MOYENNES

III.- L'HYGROMETRIE ET L'EVAPORATION

Nous ne disposons sur ces deux points que des chiffres donnés depuis une année par la station de la S.E.H.A du ZEBRA (tabl. nº 6 ; fig. nº 20).

De ces chiffres, il ressort :

1º/ Que l'hygrométrie moyenne n'est pas très faible (72,3 %) ; elle est voisine de ce que l'on trouve, par exemple, dans la plaine des Triffa (Berkane : 70,9 % - Boughriba : 72,9 % - Littoral : 74,5 %).

2º/ Mais que cette hygrométrie moyenne masque une variation considérable de l'hygrométrie journalière qui descend presque toujours au-dessous de 50 % dans la journée et dépasse presque toujours 90 % au cours de la nuit. Des chiffres de 100 % d'humidité la nuit, et ceux inférieurs à 20 % le jour, sont très fréquents (des chiffres de 0 % sont possibles).

3º/ Que la variation annuelle de l'hygrométrie est peu marquée, surtout en ce qui concerne les maxima et les minima.

4º/ Que l'évaporation est très forte (2221 mm en une année).

5º/ Que cette évaporation, en dehors des mois de Juillet et Août où elle devient énorme, ne varie pas beaucoup tout au cours de l'année.

Signalons que les brouillards sont rares.

IV.- LES VENTS

Nous ne disposons sur ce sujet que de très peu de renseignements.

A la S.E.H.A du ZEBRA, un anémomètre enregistreur a fonctionné pendant 6 mois (tabl. nº 7). Les quelques résultats rendent

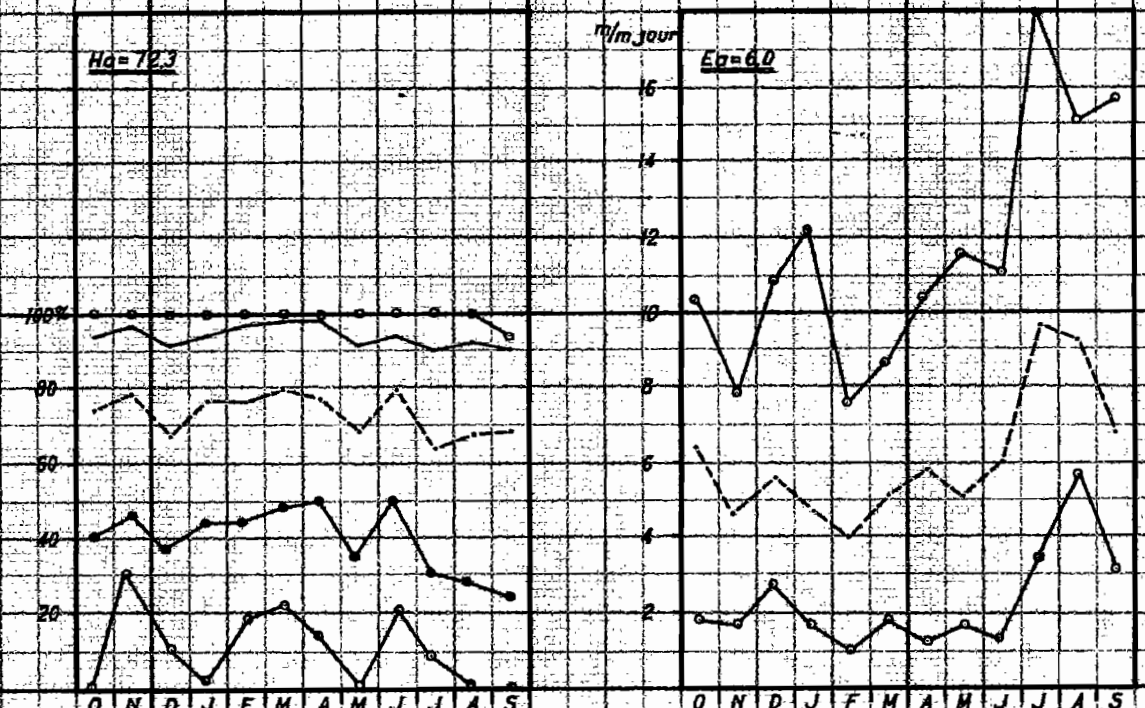
.../...

		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
HYGROMETRIE	Moyenne mensuelle	73,0	77,0	67,0	75,1	75,0	79,0	76,8	67,5	78,9	63,6	66,6	67,7
	Mensuelle maxima absolue	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,5
	Mensuelle maxima moyenne	93,5	97,5	91,2	94,0	97,4	98,4	98,0	91,8	95,1	88,9	92,6	89,5
	Mensuelle minima moyenne	40,0	45,9	37,2	43,5	44,2	47,8	50,0	34,2	49,5	30,0	28,3	24,3
	Mensuelle minima absolue	0,0	30,0	12,0	3,0	18,0	22,0	14,0	1,0	21,0	7,5	0,0	0,0
	Moyenne annuelle						72,3 %						
EVAPORATION	Moyenne mensuelle	6,4	4,5	5,5	4,7	3,9	5,1	5,8	5,1	6	9,6	9,2	6,8
	Mensuelle maxima absolue	10,3	7,8	10,8	12,2	7,5	8,7	10,3	11,5	11,2	18,0	15,2	15,7
	Mensuelle minima absolue	1,9	1,7	2,7	1,8	1,0	1,9	1,3	1,7	1,2	3,4	5,7	3,1
	Moyenne annuelle						6 mm						
	Totale annuelle						2.221 mm						

TABLEAU Nº 6

S.E.H.A. ZEBRA : Hygrométrie et Evaporation

(Octobre 1961 à Septembre 1962)

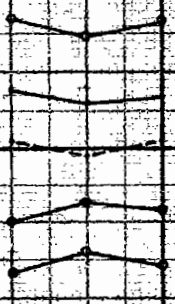


HYGROMETRIE

Ha = Hygrométrie moyenne annuelle

EVAPORATION

Ea = Evaporation moyenne annuelle



Mensuelle maxima absolu

Mensuelle maxima moyen

Moyenne mensuelle

Mensuelle minima moyen

Mensuelle minima absolu

FIGURE Nº 20

S.E.H.A. DU ZEBRA

HYGROMETRIE ET EVAPORATION

	Vitesse m/seconde		Durée	
	Maxima	Moyenne	Heure/mois	Jour/mois
Novembre 1961	16	8	228	30
Décembre 1961	19	10	286	23
Janv er 1962	27	9	269	27
Février 1962	18		256	
Mars 1962	22		422	
Avril 1962	22		388	

TABLEAU Nº 7

LE VENT A LA S.E.H.A DU ZEBRA

parfaitement compte de la fréquence des vents : toute l'année et presque tous les jours, le vent se lève vers 10 - 11 heures du matin et s'arrête vers 17 - 18 heures. Il est souvent, en particulier en hiver, très violent. Ce régime des vents contribue certainement beaucoup, en diminuant l'hygrométrie et en augmentant l'évaporation, à accentuer le caractère aride du climat de la plaine du Zebra.

En ce qui concerne la direction de ces vents, nous ne disposons d'aucun relevé. Notre expérience sur le terrain nous permet cependant d'affirmer que ce sont surtout les vents du NNE et du NE qui dominent.

Les vents chauds et secs du Sud sont exceptionnels : guère plus de un à deux jours par an.

V.- LES INDICES CLIMATIQUES

L'étude de ces indices climatiques va nous permettre, à titre de synthèse, de résumer les traits essentiels du climat de la plaine du Zebra, et de la comparer d'une part aux climats des autres plaines de

.../...

la Basse Moulouya, d'autre part à ceux régnant ailleurs au Maroc et dans le monde méditerranéen.

A.- Les diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN, modifiés par PUJOS (1958) (43)

Ces diagrammes permettent d'abord de définir quels sont les mois secs et les mois humides, un mois étant considéré comme sec lorsque sa pluviométrie moyenne exprimée en mm est inférieure à la somme de ses moyennes mensuelles des températures minima et maxima journalières, exprimées en degrés centigrades. Ces diagrammes permettent d'autre part de faire ressortir les périodes chaudes de l'année c'est-à-dire celles au cours desquelles la moyenne mensuelle des minima journaliers est supérieure à 10º, puis celles au cours desquelles la moyenne mensuelle des maxima journaliers est supérieure à 30 º.

Nous avons établi ces diagrammes ombrothermiques pour plusieurs stations de l'ensemble de la région de la Basse-Moulouya : dans ce rapport nous ne donnons que ceux des trois stations de la région de la plaine du Zebra, et, à titre comparatif, ceux de quatre stations situées dans les plaines voisines (fig. nº 21 à 27, placées à la fin du chapitre).

L'examen de ces diagrammes confirme le caractère sec et chaud du climat de la plaine du Zebra :

- Il n'y a que 4 à 5 mois humides (généralement Décembre à Avril) : le climat est donc nettement plus sec que ceux des plaines des Triffa et du Bou-Areg (par rapport au Gareb, la différence est plus faible).

- Les températures journalières maxima moyennes dépassent franchement les 30º pendant 2 à 4 mois (Juin à Septembre) : le climat est donc sensiblement plus chaud que ceux des plaines du Bou-Areg et du Gareb (par rapport aux Triffa, la différence est plus faible).

.../...

B.- Le quotient pluviothermique d'EMBERGER (1955) (16)

Ce quotient, mis au point par EMBERGER pour étudier les divers types de climats méditerranéens, se présente sous la forme suivante :

$$Q = \frac{P}{\frac{M + m}{2} (M - m)} \times 1.000$$

avec :

P = pluviométrie moyenne annuelle

M = Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degrés absolus (o = 273,2)

m = moyenne des températures minima du mois le plus froid, en degrés absolus.

Ce quotient pluviothermique, reporté sur un graphique en fonction de la moyenne des températures minima du mois le plus froid, permet de situer les stations étudiées dans un des types climatiques méditerranéens suivants : humide, sub-humide, semi-aride, aride, saharien.

STATION	P mm	m ºC.	M ºC.	Q
1º/ Plaine du Zebra				
ZAIO	330	8	37	39
S.E.H.A ZEBRA	305	7,5	33,5	40
HASSI BERKANE	310	6,5	32	42
2º/ Plaine du Bou Areg				
NADOR	387	7	30	58
KARIA DE ARKEMAN	365	7	31	52
3º/ Plaine du Gareb				
MONTE ARRUIT	364	6,5	31,5	50
4º/ Plaine des Triffa				
BERKANE (T.P.)	365	5,5	32,8	46

TABLEAU Nº 8

QUOTIENTS PLUVIOTHERMIQUES D'EMBERGER

Nous avons procédé, pour les stations de la plaine du Zebra et quelques stations des plaines voisines, au calcul de ce quotient et à son report sur le diagramme d'EMBERGER, sur lequel nous avons également reporté d'autres stations du Maroc et du monde méditerranéen (tab. nº 8, et fig. nº 28 placée à la fin du chapitre).

Il en ressort que, si les stations des plaines des Triffa, Bou-Areg et Gareb se situent nettement dans l'étage semi-aride, au même niveau que EL JADIDA, OUED LAO, EL KANSERA DU BETH, ALICANTE, il n'en est pas de même pour les stations de la plaine du Zebra qui se situent à la limite du semi-aride et de l'aride et même dans l'aride au même niveau qu'AGADIR. La plaine du Zebra est donc bien un "ilôt d'aridité".

C.- Les indices climatiques de THORNTHWAITE (1948) (61 ; JOLY, 1958-1960 31, 32 et 33)

Nous ne rentrerons pas ici dans le détail des calculs, assez compliqués, des indices climatiques de THORNTHWAITE. Ces indices permettant, comme celui d'EMBERGER, de classer les climats, mais d'une façon plus détaillée.

Comme pour les indices ombrothermiques et pluviothermiques, nous avons effectué le calcul des indices de THORNTHWAITE pour plusieurs stations de l'ensemble de la région de la Basse Moulouya : dans le tableau résumé nº 9 et les tableaux de détail nº 10 à 16, (placés à la fin du chapitre), nous ne donnons que les résultats qui nous intéressent pour ce rapport.

Ces résultats :

- confirment l'aridité de la plaine du Zebra par rapport aux autres plaines : les indices des stations de la plaine du Zebra sont très voisins de 40, donc à la limite de semi-aride et de l'aride ;

- placent toutes les stations dans le mésothermique, les indices d'évapotranspiration potentielle étant cependant plus forts dans le Zebra que dans les deux autres plaines, la station de ZAIO étant même à la limite du mégathermique ;

.../...

- indiquent pour toutes les stations un climat sec en été et des surplus très modérés en hiver, ces surplus étant presque nuls dans le Zebra ;

- traduisent enfin que, malgré tout, la plaine du Zebra subit sur le plan de l'amplitude thermique une nette influence modératrice de la mer : la concentration estivale de l'efficacité thermique est toujours faible ; seule la station de ZAIO accuse une influence océanique plus faible.

VI.- CONCLUSIONS

En conclusion de cette étude du climat de la plaine du Zebra, nous voulons simplement resouligner certains traits importants de ce climat, importants par leurs conséquences sur le plan agronomique.

En premier lieu, il faut rappeler la valeur élevée des températures, la fréquence des vents, et le degré hygrométrique faible qui règne dans la journée, presque toute l'année. Ce sont là des facteurs qui entraînent une évapotranspiration élevée, donc des besoins en eau plus forts, mais surtout une concentration rapide dans le sol (et en particulier en surface) des sels provenant de l'eau d'irrigation. Nous reparlerons de ce problème dans le chapitre V consacré à l'eau de la Moulouya. Nous tenons cependant à souligner dès maintenant que cette concentration inévitable de sels interdira l'introduction des cultures trop sensibles à la salure et imposera des lessivages fréquents, probablement annuels.

Une deuxième conséquence de ces températures très élevées est qu'il faudra éviter, en plein été, les irrigations aux heures les plus chaudes. Il faudra également éviter, si la betterave doit être cultiver, que les récoltes se fassent entre Juin et Septembre.

Dans le domaine des températures il faut enfin encore souligner deux points : d'abord que les gelées sont possibles, du moins localement ; ensuite que le réchauffement assez rapide dès le début du printemps est très favorable à la culture des primeurs.

.../...

En ce qui concerne la pluviométrie, nous voulons surtout rappeler que beaucoup d'eau est actuellement perdue par ruissellement. C'est un phénomène qui diminuera sous culture, mais à condition seulement que cette culture soit bien conduite : orientation correcte des travaux culturaux et amélioration de la structure du sol (cultures fourragères, fumier, façons culturales nombreuses). De toutes façons, il ne faut pas trop compter sur ces pluies pour dessaler périodiquement les sols. Il faut également rappeler que d'une part de grosses pluies peuvent encore tomber en Avril, d'autre part le mois d'Octobre est généralement assez pluvieux : ceci posera des problèmes pour la culture du coton (nécessité de choisir des variétés précoces).

Enfin, rappelons la violence des vents qui impose la mise en place de brise-vents, qui ne devront cependant pas être trop rapprochés les uns des autres, ceci pour éviter la constitution de poches d'air trop chaud.

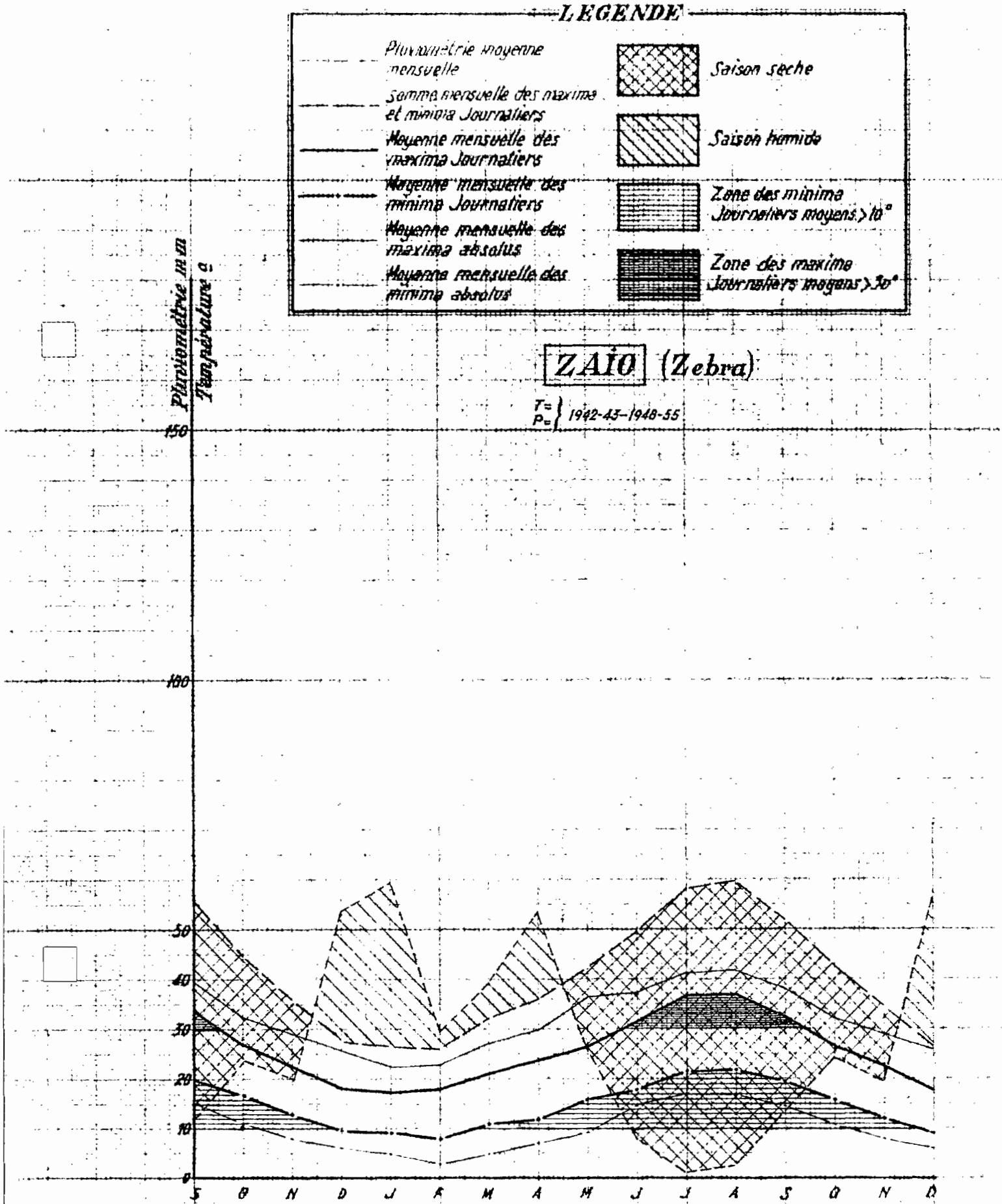


FIGURE Nº 21

DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

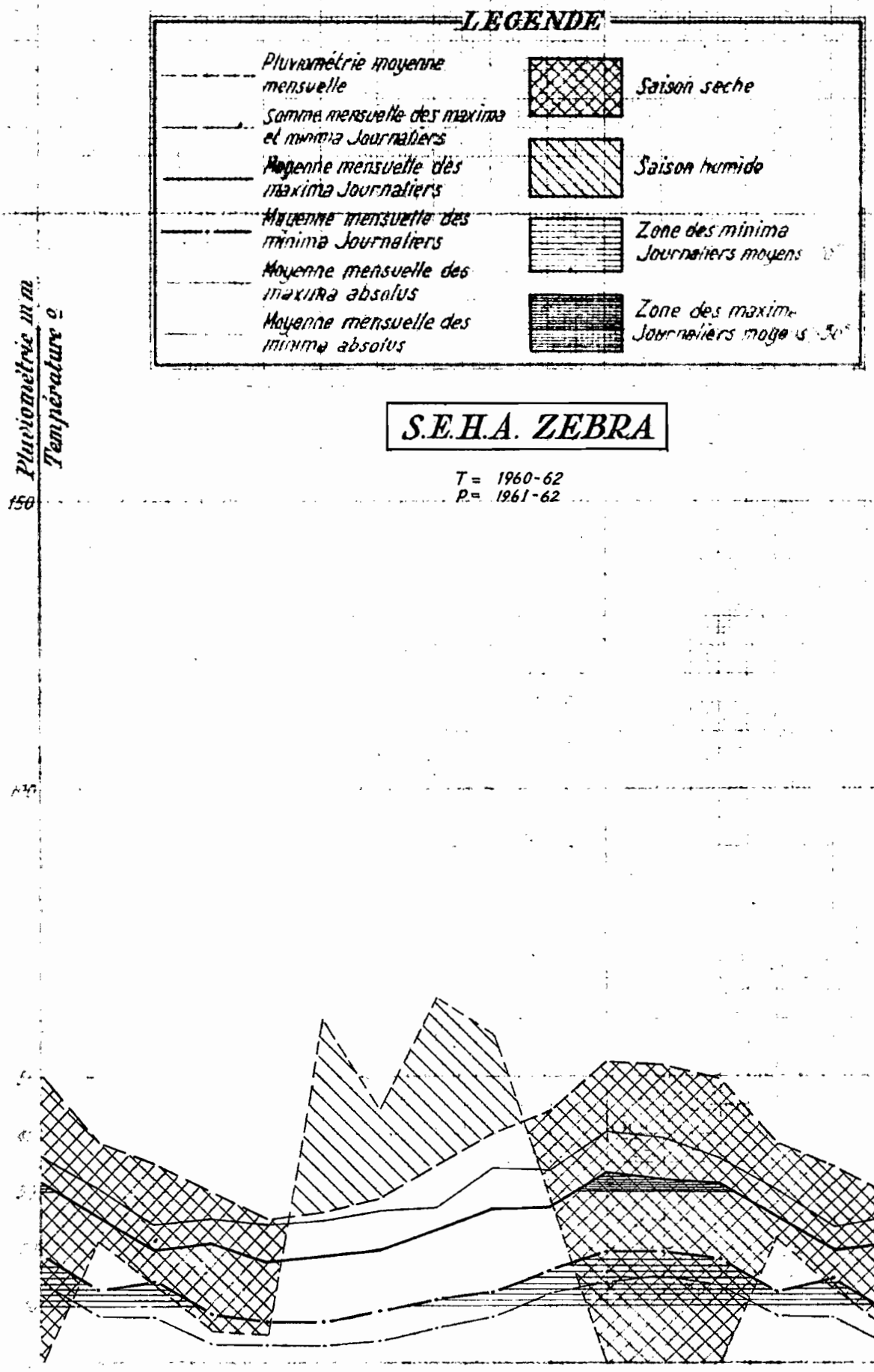


FIGURE Nº 22

DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

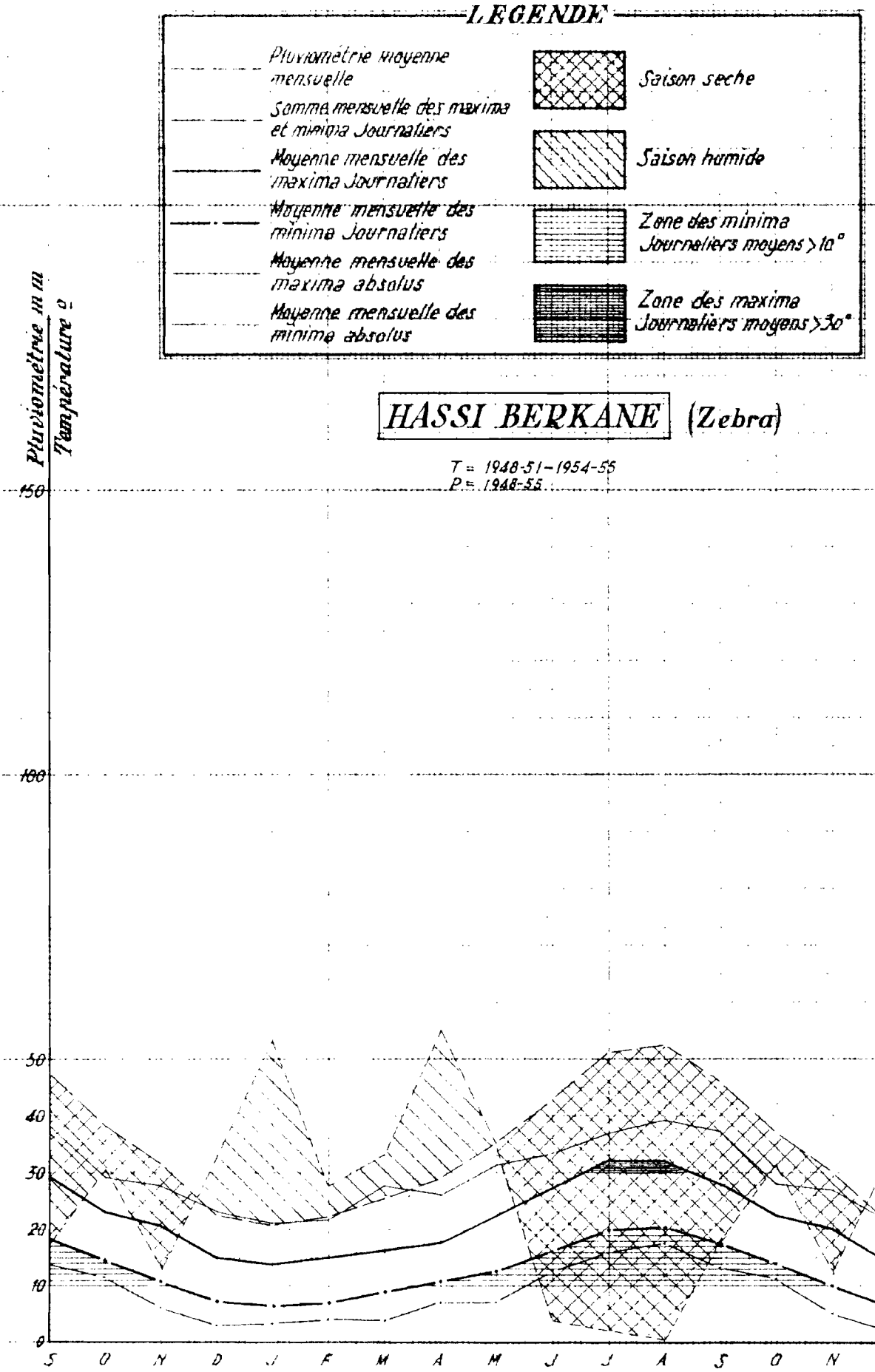


FIGURE Nº 23

DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

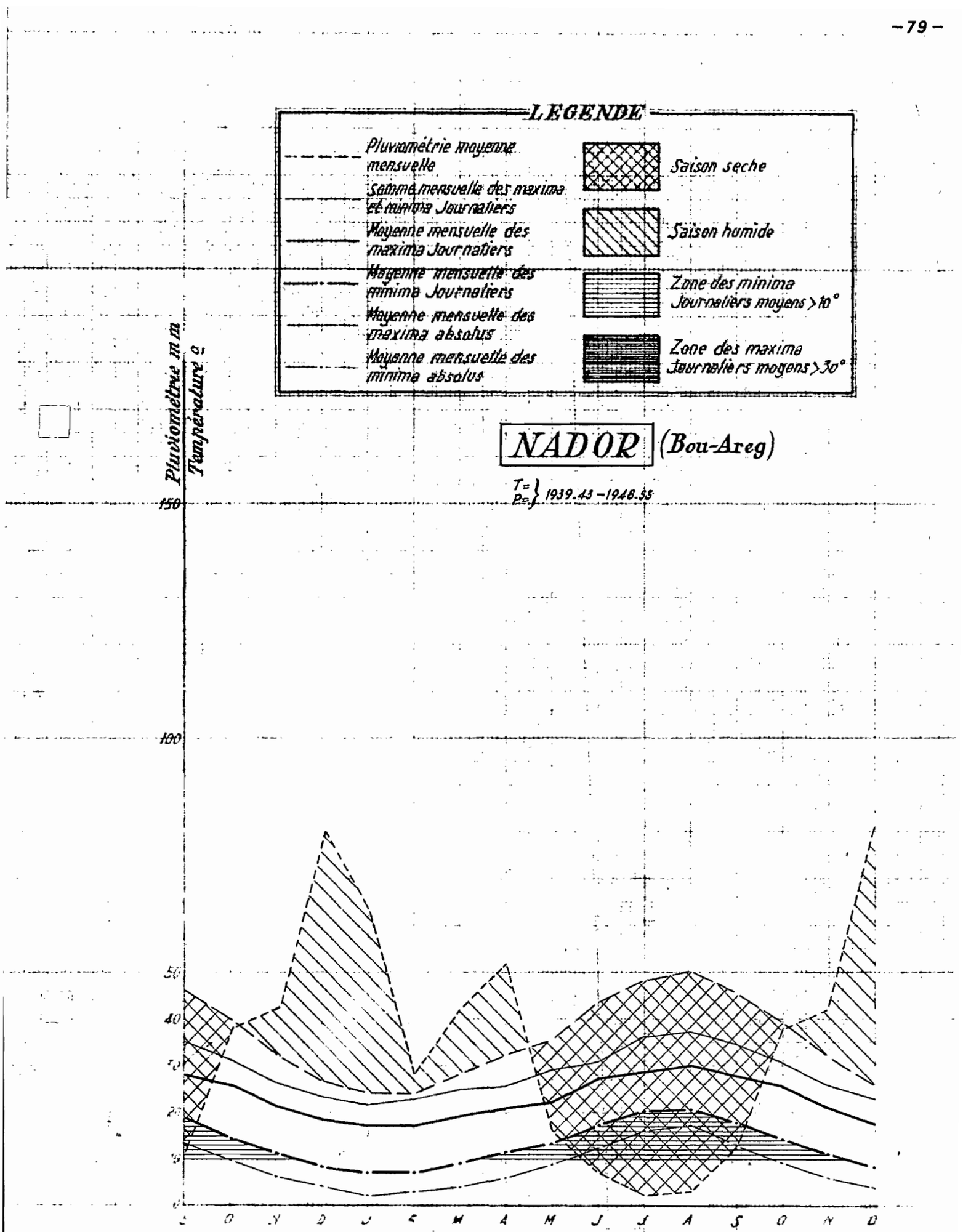


FIGURE Nº 24

DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

FIGURE N° 25

DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

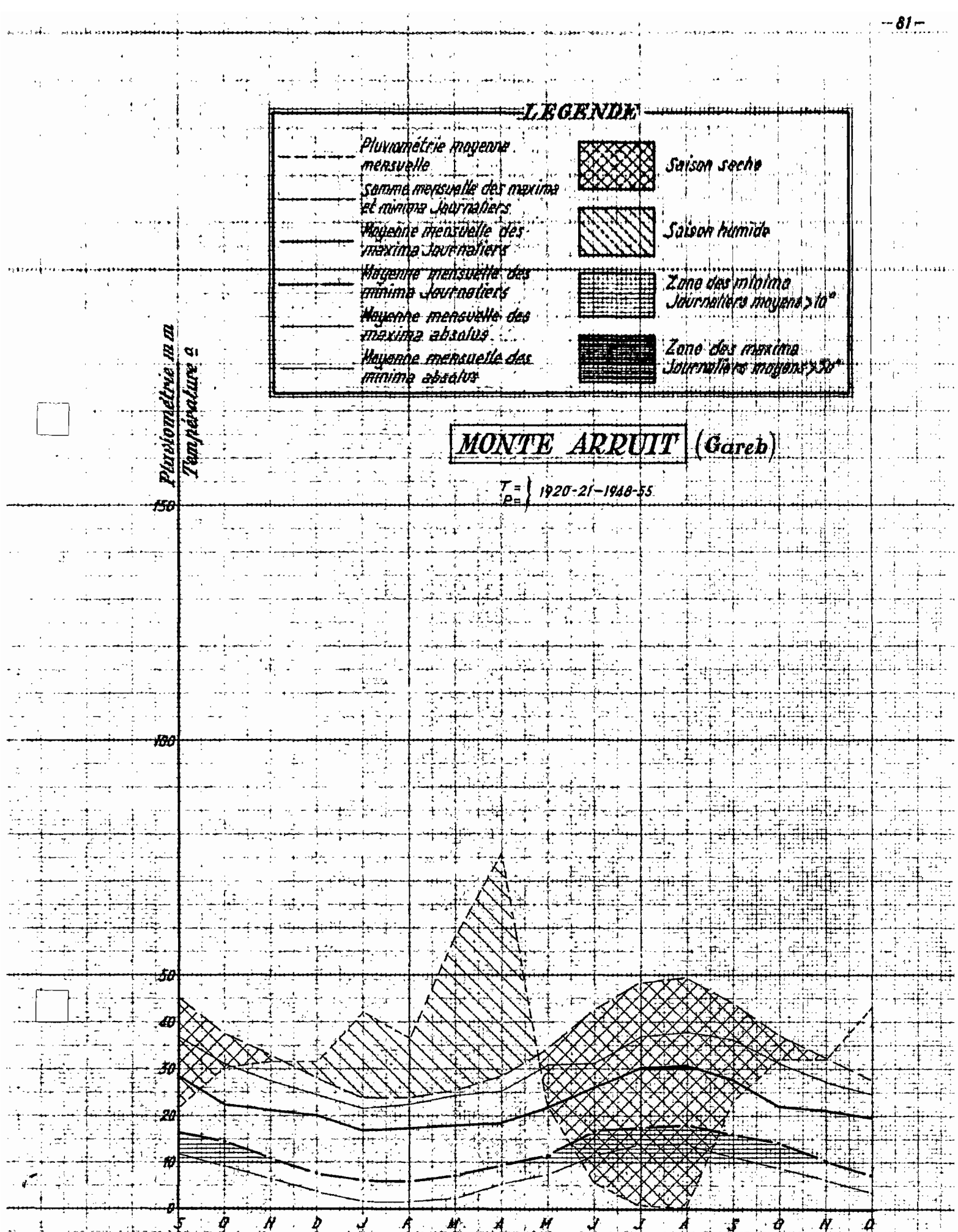


FIGURE Nº 26

DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

FIGURE N° 27

DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

FIGURE N° 28

DIAGRAMME PLUVIOTHERMIQUE D'EMBERGER

LEGENDE

Zaïo	Stations du Périmètre de la Basse Moulouya
• Casablanca :	Autres Stations du Maroc
• Rome :	Autres Stations du Bassin Méditerranéen
ARIDE	Etage bioclimatique Méditerranéen
~~	Limite de l'Etage

$$Q = \frac{1000\,P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)}$$

P = Pluviométrie moyenne annuelle

M = Moyenne des maxima du mois le plus chaud } en ° absolus

m = Moyenne des minima du mois le plus froid }

Q
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

HUMIDE

SUB HUMIDE

SEMI-ARIDE

ARIDE

SAHARIEN

Tanger • Monaco • Bougie • Grasse • Bône • Rome • Toulon • Lisbonne • Tetouan • Alger • Chechaouene • Larache (C.T.102) • Azrou • Ajaccio • Ouezzane • Cadiz • Bizerte • Barcelone • Ksar el Kebir • Rabat • Oulmès • Malaga • Perpignan • Es Saouïra • Kenitra • Marseille • Sefrou • Tlemcen • Mechra bel Ksiri • Taza • Casablanca • Souk el Arba du Gharb • Meknès • Valencia • Fès • Oued Lao • Nador • El Jadida • Monte Arruit • Karia de Arkeman • Sidi Slimane • Alicante • El Kansera du Beth • Berkane • Hassi-Berkane • SEHA Zebra • Oujda • Kasba Tadla • Agadir • Zaïo • Marrakech • Taroudant • Guercif • Goulimine • Zagora

2 3 4 5 6 7 8 m en °C

LEGENDE DES CALCULS DES INDICES

DE THORNTHWAITE

t = température mensuelle

T = température annuelle

p = précipitations moyennes en cm, mensuelles

P = précipitations moyennes en cm, annuelles

i = indice de chaleur mensuel

I = indice de chaleur annuel

a = évapotranspiration potentielle approchée en cm (mensuelle)

c = coefficient de correction en fonction de la latitude

e = évapotranspiration potentielle mensuelle

E = évapotranspiration potentielle annuelle

b = bilan hydrique mensuel

B = bilan hydrique annuel

v = variation de la rétention en eau dans le sol

d = déficit mensuel

D = déficit annuel

s = surplus mensuel

S = surplus annuel

e' = évapotranspiration réelle, mensuelle

E' = évapotranspiration réelle, annuelle

r = ruissellement mensuel

R = ruissellement annuel

ia = indice d'aridité mensuel

Ia = indice d'aridité annuel

ih = indice d'humidité mensuel

Ih = indice d'humidité annuel

C = concentration estivale de l'efficacité thermique

I.G. = indice global

STATIONS	Indice global I G	Evapotranspiration potentielle annuelle E cm	Indice d'aridité Ia	Indice d'humidité Ih	Concentration estivale de l'efficacité thermique C %	Type climatique
1º/ Plaine du Zebra						
ZAIO	- 39,8	106,9	71,9	4,0	48,3	D B'4 db'4
S.E.H.A ZEBRA	- 39,0	92,2	69,3	2,4	46,4	D B'3 d a'
HASSI BERKANE	- 39,1	91,9	72,5	4,0	46,1	D B'3 d a'
2º/ Plaine du Bou-Areg						
NADOR	- 31,95	89,0	61,5	5,0	44,5	D B'3 d a'
KARIA DE ARKEMAN	- 31,0	87,5	68,0	9,8	43,4	D B'3 d a'
3º/ Plaine du Gareb						
MONTE ARRUIT	- 31,0	85,7	66,2	8,6	44,2	D B'3 d a'
4º/ Plaine des Triffa						
BERKANE (T.P.)	- 36,0	91,1	59,9	0,0	46,0	D B'3 d a'

TABLEAU Nº 9

INDICES DE THORNTHWAITE

(voir légende p. 84)

Latitude : 34º 56

Mois	tº C.	p cm	i	a	c	e cm	b cm	v cm	rétent. cm	d cm	s cm	e' cm	r cm	ia	ih
J	13,5	6,0	4,50	2,90	0,88	2,5	3,5	0,0	10,0	0,0	3,5	2,5	1,75	-	3,3
F	13	3,05	4,25	2,55	0,85	2,2	0,8	0,0	10,0	0,0	0,8	2,2	1,37	-	0,7
M	15,5	3,90	**5,55**	**3,9**	1,03	4,0	-0,1	-0,1	9,9	0,0	0,0	4,0	0,63	-	-
A	18,5	5,4	7,25	5,90	1,09	6,3	-0,9	-0,9	9,0	0,0	0,0	6,3	0,30	-	-
M	21	2,6	8,78	7,80	1,20	9,4	-6,8	-6,8	2,2	0,0	0,0	9,4	0,15	-	-
J	25,5	0,8	11,78	12,50	1,20	15,0	-14,2	2,2	0,0	12,0	0,0	3,0	0,10	11,2	-
J	28,5	0,1	13,94	15,17	1,22	18,5	-18,4	0,0	0,0	18,4	0,0	0,1	0,05	17,2	-
A	30	0,2	15,07	16,52	1,16	19,2	-19,0	0,0	0,0	19,0	0,0	0,2	0,02	17,8	-
S	26,5	1,2	12,49	13,50	1,03	13,9	-12,7	0,0	0,0	12,7	0,0	1,2	0,01	10,7	-
O	21,5	2,4	9,10	8,40	0,97	8,1	-5,7	0,0	0,0	5,7	0,0	2,4	0,01	5,3	-
N	18,5	2,0	7,25	5,80	0,87	5,0	3,0	0,0	0,0	3,0	0,0	2,0	0,005	2,8	-
D	14,5	5,4	5,01	3,30	0,86	2,8	2,6	2,6	2,6	7,4	0,0	-4,6	0,005	6,9	-
Ann.	20,5	33,0	104,97			106,9	-73,9			78,2	4,3	28,7	4,3	71,9	4,0

I.G. = - 39,8
C. = 48,3 %

TYPE CLIMATIQUE : D B'4 d b'4

TABLEAU Nº 10

CALCUL DES INDICES DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE

ZAIO

Latitude 34º 53

Mois	tº C	p cm	i	a	c	e cm	b cm	v cm	rétent. cm	d cm	s cm	e' cm	r cm	ia	ih
J	12,0	0,5	3,76	2,75	0,88	2,4	- 1,9	- 1,9	8,1	0,0	0,0	2,4	0,0	0,2	-
F	12,5	6,1	4,0	2,90	0,85	2,5	3,6	3,6	10,0	0,0	1,7	2,5	0,85	-	1,8
M	14,5	5,01	4,5	4,0	1,03	4,1	0,4	0,0	10,0	0,0	0,4	4,1	0,63	-	0,4
A	17,5	6,45	6,66	5,80	1,09	6,3	0,15	0,0	10,0	0,0	0,5	6,3	0,39	-	0,2
M	20,0	5,8	8,16	7,60	1,20	9,1	- 3,3	- 3,3	6,7	0,0	0,0	9,1	0,19	-	-
J	22,0	3,0	9,42	9,40	1,20	11,3	- 8,3	- 6,7	0,0	1,6	0,0	9,7	0,095	1,7	-
J	26,0	0,0	12,13	13,0	1,22	15,9	- 15,9	0,0	0,0	15,9	0,0	0,0	0,048	17,2	-
A	26,0	0,0	12,13	13,0	1,16	15,1	- 15,1	0,0	0,0	15,1	0,0	0,0	0,024	16,4	-
S	24,5	0,0	11,09	11,5	1,03	11,8	- 11,8	0,0	0,0	11,8	0,0	0,0	0,012	12,8	-
O	18,5	2,2	7,25	6,40	0,97	6,2	- 4,0	0,0	0,0	4,0	0,0	2,2	0,006	4,3	-
N	16,0	1,35	5,82	4,90	0,87	4,3	- 2,95	0,0	0,0	2,95	0,0	1,35	0,003	3,2	-
D	14,0	0,6	4,75	3,70	0,85	3,2	- 2,6	0,0	0,0	12,6	0,0	- 9,4	0,002	13,7	-
Ann.	18,5	30,5	90,18			92,2	- 61,70	0,0		63,95	2,25	28,25	2,250	69,3	2,4

I.G. = - 39,0
C = 46,4 %

TYPE CLIMATIQUE : D B'3 d a'

TABLEAU Nº 11

CALCUL DES INDICES DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE

S.E.H.A ZEBRA

Latitude : 34º 51

Mois	tº C	p cm	i	a	c	e cm	b cm	v cm	rétent. cm	d cm	s cm	e' cm	r cm	ia	ih
J	10,5	5,4	3,08	2,4	0,88	2,1	3,3	0,0	10,0	0,0	3,3	2,1	1,65	-	3,6
F	11,5	2,8	3,53	2,8	0,85	2,4	0,4	0,0	10,0	0,0	0,4	2,4	1,05	-	0,4
M	13,5	3,4	4,50	5,6	1,03	5,8	- 2,4	- 2,4	7,6	0,0	0,0	5,8	0,5	-	-
A	15,5	5,6	5,55	5,0	1,09	5,4	0,2	0,2	7,8	0,0	0,0	5,4	0,25	-	-
M	18,5	3,6	7,25	7,0	1,20	8,4	- 4,8	- 4,8	3,0	0,0	0,0	8,4	0,13	-	-
J	21,5	0,4	9,10	9,4	1,20	11,3	- 10,9	3,0	0,0	7,9	0,0	3,4	0,06	8,6	-
J	26,0	0,2	12,13	13,0	1,22	15,9	- 15,7	0,0	0,0	15,7	0,0	0,2	0,03	17,1	-
A	26,5	0,0	12,49	13,5	1,16	15,7	- 15,7	0,0	0,0	15,7	0,0	0,0	0,015	17,1	-
S	23,0	1,8	10,08	10,5	1,03	10,8	- 9,0	0,0	0,0	9,0	0,0	1,8	0,008	9,8	-
O	19,0	3,2	7,55	7,2	0,97	7,0	- 3,8	0,0	0,0	3,8	0,0	3,2	0,004	4,1	-
N	16,0	1,3	5,82	5,40	0,87	4,7	- 3,4	0,0	0,0	3,4	0,0	1,3	0,002	3,7	-
D	11,5	3,3	3,53	2,8	0,86	2,4	- 1,1	0,0	0,0	11,1	0,0	- 8,7	0,001	12,1	-
Ann.	17,75	31	84,61			91,9	- 62,9			66,6	3,7	25,3	3,700	7[illegible]	4,0

I.G. = - 39,1
C. = 46,1 %

TYPE CLIMATIQUE : D B'3 d a'

TABLEAU Nº 12

CALCUL DES INDICES DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE

HASSI BERKANE

Latitude : 35º 11

Mois	tº C.	p cm	i	a	c	e cm	b cm	v cm	rétent. cm	d cm	s cm	e' cm	r cm	ia	ih
J	11,5	6,35	3,53	2,8	0,87	2,4	3,95	0,0	10,0	0,0	3,95	2,4	1,975	-	4,4
F	12,0	2,85	3,76	3,0	0,85	2,5	0,35	0,0	10,0	0,0	0,35	2,5	1,163	-	0,4
M	14,0	4,3	4,75	4,0	1,03	4,1	0,2	0,0	10,0	0,0	0,2	4,1	0,681	-	0,2
A	16,0	5,2	5 82	5,2	1,09	5,7	- 0,5	- 0,5	9,5	0,0	0,0	5,7	0,340	-	-
M	19,0	1,55	7,55	7,0	1,21	8,5	- 6,95	- 6,95	2,55	0,0	0,0	8,5	0,170	-	-
J	22,0	0,7	9,42	9,4	1,21	11,4	-10,7	- 2,55	0,0	8,15	0,0	3,25	0,085	9,1	-
J	24,5	0,2	11,09	11,5	1,23	14,1	-13,9	0,0	0,0	13,9	0,0	0,2	0,043	15,6	-
A	25,5	0,3	11,78	12,5	1,16	14,5	-14,2	0,0	0,0	14,2	0,0	0,3	0,021	15,9	-
S	23,5	1,2	10,41	10,7	1,03	11,0	- 9,8	0,0	0,0	9,8	0,0	1,2	0,011	11,0	-
O	19,5	3,75	7,85	7,4	0,97	7,2	- 3,55	0,0	0,0	3,55	0,0	3,65	0,006	4,0	-
N	16,0	4,2	5,82	5,2	0,86	4,5	- 0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	4,2	0,003	0,3	-
D	13,5	8,1	7,50	3,7	0,85	3,1	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0	- 1,9	0,002	5,6	-
Ann.	18,1	38,7	86,28			89,0	50,4			54,9	4,5	34,1	4,5	61,5	5,0

I.G. = - 31,95
C. = 44,5 %

TYPE CLIMATIQUE : D B'3 d a'

TABLEAU Nº 13

CALCUL DES INDICES DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE NADOR

Latitude : 35º 05

Mois	tºC	p cm	i	a	c	e cm	b cm	v cm	rétent. cm	d cm	s cm	e' cm	r cm	ia	ih
J	11,5	6,8	3,53	2,8	0,87	2,4	4,4	0,0	10,0	0,0	4,4	2,4	2,2	-	5,0
F	11	2,4	3,30	2,6	0,85	2,2	0,2	0,0	10,0	0,0	0,2	2,2	1,2	-	0,2
M	13,5	5,9	4,50	3,8	1,03	3,9	2,0	0,0	10,0	0,0	2,0	3,9	1,6	-	2,3
A	16	7,8	5,82	5,3	1,09	5,8	2,0	0,0	10,0	0,0	2,0	5,8	1,8	-	2,3
M	18	2,35	6,95	6,6	1,21	8,0	- 5,65	- 5,65	4,35	0,0	0,0	8,0	0,9	-	-
J	21,5	0,2	9,10	9,2	1,21	11,1	- 10,9	- 4,35	0,0	6,55	0,0	4,55	0,45	7,5	-
J	25	0,25	11,44	12,0	1,23	14,8	- 14,55	0,0	0,0	14,55	0,0	0,25	0,23	16,6	-
A	24,5	0,35	11,09	11,5	1,16	13,3	- 12,95	0,0	0,0	12,95	0,0	0,35	0,12	14,8	-
S	22	0,85	9,42	9,0	1,03	9,9	- 9,05	0,0	0,0	9,05	0,0	0,85	0,060	10,3	-
O	20	3,6	8,16	8,0	0,97	7,8	- 4,2	0,0	0,0	4,2	0,0	3,6	0,025	4,8	-
N	16,5	1,3	6,10	5,6	0,86	4,8	- 3,5	0,0	0,0	3,5	0,0	1,3	0,010	4,0	-
D	14	4,7	4,75	4,1	0,85	3,5	1,2	1,2	1,2	8,8	0,0	5,3	0,005	10,0	-
Ann.	17,8	36,5	84,16			87,5	- 51,0			59,6	8,6	27,90	8,600	68,0	9,8

I.G. = - 31,0
C. = 43,4 %

TYPE CLIMATIQUE : D B'3 d a'

TABLEAU Nº 14

CALCUL DES INDICES DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE KARIA DE ARKEMAN

Latitude : 35º01

Mois	tº C.	p cm	i	a	c	e cm	b cm	v cm	Rétent. cm	d cm	s cm	e' cm	r cm	ia	ih
J	11,5	4,3	3,53	2,9	0,87	2,5	1,8	0,0	10,0	0,0	1,8	2,5	0,90	-	2,1
F	12,0	3,7	3,76	3,2	0,85	2,7	1,0	0,0	10,0	0,0	1,0	2,7	0,95	-	1,2
M	13,5	5,9	4,5	3,9	1,03	4,0	1,9	0,0	10,0	0,0	1,9	4,0	1,426	-	2,2
A	14,5	7,7	5,01	4,5	1,09	4,9	2,8	0,0	10,0	0,0	2,8	4,9	2,113	-	3,1
M	17,0	2,2	6,38	6,0	1,21	7,3	- 5,1	- 5,1	4,9	0,0	0,0	7,3	1,057	-	-
J	21,0	0,65	8,78	8,8	1,21	10,6	- 9,95	4,9	0,0	5,05	0,0	5,55	0,529	5,9	-
J	24,0	0,1	10,75	11,3	1,23	13,9	- 13,8	0,0	),0	13,8	0,0	0,1	0,265	16,1	-
A	24,5	0,0	11,09	11,5	1,16	13,3	- 13,3	0,0	0,0	13,3	0,0	0,0	0,133	15,5	-
S	23,0	2,3	10,08	10,4	1,03	10,7	- 8,4	0,0	0,0	8,4	0,0	2,3	0,067	9,8	-
O	19,0	3,15	7,55	7,2	0,97	7,0	- 3,85	0,0	0,0	3,85	0,0	3,15	0,034	4,5	-
N	17,0	3,2	6,38	6,0	0,86	5,2	- 2,0	0,0	0,0	2,0	0,0	3,2	0,017	2,3	-
D	14,0	3,2	4,75	4,2	0,85	3,6	- 0,4	0,0	0,0	10,4	0,0	- 6,8	0,009	12,1	-
Ann.	17,6	36,4	82,56			85,7	- 49,3			56,8	7,5	28,9	7,500	66,2	8,6

I.G. = - 31,0
C. = 44,2 %

TYPE CLIMATIQUE : D B'3 d a'

TABLEAU Nº 15

CALCUL DES INDICES DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE MONTE ARRUIT

Latitude : 34º 20

Mois	tº C	p cm	i	a	c	e cm	b cm	v cm	rétent cm	d cm	s cm	e' cm	r cm	ia	ih
J	11,6	5,03	3,58	2,80	0,88	2,50	2,53	2,53	4,44	0,0	0,0	2,50	0,0	-	-
F	12,5	4,24	4,00	3,20	0,85	2,70	1,54	1,54	5,98	0,0	0,0	2,70	0,0	-	-
M	14,2	3,67	4,86	4,10	1,03	4,20	- 0,53	- 0,53	5,45	0,0	0,0	4,20	0,0	-	-
A	16,4	5,26	6,04	5,30	1,09	5,80	- 0,54	- 0,54	4,91	0,0	0,0	5,80	0,0	-	-
M	18,5	3,05	7,25	6,70	1,20	8,00	- 4,95	- 4,91	0,0	0,04	0,0	7,96	0,0	0,04	-
J	22,4	0,73	9,68	9,80	1,20	11,70	- 10,97	0,0	0,0	10,97	0,0	0,73	0,0	12,0	-
J	25,6	0,09	11,85	12,60	1,22	15,40	- 15,31	0,0	0,0	15,31	0,0	0,09	0,0	16,8	-
A	26,0	0,28	12,13	13,00	1,16	15,10	- 14,82	0,0	0,0	14,82	0,0	0,28	0,0	16,3	-
S	23,8	2,25	10,62	11,00	1,03	11,30	- 9,05	0,0	0,0	9,05	0,0	2,25	0,0	9,9	-
O	19,8	3,93	8,03	7,60	0,97	7,40	- 3,47	0,0	0,0	3,47	0,0	3,93	0,0	3,8	-
N	15,7	3,34	7,65	4,90	0,87	4,30	- 0,96	0,0	0,0	0,96	0,0	3,34	0,0	1,1	-
D	12,3	4,61	3,91	3,10	0,86	2,70	1,91	1,91	1,91	0,0	0,0	2,70	0,0	-	-
Ann.	18,2	36,48	87,60			91,10	- 54,62			54,62	0,0	36,48	0,0	59,94	-

I.G. = - 36,0
C. = 46,0 %

TYPE CLIMATIQUE : D B'3 d a'

TABLEAU Nº I6

CALCUL DES INDICES DE THORNTHWAITE POUR LA STATION DE BERKANE (T.P.)

CHAPITRE IV . - LA VEGETATION (*)

Dans ce chapitre, nous étudierons successivement la répartition de la végétation :

1º/ Sous l'angle de ses liaisons avec le climat ; cette étude nous permettra de préciser quelques détails du climat de la plaine du Zebra.

2º/ Sous l'angle de ses liaisons avec le sol : quels sont les facteurs pédologiques qui influent sur la répartition des espèces.

3º/ Sous l'angle de l'influence de la culture qui vient perturber la répartition naturelle des espèces.

I.- LA VEGETATION PAR RAPPORT AU CLIMAT

Sans entrer dans les détails des micro-climats très

.../...

(*): La rédaction de ce chapitre est en grande partie la simple copie du chapitre 5 de la 2º partie du "Rapport sur l'Aménagement de la Rive Gauche de la Basse-Moulouya" dû à M.PERSOGLIO, Phytosociologue de l'O.N.I (1962) (41 et 42).

locaux (*), la plaine du Zebra peut, sur le plan des bioclimats, se diviser en trois régions :

- La plaine au Sud, à plantes steppiques continentales.
- Une bande au Nord à Pistacia atlantica.
- Les plateaux, portant Asphodelus microcarpus.

A.- La plaine au Sud

Dans la plaine, située en majeure partie entre la Moulouya et le Zebra (et pour une petite partie au Nord du Zebra), fermée au SW par la chaîne de montagne des Beni-Snassen, s'est créé un climat local continental aride "froid" (nº 1 de la carte phytosociologique et bioclimatique) le froid étant atténué par la proximité de la mer. Ce climat local que l'on peut rattacher au microclimat continental froid du Maroc Oriental a donné la possibilité aux plantes steppiques (Armoise, Stipa parviflora, Stipa barbata, Stipa retorta var. pubescens, etc...) de prospérer dans la plaine, mais les espèces eu-méditerranéennes de caractère steppique y sont également nombreuses : Anabasis aphylla, Lycium intricatum ssp. typicum, Stipa retorta, Salsola vermiculata et Oppositifolia, etc...

La composition floristique globale de cette plaine nous permet de déduire les caractères climatiques suivants (voir tabl.nº 17):

1º/ L'abondance des espèces steppiques typiques, nous indique le caractère continental : températures minima moyennes relativement basses en hiver, possibilité de gel, écarts de températures diurnes et nocturnes assez grands, l'air diurne étant relativement sec en hiver, très sec et très chaud en été.

2º/ L'abondance des espèces eu-méditerranéennes de caractère steppique confirme l'aridité mais indique le caractère méditerranéen atténuant le froid continental.

.../...

(*) : Voir la carte phytosociologique et bioclimatique des plaines du Zebra, Bou-Areg et Gareb, par M. PERSOGLIO : pièce hors-texte nº II.

3º/ L'abondance d'autres espèces de caractère steppique : Plantago ovata, Notoceras bicorne, Calendula aegyptiaca, Eruca vesicaria, Picris coronopifolia, Peganum harmala, Asphodelus fistulosus et tenuifolius, Salvia aegyptiaca, etc.. indique aussi l'aridité.

4º/ La présence des espèces : Asteriscus maritimus, Alyssum maritimum, Beta macrocarpa, Mantisalca salmantica etc.. nous indique que l'humidité nocturne doit être assez élevée pour compenser les faibles précipitations et l'effet des vents dessèchants.

5º/ La répartition du Ziziphus lotus, cantonné dans les dépressions où les régimes hydriques lui sont favorables, indique aussi une grande aridité de la plaine.

Signalons que dans cette plaine, les petites buttes isolées portent une végétation différente (nº 7,8 et 12 de la carte phytosociologique et bioclimatique), indiquant un climat moins aride, et d'autant moins aride que l'on va vers l'Ouest où on peut même trouver des ilôts de végétation semi-aride humide avec Chamaerops humilis, Cheateuropaea, Psoralea bituminosa, Cenhrus ciliaris, etc.. (nº 12 de la carte phytosociologique et bioclimatique). Tout ceci indique l'influence marine qui arrive dans la plaine par le col situé à l'Ouest (col reliant la plaine du Zebra à la plaine du Gareb).

B.- La bande Nord

Dans la partie Nord du Périmètre s'est créé un climat local aride chaud. Le caractère de climat froid est complètement supprimé par une influence de la mer plus grande que dans la plaine, ceci grâce au passage de multiples oueds à travers la chaîne des Kebdana.

L'air de la mer descendant par ces oueds, a créé d'abord une ceinture de climat semi-aride (Ceratonia siliqua, Olea europaea) (nº 14 de la carte phytosociologique et bioclimatique) située au-dessus de la zone à climat aride, cette dernière seule faisant partie du périmètre. Au-dessous de cette ceinture, Ceratonia siliqua et Olea europaea n'existent plus, probablement parce que l'air perd vite son humidité, et les espèces qui résistent à l'aridité commencent à s'installer. Les observations

.../...

phytosociologiques (voir tabl. nº 17) de cette partie Nord du périmètre permettent de conclure à la présense d'un climat de type méditerranéen aride chaud (nº 3 de la carte phytosociologique et bioclimatique), que doit favoriser par ailleurs l'exposition générale Sud.

On observe dans cette zone :

1º/ L'absence des espèces steppiques continentales : l'Armoise et les Stipa.

2º/ L'absence des espèces-climax semi-arides.

3º/ La présence des espèces qui supportent une grande aridité, mais qui fuient le froid (ces espèces n'existent pas dans la plaine) : Pistacia atlantica, Rhus pentaphyllum, Launaea arborescens.

4º/ L'abondance des espèces de caractère steppique déjà citées au paragraphe A.- 3º précédent.

5º/ La présence partout de Ziziphus lotus.

De ces observations floristiques on peut déduire les caractéristiques climatologiques suivantes :

- Températures minima moyennes mensuelles en hiver plus élevées que dans la plaine : le risque de gelée est pratiquement nul.

- Ecarts de températures nocturnes et diurnes moins grands que dans la plaine.

- Grande aridité, mais avec des précipitations peut-être un peu plus élevées que dans la plaine.

- Effets desséchants des vents moins grands.

- Saison sèche très chaude.

C.- Les plateaux

Sur les glacis moulouyens formant plateaux en bordure de la Moulouya, prend place un climat local aride des plateaux (nº 2 de la carte phytosociologique et bioclimatique) qui est caractérisé par :

.../..

- 1º/ Des espèces steppiques continentales dominantes : l'Armoise, les Stipa, etc...

- 2º/ D'autres espèces de caractère steppique : Noaea mucronata, Eruca vesicaria, Plantago ovata et albicans, Stipa retorta, Thymus ciliaris, Asphodelus tenuifolius etc..

- 3º/ Des espèces qui supportent plus ou moins l'aridité : Hélianthemum virgatum, Minuartia geniculata, Brachypodium distachium, Allium cupani, Paronychia argentea, etc..

- 4º/ Des espèces géophytes (*) exigeantes en eau pendant la période de floraison : Asphodelus microcarpus, Iris sisyrinchum, Scilla peruviana, Allium paniculatum, etc...

- 5º/ Une certaine abondance de Ziziphus lotus qui y pousse partout.

Ces observations permettent de conclure que ce climat se rapproche beaucoup du climat de la plaine, mais que l'intensité de pluie doit y être plus élevée.

*

* *

L'ensemble de ces observations sur la végétation de la plaine du Zebra confirme donc absolument le caractère aride du climat de cette plaine : il semble même que cette aridité soit plus grande que celle qui ressort de l'étude des données météorologiques (voir chapitre III). Les observations confirment également d'autres détails que nous avions déjà signalés, en particulier :

- la continentalité du climat, quoique légèrement atténuée par la proximité de la mer ;

- la grande chaleur de l'été, surtout dans le Nord de la plaine.

.../...

(*): Geophytes : plantes herbacées vivaces dont les bourgeons, à la période de repos, sont sous la surface du sol.

TABLEAU Nº 17

Répartition des espèces par rapport aux différents climats locaux arides

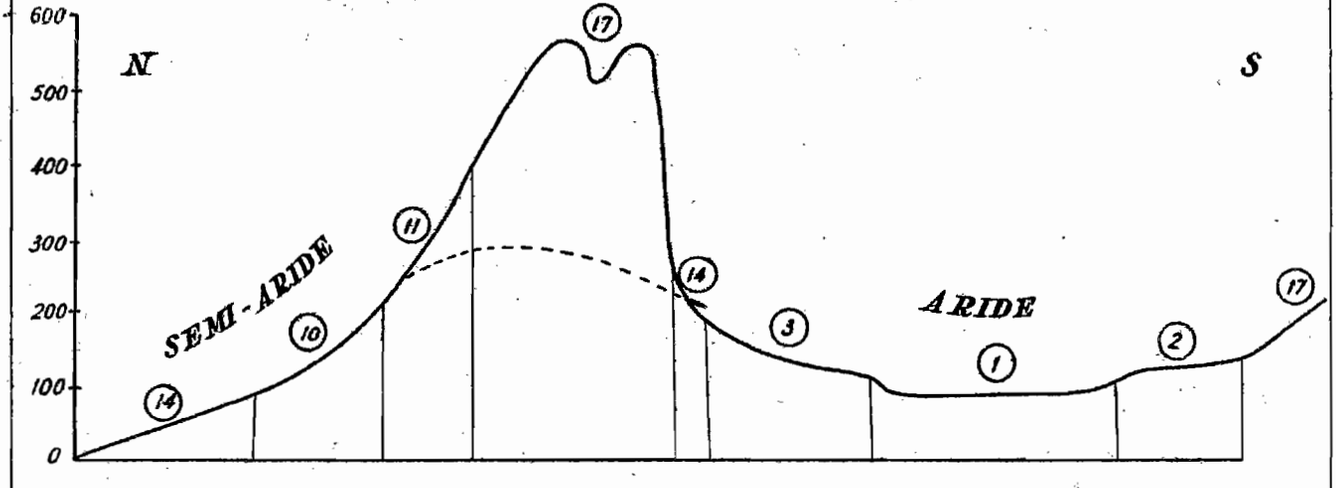
	A	B
Lycium intricatum	+	+
Ziziphus lotus	+*	+
Asphodelus tenuifolius	+	+
Asphodelus fistulosus	+	+
Peganum harmala	+	+
Calendula aegyptiaca	+	+
Medicago laciniata	+	+
Convolvulus valentinus	+	+
Plantago albicans	+	+
Plantago lagopus	+	+
Adonis dentata	+	+
Eruca vesicaria	+	+
Centaurea involucrata	+	+
Eryngium illicifolium	+	+
Mathiola parviflora	+	+
Launaea nudicaulis	+	+
Koeleria phleoides	+	+
Sisymbrium runcinatum	+	+
Stipa retorta	+	+
Limonium thouini	+	+
Asparagus stipularis	+	+
Schismus calycimus	+	+
Erodium triangulare ssp Bovei	+	+
Anacyclus valentinus	+	+
Artémisia Herba-Alba	+	
Stipa parviflora	+	
Stipa barbata	+	
Stipa retorta var. pubescens	+	
Plantago ovata	+	
Centaurea maroccana	+	
Urginea noctiflora	+	
Salsola oppositifolia	+	
Salvia aegyptiaca	+	
Anabasis aphylla	+	+
Notoceras bicorne	+	+
Matricaria pubescens	+	+
Picris coronopifolia	+	+
Pistacia atlantica		+
Rhus pentaphyllum		+
Launaea arborescens		+

A. La plaine du Zebra
B. La partie N. de la plaine du Zebra.

.../...

(*) Seulement dans les dépressions.

PROFIL BIOCLIMATIQUE Nº 1 : différentes combinaisons des espèces-climax par rapport aux climats locaux (Karia Arkeman - Kebdana - Zafe - Zebra).



A. Etage semi-aride

(14) Type du climat local "assez humide" : Ceratonia siliqua, Olea europaea, Balleta hirsuta, Ferula communis, Ziziphus lotus, Lavandula multifida, etc...

(10) Type du climat local "humide" : Chamaerops humilis, Pistacia lentiscus, Olea europaea, etc...

(11) Type du climat local "humide" : Erica multiflora, Chamaerops humilis, Pistacia lentiscus, Callitris articulata, etc...

B. Etage aride

(3) Type du climat local : Pistacia atlantica, Rhus pentaphyllum, Launaea arborescens, etc...

(1) Type du climat local : Artemisia Herba-alba, Anabasis aphylla, etc...

(2) Type du climat local : Artemisia Herba-alba, Neaea mucronata, Ziziphus lotus, Asphodelus microcarpus, etc...

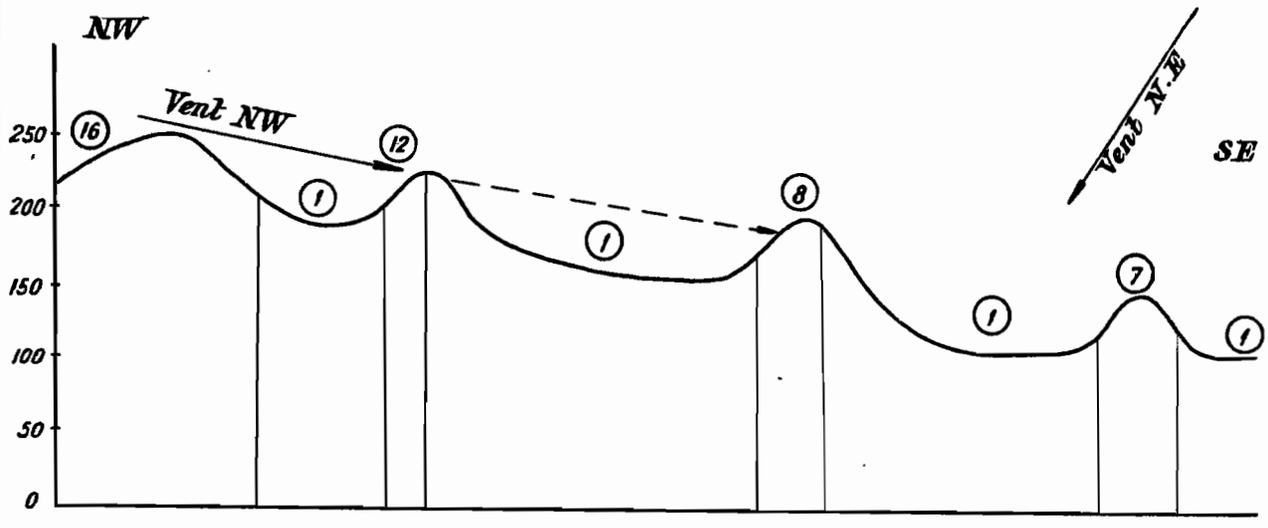
(17) Stipa tenacissima

-:-:-

: Influence de la mer par le passage des oueds.

FIGURE Nº 29

PROFIL BICCLIMATIQUE Nº 2 : différentes combinaisons des espèces par rapport aux vents dominants (Col Jebel Ziata - Jebel Amjer - Plaines et Collines de la plaine du Zebra).



A. Etage aride

(1) Type du climat local : Artemisia Herba-alba, Anabasis aphylla, etc...

(7) Type du climat local : Pennisetum setaceum, Trichelaena ténériffae, Aristida coerulescens, Periploca laevigata, Rhus pentphyllum, etc...

B. Etage entre aride et semi-aride

(8) Type du climat local : Pistacia atlantica, Olea europaea, Pituranthos scorparius, Capparis spinosa, Jasonia rupestris, Lavandula multifida, etc...

C. Etage semi-aride

(12) Type du climat local "humide" : Chamaerops humilis, Olea europaea, Ceratonia siliqua, Cenhrus ciliaris, Psoralea bituminosa, etc...

(16) Type du climat local "assez sec" : Olea europaea, Balleta hirsuta, Rhus pentaphyllum, Lavandula multifida, Ziziphus lotus, Lycium intricatum, etc...

FIGURE Nº 30

II.- LA VEGETATION PAR RAPPORT AUX SOLS

Dans la plaine du Zebra, les propriétés physiques et chimiques des sols qui agissent sur la répartition des plantes, ou plutôt sur la combinaison des différents groupements d'espèces, sont essentiellement :

- la texture ;
- les propriétés hydriques ;
- le calcaire ;
- la salure.

A.- Les plantes annuelles

Précisons tout d'abord que, étant donné que la salure des sols de la plaine du Zebra est toujours un phénomène de profondeur, les plantes annuelles caractéristiques du sel sont pratiquement inexistantes. On ne les trouve que dans les zones où les couches profondes ont été mises en surface : zone nivelée, zones érodées ; on a alors : Mésembryanthemum nodiflorum et cristalinum, Halogeton sativus, Suaeda fructicosa.

a) Les plantes annuelles steppiques

Ces plantes ont généralement un enracinement peu profond : 10 à 15 cm.

Elles sont présentes sur tous les types de sols, mais elles sont particulièrement abondantes lorsque la couche superficielle du sol est formée de limons et sables fins, et elles sont presque exclusives quand cette couche est épaisse. Proportionnellement à la diminution en profondeur des limons, lorsque la couche argileuse est plus proche de la surface, les plantes annuelles non steppiques deviennent de plus en plus nombreuses.

Les plantes annuelles steppiques sont donc des indicatrices d'une texture sablo-limoneuse (sables fins).

.../...

B) Les plantes annuelles non steppiques

1º) Plantes à racines peu profondes (10-15 cm) : ces plantes sont tout d'abord des indicatrices de sols saturés au printemps : une fois le cycle de floraison dépassé, elles peuvent très bien supporter la sècheresse. On les trouve donc soit dans des zones de ruissellement où passe beaucoup d'eau, soit au contraire dans des zones où le microrelief permet une certaine stagnation de l'eau. Ces plantes sont essentiellement : Spargularia flaccida et rubra, Dipcadi serotinum, Achillea santolina, etc...

Quelques unes de ces plantes peuvent également être indicatrices, étant donné leur enracinement faible, d'une texture sablo-limoneuse (sables fins). Ce sont : Hypecoum pendulum, Roemeria hybrida, silene tridentata, Herniaria fontanesii, Ononis reclinata, Astragalus caprinus ssp. Lanigerus, etc...

2º) Plantes à racines profondes (30 - 35 cm): la répartition de ces plantes se fait en fonction de la teneur en argile et en calcaire. Mais avant tout, il faut souligner que l'abondance de ces plantes varie beaucoup d'une année à l'autre en fonction de la pluviométrie : elles sont abondantes quand l'année est pluvieuse, mais presque toutes rares ou absentes dans les années de grande sècheresse. Ceci est d'ailleurs probablement lié aux propriétés de rétention pour l'eau des sols à texture argileuse : ils retiennent bien l'eau après les pluies, permettant le développement de ces plantes à enracinement profond ; mais par ailleurs, ils ont un point de flétrissement plus élevé, exigeant donc une quantité d'eau assez importante pour être dépassé.

Sur les sols argileux en profondeur, non ou peu calcaires en surface :

- Sont abondantes les calcifuges : Cladantus arabicus, Silene rubella, Cordylocarpus muricatus, Beta macrocarpa, Medicago ciliaris, Silene Cucubalus, Silene glauca, Silene nocturna, Asterisous maritimus, etc..

- Sont présentes (peu abondantes ou rares) les calcicoles : Calendula algeriensis, Chrysanthemum coronarium, Glaucium corniculatum, Euphorbia medicaginea, Anthyllis tetraphylla, Vaccaria pyramidata, Lathyrus articulatus, Lathyrus cicera, etc..

.../...

Sur les sols argileux en profondeur, calcaires dès la surface, sont abondantes les espèces calcicoles, rares ou absentes les espèces calcifuges.

Enfin, sur les sols fortement argileux, d'autre plantes annuelles (et quelques plantes vivaces) non steppiques s'installent : Scolymus maculatus, Carthamus lanatus, Carthamus calvus, Cichorium intybus, Cynara cardunculus etc... Ces espèces ne sont cependant jamais abondantes, sauf là où l'eau est stagnante.

Bien entendu, l'ensemble de ces groupes de plantes annuelles peuvent se présenter combinés entre eux : ils reflètent alors la complexité du milieu.

B.- Les plantes vivaces, buissonnantes, arbustives

Au contraire des plantes annuelles, il semblerait que le facteur essentiel régissant la répartition des plantes vivaces soit la salure du sous-sol : ceci n'a rien d'étonnant étant donné l'enracinement plus profond de ces plantes vivaces.

Les plantes peu résistantes à la salure sont essentiellement Peganum harmala et Artemisia herba alba.

Les plantes résistantes à la salure, dont l'abondance indique la présence de sel, sont : Anabasis aphylla, Lycium intricatum, Frankenia corymbosa, Atriplex halimus.

Toutes ces espèces sont à caractère steppique.

.../...

III.- LA VEGETATION PAR RAPPORT A L'ACTION DE L'HOMME

La végétation de la plaine a été modifiée par la culture. Avant l'intervention de l'homme la zone de plaine était couverte par une steppe d'Armoise et la partie Nord par une formation à base de Rhus pentaphyllum et Pistacia atlantica.

La culture est avant tout un ennemi des plantes vivaces, des arbustes et des arbres ; elle favorise les plantes annuelles.

1º) On peut supposer que toutes les plantes annuelles steppiques ont toujours été présentes puisqu'on les trouve encore actuellement sur les sols peu profonds sur croûte dure, qui ne sont jamais cultivés. Mais beaucoup de ces plantes, rares sur ces sols, deviennent abondantes sur les sols cultivés : Anacyclus valantinus, Launaea nudicaulis, Sisymbrium runcinatum.

2º) Vella annua et Aizoom hispanicum, peu abondantes ou rares sur tous les types de sol, forment un facies caractéristique sur les sols récemment cultivés ; ils y ont en outre un meilleur développement et des racines plus profondes.

3º) Beaucoup de plantes annuelles non steppiques à enracinement profond, existent ou sont plus abondantes grâce à la culture. Celles qui n'existent que grâce à la culture (espèces rudérales, indicatrices d'argile) sont essentiellement : Chrysanthemum coronarium, Lathyrus cicera, Lathyrus articulatus, etc...

4º) La présence et l'abondance des plantes annuelles rudérales suivantes est dûe seulement à culture : Urospermum picroides, Scorpiurus sulcatus, Astragalus hamosus, Sonchus oleraceus, Chenopodium murale, Emex spinosus, Hedypnois cretica, Reseda lutea, Coronilla scorpioides, etc...

5º) Les plantes vivaces facilement détruites par la culture sont : Artemisia herba alba, Frankenia corymbosa.

6º) Les plantes vivaces qui sont, au contraire, favorisées par la culture sont : Anabasis aphylla (la culture fragmente la souche sans la détruire et la multiplie, favorisant le développement du chevelu superficiel), Peganum harmala.

.../...



PHOTO Nº 6

A gauche : Rhus pentaphyllum

A droite : Ziziphus lotus



PHOTO Nº 7

Pistacia atlantica



PHOTO Nº 8

Au fond : Ziziphus lotus

Au premier plan à droite : Wittania frutescens

(Photos MASSONI)

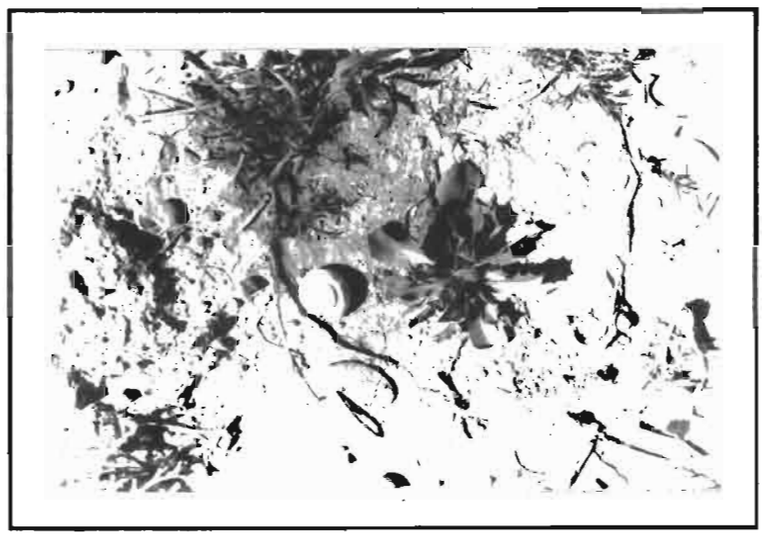


PHOTO Nº 9

Eryngium illicifolium

PHOTO Nº 10

Glaucium corniculatum

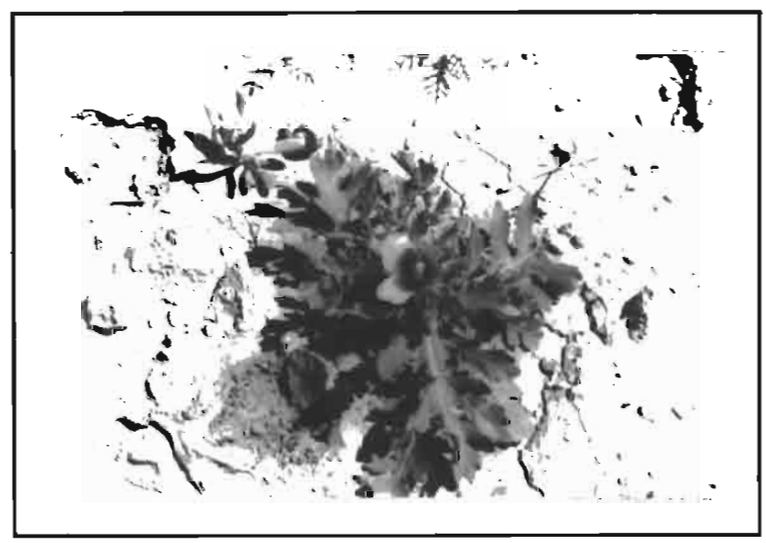




PHOTO Nº 11

Centaurea involucrata

(Photos MASSONI)



PHOTO Nº 12

Cladentus arabicus

PHOTO Nº 13

Calendula aegyptiaca



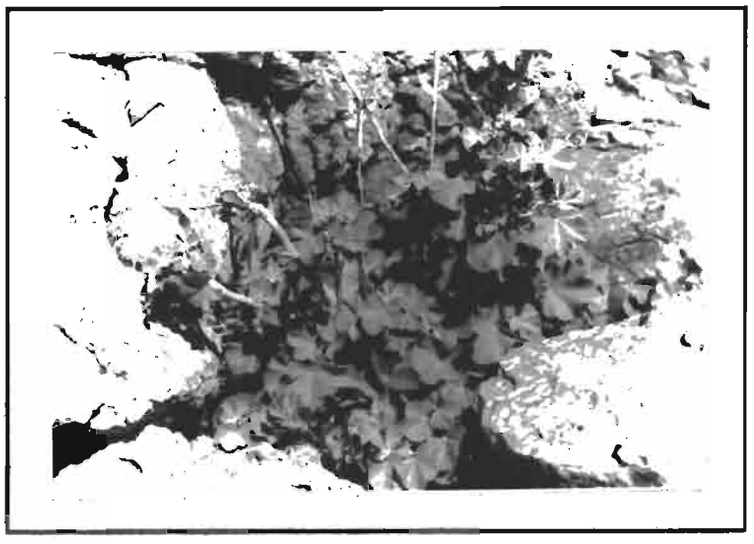


PHOTO Nº 14

Lavatera maritima

(Photos MASSONI)



PHOTO Nº 15

Peganum harmala

PHOTO Nº 16

Anabasis aphylla

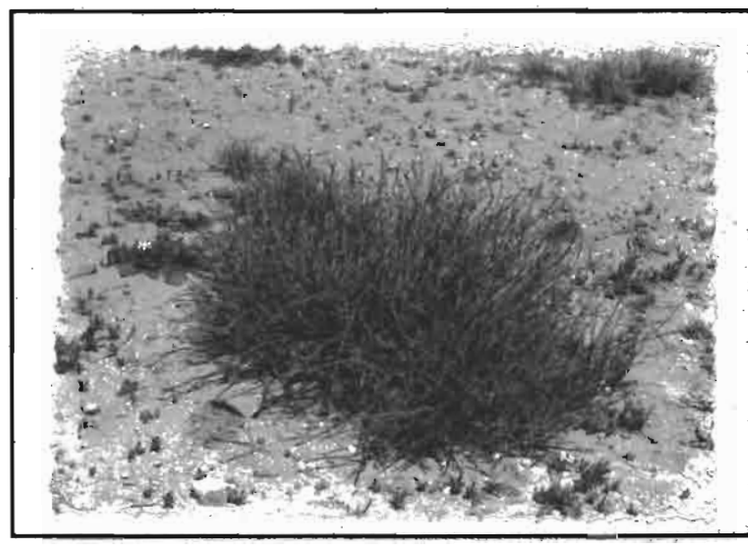




PHOTO Nº 17

Aizoon hispanicum

(Photos MASSONI)

CHAPITRE V . - L'EAU DE LA MOULOUYA

Depuis Février 1960, date à laquelle nous avons commencé l'expérimentation sur les sols salés et alcalisés de la plaine du Zebra, nous suivons l'évolution de la salure de l'eau de la Moulouya, les prélèvements étant faits, à chaque irrigation, dans le canal principal d'irrigation de la rive droite, à son arrivée dans la plaine des Triffa.

Cette étude n'a pas, bien entendu, été menée dans l'optique de suivre très exactement les variations de la salure en fonction des débits : ceci n'était pas notre travail, nos prélèvements n'étant faits que pour connaître l'eau que nous utilisons sur les parcelles expérimentales. Il est donc certain que cette étude est incomplète :

- D'abord parcequ'elle ne porte que sur trois ans.

- Ensuite parce que les manques, dûs en particulier aux arrêts des irrigations, sont assez nombreux.

- Enfin parce qu'il est très difficile, par manque de données sur les débits de la Moulouya et sur l'évaporation, de déduire de cette étude ce que sera la composition de l'eau d'irrigation quand le barrage de Mechra Klila sera terminé et qu'il régularisera les variations actuelles de cette composition.

.../...

Notre étude est donc incomplète. Il est cependant rassurant de constater que les conclusions que nous pouvons en tirer sont dans l'ensemble très semblables à celles de Monsieur MORTIER dans son étude de 1955 (40), étude portant d'ailleurs sur un laps de temps beaucoup plus court que la nôtre (1 an). D'autre part nous verrons que cette étude est pour l'instant très suffisante pour ce que nous désirons en tirer, à savoir quelle sera l'influence probable de l'eau de la Moulouya sur l'évolution des sols.

I.- L'ANALYSE DES EAUX

A. - La salure totale

L'évolution de la salure totale de l'eau de la Moulouya dessine grossièrement une sinusoïde, le maxima se situant généralement à la fin de l'été ou au début de l'automne, le minima au cours de l'hiver ou au début du printemps (voir fig. nº 31 et 34 placées à la fin du chapitre) Le maxima atteint peut varier de 900 à 1300 mg/l, le minima de 350 à 500 mg/l.

Sans entrer dans les détails de l'interprétation de cette oscillation de la salure, interprétation qui n'est pas de notre compétence, nous voulons cependant souligner les quelques points suivants :

1º) L'irrégularité de la courbe provient très probablement en grande partie de l'origine des eaux. En effet, comme le souligne MORTIER (1955) (40) les différents bassins des grands affluents de la Moulouya sont installés dans des formations géologiques très différemment salées. D'autre part il faut à notre avis également souligner que ces affluents traversent des zones à climats plus ou moins arides, donc des zones où la concentration des sels dans les eaux et les sols est plus ou moins forte. C'est donc suivant la localisation des chutes de pluies que varie la salure de l'eau de la Moulouya. On pourrait alors penser qu'il serait possible

.../...

de prévoir suffisamment à l'avance l'arrivée, au barrage de Mechra Klila, d'eaux trop salées que l'on pourrait essayer de ne pas conserver en les dérivant en épandage de crues (épandage à faire avant l'arrivée à la Moulouya elle-même s'il s'agit d'une eau apportée par un affluent). En réalité :

- Comme le souligne MORTIER ces prévisions sont, dans l'état actuel des connaissances sur le bassin de la Moulouya, très difficiles à faire.

- En supposant que l'on arrive un jour à mieux connaître le régime des crues et des salures dans l'ensemble du bassin, ceci en fonction des oscillations climatiques (régime des pluies en particulier), il restera à étudier la mise en place d'un équipement (petits barrages, laboratoires, etc..) et d'un personnel, probablement assez coûteux, qui seront chargés de prévoir l'arrivée des eaux salées et de les dériver.

- Tout ceci pour un résultat qui sera à notre avis bien maigre. Nous verrons (p. 117) que l'eau de la Moulouya, si elle n'est pas vraiment dangereuse pour l'irrigation, de loin pas, n'est pas non plus excellente : son utilisation impose quelques précautions. Mais nous ne pensons pas qu'en dérivant quelques crues trop salées, il soit possible de l'améliorer très sensiblement : on peut supposer, sous toutes réserves, que le jour où le barrage de Mechra Klila fonctionnera, la salure de l'eau qui arrivera dans les périmètres d'irrigation sera beaucoup moins variable et s'établira vers environ 0,8 gr/l (c'est un calcul très délicat à faire, dans lequel il ne faut pas oublier de tenir compte de l'évaporation sur les deux lacs des barrages et sur les canaux d'irrigation : nous n'avons pas fait ce calcul qui n'est pas de notre ressort ; le chiffre que nous donnons est une simple supposition). Or pour que cette eau devienne bien meilleure pour l'irrigation, il faudrait pouvoir obtenir un chiffre maximum de l'ordre de 0,5 à 0,6 gr/l : nous pensons que cela est à peu près impossible sans de très gros travaux et sans perdre une grande quantité d'eau.

2º) Il est intéressant de noter l'influence de la pluviométrie sur l'allure générale de la courbe de salure. En 1960, et jusqu'en automne 1961, la pluviométrie fut à peu près normale : début des premières pluies fin Septembre, puis pluviométrie assez abondante à partir de Novembre, enfin assèchement progressif à partir du mois d'Avril. Les conséquences sur le taux de la salure de l'eau de la Moulouya furent les suivantes :

.../...

- Les premières pluies amenèrent une augmentation assez brutale de la salure : il y eut lessivage, dans l'ensemble du bassin, des sels accumulés à la surface des sols pendant toute la période très sèche et très chaude de l'été (il ne faut pas oublier qu'une très grande partie du bassin de la Moulouya est soumise à un climat très aride, froid en hiver, mais très chaud en été).

- La continuation et l'augmentation de la pluviométrie finit par diluer les eaux : il y eut baisse assez rapide du taux de salure.

- Enfin la diminution puis la disparition de toute pluie, diminuant les débits des oueds, et surtout l'augmentation des températures entraînant une très forte évaporation provoquèrent l'augmentation progressive de la salure pendant toute la période de printemps et d'été : c'est ce qui se passa en 1961 comme en 1960.

En Septembre 1961, l'apparition des premières pluies provoqua, comme en 1960, l'augmentation plus rapide de la salure qui atteint son maxima début Novembre. Mais étant donné que la pluviométrie resta très faible jusqu'à la fin du mois de Février, ce n'est qu'en Mars 1962 au lieu de Décembre 1961 qu'eut lieu la dilution des eaux : la salure resta donc à un taux oscillant entre 850 et 1100 mg/l pendant 6 mois, au lieu de 2 mois pendant l'hiver 1960-1961. Mais par ailleurs, étant donné que des pluies importantes eurent encore lieu en Juin 1962 et qu'elles reprirent ensuite, avec une certaine abondance, dès le mois de Septembre, la période de sècheresse pendant laquelle les eaux se concentrent et les sels s'accumulent à la surface des sols, fut très courte : 2 mois au lieu de 5. Il s'ensuivit qu'il n'y eut pas de forte augmentation de la salure en Septembre 1962 : le maximum atteint fut de 950 mg/l, et le chiffre de 850 mg/l ne fut dépassé que pendant 1 mois ; dès le mois d'Octobre, la salure diminuait rapidement.

B.- La composition de la salure

L'étude des courbes dessinées sur les figures nº 31, 32 33 et 34 (placées à la fin du chapitre) et des diagrammes de la figure nº 35 (placée à la fin du chapitre), conduisent aux quelques observations suivantes :

.../...

1º) Ce qui caractérise avant tout l'eau de la Moulouya, c'est sa richesse en cations alcalino-terreux et en anion sulfate. En milliéquivalents, le pourcentage de calcium par rapport à la totalité des cations varie de 28 à 58 % ; il est le plus souvent voisin de 40 %. Le pourcentage de magnésium varie de 24 à 41 % ; il est le plus souvent voisin de 30 %. Enfin le pourcentage de sulfate par rapport à la totalité des anions varie de 28 à 61 %, la moyenne s'établissant aux environs de 45 %.

2º) La richesse en carbonate, toujours sous la forme de bicarbonate (CO_3H), est moyenne : 14 à 51 %, mais le plus souvent autour de 25 %.

3º) Il en résulte que les richesses en sodium et surtout en chlore sont toujours assez faibles : il y a presque toujours moins de sodium que de calcium et généralement sodium et magnésium ont des pourcentages voisins. D'autre part il y a toujours beaucoup moins de chlore que de sulfate et souvent moins de chlore que de carbonate. Le pourcentage de sodium oscille entre 6 à 35 % (25 à 30 % le plus souvent) et celui du chlore oscille de 17 à 46 % (autour de 30 % le plus souvent).

4º) La richesse en potassium est toujours très faible : 0,5 à 1 %.

5º) Il est assez difficile, sur le plan des pourcentages de milliéquivalents, de classer les eaux de la Moulouya suivant les saisons. En gros, c'est souvent pendant l'hiver et le printemps, donc quand les débits sont les plus forts, que les proportions de cations alcalino-terreux sont les plus élevés ; et c'est en automne, au cours des premières crues qui suivent l'étiage de l'été, que les proportions en sodium et chlore sont les plus fortes, se rapprochant de celles en calcium et sulfate. La régularisation dûe au barrage de Mechra Klila ne pourra donc que confirmer la richesse en calcium et sulfate de l'eau d'irrigation.

6º) Il est par contre beaucoup plus facile de parler d'évolution de la composition de la salure en fonction des saisons, si on étudie les résultats en mg/litre. Mais ceci a un intérêt plus limité pour nous qui étudions la composition de l'eau d'irrigation en fonction de son action possible sur l'évolution des sols. Signalons cependant que c'est bien sûr en été et en automne, quand la salure est forte, que se font les plus gros apports de calcium, magnésium et surtout de sulfate (il peut y avoir jusqu'à plus de 500 mg/l. d'anion sulfate) ; mais c'est aussi l'époque pendant laquelle les eaux sont les plus riches en sodium et chlore.

.../...

II.- LA QUALITE DES EAUX

A.- Les normes utilisées

La qualité d'une eau d'irrigation, c'est-à-dire sa valeur jugée d'après son action sur la germination, la croissance et le rendement des plantes d'une part, son action sur l'évolution des sols d'autre part, dépend essentiellement :

1º) de sa concentration en sels totaux ;

2º) de la composition de sa salure, c'est-à-dire de la proportion (en milliéquivalents) des ions, les uns par rapport aux autres, les ions importants étant, d'une part les anions chlore, sulfate et carbonates (CO_3 H et CO_3), d'autre part les cations sodium, calcium et magnésium.

D'après les normes américaines (1954) (64), que nous considérons cependant comme un peu trop sévères, les eaux sont classées de la façon suivante :

a) Salure

C1 = Classe 1 : salure inférieure à 0,15 gr/l. (conductivité inférieure à 250 micromhos/cm) = eaux peu salées, pouvant être utilisées sans aucun danger .

C2 = Classe 2 : salure comprise entre 0,15 et 0,5 gr/l. (conductivité comprise entre 250 et 750 micromhos/cm) = eaux moyennement salées, pouvant, si des précautions ne sont pas prises (lessivage) provoquer une salinisation lente des sols et limiter les rendements de cultures très sensibles aux sels.

.../...

C3 = Classe 3 : salure comprise entre 0,5 et 1,5 gr/l. (conductivité comprise entre 750 et 2250 micromhos/cm) = eaux fortement salées, pouvant provoquer une salinisation assez rapide des sols, limitant les rendements des plantes sensibles aux sels (agrumes, haricots), et pouvant même limiter, par action au moment de la germination les rendements de plantes plus résistantes, telles le coton, la betterave, la luzerne...

C4 = Classe 4 : salure supérieure à 1,5 gr/l. (conductivité supérieure à 2250 micromhos/cm) = eaux très fortement salées, à n'utiliser pour l'irrigation que pour des cultures très résistantes aux sels.

b) Composition de la salure

Dans l'étude de la composition de la salure d'une eau d'irrigation, ce qu'il importe avant tout de connaître, c'est la proportion d'ions Na par rapport aux ions Ca et Mg. En effet, si une eau est trop riche en ions Na, elle provoque une augmentation de la proportion de cet ion sur le complexe adsorbant des sols, c'est-à-dire une alcalisation qui se traduit surtout par une augmentation des pH et une dégradation de la structure. D'après la valeur du rapport suivant :

$$S.A.R.\ * = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

(Na, Ca et Mg, étant exprimés en milliéquivalents par litre), les Américains ont classé les eaux de la façon suivante :

S1 = Classe 1 : S.A.R. inférieur à 10 pour les eaux peu salées, à 2,5 pour les eaux très salées = eaux peu alcalisantes, ne pouvant amener plus de 12 % de sodium sur le complexe adsorbant des sols.

.../...

(*) S.A.R = Sodium - Adsorption - Ratio

S2 = Classe 2 : S.A.R. compris entre 10 et 18 pour les eaux peu salées, 2,5 et 7 pour les eaux très salées = eaux moyennement alcalisantes, pouvant amener jusqu'à 20 % de sodium sur le complexe adsorbant des sols donc pouvant provoquer la formation de sols alcalisés (on considère qu'un sol est alcalisé quand il y a plus de 15 % de sodium sur son complexe adsorbant).

S3 = Classe 3: S.A.R compris entre 18 et 26 pour les eaux peu salées, 7 et 11 pour les eaux très salées = eaux fortement alcalisantes, pouvant amener jusqu'à 27 % de sodium sur le complexe adsorbant des sols.

S4 = Classe 4 : S.A.R. supérieur à 26 pour les eaux peu salées, à 11 pour les eaux très salées = eaux très fortement alcalisantes, pouvant amener plus de 27 % de sodium sur le complexe adsorbant des sols.

En ce qui concerne la composition en anions, il faut retenir que :

- Le chlore en trop grande quantité, est toxique.

- L'ions sulfate, par la formation de sulfate de calcium, favorise la désalcalisation des sols.

- Les ions carbonate et bicarbonate, par la possibilité de formation de carbonates de calcium et de magnésium qui précipitent dès que les solutions sont trop concentrées, peuvent augmenter la proportion réelle d'ions sodium, donc l'action alcalisante des eaux. D'autre part, si, en milliéquivalents, les carbonates et bicarbonates sont plus abondants que la somme calcium plus magnésium, il y a possibilité de formation de carbonate de sodium ce qui entraîne une alcalisation forte et rapide des sols : d'après les Américains, une eau contenant plus de 1,25 meq/l de ce qu'ils appellent le "carbonate de sodium résiduel" (CO_3 + CO_3 H - Ca - Mg) est dangereuse ; une eau en contenant plus de 2,5 meq/l est inutilisable pour l'irrigation.

.../...

B.- Le classement de l'eau de la Moulouya

Voyons alors comment se classe l'eau de la Moulouya d'après ces normes.

a) La salure

Nous avons vu que l'eau de la Moulouya a une salure qui varie de 350 à 1300 mg/l, soit une conductivité de 500 à 1850 micromhos/cm. C'est donc une eau qui se place soit dans la classe C 2, soit beaucoup plus souvent, et en particulier pendant toute la période d'irrigation intensive, dans la classe C 3.

D'après les normes américaines c'est donc une eau ne pouvant être utilisée sans aucune précaution et limitant les rendements de certaines cultures : pour empêcher la salinisation progressive des sols, il faudrait qu'à chaque irrigation les doses d'eau soient majorées de 20 à 40 % ceci pour lessiver les sels apportés par l'irrigation précédente.

Ces restrictions peuvent paraître très exagérées. En réalité, elles ne le sont pas tellement, ainsi que le démontrent les exemples suivants :

- A la station expérimentale de la plaine du Zebra, sous calant (luzerne), avec des doses d'irrigation très fortes assurant un lessivage à chaque irrigation, la salure se maintient, après deux ans d'irrigation à 1,5 - 2 o/oo en surface, 1 o/oo en profondeur. Sous billons (coton ou betterave), avec des doses d'irrigation moins fortes mais assurant malgré tout un drainage à chaque irrigation, sur un sol non salé avant irrigation (1 o/oo), après 6 mois d'irrigation d'été ou d'hiver, la salure est de 3 à 10 o/oo sur le sommet du billon (profondeur 0 - 5 cm), 1 à 3 o/oo à 10 - 15 cm de profondeur, 1 à 2 o/oo plus profondément.

- A la S.E.H.A de la plaine des Triffa, après deux années de cultures irriguées en billons (coton), la salure des sols est la suivante : 3 à 6 o/oo sur le sommet du billon ; 2 à 3,5 o/oo à 10 - 15 cm de profondeur ;

PERIODE	Nº	DATE	1	2	3
Automne :					
1º crues, maxima	1	28.10.60	1572	2,4	- 7,9
de salure	2	27.10.61	1608	2,6	- 8,0
	3	7. 9.62	1359	2,1	- 7,1
Hiver :					
minima de	4	8. 2.60	752	1,0	- 2,5
salure	5	3. 2.61	593	0,9	- 1,6
	6	25. 3.62	721	0,25	- 3,9
Printemps :					
salure	7	14. 4.61	786	1,3	- 3,5
moyenne	8	8. 6.62	858	1,25	- 4,2
Eté :	9	19. 8.60	1076	1,7	- 5,8
Etiage, salure	10	21. 7.61	999	1,6	- 5,3
moyenne	11	20. 7.62	1044	1,9	- 5,75

1 : Conductivité micromhos/cm à 25º C.
2 : S.A.R
3 : CO_3 + CO_3 H - Ca - Mg, meq/l.

TABLEAU Nº I8

QUALITES DE L'EAU DE LA MOULOUYA

1 à 2 o/oo jusqu'à 60 cm de profondeur ; 0,8 à 1,5 o/oo en dessous. Sous calant (luzerne), la salure est de 0,8 à 1,2 o/oo en surface ; 1 à 2 o/oo jusqu'à 60 cm ; 0,8 à 1 o/oo en dessous.

Il y a donc bien salinisation rapide des sols, surtout en culture billonnée, salinisation déjà suffisante pour limiter les rendements de beaucoup de cultures, et salinisation qui ne pourra que s'accroître si certaines précautions ne sont pas prises.

Pour limiter cette salinisation, il y a deux méthodes possibles :

1º) Augmenter les doses d'irrigation à chaque irrigation, ceci afin d'assurer un drainage qui doit lessiver les sels apportés par l'irrigation précédente ; en supposant que, une fois le barrage de Mechra Klila terminé,

.../...

l'eau de la Moulouya aura en permanence une salure voisine de 800 mg/l, l'augmentation des doses, pour pouvoir cultiver des plantes sensibles aux sels, devrait être de 30 %.

2º) N'effectuer un lessivage qu'une fois par an.

Nous pensons que c'est la deuxième méthode qui doit être utilisée. En effet, la première méthode a deux inconvénients majeurs :

- Elle exige beaucoup d'eau ; elle entraîne donc une réduction importante des surfaces irrigables.

- Elle n'empêche absolument pas l'accumulation des sels sur le sommet des billons ; or nous avons vu que c'est cette accumulation qui est la plus forte : c'est elle qui, si elle n'est pas éliminée régulièrement, provoque une salinisation rapide des 20 - 30 premiers centimètres du sol, salinisation très dangereuse étant donnée son action sur la germination de la plupart des plantes, même celles résistantes à une certaine salure à l'âge adulte. Sous calant, ce deuxième inconvénient n'existe naturellement pas.

C'est donc la méthode du lessivage annuel ou tous les deux ans qui doit, à notre avis, être adoptée. Cette méthode n'est cependant pas sans inconvénients. Il se produira, en effet, entre deux irrigations de lessivage, une augmentation progressive du taux de salure dans les sols, taux qui atteindra probablement un chiffre moyen de 1,5 o/oo sur l'ensemble du profil, soit probablement un minimum de 2 à 3 o/oo vers la surface sur les 30 - 40 premiers cm du sol. Il faudra donc éviter de cultiver des plantes trop sensibles aux sels, en particulier celles qui ont un enracinement peu profond : ces plantes donneraient des productions, mais faibles, peu rentables (en ce qui concerne les agrumes, leur enracinement étant profond, il est probable que leurs productions ne seront pas très sensiblement diminuées).

La fréquence et les doses de ces irrigations de lessivage pouvent être difficilement prévues à l'avance ; seule l'expérimentation pourra nous fixer. Nous pensons cependant que, dans la plaine du Zebra, où le climat est très évaporant, une irrigation annuelle de 2.000 m3/ha, à faire bien entendu en dehors de l'été, sera nécessaire.

.... /...

En ce qui concerne les méthodes à suivre pourfaire ces irrigations de dessalage, nous en reparlerons dans le chapitre consacré aux modes d'irrigation (chap. IV de la 3º partie).

b) La composition de la salure

L'eau de la Moulouya, avec des S.A.R. variant de 0,9 à 2,5 (voir tabl. nº 18), donc toujours très faibles, se classe en catégorie S1 : c'est une eau qui ne présente aucun danger pour le complexe adsorbant des sols. Bien au contraire, étant donnée par ailleurs sa richesse en ion sulfate, c'est une eau, et ceci nous avons pu le constater sur la station expérimentale de la plaine du Zebra, qui facilite la désalcalisation des sols : on peut en effet estimer qu'une irrigation annuelle de 10.000 m3 apporte 2 à 5 tonnes de gypse, soit un amendement de 3 à 7 tonnes de plâtre. L'eau de la Moulouya est donc très favorable pour l'amélioration des sols alcalisés en profondeur de la plaine du Zebra (voir p. 290), sa légère salure permettant par ailleurs, en limitant les effets dispersants de l'alcalisation sur la structure des sols, de maintenir le drainage indispensable sans lequel toute amélioration serait pratiquement impossible.

En ce qui concerne la teneur en carbonate, il n'y a là non plus aucun danger : il y a toujours beaucoup plus de cations alcalino-terreux que de carbonates.

Il faut également souligner que malgré sa faible teneur en potassium, une irrigation annuelle de 10.000 m3/ha en apporte en moyenne 40 Kg, soit 48 Kg de $K_2 0$: c'est loin d'être négligeable ; le tout est de savoir quelle sera la proportion de ce potassium qui sera réellement utilisé ou utilisable par les plantes, c'est-à-dire assimilé immédiatement ou retenu sur le complexe adsorbant.

Le seul inconvénient de la composition de la salure de l'eau de la Moulouya est constitué par la présence d'une quantité assez importante de magnésium : nous avons pu constater que les irrigations provoquaient l'augmentation de la proportion de cet ion sur le complexe adsorbant des sols. Or l'ion magnésium, quand il prend trop d'importance sur le complexe adsorbant, peut avoir les mêmes effets nocifs sur les pH et la

.../...

structure, que l'ion sodium, et il est très probable que l'alcalisation en profondeur des sols du Zebra est en grande partie due au magnésium. Si donc l'eau de la Moulouya facilite la désalcalisation sodique des sols, il n'en est pas de même pourl'alcalisation magnésienne : il est donc possible que l'apport de plâtre dans les sols soit quand même nécessaire ; c'est ce que nous étudionsactuellemat à la station expérimentale de la plaine du Zebra.

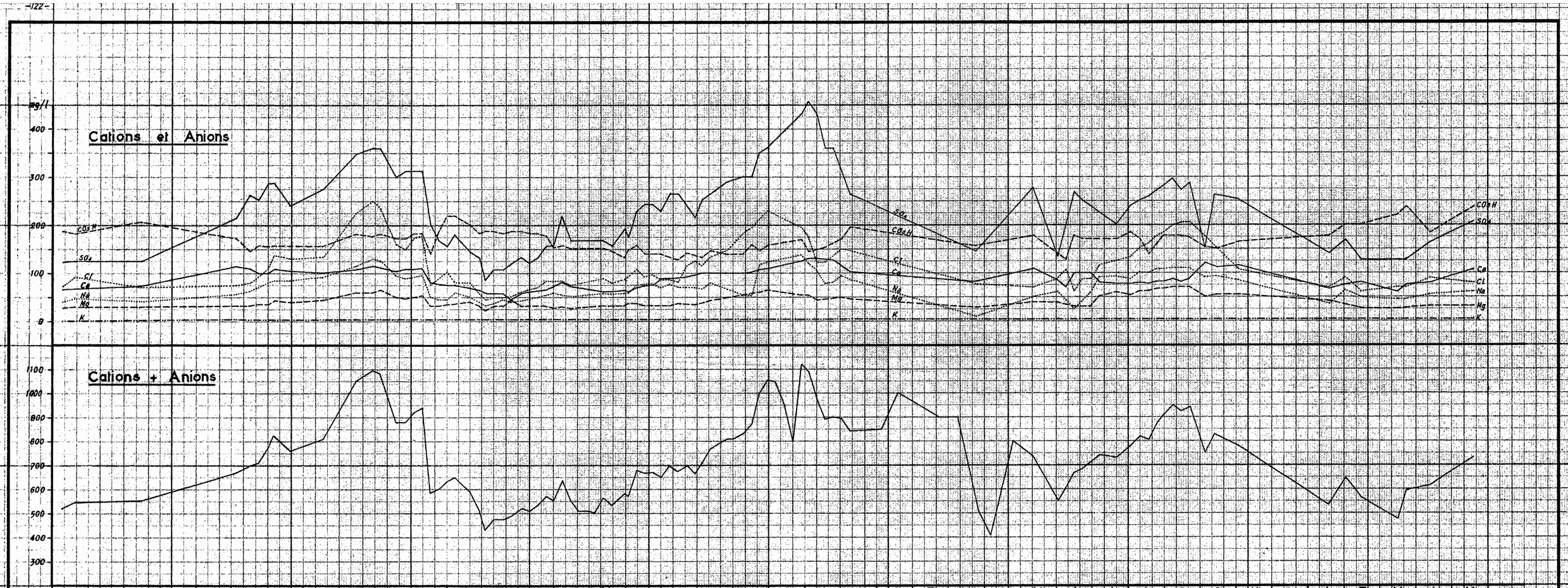


FIGURE Nº 31.- Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya en mg/l

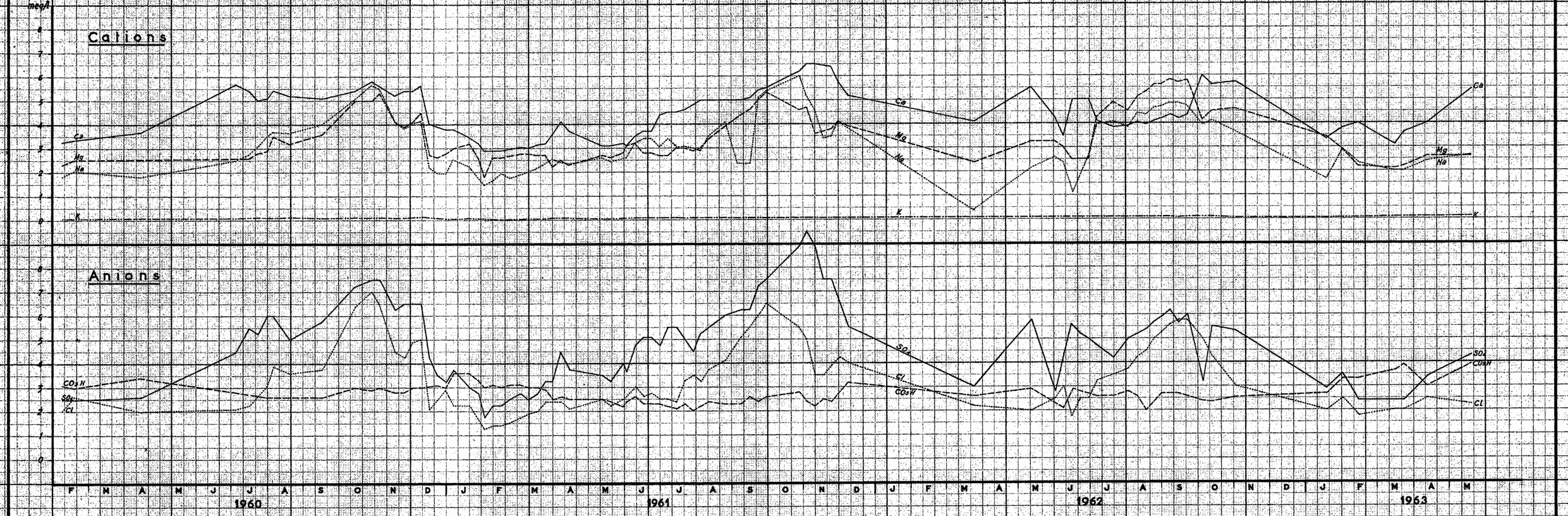


FIGURE Nº 32.- Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya en meq/l.

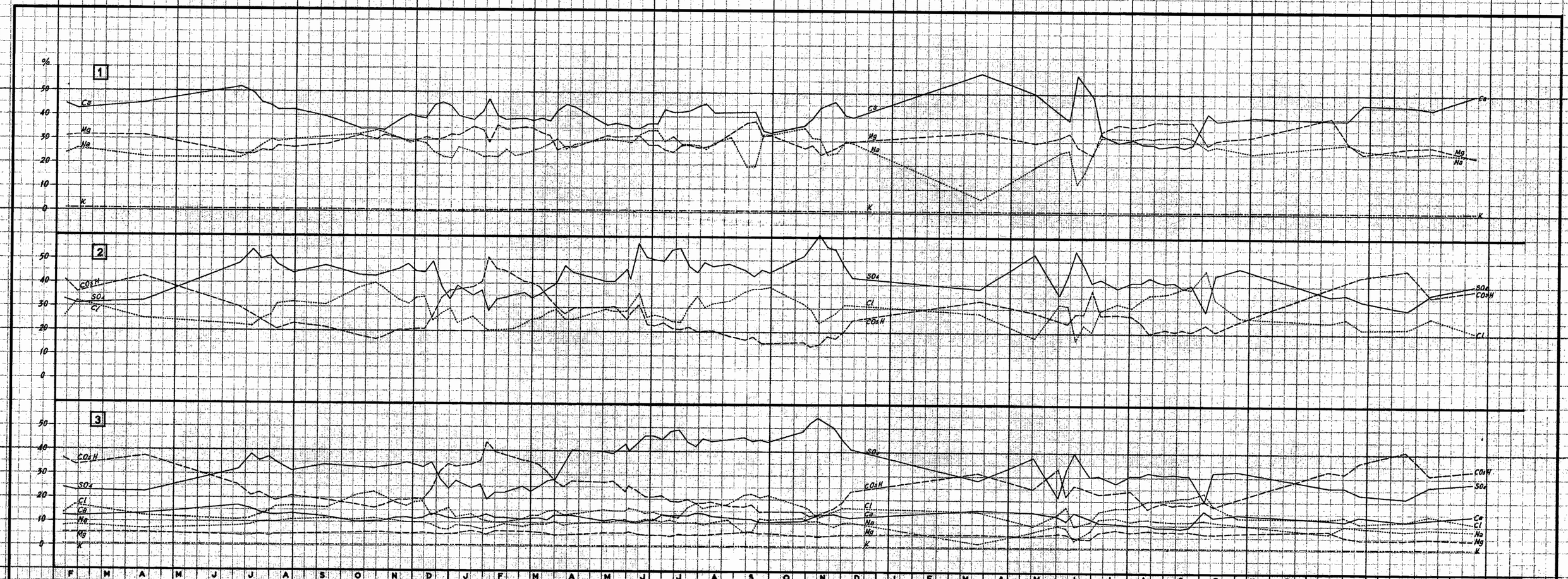


FIGURE Nº 33.- Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya en pourcentage.

1 : (cations en meq/somme des cations en meq) x 100

2 : (anions en meq/somme des anions en meq) x 100

3 : (cations et anions en mg/cations + anions en mg) x 100

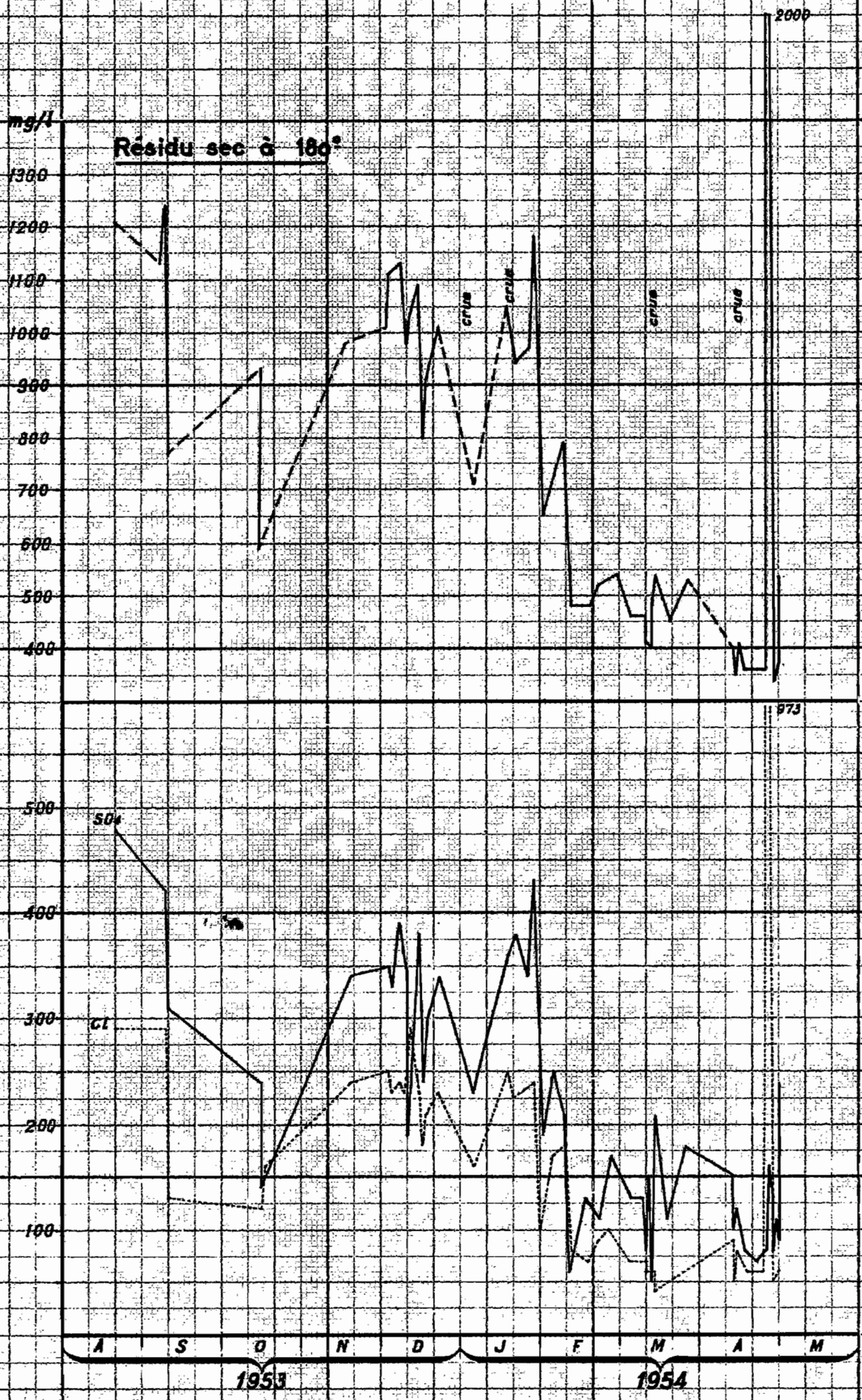


FIGURE Nº 34 – Evolution de la salure de l'eau de la Moulouya, en mg/l, d'après F. Mortier (40)

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

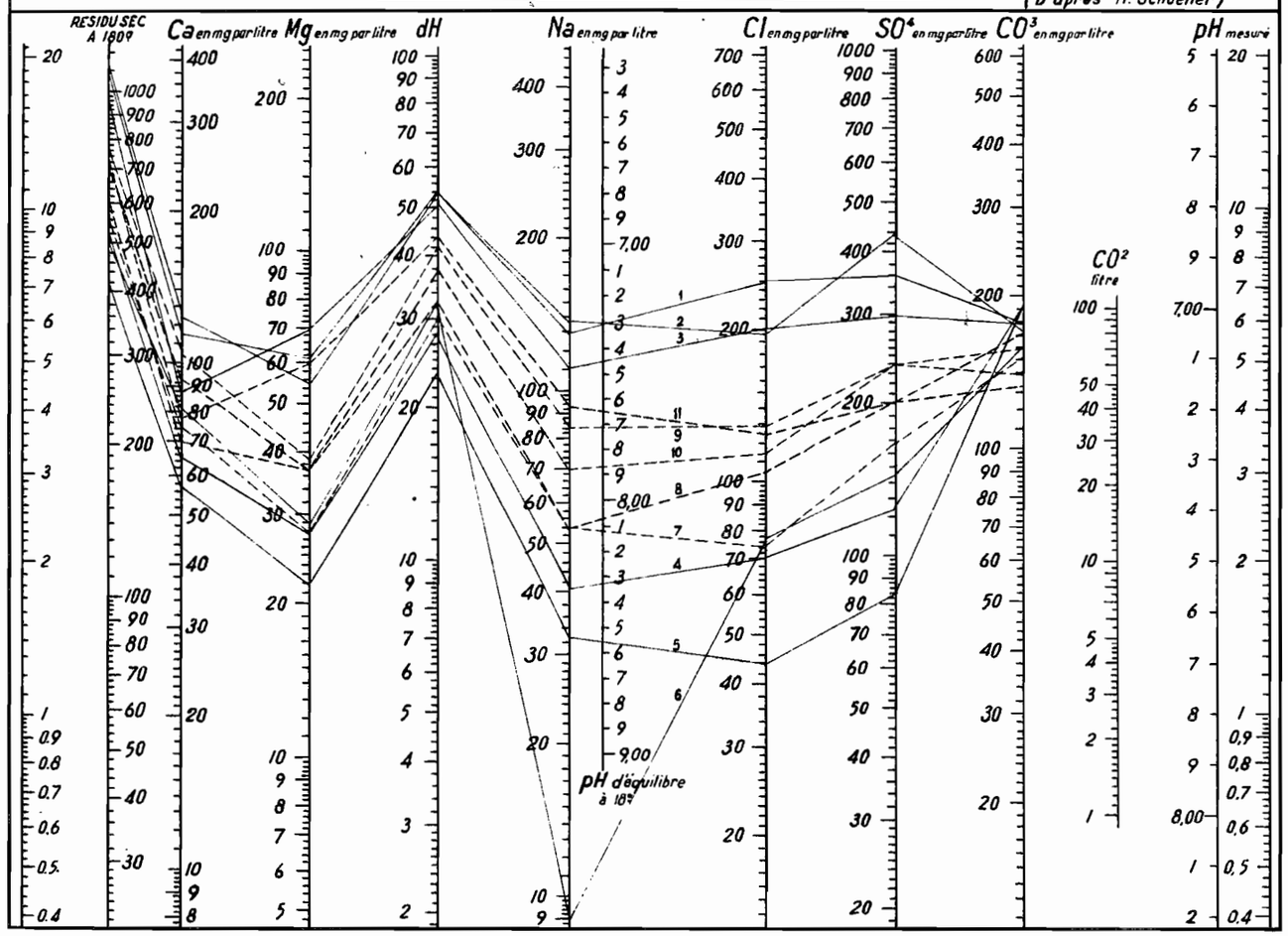


DIAGRAMME EN LOSANGE

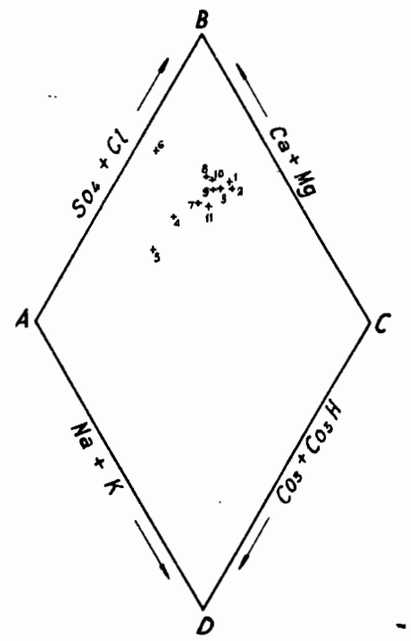


FIGURE Nº 35

INTERPRETATION DE QUELQUES ANALYSES DE L'EAU DE LA MOULOUYA

RESULTATS D'ANALYSES (par litre)

Période	Nº	Date	Ca		Mg		Na		K		SO_4		Cl		CO_3		CO_3H		Anions + Cations mg	Dh
			meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg	meq	mg		
Automne : 1º Crues, maxima de salure	1	28-10-60	5,8	116	5,0	61	5,65	130	0,10	4	7,5	360	7,0	249	0,0	0	2,9	177	1097	54,00
	2	27-10-61	6,2	124	4,6	55	6,0	138	0,15	6	9,0	432	5,5	195	0,0	0	2,8	171	1121	54,00
	3	7-9-62	4,4	88	5,8	70	4,85	111	0,10	4	6,2	298	5,6	200	0,4	12	2,7	165	948	51,00
Hiver : minima de salure	4	8-2-60	3,3	66	2,3	28	1,8	41	0,05	2	2,5	125	2,0	71	0,0	0	3,1	189	522	28,00
	5	3-2-61	2,9	58	1,8	22	1,4	33	0,05	2	1,75	84	1,25	44	0,0	0	3,1	189	432	23,50
	6	25-3-62	4,1	82	2,4	29	0,4	9	0,10	4	3,0	144	2,2	78	0,0	0	2,6	159	505	32,50
Printemps : salure moyenne	7	14-4-61	3,7	74	2,3	28	2,35	54	0,10	4	3,75	168	2,1	75	0,0	0	2,5	152	555	30,00
	8	8-6-62	3,5	70	3,0	37	2,35	54	0,10	4	4,2	201	3,0	106	0,2	6	2,1	128	606	32,50
Eté : étiage, salure moyenne	9	19-8-60	5,2	104	3,2	39	3,65	84	0,15	6	5,0	240	3,6	129	0,0	0	2,6	158	760	42,00
	10	21-7-61	4,6	92	3,0	37	3,0	70	0,10	4	5,0	240	3,25	115	0,0	0	2,3	141	699	38,00
	11	20-7-62	3,85	78	4,9	60	4,0	93	0,10	4	4,2	202	3,5	124	0,4	12	2,6	159	732	43,75

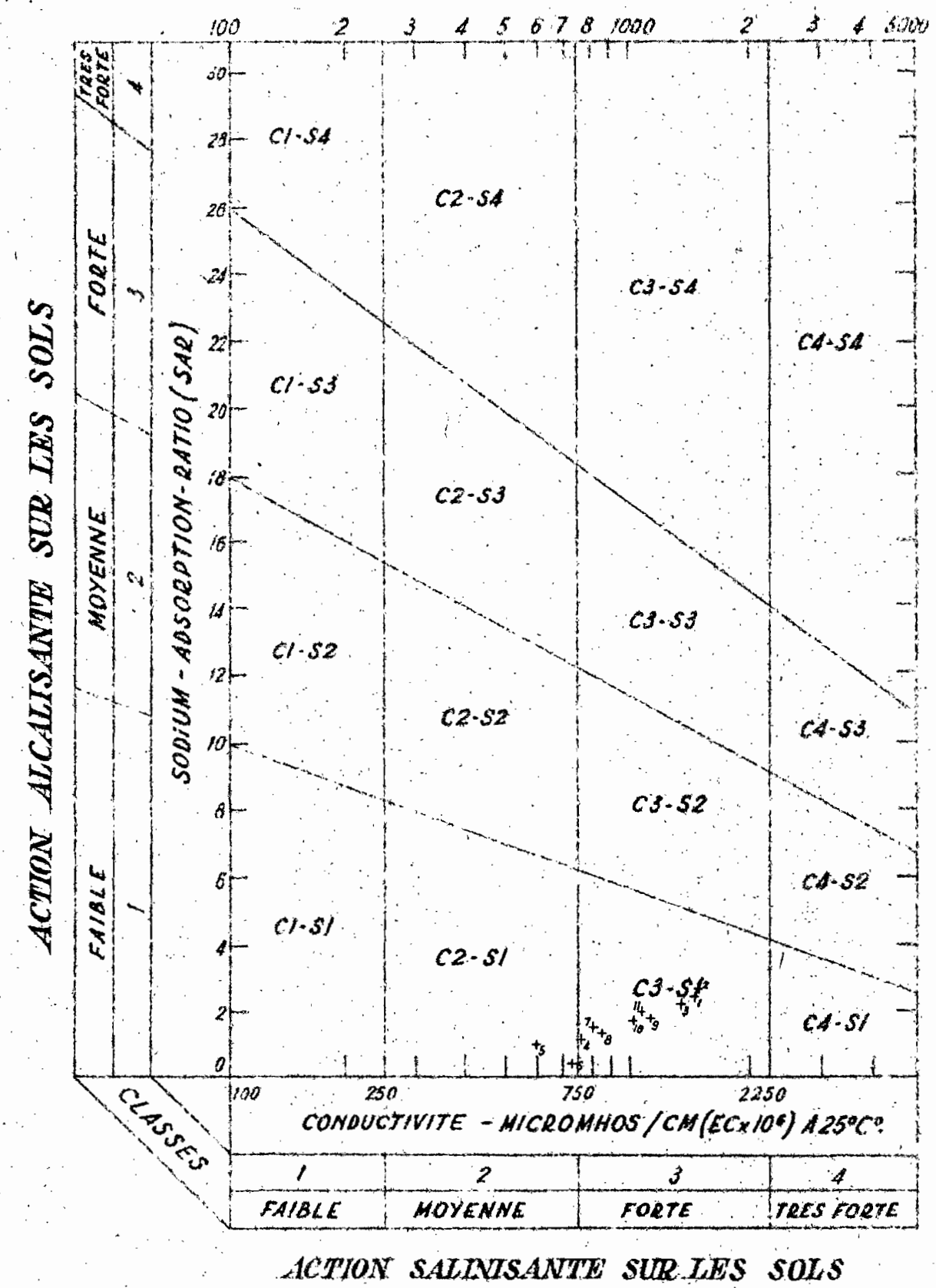


Figure n° 36.- Qualité de l'eau de la Moulouya

(Les numéros sont ceux de la figure n° 35)

CHAPITRE VI . - L'OCCUPATION HUMAINE

La plaine du Zebra, manquant de ressources en eaux, est une zone qui, si on la compare aux plaines voisines, est relativement peu habitée. La population rurale de la commune de Zaio, qui couvre à peu près toute la plaine, n'est que de 9.573 habitants, soit une densité de 26 au Km2, contre 180 dans la commune de Nador (plaine du Bou-Areg), 113 dans la commune de Zelouan (plaines du Bou-Areg et du Gareb), 46 dans celle de Karia de Arkeman (plaine du Bou-Areg), 53 dans celle de Ras el Ma (Cap de l'eau et chaîne des Kebdana), 65 dans la plaine des Triffa (seule la commune de Tistoutine, dans la plaine du Gareb, a une densité de population plus faible que celle de la plaine du Zebra : 23) (*). Encore faut-il souligner que la plus grande partie de cette population n'est pas dans la plaine elle-même, mais autour de la plaine (et surtout au Nord), aux pieds des montagnes et même assez haut dans la montagne, là où se trouvent les sources. Dans la plaine elle-même, et en particulier dans la future zone irriguée, il n'y a aucun douar digne de ce nom, mais seulement quelques fermes isolées, quelquefois regroupées par deux ou trois.

(*) : Pour tout renseignement complémentaire sur l'occupation humaine des plaines rive gauche de la Basse-Moulouya, voir les chapitres 10 et 11 de la 3º partie du "Rapport sur l'Aménagement de la rive gauche de la Basse-Moulouya" (1962) (41).

La répartition de la population dans la plaine n'est d'ailleurs pas homogène. En effet, c'est surtout dans la zone Nord-Est, au Nord de la route Zaio-Berkane, que se trouve concentré le maximum de monde : c'est là que l'on trouve la plupart des petites propriétés de la plaine (ces propriétés ne sont cependant jamais très petites : dans l'ensemble de la plaine, la micro-propriété de moins de 1 ha est inexistante ; les propriétés de 1 à 5 ha ne représentent que 0,5 % de la surface et 10,7 % en nombre ; ce sont celles de 10 à 25 ha qui, en nombre, sont les plus fréquentes : 36,1 % ; elles ne représentent cependant que 9,3 % de la surface) (voir tabl. nº 19). Dans le reste de la plaine c'est surtout la grande propriété de plus de 100 ha qui domine (69,2 % de la surface), avec même de très grosses propriétés comme celles de la Compania Espagnola de Colonizacion qui couvre 4.500 Ha.

Malgré cette densité assez faible de la population, l'ensemble de la plaine du Zebra est cultivé, en sec bien entendu : les sols non défrichés sont assez rares ; il faut vraiment qu'ils soient très peu épais et très caillouteux sur dalle calcaire, ou bien dans des conditions topographiques très difficiles, pour qu'on ne tente pas de les mettre en valeur.

La culture qui couvre la presque totalité de la surface est, bien entendu, celle des céréales, avec essentiellement l'orge, et beaucoup moins, le blé dur. Les rendements sont en général faibles, très liés à la pluviométrie toujours insuffisante et surtout très irrégulière ; ces rendements peuvent varier de 1 à 10 qx/ha. Dans le Nord-Est de la plaine on peut trouver quelques très rares cultures de fèves. Signalons également la plantation d'oliviers située juste au Sud de Zaio, qui fut irriguée et qui aurait donné autrefois une production intéressante : actuellement elle est en mauvais état ; et une autre plantation, jeune celle-là, non irriguée, située à 3 Km au Sud de Zaio : elle est également en très mauvais état.

La culture des céréales est en général faite d'une façon très extensive. Tout d'abord, la jachère une année sur deux est une technique qui semble assez répandue. Ensuite, les travaux préparatoires du sol sont réduits au strict minimum : semis très lâche (50 à 80 Kg/ha), à la volée, puis labour superficiel, de 5 - 10 cm de profondeur, fait au cover-crop

.../...

CATEGORIE	Nombre de propriétés	% en nombre	surface ha	% en surface
< 1 ha	0	0	0	0,
1 - 3 ha	9	3,6	19	0,1
3 - 5 ha	17	7,1	66	0,4
5 - 10 ha	49	21,4	360	2,4
10 - 25 ha	87	36,1	1403	9,3
25 - 50 ha	37	15,4	1291	8,5
50 - 100 ha	21	8,7	1525	10,1
> 100 ha	21	8,7	10458	69,2
TOTAL	241	100	15122	100

TABLEAU Nº I9

REPARTITION DE LA PROPRIETE

sur les grosses propriétés, avec l'araire le plus simple sur les petites propriétés (l'araire est également utilisé sur les grosses propriétés par des petits agriculteurs qui louent tous les ans quelques hectares). Enfin la récolte n'a pas lieu tous les ans : si, sur les grosses propriétés, celle-ci est estimée trop faible, ne méritant pas le salaire des moissonneurs, elle est abandonnée aux moutons et aux chèvres.

La production animale, en dehors d'un petit élevage de bovins à Zaio, est surtout axée sur les moutons, les chèvres et les ânes. Les troupeaux de moutons et de chèvres sont nombreux (20.000 têtes environ), se nourrissant bien mal sur les zones non défrichées, les jachères et les chaumes, étant obligés de faire de nombreux kilomètres, jusqu'à la Moulouya, pour trouver un peu d'eau.

*

* *

.../...

Quelle est l'influence sur les sols de cette occupation humaine, probablement déjà assez ancienne ?

Tout d'abord rappelons (chapitre IV, page 104) que la mise en culture a complètement changé la végétation : d'une steppe d'Armoise assez dense (centre et Sud de la plaine), ou d'une formation buissonnante à base de Rhus pentaphyllum et Pistacia atlantica (Nord de la plaine), les deux ayant un enracinement profond, on est passé à une couverture végétale, assez dense pendant les 4 à 6 mois que durent les cultures de céréales, mais très lâche ensuite pendant 1 an et demi (jachère), surtout en été pendant lequel ne subsiste qu'un peuplement clairsemé de plantes vivaces (Anabasis aphylla le plus souvent) ; couverture végétale d'autant plus lâche qu'elle a, étant donné le surpâturage, à peine le temps de se développer. Cette couverture végétale est d'autre part, vis à vis de celle qui l'a précédée, très peu enracinée, (bien que la végétation naturelle annuelle s'enracine mieux sur sols cultivés que sur sols non cultivés), une grande partie des racines étant concentrée dans les 10 premiers cm du sol : ceci est d'ailleurs, pour les céréales, dû à la faible profondeur des labours et à la formation d'une sole de labour assez dure, surtout dans les zones où est utilisé le cover-crop.

Tout ceci a essentiellement deux conséquences :

1º) La répartition de la matière organique dans le sol est assez profondément modifiée. Par rapport aux sols non défrichés, il y a augmentation du taux de matière organique en surface, ce phénomène étant encore accentué par la non-récolte quand elle est trop mauvaise ; mais par ailleurs, il y a diminution sensible du taux de matière organique en profondeur. La répartition isohumique, caractéristique des sols steppiques, est donc bouleversée (voir p. 147).

2º) La faible densité de la végétation et l'émiettement de la structure de surface dont la stabilité est fortement diminuée par les labours, permet une action plus violente des pluies et des vents. Les premières pluies venant après les semailles provoquent rapidement, surtout dans le centre de la plaine où la structure est particulièrement instable, un fort glaçage superficiel qui permet alors le développement du ruissellement : d'où érosion en nappe puis, rapidement, érosion linéaire (voir chapitre II, page 39). En été, c'est le vent qui agit, la sècheresse aidée par le piétinement des moissonneurs et des troupeaux, entraînant une pulvérisation très fine de la structure.

.../...

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

المكتـــب الـوطنـــي للـــري

البعثة الجهوية بملويـة السفلـى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

TOME TROISIEME

DEUXIEME PARTIE : ETUDE DES SOLS

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

E T U D E P E D O L O G I Q U E

D E L A

P L A I N E DU Z E B R A

*****

TOME TROISIEME

DEUXIEME PARTIE : ETUDE DES SOLS

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

DEUXIEME PARTIE

E T U D E DES S O L S

INTRODUCTION . - METHODES ET CLASSIFICATION

La pédologie, science jeune, en est encore sur bien des plans à la recherche de ses méthodes. Le sol est quelque chose d'extrêmement complexe, appartenant à la fois au monde minéral et au monde vivant, en perpétuelle évolution plus ou moins rapide, ne se laissant pas figer dans une classification trop rigide.

En particulier dans le domaine de la cartographie des sols, bien des discussions restent ouvertes : discussions sur le plan des méthodes de prospection de terrain et d'analyses de laboratoire ; mais aussi discussions sur le plan de la classification des sols qui doit être adoptée ; tout ceci conduisant en fin de compte à une discussion plus générale, entre pédologues mais aussi entre pédologues et utilisateurs des résultats de la pédologie, sur le dégré de précision qu'il est possible ou nécessaire d'atteindre.

Pour notre travail sur la plaine du Zebra, nous avons donc eu à faire un choix de méthodes et de classification ; choix plus ou moins libre en fonction des moyens dont nous disposions, du temps que nous pouvions consacrer à cette étude, de la précision qu'il était nécessaire d'atteindre, précision découlant surtout du but qui nous avait été fixé, à savoir la mise en valeur des sols par l'irrigation, mais aussi des problèmes rencontrés au cours de notre prospection.

.../....

Voyons donc, très rapidement, quelles sont les méthodes et la classification que nous avons cru devoir adopter.

I.- LES METHODES DE TERRAIN

Nos "outils" furent essentiellement au nombre de deux :

- le trou de 1,50 mètre de profondeur ;
- la photographie aérienne.

1º) Sur les 12.500 hectares qui ont été cartographiés, 1.665 trous ont été creusés. Dans chacun de ces trous, le profil du sol a été décrit, d'une façon plus ou moins détaillée (nous ne rentrerons pas ici dans les détails des critères qui nous ont guidés dans le choix des profils dits typiques qui sont décrits et prélevés pour analyse d'une façon détaillée). Sur 1.250 de ces profils, 4.740 échantillons de terre ont été prélevés pour être analysés en laboratoire, d'une façon plus ou moins détaillée (voir la carte de situation des profils : pièce hors texte nº III).

En plus de ces trous, nous avons bien entendu profité de la présence des tranchées naturelles (routes, oueds, griffes d'érosion). Nous les avons probablement à peu près toutes vues, mais nous n'y avons que très rarement prélevé des échantillons : en effet, la plupart de ces tranchées sont très anciennes et il aurait fallu rafraichir sur une grande épaisseur pour être sûr de prélever quelque chose de valable, qui ne soit pas affecté par la présence de la tranchée ; autant creuser un trou un peu plus loin.

Enfin, entre les trous, le terrain a été parcouru plusieurs fois, à pied ou en voiture suivant l'état des cultures, afin de noter tout ce que la surface du sol peut donner comme renseignements pour finir de caractériser un type du sol et surtout pour tracer les limites entre les différents types de sol (végétation, relief, micro-relief, érosion, structure et granulométrie de la surface, etc..) (notons en passant que l'absence d'une agriculture intensive nous a bien facilité les choses ; il est facile d'aller à peu près partout sans rien abîmer). Assez souvent nous avons

.../...

été amenés, pour lever des doutes sur l'emplacement des limites, à donner des coups de tarière (tarière à main de 8 cm de diamètre pouvant descendre jusqu'à 1 mètre) ; quelques échantillons ont également été ainsi prélevés à la tarière, pour des analyses de contrôle du pH et des taux de salure, et du calcaire (les emplacements de ces contrôles à la tarière n'ont pas été portés sur la carte de situation des profils pédologiques).

2º) Dans un pays où le recouvrement du sol, par la végétation naturelle et les cultures, est faible, la bonne photographie aérienne est vraiment l'instrument de travail idéal permettant, en particulier dans le domaine de la cartographie des limites entre les types de sol, la meilleure approche possible.

Nous avons disposé pour notre travail :

- Des photographies au 1/52.000º (échelle approximative) de l'Institut Géographique National : vol nº NI - 30 - XV - XVI, photos nº 152 à 158 et 168 à 174, réalisé en 1958.

- De l'agrandissement, non redressé, au 1/20.000º de ces mêmes photos.

Ces photos, réalisées au printemps, sont excellentes : les sols étant encore suffisamment humides, toutes les nuances dues aux variations des sols, à la topographie, à la végétation, ressortent parfaitement.

Aucune carte topographique valable n'existant quand nous avons débuté notre travail, ces photographies aériennes furent notre fond de plan : étant donné qu'il s'agit de photos non redressées, la mise à l'échelle définitive de toutes les limites tracées fut naturellement un travail très délicat dont nous avons du nous charger personnellement.

Les méthodes pratiques d'utilisation des photographies aériennes pour la cartographie pédologique varient naturellement beaucoup d'un pédologue à l'autre et bien sûr également en fonction de l'échelle du travail, de la précision demandée, du temps disponible, de l'accessibilité du terrain. Pour notre étude, l'échelle adoptée (1/20.000º) permettant un travail assez détaillé, indispensable par

.../...

ailleurs du fait des problèmes difficiles posés par la mise en valeur des sols du Zebra ; les terrains d'autre part ne présentant pour ainsi dire aucun problème d'accès ; nous avons cru indispensable d'adopter une méthode d'utilisation des photohraphies aériennes directement sur le terrain. Nous avons réduit au minimum l'observation stéréoscopique des photos aériennes au bureau : juste ce qu'il faut pour avoir une vue d'ensemble du terrain. Par contre, sur le terrain, l'observation stéréoscopique a été faite à l'emplacement de chaque profil de sol, et pour ainsi dire toutes les limites de la carte pédologique ont été ainsi dessinées au cours de nos tournées sur le terrain, en vision stéréoscopique des photos et en vision naturelle du terrain. C'est à notre avis, quand on en a la possibilité, la seule méthode d'utilisation maximum de toutes les précisions qu'apportent des photos aériennes. Cela évite d'oublier bien des nuances ; mais cela évite également de trop détailler ; cela permet surtout de tracer sa carte avec le maximum de renseignements possibles.

Faut-il croire pour autant que notre carte pédologique soit très précise ? Nous nous devons d'être honnête et de rappeler :

- Le tracé d'une limite pédologique est toujours une interprétation du terrain : deux pédologues, ayant la même formation, la même expérience, ayant travaillé de la même façon, ne traceront jamais une même limite exactement au même endroit. C'est évidemment normal : d'une part il n'y a presque jamais de limite brutale entre deux types de sols, mais au contraire une zone de transition plus ou moins large ; d'autre part, on ne peut pas, sans augmenter démesurément la durée du travail, multiplier les observations des sols en profondeur : les limites sont tracées en interprétant ce que l'on voit en surface ; enfin, étant donnée l'échelle de la carte, des simplifications s'imposent, des taches de sols trop petites ou des bandes trop étroites doivent être éliminées.

- La remise à l'échelle du dessin effectué sur les photos aériennes introduit de nombreuses erreurs. Nous avions confié ce travail à des dessinateurs professionnels, habitués aux photos aériennes : nous avons estimé devoir le refaire entièrement nous-même, et nous savons que le résultat est encore loin d'être parfait. Tout aurait été bien plus facile si nous avions pu disposer de photos redressées et mises à l'échelle exacte.

.../...

- Enfin, malgré les qualités exceptionnelles du dessinateur à qui nous avons confié le dessin définitif, Monsieur H. MIMOUN du Service de la Mise en Valeur du Périmètre de la Basse-Moulouya, et surtout à cause des qualités médiocres des Pédologues en matière de dessin, bien des petites modifications involontaires dans le dessin des limites se glissent au cours des différents calquages, en particulier quand on procède à la réalisation des cartes accessoires (salure, classement des sols) à partir de la carte pédologique. Nous pensons que ceci est inévitable à moins de perdre beaucoup de temps.

Tout ceci pour conclure qu'il ne faut jamais chercher la perfection dans une carte pédologique : une limite pédologique est une interprétation du terrain, aussi exacte que possible, fondée sur des données suffisantes que nous venons de définir ; mais une limite pédologique ne peut se vérifier à lachaîne d'arpenteur.

*

* *

Il nous faut encore dire quelques mots des mesures de perméabilité et des densités apparentes que nous avons effectuées ou fait effectuer (SOGETIM, 1962) (60).

Pour la perméabilité, nous avons utilisé soit la méthode Porchet simplifiée (trou à la tarière de 50 cm de profondeur, diamètre de 10 cm ; le trou est rempli d'eau trois fois et on suit à chaque fois la baisse du plan d'eau pendant 20 minutes), soit la méthode de Muntz en utilisant un appareil mis au point par le Centre de Recherche de l'O.N.I.. Mais que ce soit l'une ou l'autre méthode, nous tenons à souligner qu'il ne faut absolument pas s'attacher de trop près aux résultats obtenus. D'abord parce qu'il est reconnu que ces méthodes ne sont pas au point : il faudrait répéter les mesures un très grand nombre de fois pour obtenir des chiffres ayant une certaine valeur ; c'est impensable étant donné le temps nécessaire pour chaque mesure. Ensuite parce qu'il n'est pas possible d'en déduire, en tenant compte d'autres données, quelle sera la perméabilité après quelques années d'irrigation ; trop de facteurs entrent en jeu, et en particulier le facteur humain, les qualités de l'irrigant. Ces mesures

.../...

de perméabilité ne peuvent donc que donner une idée assez vague, attirer l'attention sur une perméabilité trop faible ou trop forte. Elles ne doivent en tous les cas jamais servir à calculer les données d'une irrigation ; ceci ne doit être fait que par des méthodes expérimentales ou par des méthodes se rapprochant de très près des conditions de l'irrigation, en prenant la précaution de les refaire aussi fréquemment que possible.

Pour la densité apparente, nous avons utilisé soit la méthode au sable qui est assez satisfaisante, soit la méthode du cylindre qui nous a au contraire fourni des résultats inutilisables.

II.- LES METHODES DE LABORATOIRE

La presque totalité des analyses ont été effectuées soit au laboratoire de l'O.N.I. à BERKANE, soit au laboratoire central de l'O.N.I. à RABAT. Quelques analyses ont été effectuées au laboratoire de l'O.R.S.T.O.M. à BONDY.

Nous ne pouvons rentrer ici dans les détails des méthodes d'analyses utilisées et dans une discussion sur leur valeur. Nous nous contenterons de les citer et de les définir très rapidement (*).

1º) Granulométrie (Berkane) : jusqu'en 1960, nous avons utilisé la méthode densimétrique. Nous avons préféré ensuite passer à la méthode Pipette de Robinson. Le dispersant utilisé est le pyrophosphate de sodium. La granulométrie de la partie sableuse est faite par tamisage à sec après siphonnage des fractions argileuses et limoneuses. En particulier la fraction des sables très fins

.../...

(*) : toutes les analyses ont été effectuées sur terre fine : terre broyée et tamisée sur un tamis de 2 mm.

(0,02 à 0,05 mm) n'est pas obtenue par différence, mais par tamisage : ceci permet le contrôle des résultats (*).

2º) Stabilité structurale (Berkane) : indice d'instabilité structurale de Monsieur HENIN (1960) (28) :

$$Is = \frac{\text{(Argile + Limons) maximum \%}}{\text{Moyenne des agrégats grossiers \% - 0,9 (sables grossiers) \%}}$$

La moyenne des agrégats grossiers est la moyenne des agrégats inférieurs à 2 mm mais supérieurs à 0,2 mm, stables :

- sans prétraitement ;
- après prétraitement à l'alcool ;
- après prétraitement au benzène ;

3º) Capacité de rétention (Rabat) : par centrifugation.

4º) pH (Berkane) : à l'aide d'un pHmètre Metrohm. Les pH eau et KCl sont effectués : 20 gr. de terre dans 50 cc d'eau distillée rebouillie ou de KCl normal. Nous avons également mesuré le pH des boues réalisées pour les extraits de saturation.

.../...

(*) : sur les tableaux donnant les résultats d'analyses (voir chap. II et III de cette 2º partie), nous avons adopté les dénominations suivantes pour les différentes fractions granulométriques :

- argile : 0 à 0,002 mm
- limons 3 : 0,002 à 0,005 mm
- limons 2 : 0,005 à 0,01 mm
- limons 1 : 0,01 à 0,02 mm
- sables fins 3 : 0,02 à 0,05 mm
- sables fins 2 : 0,05 à 0,1 mm
- sables fins 1 : 0,1 à 0,2 mm
- sables grossiers 3 : 0,2 à 0,5 mm
- sables grossiers 2 : 0,5 à 1,0 mm
- sables grossiers 1 : 1,0 à 2,0 mm

5º) Calcaire total (Berkane) : calcimètre Bernard. Quand l'échantillon contient des inclusions calcaires (granules, nodules, grosses coquilles d'escargot, morceaux de croûte, etc...) elles sont éliminées avant le broyage.

6º) Salure totale (RUELLAN, 1962) (59)

- Extrait aqueux : les sels sont extraits par l'eau distillée (50 gr. de terre pour 250 cc d'eau distillée ; agitation pendant 2 heures) (Berkane). Sur cet extrait les mesures suivantes sont effectuées : résistivité à l'aide du résistivimètre Philips (Berkane), extrait sec à 150º C (Berkane), dosage des cations et des anions (Rabat jusqu'en 1962, puis Berkane) (Sodium et potassium par photométrie de flamme ; calcium et magnésium par complexométrie ; chlore par le nitrate d'argent ; sulfate par la benzidine ; carbonate et bicarbonate par l'acide sulfurique).

- Extrait de saturation : 200 gr. de terre sont amenés, à l'aide d'eau distillée, jusqu'à la limite de liquidité d'Atterberg. L'extrait est ensuite obtenu par centrifugation (Berkane). Sur cet extrait sont effectués les mêmes dosages que sur l'extrait aqueux (Rabat puis Berkane).

7º) Carbone total (Berkane): méthode à froid de Walkley et Black.

8º) Azote total (Rabat) : méthode de Kjeldahl.

9º) Phosphore assimilable (Rabat) : extraction par une solution de sulfate d'ammonium à 3 gr/l ; dosage par colorimétrie.

10º) Phosphore total (Rabat): extraction par de l'acide chlorhydrique à 50 % ; dosage par colorimétrie.

11º) Potasse assimilable (Rabat): extraction par de l'acétate d'ammonium normal tamponné à pH 8,5 ; dosage par photométrie de flamme.

.../...

12º) Potasse totale (Rabat) : extraction par de l'acide chlorhydrique à 50 % ; dosage par photométrie de flamme.

13º) Cations échangeables et capacité d'échange : les sols de la plaine du Zebra étant très calcaires et fréquemment très salés, l'analyse du complexe adsorbant est très difficile. Plusieurs méthodes ont été tentées, mais aucune ne nous a encore donné vraiment satisfaction. Nous avons en particulier essayé le chlorure de baryum, l'acétate d'ammonium, le chlorure d'ammonium, le tout avec ou sans lavage préalable à l'eau distillée ou à l'alcool éthylique. Nous donnerons malgré tout quelques résultats de capacité d'échange et de cations échangeables, mais il faudra les considérer avec beaucoup de prudence.

14º) Salure des eaux (59) (Rabat puis Berkane): la résistivité, l'extrait sec et le dosage des anions et cations sont effectués par les mêmes méthodes que pour l'analyse de la salure des sols.

III.- LA CLASSIFICATION DES SOLS

A.- La classification pédologique

Tout au cours de notre étude de la plaine du Zebra, nous avons bien entendu toujours utilisé la classification française présentée par Messieurs AUBERT et DUCHAUFOUR (1960, 1962) (1 et 15).

D'autre part pour ce rapport de synthèse, nous avons cru devoir utiliser la dernière mise au point de cette classification, datant de 1962 (1). Il s'ensuit que la dénomination des sols que nous avons adoptée pour ce rapport n'est pas exactement la même que celle utilisée dans tous

.../...

les rapports précédents concernant la plaine du Zebra. Les modifications les plus importantes (voir tabl. nº 20) sont, d'une part le remplacement des termes "châtain-rouge steppique" et "brun-rouge steppique" par les termes "châtain steppique subtropical" et "brun steppique subtropical", d'autre part le remplacement du terme "sol jeune alluvial" par celui de "sol peu évolué d'apport".

Les principes généraux de la classification française sont les suivants :

- Les sols sont regroupés en 10 grandes classes d'après les grands processus d'évolution qui leur ont donné naissance. Les sols de la plaine du Zebra appartiennent à trois classes : la classe II des sols peu évolués, la classe III des sols calcomagnésimorphes et surtout la classe V, des sols steppiques isohumiques.

- Chaque classe se divise en 2 à 4 sous-classes qui tiennent compte essentiellement de la zone climatique, du type de matière organique et du degré d'évolution ou du développement des sols.

- Chaque sous-classe se divise en un ou plusieurs groupes d'après les détails des processus d'évolution, détails qui sont généralement liés aux variations des climats, des roches-mères et de la topographie.

- Enfin, chaque groupe se divise encore en plusieurs sous-groupes qui tiennent compte de l'intensité des processus d'évolution et de l'apparition de processus secondaires se surimposant au processus principal.

Au-delà du sous-groupe, on peut encore, en fonction du terrain où on travaille, de l'échelle de la carte que l'on réalise, du but de ce travail, subdiviser les sols :

- D'abord en familles, d'après les caractères de la roche-mère.

- Puis en séries, d'après les détails morphologiques du profil intervenant sur le plan du développement de la végétation et sur le plan de l'utilisation agricole.

- Ensuite en types, tenant compte d'autres détails du profil.

.../...

- Enfin en phases tenant compte des conséquences de l'intervention de l'homme, ceci quand ces conséquences sont relativement peu importantes (en effet il arrive que l'action de l'homme modifie profondément le degré et même le type d'évolution des sols : il faut alors en tenir compte à un échelon plus élevé de la classification.)

La classification française est donc une classification très logique et très complète. Bien sûr, elle n'est pas encore définitive ; quantités de points restent très discutés et le seront encore longtemps : la pédologie est une science jeune ; les nouvelles découvertes se succèdent très rapidement et les classifications pédologiques doivent évoluer pour en tenir compte.

Mais si cette classification est pour tous les pédologues qui l'adoptent une excellente base de travail, nous savons aussi parfaitement qu'elle peut paraitre assez rébarbative et même illogique aux "profanes" qui doivent utiliser nos rapports et nos cartes pour réaliser la mise en valeur. C'est pour cette raison que dans la légende de la carte pédologique de la plaine du Zebra (pièce hors-texte nº V) et dans ce rapport (voir chapitre 2 et 3 de cette 2º partie) nous avons pensé rendre le tout plus accessible en regroupant les sols d'après un plan plus agronomique, sans pour autant changer les dénominations pédologiques (voir le tableau de classification des sols : pièce hors texte nº IV). En particulier, alors que la profondeur du sol n'est qu'un caractère de série, nous l'avons utilisé au sommet de la classification : cela fait ressortir la présence des encroûtements, croûtes et dalles calcaires, facteurs limitant la profondeur et bien d'autres qualités agricoles des sols. De même nous avons utilisé le taux de calcaire en surface, qui est également un caractère de série, à un niveau assez élevé de la classification. Par contre, nous avons préféré laisser la salure et l'alcalisation du sous-sol, malgré leur importance primordiale pour la mise en valeur, à un niveau très bas de la classification (type) : en effet, il n'était guère possible de faire intervenir ces deux caractères à un niveau plus élevé, chaque type de sol ayant une salure et une alcalisation assez variable, difficile à cartographier, souvent difficile à relier à d'autres caractères ; nous avons alors préféré faire une cartographie séparée de ces deux caractères (voir la carte des sols salés et alcalisés en profondeur : pièce hors-texte nº VI).

.../...

B.- Le classement des sols (*)

Comme il est "de tradition" dans toute étude pédologique effectuée en prévision d'une mise en valeur pour l'irrigation, nous avons essayé, à titre de synthèse, de classer les sols d'après leur aptitude à l'irrigation, c'est-à-dire :

1º) d'après les travaux d'aménagement qui seront nécessaires pour rendre les sols cultivables et irrigables dans de bonnes conditions (épierrage, défoncement des croûtes calcaires, sous-solage, dessalage et désalcalisation) ;

2º) d'après une estimation de leur valeur agricole, c'est-à-dire d'après l'extension des productions que nous pensons possibles et d'après un classement relatif des rendements que l'on peut espérer.

Ce classement devrait également tenir compte de la topographie : pentes, microrelief , complexité du relief. Dans la plaine du Zobra, où le relief est justement un facteur qui compliquera fréquemment les projets de mise en valeur, nous avons préféré le plus souvent ne pas en tenir compte afin de ne pas masquer complètement dans ce classement les facteurs proprement pédologiques (voir p. 333).

Mais si nous avons effectué ce classement des sols pour faciliter l'interprétation de nos résultats (voir les cartes de classement des sols : pièces hors-texte nº VIII et IX ; et le tableau de classement des sols : pièce hors-texte nº X), nous tenons à souligner qu'il n'est le résumé que d'une partie de nos travaux : en bref, les agronomes qui auront à étudier la mise en valeur de la plaine du Zebra ne doivent pas se contenter de ce classement, qui peut être la base d'un calcul économique rapide permettant de se rendre compte de la rentabilité du projet qui peut servir également au remembrement et au calcul de la dimension minima des propriétés, mais qui ne peut pas être la base de l'étude agricole proprement dite, c'est à-dire de l'étude des cultures possibles, des assolements, des engrais nécessaires, etc.. Cette étude agricole, c'est sur la base de la carte pédologique et du rapport qui l'accompagne qu'il faut la faire.

(*) : dans les précédents rapports et en particulier dans le "Rapport sur l'Aménagement de la Rive Gauche de la Basse-Moulouya" (41) les cartes de classement des sols étaient appelées carte de tri des sols ; nous avons préféré abandonner ce terme de tri des sols qui prêtait à confusion.

ANCIENNE CLASSIFICATION	NOUVELLE CLASSIFICATION
I.- SOLS PROFONDS	
A. - Sols châtain-rouges steppiques, à taches, granules et nodules calcaires	A. - Sols châtains steppiques subtropicaux, à taches, granules et nodules calcaires
- Sur roche-mère complexe très argileuse (> 40 %) ; non salés, non alcalisés.	- Sur roche-mère complexe très argileuse (> 40 %) ; non salés, non alcalisés.
B. - Sols brun-rouges steppiques, à taches granules et nodules calcaires	B. - Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches granules et nodules calcaires
- Peu calcaires en surface (< 10 %) ; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %) ; généralement non salés et non alcalisés.	- Peu calcaires en surface (< 10 %) ; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %) ; généralement non salés et non alcalisés.
- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %) ; salure et alcalisation, en profondeur, variables.	- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %) ; salure et alcalisation, en profondeur, variables.
- Calcaires en surface (> 10 %) ; localement fortement encroûtés en profondeur ; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %) ; salure et alcalisation, en profondeur, variables.	- Calcaires en surface (> 10 %) ; localement fortement encroûtés en profondeur ; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %) ; salure et alcalisation, en profondeur, variables.
C. - Sols brun-rouges steppiques, à taches calcaires	C. - Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires.
- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur (> 40 %) ; généralement salés (> 3 o/oo) et alcalisés (pH eau>9) en profondeur.	- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur (> 40 %); généralement salés (> 3 o/oo) et alcalisés (pH eau >9) en profondeur.
- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %) ; salés (> 3 o/oo) et alcalisés (pH eau > 9) en profondeur.	- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %) ; salés (> 3 o/oo) et alcalisés (pH eau > 9) en profondeur.
- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %) ; non ou peu salés ; alcalisation variable.	- Calcaires en surface (> 10 %) ; sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %) ; non ou peu salés ; alcalisation variable.
D. - Sols brun-rouges steppiques et jeunes alluviaux, non salés, non alcalisés	D. - Sols bruns steppiques subtropicaux, sans taches calcaires ; et sols peu évolués d'apport ; non salés, non alcalisés
- Non ou peu caillouteux.	- Non ou peu caillouteux.
- Caillouteux	- Caillouteux.

II. - SOLS PEU PROFONDS

A. - Sols brun-rouges steppiques à taches calcaires, peu calcaires en surfac (< 10 %)

- Sur croûte calcaire tendre peu épaisse, ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux ; avec ou sans dalle rubannée fine en surface ; salure variable dans et sous l'encroûtement.

B. - Sols brun-rouges steppiques, à taches calcaires, calcaires en surfac (> 10) ; et sols brun-calcaires rendziniformes

- Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ; avec ou sans dalle rubannée fine en surface ; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.

- Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux ; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.

- Sur croûte calcaire dure épaisse ; avec dalle épaisse en surface ; salure forte dans et sous l'encroûtement.

A. - Sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, peu calcaires en surface (< 10 %)

- Sur croûte calcaire tendre peu épaisse, ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux ; avec ou sans dalle rubannée fine en surface ; salure variable dans et sous l'encroûtement.

B. - Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface (> 10 %) ; et sols brun-calcaires.

- Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ; avec ou sans dalle rubannée fine en surface ; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.

- Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux ; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.

- Sur croûte calcaire dure épaisse ; avec dalle épaisse en surface ; salure forte dans et sous l'encroûtement

TABLEAU Nº 20

Comparaison entre l'ancienne classification citée dans le "Rapport sur l'Aménagement de la Rive Gauche de la Basse-Moulouya" (41) et la nouvelle classification adoptée dans le présent rapport.

CHAPITRE I . - LES CARACTERES GENERAUX DES SOLS

I.- LES PRINCIPAUX PROCESSUS DE PEDOGENESE

A.- Les sols steppiques

La plupart des sols de la plaine du Zebra se rangent donc (voir l'introduction de cette 2º partie et la pièce hors-texte nº IV) dans la classe nº V de la classification française : classe des sols steppiques isohumiques. Dans cette classe, ils appartiennent à la sous-classe des sols isohumiques à complexe saturé des régions subtropicales. Enfin, à l'intérieur de cette sous-classe, ils se répartissent en deux groupes : celui des sols châtains subtropicaux, très rares dans la plaine du Zebra, et celui des sols bruns subtropicaux qui, au contraire, couvrent de très loin la plus grande partie de ce périmètre.

Tout ceci signifie que les sols sont essentiellement dus à l'action de quatre processus d'évolution : steppisation, lessivage et accumulation du calcaire, rubéfaction, accumulation d'argile. Processus directement liés à la présence d'un certain type de climat (aride à semi-arid

.../...

des régions subtropicales : saison des pluies pendant la saison froide), climat qui entraîne le développement d'une végétation à caractères steppiques. Processus agissant sur une roche-mère que nous appellerons secondaire, c'est-à-dire des limons quaternaires provenant de l'altération des massifs montagneux où se trouvent les véritables roches-mères.

Ces processus sont donc (fig. nº 37) :

1º) La steppisation proprement dite, c'est-à-dire la répartition isohumique, profonde, d'une matière organique très évoluée : mull à rapport carbone sur azote faible, voisin de 10 en surface, diminuant rapidement en profondeur, des chiffres inférieurs à 5 ou 6 étant fréquemment atteints dès 40 - 50 cm de profondeur (ces chiffres très faibles sont d'ailleurs certainement en partie dus à une légère accumulation d'azote minéral). Ce mode de répartition de la matière organique est directement lié à la végétation steppique dont l'enracinement suffisamment profond enrichit le sol en profondeur. Mais, ainsi que nous l'avons déjà signalé dans le chapitre VI de la 1º partie (voir p.132), la répartition de la matière organique n'est plus actuellement, sur les sols cultivés, véritablement isohumique : la culture céréalière en sec, très extensive, faite après un labour très sommaire, parfois non récoltée, provoque une augmentation du taux de matière organique en surface et au contraire une diminution de ce taux en profondeur. Actuellement, les taux sont en moyenne de 2 à 2,5 % en surface, parfois 3 % et même plus ; mais ils ne sont que de 0,5 à 0,7 % à 50 cm de profondeur (Signalons en passant qu'il nous semble qu'il y a peut-être une certaine liaison entre, d'une part les taux de matière organique en surface comme en profondeur, d'autre part la salure et l'alcalisation du sous-sol : importance et profondeur à laquelle elles commencent. Ceci n'aurait rien d'étonnant : la végétation naturelle et les cultures doivent être moins denses et moins enracinées quand la salure et l'alcalisation sont trop fortes ou trop proches de la surface.).

2º) Le lessivage du calcaire, accompagné d'une accumulation de ce calcaire en profondeur, commençant généralement vers 30 - 50 cm . Les sols sont donc presque toujours plus calcaires en profondeur qu'en surface. Mais en dehors d'une zone réduite, due à la présence d'une roche-mère non calcaire (limons tensiftiens et soltanien

.../...

provenant de l'altération des schistes et quartzites vert-olive de la nappe des Kebdana : roches-mères nº 9 et 11), les sols restent toujours fortement calcaires dès la surface : le plus souvent entre 15 et 25 %. Le climat n'a donc jamais permis un lessivage important du calcaire. En ce qui concerne l'accumulation de ce calcaire, il faut noter qu'elle est extrêmement variable, aussi bien en quantité que morphologiquement : simple blanchissement, taches, granules, nodules, encroûtements plus ou moins puissants et plus ou moins tuffeux, croûtes, dalles, les résultats analytiques variant de 30 à 90 %. Il faut noter également que cette accumulation ne peut s'expliquer par le simple lessivage vertical du calcaire, ou la remontée capillaire à partir de la profondeur ; ce sont surtout des apports de calcaire par lessivage oblique, puis par ruissellement, et des phénomènes d'hydromorphie temporaire, le tout en alternance avec des dessications rapides, qui peuvent expliquer à la fois l'importance et la morphologie de cette accumulation (voir p. 250) : il s'ensuit que tout dépend finalement beaucoup de la topographie qui conditionne une grande partie de la vie hydrique du sol. Nous pouvons citer quelques exemples : les abords amont d'une rupture de pente, la partie haute de cette pente, qui reçoivent beaucoup d'eau mais où le drainage et l'évaporation sont rapides, ont toujours un niveau d'accumulation du calcaire plus fort que ceux des sols avoisinants ; par contre les glacis, recevant moins d'eau et surtout où la dessication est beaucoup moins rapide, ont toujours un niveau d'accumulation plus faible.

3º) La rubéfaction des horizons de profondeur, due essentiellement à l'augmentation du taux d'argile, mais aussi à l'augmentation du taux de fer libre par rapport au fer total. Il est fréquent qu'il y ait un horizon plus rouge à la fois par rapport à la surface et par rapport à la roche-mère de profondeur. Notons cependant que, si on la compare par exemple à celle des sols de la plaine des Triffa, cette rubéfaction n'est presque jamais très forte.

4º) L'accumulation d'argile en profondeur, qui est probablement surtout une argilification, favorisée par une légère hydromorphie temporaire, plutôt qu'une accumulation proprement dite due au lessivage des horizons de surface. Le taux d'argile augmente progressivement avec la profondeur, atteint un maximum vers 50 - 80 cm, puis en général rediminue. Le maximum atteint oscille le plus souvent entre 35 et 40 %.

.../...

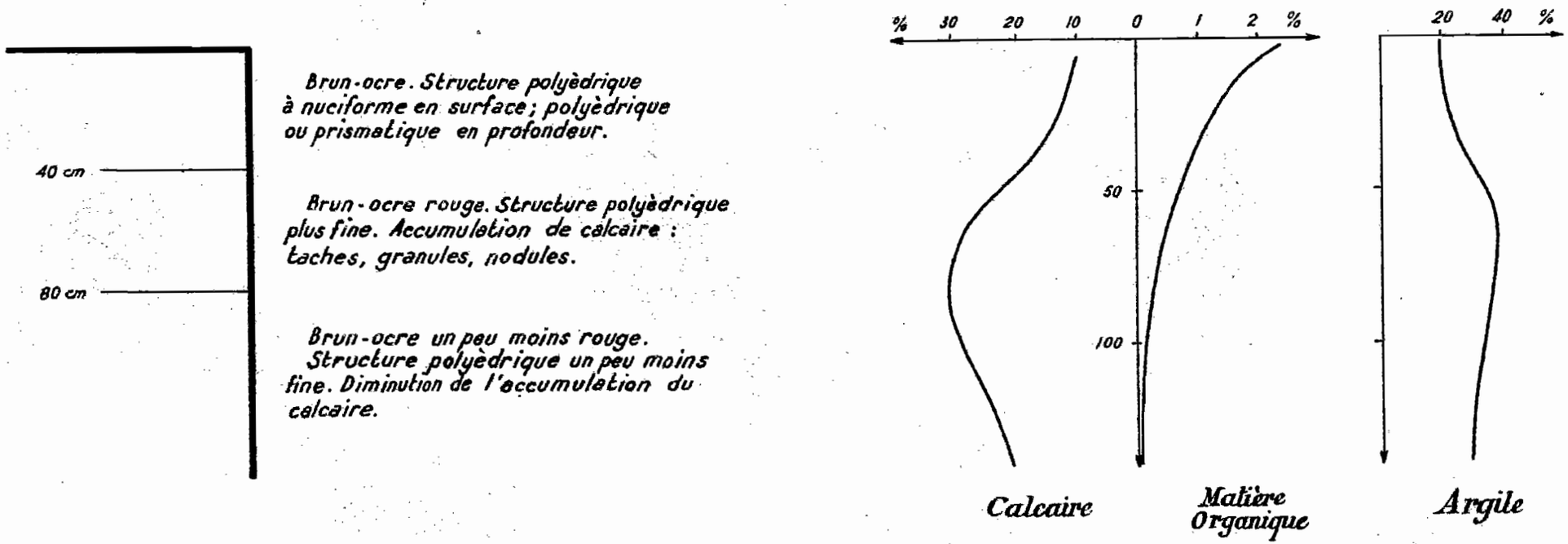


FIGURE Nº 37.- Sol steppique subtropical : représentation schématique

B.- Paléopédogénèse et sols complexes

Il nous faut maintenant ouvrir une petite parenthèse afin de préciser quelques points, à caractère un peu scientifique, mais dont la connaissance nous semble essentielle pour une meilleure compréhension de la diversification et de la répartition des sols de la plaine du Zebra.

1º) Les processus de pédogénèse que nous venons de définir sont, dans le cadre climatique où nous sommes, des processus très lents, surtout pour le lessivage du calcaire, la rubéfaction et l'accumulation d'argile. Une étude des sols, dans une zone où les dépôts quaternaires sont suffisamment épais et non recouverts par des dépôts postérieurs (zone des terrasses de l'oued Zebra par exemple) montre que les sols sont d'autant plus évolués qu'ils sont plus anciens, c'est-à-dire que les dépôts sont plus anciens (RUELLAN, 1962) (58). Sur les dépôts récents la seule évolution pédologique que l'on puisse noter est la répartition profonde de la matière organique accompagnée d'un début de structuration de l'horizon supérieur. Il faut remonter au Rharbien ancien (ou Soltanien récent) pour trouver un début de lessivage du calcaire, et ce n'est que sur les dépôts du Soltanien ancien que l'on voit apparâitre de véritables sols bruns subtropicaux.

2º) En dehors de l'accumulation du calcaire sous forme d'encroûtements, croûtes et dalles, accumulation qui ne s'est produite d'une façon violente qu'à deux époques du quaternaire (Moulouyen et Tensiftien), l'évolution pédologique semble avoir toujours été la même au cours du quaternaire. Ceci implique donc que, pendant les phases de pédogénèse, le climat s'est répété d'une époque quaternaire à l'autre. On peut alors schématiser l'évolution climatique d'une période pluviale-interpluviale de la façon suivante :

- Période pluviale proprement dite, dont le climat a varié très sensiblement d'un pluvial à l'autre : très froid au Salétien, froid au Tensiftien, doux et très humide à l'Amirien, doux et humide au Soltanien. Ce climat est responsable, par son action sur les conditions d'altération des roches, par son action sur les conditions d'arrachement, de transport et de sédimentation des dépôts, mais aussi par les pédogénèse qu'il a engendré sur ces dépôts, des caractères fondamentaux de ces dépôts : dépôts

.../...

très caillouteux du Salétien, limons argileux et rubéfiés de l'Amirien, dépôts grossiers du Tensiftien, limons rubéfiés du Soltanien (voir le chapitre II de la 1º partie).

- Période de pédogénèse, plus ou moins longue suivant les époques quaternaires, mais dont le climat, dans une région donnée, semble avoir été le même d'une période à l'autre, et ne semble pas avoir été très différent du climat actuel : on explique mal autrement, d'une part la continuité des pédogénèses tout au cours du quaternaire, d'autre part la liaison évidente qui existe entre la répartition géographique des sols et la répartition actuelle des climats (cette liaison est particulièrement nette dans l'ensemble du périmètre de la Basse-Moulouya : sols chatains steppiques subtropicaux dans la partie Est de la plaine des Triffa, sols bruns steppiques subtropicaux peu ou non calcaires en surface dans la partie Ouest et dans la plaine du Bou-Areg, sols bruns steppiques subtropicaux calcaires dès la surface dans la plaine du Zebra ; c'est le sens du climat dont l'aridité augmente quand on va de l'Est à l'Ouest puis rediminue quand on arrive dans le Bou-Areg). C'est pendant cette période que se font la steppisation de la matière organique, le lessivage du calcaire, une partie de l'accumulation de ce calcaire par apport vertical et surtout oblique, la formation des taches, granules et nodules par hydromorphie faible et temporaire, l'accentuation de la rubéfaction en profondeur, et enfin l'argilification en profondeur, probablement aussi par légère hydromorphie. Quel fut exactement ce climat ? Le problème reste posé. Il est probable que la seule différence avec le climat actuel réside dans l'intensité et la fréquence des pluies, responsables à la fois du lessivage vertical et surtout oblique et d'une certaine hydromorphie d'engorgement temporaire à faible profondeur ; température et sècheresse restant, entre ces pluies, tout aussi fortes qu'actuellement, limitant alors le lessivage vertical et entraînant la dessication des horizons profonds, hydromorphes pendant les pluies : l'année 1963 peut nous donner une idée de ce type de climat.

- Période de formation des encroûtements et croûtes calcaires, période qui n'a existé ou qui n'a duré suffisamment longtemps qu'au Moulouyen et au Tensiftien. Le climat de cette période semble être, d'une part une accentuation de la violence des pluies et de l'aridité entre ces pluies, d'autre part une accélération de l'alternance de la pluie avec la sècheresse. Tout ceci entraîne, d'abord une accentuation de l'hydromorphie en profondeur et du lessivage oblique amenant le calcaire, en alternance avec une dessication rapide : les encroûtements prennent naissance et commencent à durcir.

.../...

Puis une érosion ramène ces encroûtements vers la surface : ils peuvent alors durcir plus rapidement et se feuilleter ; la croûte proprement dite se forme. Enfin un ruisellement de surface suivi d'une dessication très rapide provoque le dépôt du calcaire : ce sont les dalles rubannées qui se forment.

- Enfin la période interpluviale pendant laquelle la pédogénèse se limite à très peu de choses : tous les processus continuent à agir mais extrêmement lentement. Seule la steppisation de la matière organique continue à se faire assez rapidement. C'est probablement la période que nous vivons actuellement, essentiellement caractérisée par l'érosion linéaire.

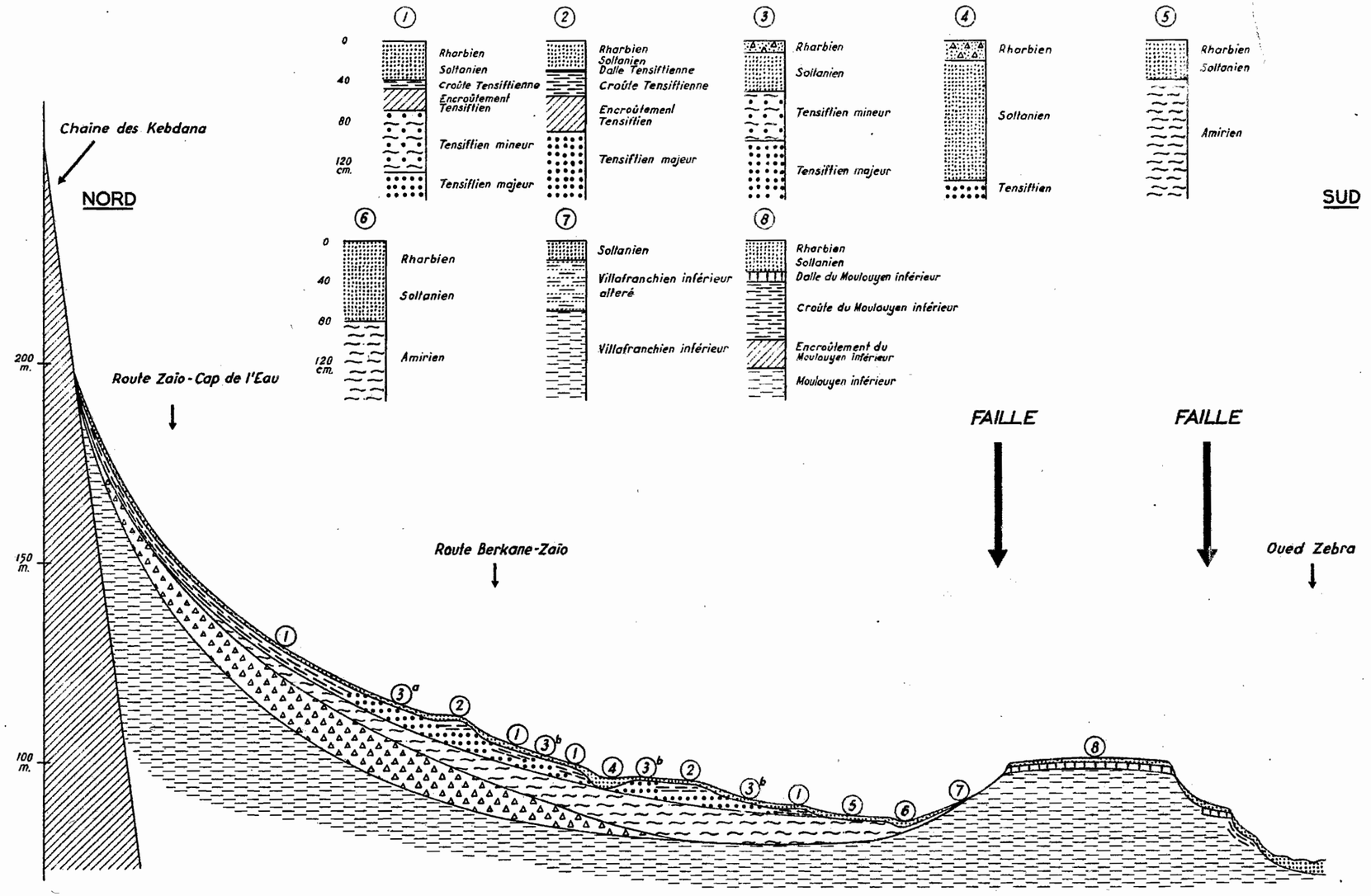
3º) Nous venons de voir que lorsque l'on étudie les sols dans une zone où les dépôts quaternaires sont suffisamment épais et non recouverts par des dépôts postérieurs, on constate qu'ils sont d'autant plus évolués que les dépôts sont plus anciens. En réalité ces zones sont rares dans la plaine du Zebra. Le plus souvent, les sols sont complexes, c'est-à-dire que les recouvrements soltaniens et rharbiens, en particulier, ayant été faibles, après des érosions qui furent également assez faibles, il s'ensuit que la pédogénèse qui a suivi le dépôt du limon soltanien n'a pas joué que sur ce dépôt mais également sur les dépôts sous-jacents (Tensiftien, Amirien ou plus ancien) ; il en est de même pour la pédogénèse post-rharbienne. On peut alors imaginer la diversité des cas possibles :

- Dépendant d'abord de l'importance des érosions interpluviales qui enlèvent en plus ou moins grande partie les horizons superficiels des sols formés précédemment, ou même la totalité de ces sols, ces érosions étant elles-mêmes fonction non seulement de la topographie et des caractères propres à chaque période interpluviale (durée, intensité, tectonique), mais également de la résistance des sols et, en particulier, bien sûr, de la présence des croûtes plus ou moins dures.

- Dépendant ensuite de l'importance des dépôts du pluvial suivant, fonction à la fois de la topographie, de la situation morphologique et de l'importance du pluvial.

Tout ceci se résume finalement, sur le plan pratique, à l'énorme influence de la topographie mouvementée de la plaine du Zebra

.../...



TYPES DE SOLS

SOLS PROFONDS

③ᵃ : SOLS CHATAINS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches, granules et nodules calcaires; sur roche-mère complexe très argileuse (>40%); non salés, non alcalisés (orange barré rouge);
ou
SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches, granules et nodules calcaires; peu calcaires en surface (<10%); sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35%); généralement non salés et non alcalisés (orange).

③ᵇ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches, granules et nodules calcaires; calcaires en surface (>10%); localement fortement encroûtés en profondeur; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35%); salure et alcalisation, en profondeur, variables (vert clair barré marron).

④ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires; calcaires en surface (>10%); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30%); non ou peu salés; alcalisation variable (jaune).

⑤ et ⑦ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires; calcaires en surface (>10%); sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur (>40%); généralement salés (>3‰) et alcalisés (pH eau>9) en profondeur (vert foncé).

⑥ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, sans taches calcaires; et SOLS PEU EVOLUES D'APPORT; non salés, non alcalisés; non ou peu caillouteux (rouge).

SOLS PEU PROFONDS (<50 cm)

① et ② : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires, calcaires en surface (>10%); ou SOLS BRUN-CALCAIRES;
sur
CROUTE CALCAIRE TENDRE peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement (généralement non ou peu salés près de la montagne) (brun clair).

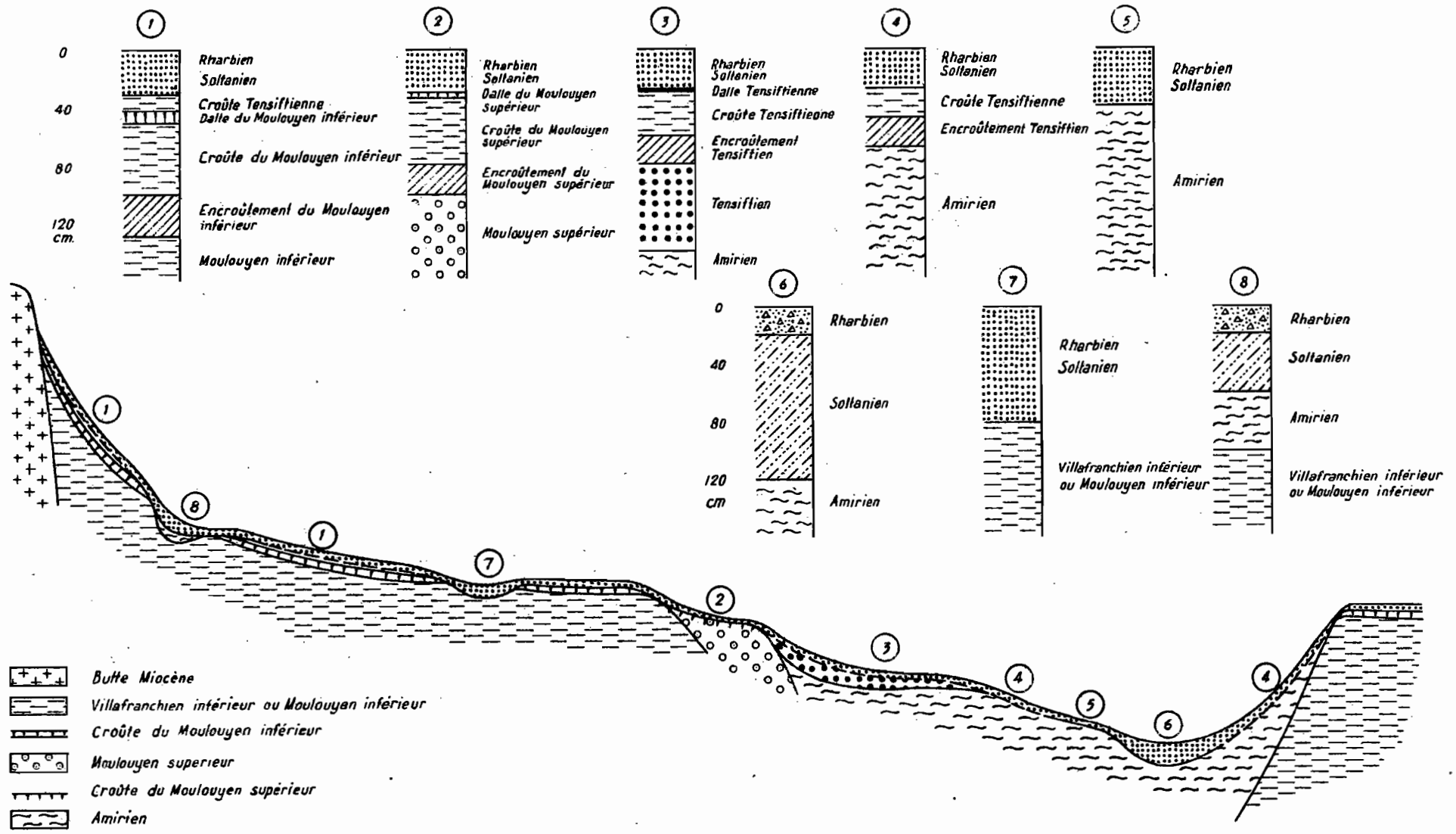
⑧ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires, calcaires en surface (>10%); ou SOLS BRUN-CALCAIRES;
sur
CROUTE CALCAIRE DURE épaisse; avec dalle épaisse en surface; salure forte dans et sous l'encroûtement (brun foncé).

Nota : Les couleurs indiquées entre parenthèses pour chaque type de sol, sont celles de la carte pédologique.

Echelle { H = 1 : 20.000
V = 1 : 2.000

FIGURE Nº 38

PLAINE DU ZEBRA : Chaîne de sols dans le Nord de la plaine.



TYPES DE SOLS

SOLS PROFONDS

⑤ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires; calcaires en surface (>10%); sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur (>40%); généralement salés (>3‰) et alcalisés (pH eau>9) en profondeur (vert foncé).

⑥ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, sans taches calcaires; et SOLS PEU EVOLUES D'APPORT; non salés, non alcalisés; non ou peu caillouteux (rouge).

⑦ et ⑧ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires; calcaires en surface (>10%); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30%); non ou peu salés; alcalisation variable (jaune).

SOLS PEU PROFONDS (<50 cm.)

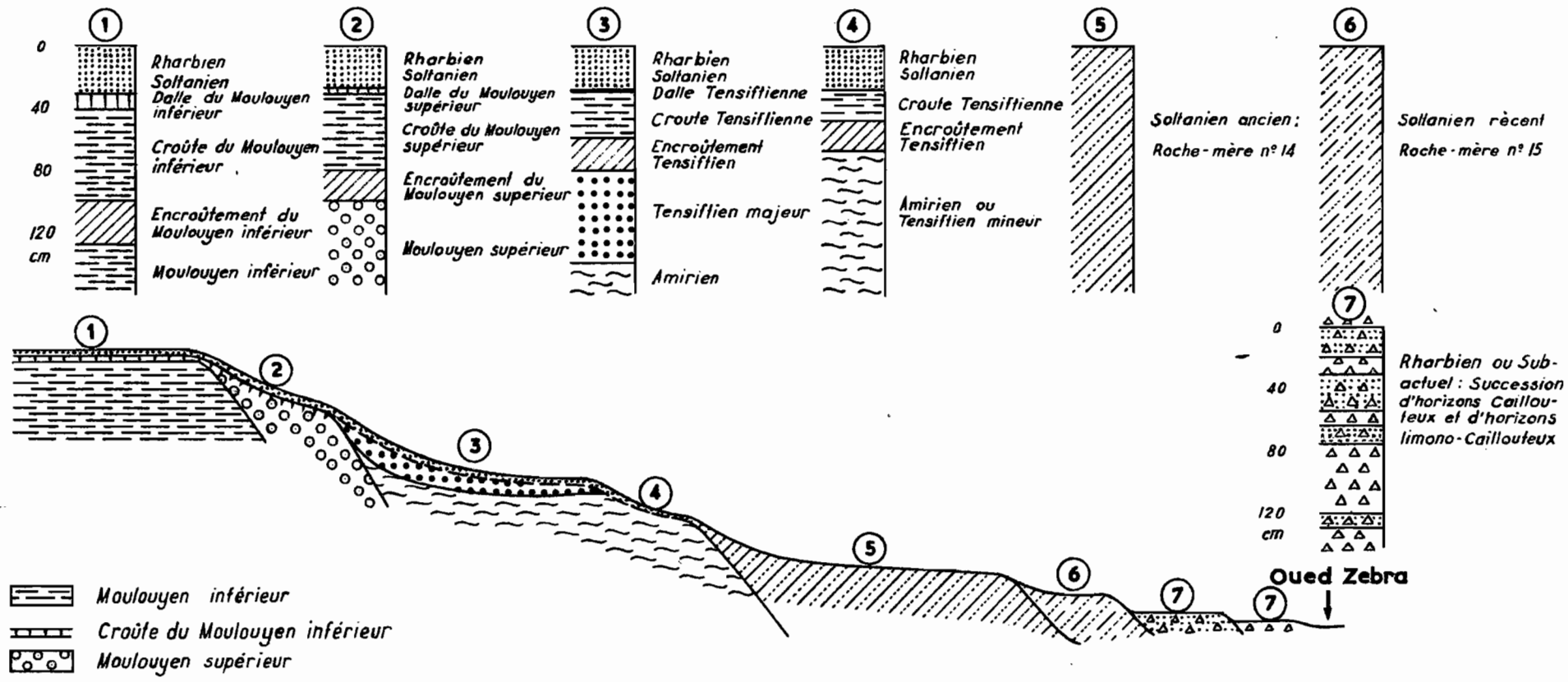
① et ② : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires, calcaires en surface (>10%); ou SOLS BRUN-CALCAIRES;
sur
CROUTE CALCAIRE DURE épaisse: avec dalle épaisse en surface; salure forte dans et sous l'encroûtement (brun foncé).
CROUTE DOUBLE en ①

③ et ④ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires, calcaires en surface (>10%); ou SOLS BRUN-CALCAIRES;
sur
CROUTE CALCAIRE TENDRE peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement (brun clair).

Nota : Les couleurs indiquées entre parenthèses pour chaque type de sol, sont celles de la carte pédologique

FIGURE Nº 39

PLAINE DU ZEBRA : Chaîne de sols dans le Sud de la plaine



TYPES DE SOLS

SOLS PROFONDS

⑤ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires; calcaires en surface (>10 %); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %); salés (>3 ‰) et alcalisés (pH>9) en profondeur (jaune barré vert).

⑥ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires; calcaires en surface (>10 %); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %); non ou peu salés; alcalisation variable (jaune).

⑦ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, sans taches calcaires; et SOLS PEU EVOLUES D'APPORT; non salés, non alcalisés; non ou peu caillouteux (rouge).

⑧ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, sans taches calcaires; et SOLS PEU EVOLUES D'APPORT; non salés, non alcalisés; caillouteux (rouge; surcharge noire: oo)

SOLS PEU PROFONDS (< 50 cm)

① et ② : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires, calcaires en surface (>10 %); ou SOLS BRUN-CALCAIRES;
sur
CROUTE CALCAIRE DURE épaisse; avec dalle épaisse en surface; salure forte dans et sous l'encroûtement (brun foncé).

③ et ④ : SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX, à taches calcaires, calcaires en surface (>10 %); ou SOLS BRUN-CALCAIRES;
sur
CROUTE CALCAIRE TENDRE peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement (brun clair).

Nota : Les couleurs indiquées entre parenthèses pour chaque type de sol, sont celles de la carte pédologique.

FIGURE Nº 40

PLAINE DU ZEBRA : Chaîne de sols en bordure de l'oued Zebra

sur la répartition très complexe des sols. C'est elle qui conditionne la répartition des sols plus ou moins évolués. C'est elle qui conditionne la présence plus ou moins proche de la surface des horizons limitant la mise en valeur : dalles calcaires du Moulouyen, encroûtements et croûtes calcaires du Tensiftien, limons argileux de l'Amirien, limons salés et alcalisés du Moulouyen, Amirien et Tensiftien. C'est ce que nous avons essayé de faire ressortir dans les figures nº 38 et 39 et 40 qui schématisent les principales chaînes de sol de la plaine du Zebra.

C.- Les autres types de sols

En dehors des sols steppiques, on trouve encore dans la plaine du Zebra :

- Des sols peu évolués (classe nº II), d'origine non climatique (sous-classe nº 2), d'apport (groupe b). Ce sont tout simplement des dépôts sub-actuels et mêmes actuels ayant à peine commencé à évoluer : légère structuration de l'horizon de surface et présence de matière organique qui très souvent n'est même pas isohumique.

- Des sols bruns-calcaires qui forment un sous-groupe du groupe b (rendzines à horizons) de la sous-classe nº 1 (sols humifères à carbonate de calcium ou à dolomie) de la classe nº III (sols calco-magnésimorphes). Ces sols, caractérisés par un lessivage faible du calcaire, ne se trouvent que sur croûte ou dalle calcaire et seulement lorsque le dépôt situé sur la croûte est de très faible épaisseur : moins de 30 - 35 cm ; les processus de steppisation n'ont alors pas pu se développer. Ces sols devraient par ailleurs être plus riches en matière organique que les sols steppiques : en réalité ils ne le sont pas.

.../...

II.- LES PRINCIPAUX CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS

En dehors du calcaire, de la matière organique, de la rubéfaction et du taux d'argile, les principaux autres caractères des sols de la plaine du Zebra sont les suivants :

A.- Texture

La somme argile plus limons dépasse souvent 60 %. Il y a toujours beaucoup de sables fins (20 à 40 %) et généralement peu de sables grossiers (moins de 15 %, souvent moins de 10 %). Par ailleurs, si en dehors de la zone Nord et Nord-Est proche des Kebdana, les sols sont en général peu ou non caillouteux, il faut cependant signaler la présence très fréquente de niveaux caillouteux à l'intérieur du sol. Ces niveaux plus ou moins consolidés marquant très souvent la limite entre deux dépôts d'âges différents (cailloutis de base), ont des épaisseurs très variables, le plus souvent 5 à 30 cm ; ils sont en général plus épais et plus nombreux dans un même profil, près des montagnes. Ils sont souvent sous forme de lentilles plus ou moins allongées (1 mètre à plusieurs dizaines de mètres).

B.- Structure

La surface est très souvent assez glacée (voir photo nº 5, p. 45), ceci étant accompagné d'une structure lamellaire sur environ 1 cm d'épaisseur, nettement mieux développée sur les sols cultivés que sur ceux laissés en friche : après un labour, une faible pluie suffit pour provoquer ce glaçage. La stabilité structurale est donc très faible en surface : les Is oscillent le plus souvent entre 3 et 10.

Sous ce glaçage de surface, la structure est généralement polyédrique à nuciforme, de taille moyenne (2 à 5 cm), assez faible, puis polyédrique de plus en plus fine et de mieux en mieux formée en profondeur : dans l'horizon d'accumulation d'argile et de calcaire les agrégats ont généralement 1 à 2 cm. La stabilité structurale est assez variable, mais elle reste faible : Is de 2 à 5.

.../...

Enfin, plus profondément, la structure est très variable, fonction de l'ancienneté du sol et des dépôts : elle reste en général polyédrique, un peu plus large que dans l'horizon d'accumulation ; mais elle peut également disparaître (structure massive, fondue ou particulaire). La stabilité structurale est très variable, mais reste toujours faible à très faible.

Très souvent se développe dans l'horizon d'accumulation d'argile, et même plus profondément dans certains types de sols, une structure très particulière dont nous avons déjà parlé en décrivant les limons amiriens : c'est la structure polyédro-cubique fine à facettes lissées (voir p. 30). C'est cette structure, dont la stabilité est généralement très faible, d'autant plus faible qu'elle est mieux développée, toujours associée à une certaine richesse en argile (au minimum 30 à 35 %) ; le plus souvent 40 % et plus), qui, avec la salure et l'alcalisation, constitue l'obstacle principal à la mise en valeur de nombreux sols ; cette structure qui, au laboratoire, se démolit immédiatement dès qu'on humidifie la terre un peu au-delà de la capacité de rétention ; qui explose littéralement quand les agrégats sont mis dans l'eau (RUELLAN : 1959) (49,50) ; qui se prend en masse à la première pluie dès qu'elle est ramenée à la surface (creusement des trous pédologiques et zone nivellée : voir photos nº 18 et 19) ; comment se comportera-t-elle sous irrigation ? Ne risque-t-on pas de voir se former à faible profondeur un horizon imperméable entrainant la naissance de l'hydromorphie ? C'est une des principales questions posées à la Station Expérimentale d'Amélioration des Sols de la plaine du Zabra.

C.- Porosité

Elle est, actuellement avant irrigation, toujours très bonne, en particulier dans les 20 à 30 premiers centimètres du sol où il y a un intense travail animal.

D.- Capacité de rétention

Malgré les taux d'argile souvent élevés, elle est toujours assez faible : 20 à 25 %, ceci étant probablement dû à une microstructur

.../...

Dispersion de la structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées



PHOTO Nº 18.- Action de la pluie sur la terre enlevée des trous pédologiques.

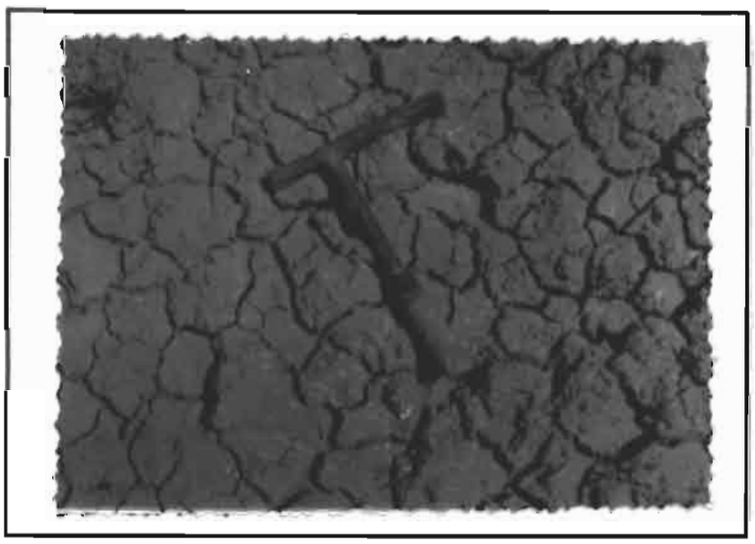


PHOTO Nº 19.- Action de la pluie sur les horizons de profondeur ramenés en surface par le nivellement.

en plaquettes assez particulière. C'est surtout le taux de matière organique qui la fait varier : elle est donc souvent plus forte en surface qu'en profondeur (49,50).

E.- Densité apparente

Elle est en général de 1 à 1,2 en surface ; de 1,3 à 1,5 dans les horizons d'accumulation d'argile.

F.- Perméabilité

Avant irrigation, elle est en général bonne, ni trop forte, ni trop faible ; les chiffres les plus fréquents oscillent entre 5 et 10 cm/heure (15 à 30. 10^{-6} m/sec).Cependant il s'agit là de chiffres obtenus avec l'eau de la Moulouya, c'est-à-dire avec une eau légèrement salée : c'est ce qui nous intéresse pour l'irrigation. Ceci ne doit pourtant pas nous faire oublier que la perméabilité à l'eau de pluie est beaucoup plus faible : la pluie lessive légèrement les sels en surface qui maintenaient une certaine structure ; d'où rapidement, le choc des gouttes aidant, glaçage des sols qui entraîne soit le ruissellement et l'érosion, soit la stagnation de l'eau, catastrophique pour certaines cultures.

G.- Azote

Il y en a toujours très peu : 0,10 à 0,13 % en surface, beaucoup moins en profondeur. Cet azote, dans les horizons de surface, est bien entendu en grande partie sous forme organique. Dans les horizons de profondeur, par contre, les très faibles rapports carbone sur azote (voir p. 147) semblent indiquer que cet azote est en partie sous forme minérale.

H.- Phosphore

toujours que très peu de phosphore dit assimilable : 0,10 à 0,15 o/oo en surface, moins en profondeur. Cette pauvreté en phosphore assimilable est due à la richesse des sols en calcaire.

I.- Potassium

Il y en a en général beaucoup. Le taux de K20 total peut atteindre et dépasser 10 o/oo ; celui de K20 assimilable varie de 0,3 à 1 o/oo en surface ; il est plus faible en profondeur. Comme pour l'azote et le phosphore assimilable, le taux de potassium assimilable est très lié à celui de la matière organique.

J.- Complexe adsorbant

Ainsi que nous l'avons déjà précisé (voir p. 141), le manque de méthodes valables pour analyser le complexe adsorbant de sols calcaires et salés nous a jusqu'à présent beaucoup gênés. A titre tout à fait indicatif on peut avancer que la capacité d'échange des sols de la plaine du Zebra oscille entre 10 et 20 meq pour 100 gr ; et que cette capacité d'échange est toujours entièrement saturée, probablement à 70 - 95% par du calcium et du magnésium, le reste par du sodium et un tout petit peu (mais suffisamment) de potassium.

K.- Salure et alcalisation

Ainsi que nous l'avons déjà plusieurs fois signalé dans ce rapport, une très grande partie des sols de la plaine du Zebra sont alcalisés et beaucoup sont très salés (plus de 3 o/oo) : les sols non salés (moins de 1,5 o/oo), et ceux, moins fréquents, non alcalisés, ne se trouvent qu'en bordure Nord et Nord-Est de la plaine et, dans le reste de la plaine, que dans les fonds de vallées sur une largeur souvent réduite à quelques mètres (voir la carte des sols salés et alcalisés en profondeur : pièce hors-texte nº VI ; voir aussi le tableau nº 21). Cependant cette salure n'étant probablement pas d'origine pédologique (évaporation à partir d'une nappe phréatique, par exemple), mais plutôt d'origine sédimentaire (ce sont les limons quaternaires qui sont salés), les sols ne sont salés et alcalisés qu'à partir d'une certaine profondeur, de l'ordre de 30 - 50 cm le plus souvent : salure et alcalisation sont très rares en surface.

.../...

Si sur le plan de la salure, il ne nous est guère difficile de donner des résultats précis que nous présenterons dans la suite de ce rapport au cours de la description des différents types des sols, il n'en est pas tout à fait de même pour l'alcalisation, qui nous semble être à la fois sodique et magnésienne, ceci toujours à cause des problèmes que nous posent les analyses du complexe adsorvant. Nous ne pouvons dans le cadre de ce rapport présenter toutes les recherches que nous avons entreprises pour essayer de définir cette alcalisation, les résultats positifs que nous avons déjà obtenus, les nombreux doutes qui restent à lever. Tout ceci fera l'objet d'un prochain rapport consacré aux premiers résultats obtenus sur la Station Expérimentale d'Amélioration des sols de la plaine du Zebra. Nous pouvons dependant déjà signaler que :

1º) Nous avons pu établir l'existence certaine de l'alcalisation sodique, au moins sur un certain nombre de types de sols, ceci à la suite d'une étude comparative assez complexe des résultats d'analyses détaillées faites sur des extraits aqueux, des extraits de saturation et des extraits à l'acétate (Cette étude nous a en particulier conduit à admettre que l'on pouvait prendre comme sodium échangeable la différence entre le sodium extrait à l'acétate et celui contenu dans l'extrait de saturation).

2º) Nous avons pu également établir que le rapport Na meq sur Ca meq, donné par l'extrait de saturation, représentait très correctement la valeur de ce rapport sur le complexe adsorbant (voir fig nº 41).

3º) Partant de là, la courbe de la figure nº 41 nous donnant pour 10 % de sodium échangeable, une valeur moyenne de 5 pour le rapport Na/Ca, et pour 15 % de sodium échangeable, une valeur moyenne de 7 pour le rapport Na/Ca, nous avons établi (voir figure nº 42) que l'on ne pouvait parler d'alcalisation sodique que lorsque le pH à l'eau distillée, sur une terre non salée, atteignait la valeur de 9,0, et que cette alcalisation ne devenait importante que lorsque la valeur de 9,1 était atteinte. En sol peu salé (conductivité de l'extrait de saturation = 8), l'alcalisation est très forte dès un pH eau de 8,7 - 8,8. En sol très salé (conductivité = 16), l'alcalisation est très forte dès un pH eau de 8,5. En ce qui concerne le pH KCL, qui en principe n'est pas influencé par le degré de salure, l'alcalisation ne serait forte qu'à partir d'un pH de l'ordre de 7,9 - 8,0 (fig. nº 43).

.../...

CATEGORIES	Dans l'ensemble de la zone cartographiée	Dans la zone dominée par le canal principal
- Sols non alcalisés, non salés (moins de 1,5 o/oo)	1.454,00 Ha	1.220,00 Ha
- Sols alcalisés (pH eau supérieur à 9,0), non salés	1.478,00 Ha	982,00 Ha
- Sols alcalisés, peu salés (1,5 à 3 o/oo)	1.584,00 Ha	919,00 Ha
- Sols alcalisés, très salés (plus de 3 o/oo)	3.837,00 Ha	3.092,00 Ha
- Sols peu profonds sur croûte calcaire dure, généralement très salés dans et sous la croûte.	3.027,00 Ha	1.336,00 Ha
- Zone nivellée (majorité de sols alcalisés très salés)	390,00 Ha	388,00 Ha
- Collines rocheuse, fonds d'oueds, pentes fortes érodées	702,00 Ha	218,00 Ha

TABLEAU Nº 21

REPARTITION DES SOLS ALCALISES ET SALES

4º) Nous sommes beaucoup moins avancés sur le sujet de l'alcalisation magnésienne. Mais nous restons persuadés, grâce à de nombreux indices que cette alcalisation existe. Comment expliquer autrement, en particulier, la valeur élevée des pH quand il n'y a presque pas de sodium sur le complexe adsorbant ?

La présence de cette salure et de cette alcalisation, constitue bien entendu un obstacle très grave à la mise en valeur de la plaine du Zebra : la salure et l'alcalisation sont très dangereuses pour de nombreuses cultures et surtout l'alcalisation est responsable de la mauvaise stabilité structurale des horizons de profondeur riches en argile ; une mise en eau sans précaution risque donc de provoquer rapidement la dispersion de l'argile, donc l'imperméabilisation du sous-sol, donc un drainage très défectueux dont les conséquences seraient extrêmement graves. Depuis Février 1960, et surtout depuis Juin 1961, date de la création de la Station Expérimentale d'Amélioration des Sols de la plaine du Zebra, nous nous attachons à résoudre les problèmes posés par ces sols : problèmes de dessalage, de désalcalisation, de stabilisation de la structure, de maintient des améliorations obtenues, tout ceci par des méthodes économiquement valables, c'est-à-dire rapides, peu coûteuses et permettant une rentabilisation immédiate du périmètre. Malgré quelques résultats déjà obtenus, ces problèmes ne sont pas encore résolus (voir p. 288) et ne le seront certainement pas d'une façon précise avant quelques années. Il faut donc souligner qu'il est impossible à l'heure actuelle de dire avec précision ce qu'il sera possible de faire sur la plaine du Zebra ; les surfaces cultivables les cultures possibles, les améliorations nécessaires, le coût de ces améliorations, etc.. tout ceci dépend avant tout des résultats de l'expérimentation entreprise.

*

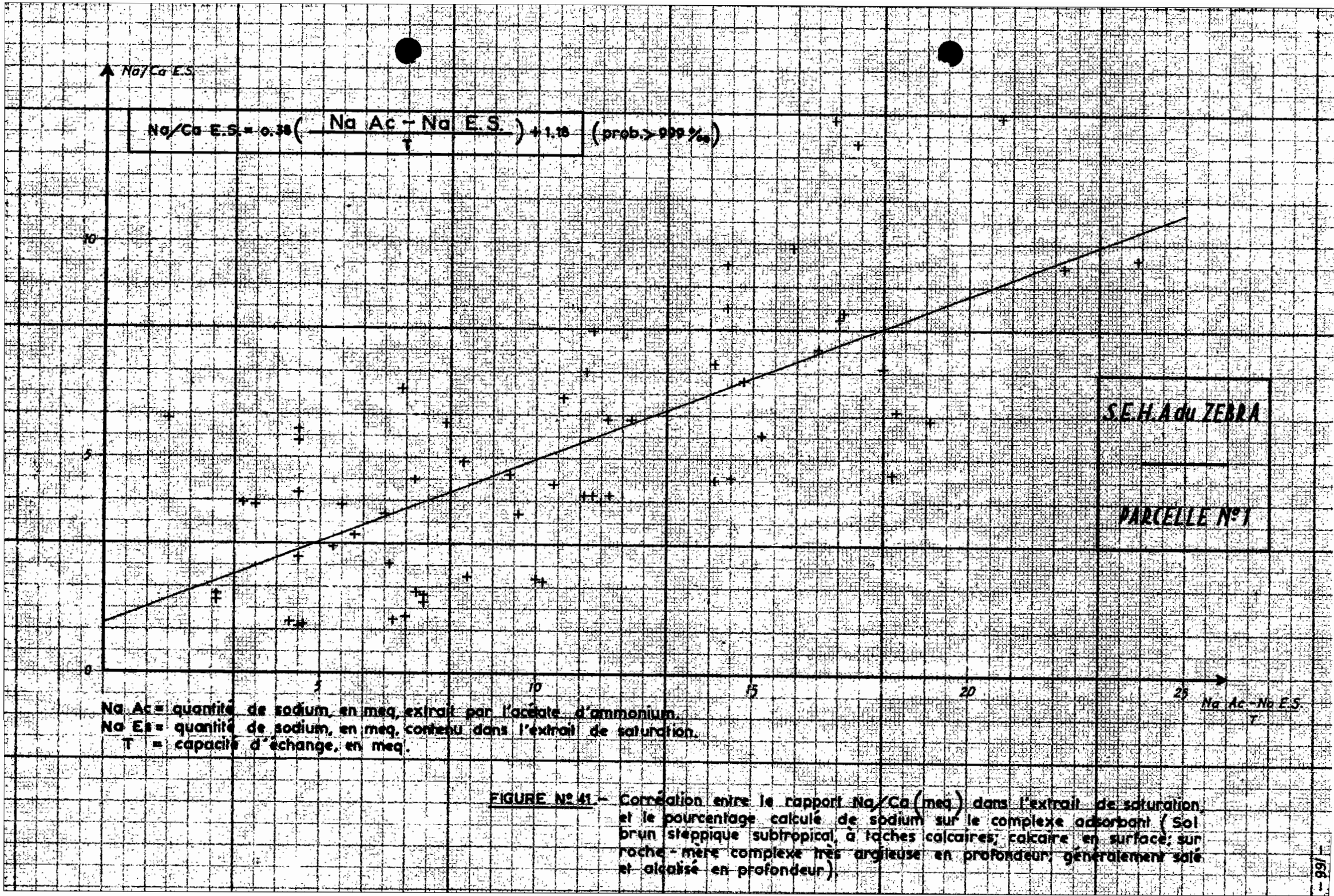
* *

D'après le type d'accumulation du calcaire, limitant ou non la profondeur agricole du sol, nous avons donc classé les sols en deux grandes catégories (voir p. 143) :

.../...

- Les sols profonds : sols ne présentant pas à moins de 50 cm de profondeur un horizon très fortement encroûté.

- Les sols peu profonds : sols de moins de 50 cm d'épaisseur, reposant sur un encroûtement ou une croûte calcaire.



Na Ac = quantité de sodium, en meq, extrait par l'acétate d'ammonium.
Na Es = quantité de sodium, en meq, contenu dans l'extrait de saturation.
T = capacité d'échange, en meq.

FIGURE N° 41.- Corrélation entre le rapport Na/Ca (meq) dans l'extrait de saturation et le pourcentage calculé de sodium sur le complexe adsorbant (Sol brun steppique subtropical, à taches calcaires; calcaire en surface; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur; généralement salé et alcalisé en profondeur).

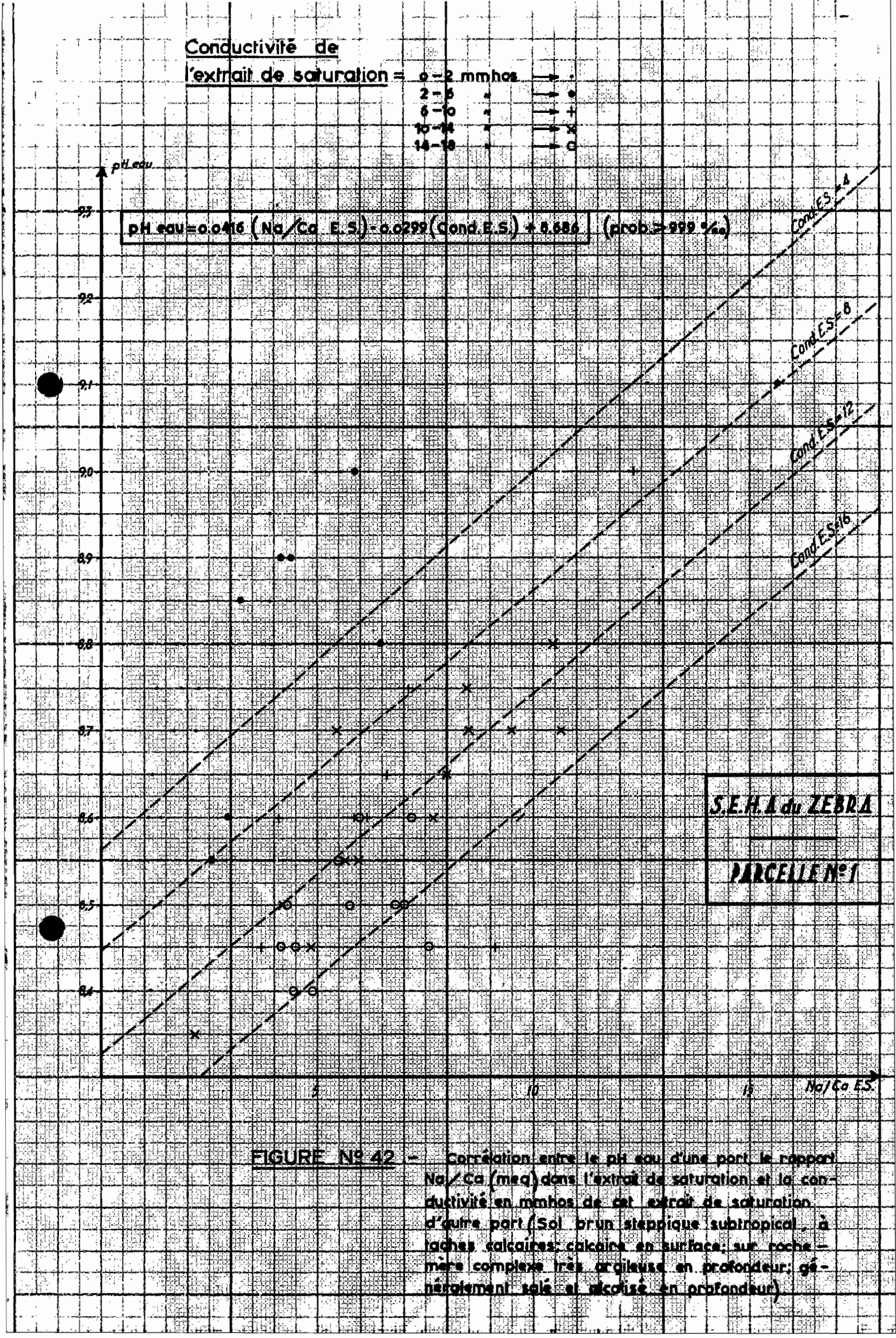


FIGURE N° 42 – Corrélation entre le pH eau d'une part le rapport Na/Ca (meq) dans l'extrait de saturation et la conductivité en mmhos de cet extrait de saturation d'autre part (Sol brun steppique subtropical à taches calcaires; calcaire en surface; sur roche-mère complexe très argileux en profondeur; généralement salé et alcalisé en profondeur)

FIGURE N° 43 - Corrélation entre le pH KCL et le rapport Na/Ca (meq) dans l'extrait de saturation (Sol brun steppique subtropical, à taches calcaires; calcaire en surface; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur, généralement salé et alcalisé en profondeur)

CHAPITRE II . - LES SOLS PROFONDS

I.- LES SOLS CHATAINS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- sur roche-mère complexe très argileuse
- non salés, non alcalisés

Sur la carte pédologique, ces sols ont été cartographiés en orange barré de rouge (fiches de profil : fig. nº 44 et 45 ; résultats d'analyses : tabl. nº 22 et 23 ; placés à la fin de ce chapitre).

A.- Situation : Ces sols, rares dans l'ensemble de la plaine du Zebra, ne forment dans la zone que nous avons cartographiée qu'une petite tache de 82 hectares située dans la partie Nord du Périmètre, à 2 Km à l'Est de Zaio. Dans le reste de la plaine, on peut trouver ces sols tout le long de la chaîne des Kebdana, à l'Est, au Nord et à l'Ouest de Zaio.

B.- Topographie : ces sols se situent généralement sur des pentes assez fortes (2 à 5 %, quelque fois plus). Le

.../...

microrelief est toujours très accentué, les axes de drainage étant nombreux.

C.- Roches-mères : limon rharbien (10 à 30 cm d'épaisseur) généralement peu calcaire ; sur limon soltanien (30 à 100 cm d'épaisseur, le plus souvent environ 50 cm), très peu ou non calcaire, provenant de la décomposition des schistes et quartzites vert-olive de la nappe rifaine (roche-mère nº 11 *) ; sur limons tensiftiens (roche-mère nº 9 ou 7 sur 5 ou 6). La présence insolite de ces sols châtains dans la plaine du Zebra est donc uniquement due à une roche-mère qui s'est déposée non calcaire.

D.- Couleur : Elle est généralement brun-ocre à brun-ocre-rouge en surface. Puis dès 10 - 30 cm de profondeur, quand le sol devient très argileux, elle passe au rouge-sombre, quelquefois même au rouille témoignant alors peut-être d'une certaine hydromorphie. Plus en profondeur, quand le calcaire commence à s'accumuler, elle passe progressivement, entre les taches blanc-jaunâtres de calcaire, du rouge à l'ocre.

E.- Calcaire : exceptée une recalcarification superficielle généralement très légère (1 à 3 %), due au recouvrement rharbien, ces sols sont complètement décalcarifiés jusque vers 40 - 60 cm de profondeur. Au dessous, le calcaire augmente progressivement, avec apparition de taches, granules et même nodules nombreux. Il atteint 20 à 50 % vers 70 - 100 cm, puis en général rediminue. Localement, cet horizon le plus calcaire peut devenir très tuffeux et même s'encroûter en croûte (profil nº T 62 : fig. nº 45).

F.- Granulométrie : ces sols sont toujours fortement caillouteux en surface et assez fortement caillouteux dans les 10 à 30 premiers centimètres. Ils sont presque toujours fortement graveleux et finement caillouteux à tous les horizons. Par ailleurs, les niveaux

.../...

(*) : Pour la description des roches-mères, voir le chapitre II de la 1º partie.

entièrement ou presque entièrement caillouteux, de 5 10 cm d'épaisseur, sont fréquents.La granulométrie de la terre fine, généralement peu argileuse en surface (15 à 25 %), devient brutalement très fortement argileuse à partir de 10 - 30 cm de profondeur : 45 à 50 %, quelquefois plus (60 à 65 %) ; ce taux se maintient jusqu'à 70 - 90 cm de profondeur puis diminue progressivement. Sur l'ensemble du profil il y a très peu de limons et beaucoup de sables (30 à 60 % ; majorité de sables fins).

G.- Structure : elle est polyédrique à nuciforme dans l'horizon supérieur peu argileux, légèrement glacée en surface. Elle devient prismatique très forte, assez large, dans l'horizon très argileux non calcaire (de 10-30 à 40-60 cm de profondeur). Plus profondément, dès que le calcaire commence à s'accumuler, elle devient polyédrique à polyédrocubique fine à facettes lissées. La stabilité structurale est faible à très faible en surface (horizon cultivé) : Is = 3 à 7 ; meilleure en profondeur : Is = 1,5 à 3.

F.- Porosité : la porosité grossière est très bonne ; la porosité fine est bonne sauf dans l'horizon à structure prismatique.

I.- Capacité de rétention : dans l'horizon très argileux à structure prismatique elle est assez forte : en moyenne 30 % ; en surface et en profondeur elle est de 20 à 25 %.

J.- Perméabilité : elle est forte en surface, mais elle peut être très faible en profondeur, dans l'horizon fortement argileux : des chiffres inférieurs à 1 cm/heure sont fréquents.

K.- Matière organique : la courbe de la matière organique est très souvent assez originale. Elle est d'abord moyenne à forte en surface, dans l'horizon peu argileux (1,8 à 3 % tout à fait en surface : 1,5 à 2,5 % vers 10 cm). Puis elle diminue assez brutalement, à 1 % environ, marquant ainsi la difficulté qu'ont les racines à pénétrer dans l'horizon argileux à structure prismatique. Ensuite elle se

.../...

maintient à ce taux de 1 % jusqu'à la base de l'horizon argileux ; ceci peut s'expliquer à la fois par la bonne rétention en eau de ces sols et, comme nous le verrons, par leur assez grande richesse en éléments fertilisants, les racines ayant réussi à pénétrer la surface de l'horizon argileux pouvant ensuite s'y développer correctement en utilisant essentiellement les fentes séparant les agrégats très compacts. Enfin, dès que le calcaire commence à s'accumuler, le taux de matière organique recommence à décroître, mais lentement.

L.- Elements fertilisants : comme tous les sols de la région, ces sols sont pauvres en azote et riches en potassium. Par contre, pour le phosphore ils sont particulièrement riches : il y a 1 à 2 o/oo de P2 05 total, et, jusqu'à 40 cm de profondeur, il y a 0,2 à 0,4 o/oo de P2 05 assimilable. Ceci provient très probablement de l'origine de la roche-mère pour le phosphore total et de la très faible teneur en calcaire pour le phosphore assimilable.

M.- Salure et alcalisation : ces sols, situés près de la montagne, ne sont jamais salés (salure toujours inférieure à 1 o/oo) et ne sont généralement pas alcalisés (ils le sont quelquefois un peu dans le limon tensiftien, à partir de 70 - 90 cm de profondeur). Les pH de l'horizon argileux non calcaire sont même particulièrement faibles : les pH KCl peuvent être inférieurs à 7 ; c'est exceptionnel pour la plaine du Zebra.

N.- Mise en valeur : sur le plan de la mise en valeur, il faut retenir :

- D'abord que ces sols ne sont ni salés, ni alcalisés : il n'y a donc pas de problèmes de ce côté-là.

- Ils sont toujours fortement caillouteux en surface et assez caillouteux dans l'ensemble du profil. Des travaux d'épierrage, à faire par le propriétaire, seront donc nécessaires et une culture comme la betterave ne pourra y être introduite, du moins pendant les premières années.

.../...

- La discontinuité, vers 10 - 30 cm de profondeur, entre l'horizon de surface peu argileux et l'horizon sous-jacent très argileux, et assez peu perméable, pose des problèmes pour l'irrigation : il faudra éviter les fortes doses qui risquent d'entraîner un engorgement de surface. Cette discontinuité est, d'autre part, nous l'avons vu, un obstacle à la pénétration des racines. On pourra essayer de remédier à ces inconvénients par un travail profond du sol qui mélangera les horizons, ou par des sous-solages.

- Ces sols retiendront bien l'eau en profondeur, peut-être même trop bien : risques d'hydromorphie.

- Ils sont profondément non calcaires : c'est donc une des seules zones du périmètre où on pourrait penser faire des cultures sensibles au calcaire actif. C'est également une zone où les problèmes de fertilisation seront les moins nombreux (oligo-éléments en particulier : voir p. 296).

- La structure de ces sols sera probablement particulièrement sensible à l'irrigation : l'horizon argileux aura tendance à se tirsifier rapidement (apparition d'une structure cubique large, très compacte) ; des façons culturales fréquentes et profondes, des cultures fourragères fréquentes et des apports massifs de fumier seront donc particulièrement indispensables.

- Il faudra éviter de consacrer ces sols aux cultures maraîchères, mais plutôt aux céréales et aux fourrages (blé dur, maïs, bersim, luzerne, mélange fourrager).

Ces sols ont été classés en catégorie 2 .

*

* *

Très localement, dans le Nord de la plaine, dans des zones non dominées par le canal principal, ces sols peuvent passer à des sols rouges méditerranéens steppisés : il y a alors disparition de la structure

.../...

prismatique et présence d'un encroûtement puissant ou d'une croûte vers 40 cm de profondeur. Par ailleurs, par recalcarification du limon soltanien (recalcarification proprement dire ou passage à un limon soltanien provenant d'une roche-mère calcaire) ces sols passent progressivement aux sols bruns steppiques peu calcaires en surface que nous allons maintenant décrire.

II.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- peu calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- généralement non salés et non alcalisés

Sur la carte pédologique, ces sols ont été cartographiés en orange (fiches de profil : fig. nº 46, 47 et 48 ; résultats d'analyses : tabl. nº 24, 25 et 26 ; placés à la fin de ce chapitre).

A.- Situation : dans la zone que nous avons cartographiée, ces sols ne se trouvent que dans le secteur Nord où ils forment quelques taches ne couvrant que 255 hectares (dont 186 dominés par le canal principal). Au Nord de la zone cartographiée, ils semblent couvrir des surfaces plus importantes.

B.- Topographie : les pentes sont moyennes : 1,5 à 3 %. Le microrelief est généralement moins accentué que dans le cas des sols châtains, mais les axes de drainage restent assez nombreux.

C.- Roches-mères : sous une couverture rharbienne d'épaisseur très variable (0 à 30 cm), souvent réduite à un simple remaniement sur place (départ des éléments fins), on trouve un limon soltanien qui est, soit celui provenant de la décomposition des schistes et quartzites vert-olive de la nappe, mais un peu recalcarifié et moins argileux (roche-

.../...

mère n° 11), soit, plus souvent, un mélange de ce dernier limon avec un autre dépot soltanien provenant de l'altération de roches calcaires (roche-mère nº 10). Cette roche-mère soltanienne a généralement 50 à 70 cm d'épaisseur, mais localement, à la faveur d'une érosion post-tensiftienne, elle peut être plus épaisse. Enfin, sous le Soltanien, on retrouve le Tensiftien, à savoir le plus souvent la roche-mère nº 7 sur les roches-mères nº 5 ou 6.

D.- Couleur : elle est le plus souvent brun-ocre assez rouge en surface, plus ou moins foncé suivant la richesse en matière organique. En profondeur elle devient plus rouge, le maximum d'intensité du rouge étant généralement atteint dans le niveau d'accumulation du calcaire, entre les taches, granules et nodules, ceci sauf quand cette accumulation est trop forte (la couleur tend alors plutôt sur le rose ou le jaune).

E.- Calcaire : le taux de calcaire est généralement de 3 à 10 % sur les 20 premiers cm du sol (quelquefois beaucoup plus profondément) ; puis de 10 à 20 % jusque vers 40 cm ; puis de 20 à 40 % quand les taches, granules et nodules commencent à apparaître (granules et nodules mis à part), avec un maximum situé à une profondeur très variable (fonction le plus souvent de l'apparition du sol tensiftien). Les taches, granules et nodules calcaires commencent en général vers 30 - 40 cm ; on a le plus souvent la succession suivante : taches, puis taches et petits granules, puis augmentation progressive de la taille des granules, puis taches et nodules de plus en plus gros avec la profondeur ; mais les variantes sont très nombreuses. La zone la plus tachée se situe en général entre 40 et 80 cm : c'est cette zone qui, latéralement, peut passer à des encroûtements plus ou moins tuffeux et à des croûtes.

F.- Granulométrie : ces sols sont souvent fortement caillouteux en surface. Dans le profil, ils sont très souvent fortement graveleux et finement caillouteux à tous les horizons. Les niveaux entièrement ou presqu'entièrement caillouteux sont fréquents ; il y en a toujours 1 à 3 par profil de 1, 50 mètre de profondeur ; souvent ces cailloutis sont assez épais et le sol peut devenir entièrement caillouteux à partir de 70 - 100 cm de profondeur (profil nº T 6 : fig. nº 46). La terre fine est

.../...

toujours assez riche en sables grossiers (10 à 20 %). Le taux d'argile augmente progressivement avec la profondeur, puis rediminue ; les chiffres suivants sont les plus fréquents : 15 à 20 % en surface, 35 à 40 % dans le niveau d'accumulation qui se situe en général entre 30 et 80 cm, 20 à 35 % au-dessous. Il y a presque toujours plus de sables fins que de limons.

G.- Structure : sous un glaçage de surface en général assez léger, elle est polyédrique à nuciforme dans l'horizon cultivé (5 - 10 cm) ; puis polyédrique de plus en plus fin avec la profondeur : elle devient souvent polyédro-cubique à facettes lissées à partir de 40 - 50 cm de profondeur ; plus profondément, la structure peut redevenir plus large ; quelquefois elle disparaît. La stabilité structurale est toujours très faible en surface, dans l'horizon cultivé : Is de 3 à 8. En profondeur, elle est en général meilleure : Is de 2 à 4 ; localement elle peut être cependant très faible : Is de 4 à 10.

H.- Porosité : bonne.

I.- Capacité de rétention : elle est de 20 à 25 % à tous les horizons

J.- Perméabilité : elle est forte en surface comme en profondeur (5 à 15 cm/heure).

K.- Matière organique : elle est de 1,5 à 2,5 % en surface ; 0,4 à 0,6 à 50 cm ; il y en a donc moins que dans les sols châtains.

L.- Eléments fertilisants : pauvres en azote et riches en potassium. Pour le phosphore, ils sont généralement pauvres, sauf quand on se rapproche des sols châtains ; ils ne sont cependant jamais aussi riches que ces derniers.

.../...

M.- Salure et alcalisation : ces sols ne sont jamais ou très rarement salés ; ils ne sont jamais très salés : salure presque toujours inférieure à 1,5 o/oo, toujours inférieure à 3 o/oo. Par contre, ils peuvent être alcalisés à partir de 40 cm de profondeur, surtout dans les limons tensiftiens.

N.- Mise en valeur : la mise en valeur de ces sols dépend donc d'abord, pour certains d'entre eux, de la résolution des problèmes posés par l'alcalisation. Cependant, étant donnée leur richesse en graviers et petits cailloux, nous croyons pouvoir avancer qu'ils seront probablement faciles à améliorer et même que l'on ne risque pas grand chose à les irriguer sans améliorations préalables, à condition d'utiliser au début des cultures résistantes à l'alcalisation.

Il faut par ailleurs, se rappeler que :

- Ces sols auront souvent besoin d'un épierrage, à faire par le propriétaire ; d'autre part, les niveaux caillouteux sont souvent particulièrement développés ; une culture comme la betterave est donc à déconseiller du moins pendant les premières années.

- Si ces sols sont peu calcaires en surface, ceci n'intéresse généralement qu'une faible épaisseur ; dès 40 cm de profondeur il y a plus de 20 % de calcaire et on atteint souvent les 40 % dès 50 - 60 cm (plus haut dans les zones de passage à des encroûtements) ; la culture de plantes à enracinement profond sensible au calcaire sera donc à proscrire.

- Ils seront probablement moins sensibles à l'irrigation que les sols châtains, mais cependant, leur structure, donc leur fertilité se dégraderont rapidement en surface, si on ne prend pas quelques précautions indispensables : cultures fourragères, façons culturales nombreuses, fumier.

Mises à part ces restrictions, ces sols pourront recevoir des cultures variées.

Nous les avons classés en catégorie 2.

.../...

*

* *

Latéralement, ces sols passent :

- Soit aux sols châtains steppiques, par diminution du taux de calcaire et augmentation du taux d'argile dans les horizons de surface.

- Soit, au contraire, à des sols bruns steppiques à taches, granules et nodules calcaires, mais calcaires dès la surface.

- Soit enfin, par augmentation du taux de calcaire dans l'horizon d'accumulation, à des sols bruns steppiques peu profonds, peu calcaires en surface, sur encroûtement ou croûte calcaire peu épaisse.

III.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Sur la carte pédologique, ces sols ont été cartographiés soit en vert clair, soit, quand ils sont en association avec des sols bruns steppiques sur encroûtement, en vert clair barré de marron (fiches de profil : fig. nº 49 à 53 ; résultats d'analyses : tabl. nº 27 à 31 ; placés à la fin de ce chapitre).

A.- Situation : ces sols couvrent des surfaces assez importantes, mais uniquement dans le secteur Nord de la plaine : environ 780 hectares, dont environ 720 dominés par le canal principal (nous ne pouvons donner des chiffres exacts car nous avons du cartographier une partie de ces sols en association avec des sols bruns steppiques sur encroûtement).

.../...

B.- Topographie : il s'agit de glacis à pente en général assez régulière, assez forte près de la chaîne des Kebdana : 3 % et même plus ; de plus en plus faible quand on descend vers le centre de la plaine, les pentes minima étant de l'ordre de 1 à 1,5 %. Le micro-relief est très variable, d'autant plus accentué que l'on se rapproche des Kebdana. Les axes de drainage sont dans l'ensemble assez nombreux.

C.- Roches-mères : la couverture rharbienne est assez rare : elle n'est généralisée que près de la chaîne des Kebdana (profil nº T 131 : fig. nº 49) ; dans le reste de la plaine, le Rharbien est réduit à un simple remaniement sur place (départ des éléments fins), sauf dans les fonds de vallées, où on peut en retrouver une petite épaisseur (10 à 30 cm) (voir profil nº T 249 ; fig. nº 52). Sous le rharbien ou dès la surface, le dépôt soltanien (roches-mères nº 10, 12 ou 13) est en général assez peu épais : 20 à 50 cm, sauf dans les fonds de vallées où il peut atteindre et dépasser 1 mètre. Enfin, sous le Soltanien, on retrouve les limons tensiftiens : roche-mère nº 7 sur roches-mères nº 5 ou 6.

D.- Couleur : elle est généralement brun à brun-ocre en surface, donc plus claire, moins rouge que celle des deux types de sols précédents : c'est un élément de cartographie très important qui ressort parfaitement sur les photographies aériennes. En profondeur elle est identique à celle du type de sol précédent.

E.- Calcaire : en dehors de la surface où le taux de calcaire oscille entre 10 et 20 %, le profil calcaire de ces sols est du même type que celui des sols bruns steppiques peu calcaires en surface. Indiquons seulement que dans certaines zones, le niveau d'accumulation du calcaire est d'une intensité très variable dans l'espace, passant très rapidement d'un simple horizon à taches et granules dosant généralement 30 à 35 % de calcaire fin, à un horizon granulaire et nodulaire très tuffeux, pouvant doser plus de 50 % de calcaire fin. Ces variations étant trop rapides nous n'avons pas pu, à l'échelle du 1/20.000º, les cartographier, c'est-à-dire distinguer les sols bruns steppiques profonds de ceux qui sont en réalité des sols peu profonds sur encroûtement : d'où ce complexe de sols qui

.../...

sur notre carte a reçu la dénomination de "Sols bruns steppiques subtropicaux à taches, granules et nodules calcaires, calcaires en surface, localement fortement encroûtés en profondeur, sur roche-mère complexe assez argileuse" (orange barré de marron) (508 hectares).

F.- Granulométrie : ces sols sont fortement caillouteux près de la montagne ; quand on s'éloigne de la montagne, ils deviennent progressivement moins caillouteux puis non caillouteux en surface. Dans le profil, ils sont presque toujours graveleux et finement caillouteux à tous les horizons, ceci d'autant plus qu'on se rapproche des Kebdana. D'une façon générale, les niveaux caillouteux à l'intérieur du profil sont moins nombreux et moins épais que dans le type de sol précédent ; près des Kebdana, ils sont cependant souvent très importants. La granulométrie de la terre fine est dans l'ensemble identique à celle du type de sol précédent;le niveau d'accumulation d'argile est cependant quelquefois plus épais, en particulier quand on descend vers le centre de la plaine : on peut encore avoir 40 à 45 % d'argile à 100 cm de profondeur. En résumé, la texture de ces sols, que ce soit sur le plan de la teneur en graviers et cailloux, sur le plan de l'importance des niveaux caillouteux, ou sur le plan de la granulométrie de la terre fine, est très liée à la position par rapport à la montagne, c'est-à-dire à la position géomorphologique : cette texture est d'autant plus fine que l'on s'éloigne du piedmont.

G.- Structure : elle est identique à celle du type de sol précédent ; la structure polyédro-cubique à facettes lissées est cependant souvent mieux développée, sur une épaisseur plus grande, ceci en particulier quand on s'éloigne de la montagne. Par ailleurs, le glaçage de surface est souvent assez important, accompagné d'une structure lamellaire sur plus d'un cm d'épaisseur. La stabilité structurale est identique à celle du profil précédent ; elle est cependant quelquefois nettement meilleure tout à fait en profondeur, au-dessous de 100 cm : Is de 1,0 à 1,5.

.../...

H.- Porosité : bonne

I.- Capacité de rétention : elle est de 20 à 27 % à tous les horizons ; elle est toujours nettement plus forte en surface qu'en profondeur.

J.- Perméabilité : elle est forte en surface comme en profondeur (5 à 15 cm/heure).

K.- Matière organique : elle est le plus souvent de 1,8 à 2,5 % en surface et de 0,4 à 0,7 % à 50 cm. Cependant, des chiffres supérieurs à 3 % en surface ne sont pas rares, en particulier dans les fonds de vallées (voir profils nº T 131 et T 249, fig. nº 49 et 52).

L.- Eléments fertilisants : ces sols sont pauvres en azote et phosphore, riches en potassium.

M.- Salure et alcalisation : ces sols sont très rarement non salés, non alcalisés (quelques axes de drainage). Près de la montagne ils sont généralement alcalisés, non salés ; quand on descend vers le Sud, ils deviennent peu salés (1,5 à 3 o/oo) et alcalisés, puis très salés (plus de 3 o/oo) et alcalisés. Il s'agit bien entendu toujours d'une salure et alcalisation de profondeur, ne commençant pas avant 40 - 60 cm, souvent plus profondément, en fonction, pour la salure, de la profondeur à laquelle débute le limon tensiftien.

N.- Mise en valeur : la mise en valeur de ces sols pose dans l'ensemble les mêmes problèmes que celle du type de sol précédent. Cependant, comme ils sont souvent plus salés, moins graveleux et plus argileux, le dessalage et la désalcalisation seront souvent plus délicats. D'autre part, comme ils sont plus calcaires en surface, leur fertilité sera moindre.

.../...

Nous avons classé ces sols en catégorie 2 quand ils ne sont qu'alcalisés ou alcalisés peu salés (moins de 3 o/oo de sels totaux). Nous les avons classés en catégorie 3a (sols qui seront irrigables comme ceux de la catégorie 2, après une amélioration probablement assez facile) quand ils sont très salés : ceci correspond par ailleurs très souvent à une augmentation des difficultés posées par l'horizon d'accumulation d'argile.

*

* *

Latéralement, ces sols passent :

- Soit à des sols bruns steppiques à taches, granules et nodules calcaires, peu calcaires en surface.

- Soit, par remplacement des limons tensiftiens par un limon amirien (fonds de vallons évasés, peu creusés), ou, dans les zones éloignées de la montagne, par augmentation du taux d'argile dans les limons tensiftiens, à des sols bruns steppiques à taches calcaires, calcaires en surface, sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur.

- Soit, dans les fonds de vallées, par augmentation de l'épaisseur des dépôts soltaniens récents et des dépôts rharbiens, à des sols bruns steppiques à taches calcaires, calcaires en surface, sur roche-mère assez argileuse, et même à des sols bruns steppiques sans taches calcaires.

- Soit enfin, par augmentation du taux de calcaire dans l'horizon d'accumulation, à des sols bruns steppiques peu profonds, calcaires en surface, ou à des sols brun-calcaires, sur encroûtement ou croûte calcaire peu épaisse.

IV.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Sur la carte pédologique, ces sols ont été cartographiés en vert foncé (fiche de profil : fig. nº 54 à 57 ; résultats d'analyses : tabl. nº 32 à 35 ; placés à la fin de ce chapitre).

A.- Situation : ces sols très dispersés dans l'ensemble de la plaine, surtout au centre, au Sud et à l'Ouest, couvrent 1080 hectares dont 679 sont dominés par le canal principal.

B.- Topographie : le plus souvent ces sols occupent les fonds de vallées ou de dépressions peu creusées, ou les versants, à pentes quelquefois assez fortes, de vallées creusées plus profondément. On les trouve également, dans des positions topographiques plus variées, à l'extrême Sud de la dépression Nord, en particulier sur le front de la grande faille post-moulouyenne.

C.- Roches-mères : ces sols sont le plus souvent développés sur des limons amiriens (roche-mère nº 4), recouverts d'un dépôt soltanien ayant au maximum 50 cm d'épaisseur mais étant souvent réduit à très peu de chose (quand le dépôt Soltanien devient plus épais on change de type de sol : voir p. 187). La couverture rharbienne est rare (centre des fonds de vallées) : le rharbien ne se manifeste généralement que par un léger remaniement sur place. Plus rarement la roche-mère située sous le Soltanien peut être du Tensiftien (roche-mère nº 7 ou 8) : c'est le cas d'une partie des sols situés à l'extrême Sud de la dépression Nord où les limons Tensiftiens sont fortement argileux (voir p. 31). Enfin la roche-mère située sous le Soltanien peut être encore plus ancienne, moulouyenne et surtout villafranchienne : c'est en particulier le cas des sols situés sur le front de la faille limitant au Sud la dépression synclinale du Nord de la plaine (profil nº T 327 : fig. nº 57).

../...

D.- Couleur : ocre assez clair en surface, elle devient souvent très rouge en profondeur, même quelquefois rouge sombre sous le niveau d'accumulation du calcaire. Quand ces sols sont développés sur un limon villafranchien, la couleur est saumon en profondeur.

E.- Calcaire : la teneur en calcaire est généralement très forte en surface : 20 à 25 %, quelquefois plus. Par contre l'horizon d'accumulation qui se situe entre 30 et 70 cm est le plus souvent moins calcaire que dans les types de sols précédents : 30 à 35 % (les sols développés sur limon villafranchien sont beaucoup plus calcaires : voir profil nº T 327). Les taches calcaires commencent généralement vers 30-40 cm de profondeur ; très souvent leur quantité diminue avec la profondeur. Il n'y a pas ou peu de granules.

F.- Granulométrie : le profil granulométrique de ces sols est très différent de ceux des deux types de sols précédents. Tout d'abord ils ne sont pour ainsi dire jamais caillouteux en surface et sont très rarement graveleux et finement caillouteux dans le profil. Ensuite, les niveaux caillouteux sont peu nombreux et toujours peu épais. Enfin ces sols, fortement argileux dès 30 - 40 cm de profondeur, le restent profondément, jusqu'à plus de 1,50 mètre : il y a toujours un niveau d'accumulation d'argile qui peut atteindre et dépasser 50 %, le plus souvent entre 40 et 45 %. Par ailleurs la teneur en limons étant également forte, la somme argile plus limons se situe presque toujours entre 65 et 80 % (90 % quand le sol est développé sur limon villafranchien). La teneur en sables grossiers est toujours faible : moins de 10 %, souvent moins de 5 %.

G.- Structure : toujours fortement glacée en surface, la structure d'abord polyédrique ou polyédrique à nuciforme, devient très vite polyédrique fine puis, dès que le taux d'argile devient important, polyédro-cubique fine à facettes lissées : c'est dans ce type de sol que cette structure est la plus typique. Elle se maintient en général très profondément, une sur-structure verticale pouvant même apparaitre.

.../...

La stabilité structurale est toujours très faible en surface : Is de 3 à 8; elle est faible à très faible en profondeur : Is généralement de 3 à 6, mais il n'est pas rare d'avoir des Is supérieurs à 10.

H. Porosité : bonne

I.- Capacité de rétention : elle est de 20 à 27 % à tous les horizons, ce qui, comme toujours, est étonnamment faible vue la teneur en argile. Elle est presque toujours plus forte en surface qu'en profondeur, malgré une teneur en matière organique relativement faible.

J.- Perméabilité : correcte en surface, elle est faible en profondeur, dans l'horizon argileux : 2 à 5 cm/heure quelquefois moins.

K.- Matière organique : par rapport aux types de sols précédents, ces sols sont assez pauvres en matière organique en surface : 1,4 à 2,1 % le plus souvent. Par contre, ils sont fréquemment assez riches en profondeur : à 50 cm, le taux varie entre 0,3 et 0,9 %.

L.- Eléments fertilisants : ces sols sont pauvres en azote et phosphore, riches en potassium.

M.- Salure et alcalisation : ces sols sont parmi ceux qui sont les plus salés et les plus alcalisés. On peut trouver jusqu'à plus de 10 o/oo de sels totaux, et le gypse, sous forme de rognons ou de filons, apparaît assez souvent en profondeur, au-delà de 100 cm (voir profils nº E 6 et T 327 : fig. nº 54 et 57). Ces sols ne sont dessalés que tout à fait au fond de certains talwegs, sur une largeur souvent incartographiable. Ils ne sont désalcalisés que tout à fait exceptionnellement.

.../..

N.- Mise en valeur : pour ces sols c'est donc encore avant tout la résolution des problèmes posés par la salure et l'alcalisation qui conditionne leur mise en valeur. Et nous pensons que cette résolution sera beaucoup plus délicate que pour les types de sols précédents, ceci à cause de l'épaisseur de l'horizon argileux à structure instable et de l'absence de graviers et petits cailloux. Nous avons donc classé ces sols en catégorie 3b (sols qui seront irrigables comme ceux de la catégorie 2, mais après une amélioration qui sera probablement assez dificile). Quand ils ne sont ni salés, ni alcalisés, ce qui est exceptionnel, nous les avons classés en catégorie 2 : nous aurions pu les classer en catégorie 1 s'ils avaient été moins argileux, si la stabilité structurale avait été meilleure, et s'ils ne se situaient pas assez souvent dans des axes de drainage d'accès difficile et soumis périodiquement à l'action des eaux ruisselantes (érosion et dépôt).

En dehors des problèmes posés par la salure et l'alcalisation, il faut souligner :

- Ces sols ne sont pas caillouteux et les lits de cailloux sont rares et peu épais : il n'y a donc pas de problèmes de ce côté là ; la betterave en particulier sera possible.

- Leur horizon d'accumulation du calcaire est plus faible que celui des types de sols précédents : l'enracinement pourra être meilleur. Cependant, les cultures trop sensibles au calcaire actif restent à proscrire.

- Enfin, ces sols exigeront bien sûr, peut-être plus que les autres, beaucoup de cultures fourragères, beaucoup de fumier et un travail parfait.

*

* *

Latéralement ces sols passent :

- Soit, à des sols bruns steppiques à taches, granules et nodules calcaires, calcaires en surface (voir p. 182).

.../...

- Soit par épaississement du dépôt soltanien (fonds de vallées plus encaissées), à des sols bruns steppiques à taches calcaires, calcaires en surface, sur roche-mère assez argileuse.

- Soit enfin, par augmentation du taux de calcaire dans l'horizon d'accumulation, à des sols bruns steppiques peu profonds, calcaires en surface, ou à des sols brun-calcaires sur encroûtement ou croûte calcaire peu épaisse.

V.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- salés et alcalisés en profondeur

Sur la carte pédologique, ces sols ont été cartographiés en jaune barré de vert (fiches de profil : fig. nº 58 et 59 ; résultats d'analyses :tabl. nº 36 et 37 ; placés à la fin de ce chapitre.

A.- Situation : ces sols ne se trouvent que le long de l'oued Zebra et de son principal affluent orienté NNW-SSE ; ils couvrent une surface de 214 hectares.

B.- Topographie : ils sont absolument liés à la présence d'une terrasse soltanienne ancienne, souvent très développée, pouvant avoir 100 à 500 mètres de large. La pente moyenne de ces terrasses est de l'ordre de 1 à 1,5 %, le microrelief étant très régulier.

C.- Roche-mère : il s'agit toujours du limon soltanien nº 14. La couverture rharbienne est exceptionnelle.

.../...

D.- Couleur : assez ocres en surface, ils peuvent être très rouges dans l'horizon d'accumulation du calcaire et de l'argile. Cette couleur redisparaît cependant rapidement en profondeur pour passer à l'ocre assez clair qui caractérise ces dépôts soltaniens.

E.- Calcaire : ces sols sont généralement assez peu calcaires en surface : 12 à 20 %. Par ailleurs, le niveau d'accumulation, quoique fortement taché (mais sans granules), n'est pas très puissant ; tout d'abord il est en général peu épais : commençant vers 25 - 35 cm, il atteint un maximum vers 40 - 60 cm, puis se termine rapidement ; ensuite les taux maximum de calcaire ne sont jamais très forts : 20 à 30 %. Dans la roche-mère les taux oscillent en général entre 15 et 25 %.

F.- Granulométrie : ces sols ne sont pas caillouteux, sauf en bordure de la terrasse où ils peuvent être légèrement caillouteux en surface. Les niveaux caillouteux sont rares et peu épais. Ils présentent un niveau d'accumulation d'argile souvent très marqué, mais peu épais : dès 25 - 30 cm, le taux d'argile peut atteindre 30 % ; il atteint 30 à 40 % vers 50 - 60 cm, puis il rediminue pour se maintenir à 25 - 30 %. Il est intéressant de noter que les taux d'argile plus limons dépassent rarement les 60 % ; par ailleurs il y a peu de sables grossiers : 5 à 10 %. Ce sont donc les sables fins qui dominent très nettement : 40 à 50 %, et même plus.

G.- Structure : elle est polyédrique à nuciforme en surface ; polyédro-cubique à facettes lisses assez bien développée dans l'horizon d'accumulation d'argile ; polyédrique large ou inexistante en profondeur. La stabilité structurale est toujours particulièrement faible ; on peut même considérer qu'elle est nulle dès que l'accumulation d'argile commence : Is de 4 à 8 jusque vers 20 - 30 cm de profondeur, puis supérieurs à 10, puis oscillant entre 20 et 100. Ce sont les sols possédant la structure la plus instable de l'ensemble du périmètre.

H.- Porosité : bonne

.../...

I.- Capacité de rétention : elle est d'une façon générale un peu plus faible que dans les types de sols précédents : 18 à 23 %.

J.- Perméabilité : Malgré leur très forte alcalisation, ces sols, assez peu argileux, sont perméables : 5 à 10 cm/heure.

K.- Matière organique : ces sols sont particulièrement pauvres en matière organique : 1,3 1,8 % en surface, 0,2 0,4 % à 50 cm de profondeur

L.- Eléments fertilisants : ces sols sont pauvres en azote et phosphore, riches en potassium.

M.- Salure et alcalisation : ces sols sont toujours très salés et très alcalisés.

N.- Mise en valeur : nous pensons que le dessalage et la désalcalisation de ces sols seront assez faciles, étant donné que l'horizon argileux, qui risque de devenir imperméable, est peu épais. Et même si la désalcalisation se révèle difficile, si cet horizon argileux devait constituer un écran imperméable, comme il est peu épais et proche de la surface, on pourra plus facilement remédier à ces inconvénients (travail profond du sol à refaire fréquemment). Nous avons donc classé ces sols en catégorie 3a.

Rappelons par ailleurs que ces sols ne sont pas caillouteux et que les lits de cailloux sont rares ; il n'y a donc pas de problème de ce côté-là. Rappelons également qu'ils sont moins calcaires, en profondeur, que la majorité des sols de la plaine (les cultures sensibles au calcaire actif restent cependant à proscrire). Mais rappelons aussi que leur stabilité structurale est extrêmement mauvaise et que la situation topographique de terrasse dans laquelle ils se trouvent ne facilite pas leur équipement. Après amélioration ces sols seront donc à classer en catégorie 2.

.../...

VI.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- non ou peu salés, alcalisation variable

Sur la carte pédologique, ces sols ont été cartographiés en jaune (fiches de profil : fig. nº 60 et 61 ; résultats d'analyses : tabl. nº 38 et 39 ; placés à la fin de ce chapitre).

A.- Situation : ces sols, répartis sous forme de bandes dans l'ensemble de la plaine, couvrent 884 hectares, dont 691 sont dominés par le canal principal.

B.- Topographie : on ne trouve ces sols que dans des fonds de vallées, souvent assez étroites et quelquefois difficiles d'accès, et sur quelques terrasses, généralement assez étroites, situées le long de l'oued Zebra et de ses deux principaux affluents. Le micro-relief est quelquefois assez accentué.

C.- Roches-mères : ces sols ne se développent que sur limons soltaniens (roches-mères nº 13 ou 15), probablement assez jeunes, souvent recouverts d'une pellicule rharbienne pouvant atteindre 40 - 50 cm (cette couverture rharbienne est d'ailleurs souvent difficile à distinguer des limons soltaniens, la sédimentation dans ces vallons ayant du être assez continue depuis le soltanien ; elle se poursuit d'ailleurs encore actuellement). Un limon plus ancien peut apparaître en profondeur au-delà d'un mètre.

D.- Couleur : elle est en général brune en surface, plus ou moins claire suivant la teneur en matière organique. Quand on se rapproche des Kebdana, elle peut être plus ocre. Elle est brun-ocre en profondeur, la rubéfaction de l'horizon d'accumulation étant toujours assez faible.

.../..

E.- Calcaire : ces sols font en général 15 à 20 % de calcaire en surface. Le niveau d'accumulation du calcaire, marqué par l'apparition de taches, commence généralement vers 30 - 50 cm de profondeur ; ces taches sont souvent peu nombreuses, diffuses, et peuvent disparaître en profondeur. Les granules sont très rares (dans le secteur Nord de la plaine, il peut y avoir quelques granules, mais qui ne sont pas en place : ils proviennent du remaniement des limons tensiftiens ou soltaniens anciens). Le taux de calcaire de cette accumulation est en général assez faible : il dépasse rarement 30 %. Il est d'autre part fréquent qu'il n'y ait pas vraiment accumulation de calcaire à un niveau déterminé, mais seulement augmentation progressive du taux de calcaire avec la profondeur, ce taux atteignant 25 à 30 % vers 1 mètre de profondeur. Quand un limon plus ancien existe en profondeur ; il est en général nettement plus calcaire et fortement taché (taches, granules, nodules).

F.- Granulométrie : si ces sols ne sont généralement pas ou peu caillouteux en surface, ils le sont par contre assez souvent en profondeur, en particulier le long de l'oued Zebra où les lits de cailloux sont souvent très développés. La granulométrie de la terre fine est assez variable ; il y a toujours un niveau d'accumulation d'argile, mais son taux et sa profondeur sont très variables (25 à 40 % d'argile à une profondeur qui peut-être aussi bien de 40 cm que d'1 mètre). Sur les terrasses du Zebra, l'accumulation d'argile est toujours beaucoup moins marquée (et souvent même inexistante) que celle des sols situés dans les talwegs. Il y a toujours beaucoup de sables fins : 30 à 50 % dans les sols situés dans les fonds de vallées, 40 à 60 % sur les terrasses du Zebra et de ses deux grands affluents. Quand un limon plus ancien apparaît en profondeur, on assiste en général à une forte augmentation de la teneur en argile.

G.- Structure : elle est polyédrique à nuciforme en surface puis polyédrique généralement assez large ; elle peut disparaître, tout à fait en profondeur. La structure polyédro-cubique à facettes lisses n'existe jamais, sauf quand on retrouve en profondeur un limon plus ancien. La stabilité structurale, faible dans l'horizon cultivé (Is de 4 à 8), s'améliore un peu entre 10 et 50-60 cm (Is de 2 à 4), puis redevient très faible en profondeur (Is de 4 à 10).

.../...

H.- Porosité : bonne

I.- Capacité de rétention : elle est de 23 à 28 % en surface, de 19 à 23 % en profondeur.

J.- Perméabilité : ces sols sont toujours perméables (5 à 10 cm/heure) du moins jusqu'au niveau des limons plus anciens : il ne faut pas oublier que ces limons existent toujours en profondeur, les limons soltaniens ayant rarement plus de 2 mètres d'épaisseur ; si la structure de ces limons anciens, presque toujours alcalisés, ne résiste pas à l'irrigation, les problèmes d'imperméabilisation, de formation de nappes phréatiques à faible profondeur se poseront comme dans les autres sols alcalisés et argileux de la plaine : c'est un problème qui est étudié à la Station Expérimentale.

K.- Matière organique : ces sols sont nettement plus riches en matière organique dans les fonds de vallées (2,0 à 2,5 % en surface ; 0,6 à 0,9 % à 50 cm de profondeur) que sur les terrasses de l'oued Zebra (1,5 à 2,0 % en surface ; 0,4 à 0,6 à 50 cm de profondeur). Les rapports carbone sur azote semblent d'une façon très générale, plus élevés, en profondeur, que dans les types de sols précédents.

L.- Eléments fertilisants : ces sols sont pauvres en azote et phosphore, riches en potassium.

M.- Salure et alcalisation : ces sols, recevant beaucoup d'eau sont rarement salés ; par contre ils sont assez souvent alcalisés ; cependant il semble que cette alcalisation soit toujours assez faible (sauf en profondeur quand apparaissent les limons plus anciens) ; d'autre part, l'accumulation d'argile étant généralement assez faible, nous ne pensons pas qu'il y ait des risques d'imperméabilisation, sauf, bien sûr, tout à fait en profondeur quand apparaissent les limons plus anciens.

.../...

N.- Mise en valeur : Nous avons donc resque toujours classé ces sols en catégorie nº 2, même quand ils sont légèrement salés (plus de 1,5 o/oo, mais toujours moins de 3 o/oo). Quand ils ne sont ni salés, ni alcalisés, nous aurions pu les classer en catégorie 1 ; mais rappelons les points suivants :

- Ils sont souvent fortement caillouteux, avec de nombreux niveaux caillouteux.

- La stabilité structurale est faible à très faible.

- Il y a souvent à partir de 100 à 120 cm, un limon nettement plus argileux, salé et alcalisé.

- Ils couvrent presque toujours des surfaces faibles, isolées au milieu de sols de catégorie 3 ou 4.

- Ils se situent dans des conditions topographiques généralement délicates ; terrasses assez basses de l'Oued Zebra et de ces deux principaux affluents, pouvant subir de temps en temps l'action des très grosses crues ; ou bien fonds de vallées, souvent délicats à aller irriguer, et soumis périodiquement à l'action des eaux ruisselantes (érosion et dépôts) (quand ces vallées sont très étroites et profondes, nous avons même classé ces sols en catégorie 3).

*

* *

Latéralement ces sols passent:

- Soit à des sols bruns steppiques sans taches calcaires et à des sols peu évolués d'apport, par augmentation de l'épaisseur des dépôts soltaniens jeunes et des dépôts rharbiens et sub-actuels (encaissement plus profond de la vallée, ou passage à une terrasse plus récente).

- Soit au contraire à des sols bruns steppiques sur roche-mère complexe (Soltanien sur Tensiftien, Amirien ou Villafranchien), par diminution de l'épaisseur du dépôt soltanien (encaissement moins profond de la vallée, versants des vallées).

.../...

VII.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- sans taches calcaires
- non salés, non alcalisés

et les SOLS PEU EVOLUES D'APPORT

- non salés, non alcalisés

Sur la carte pédologique, ces sols ont été cartographiés en rouge quand ils ne sont pas caillouteux, en rouge surchargé en noir quand ils sont caillouteux (fiches de profil : fig. nº 62 à 64 ; résultats d'analyses : tabl. nº 40 à 42 ; placés à la fin de ce chapitre).

A.- Situation : ces sols, répartis sous forme de bandes généralement très étroites, dans l'ensemble de la plaine, couvrent 389 hectares, dont 325 sont dominés par le canal principal.

B.- Topographie : on ne trouve ces sols que dans les fonds de vallées généralement très encaissées, difficiles d'accès, sur des basses terrasses situées le long de l'oued Zebra et de son principal affluent orienté NNW -SSE, et sur des petits cônes de déjection situés près des montagnes. Le micro-relief est toujours très mouvementé.

C.- Roches-mères : les sols brun-steppiques sans taches calcaires se développent sur des dépôts rharbiens ou soltaniens jeunes. Les sols peu évolués sont situés sur des dépôts sub-actuels ou rharbiens. Un limon plus ancien peut apparaître en profondeur, au-delà d'un mètre.

D.- Couleur : elle est généralement brune en surface, plus ou moins claire suivant la teneur en matière organique ; sur les cônes de déjection et les basses terrasses, elle peut tendre au gris. En profondeur elle devient brun-ocre dans les sols bruns steppiques : la rubéfaction de profondeur est pour ainsi dire inexistante ; elle reste brune à brun-gris dans les sols peu évolués.

.../...

E.- Calcaire : ces sols sont en général presqu'isocalcaires : les taux de calcaire n'augmentent pas ou très peu avec la profondeur ; mais ces taux de calcaire sont assez variables d'un profil à l'autre : 20 à 30 %. Il n'y a jamais de taches calcaires, sauf tout à fait en profondeur, au-delà d'1 mètre quand on trouve un limon plus ancien, soltanien, tensiftien ou amirien ; le taux de calcaire peut alors monter à plus de 40 % (dans les sols bruns steppiques, des taches calcaires très diffuses peuvent exister : voir profil T1, fig. nº 62).

F.- Granulométrie : s'agissant de sols jeunes sur dépots récents, la granulométrie est extrêmement variable d'un profil à l'autre et à l'intérieur même d'un profil. Près de la montagne et sur les basses terrasses, ces sols sont généralement composés d'une succession de niveaux entièrement caillouteux alternant avec des niveaux limono-caillouteux très pauvres en argile (10 à 20 %), la surface étant très caillouteuse. Dans les fonds de vallée, on peut également trouver cette succession mais avec des niveaux limoneux moins caillouteux, souvent plus argileux (20 à 25 %) ; généralement on trouve des sols peu caillouteux, formés d'une succession de dépôts limoneux séparés par des lits de cailloux ayant 5 à 30 cm d'épaisseur (sur 1,50 m d'épaisseur il y a deux ou trois lits de cailloux) ; les dépôts limoneux ont des granulométries assez variables (20 à 40 % d'argile ; 45 à 70 % d'argile + limon) ; ils sont généralement plus argileux en profondeur qu'en surface, mais il est fréquent de voir l'inverse ; en surface il y a souvent, par petites taches, des dépôts sablo-graveleux (dépôts actuels). Quand un limon plus ancien apparaît en profondeur, on assiste en général à une forte augmentation de la teneur en argile.

G.- Structure : dans les sols bruns steppiques, elle est polyédrique à nuciforme en surface, polyédrique plus ou moins bien formée en profondeur. Dans les sols peu évolués, la structure, polyédrique à nuciforme en surface, est inexistante ou très mal formée en profondeur. La structure réapparaît, bien entendu, quand il y a un limon plus ancien en profondeur. La stabilité structurale est toujours très faible.

H.- Porosité : bonne

.../...

I.- Capacité de rétention : elle est souvent particulièrement forte (23 à 28 % en surface, 19 à 23 % en profondeur), ceci étant du à la richesse en matière organique et peut-être à la faiblesse de la structure.

J.- Perméabilité : elle est bien entendu très variable d'un profil à l'autre, en fonction de la granulométrie. Sur les cônes de déjection et les basses terrasses, elle est très forte ; au contraire dans certaines vallées où la granulométrie peut être très fine, elle peut être faible : 2 à 5 cm/heure. Enfin la présence en profondeur des limons plus anciens posent les mêmes problèmes que ceux que nous avons soulignés pour le type de sol précédent (voir p. 192).

K.- Matière organique : dans les fonds de vallées, ces sols sont particulièrement riches en matière organique, surtout les sols peu évolués d'apport : il peut y en avoir 2 à 4 % jusqu'à 10 - 15 cm ; 1,5 à 2,3 à 20 cm ; 1 % et même plus à 50 cm (il arrive que l'on en trouve encore 2 % à 80 - 90 cm). Cec s'explique pour deux raisons : ces sols situés dans les axes de drainage importants, sont les plus humides de la plaine, d'où une végétation plus développée ; d'autre part, ces sols conservent encore en profondeur de la matière organique ancienne enterrée par les dépôts récents. Signalons également que les rapports carbone sur azote sont nettement plus forts en profondeur que dans les types de sols précédents, ceci étant lié à la richesse en matière organique (ou à la pauvreté relative en azote minéral). Bien au contraire, les sols situés sur les basses terrasses et les cônes de déjection sont particulièrement pauvres en matière organique (mais restent très souvent presqu'aussi riches en profondeur qu'en surface : voir le profil nº N 12 : fig. Nº 64) : 0,8 à 1,4 % en surface ; 0,4 0,8 % à 50 cm ; ceci est lié à la fois à la position topographique qui entraîne une certaine sècheresse et surtout à la granulométrie très grossière dont les conséquences sont une trop grande perméabilité et une fertilité chimique faible.

L.- Eléments fertilisants : ces sols sont riches en potasse et pauvres en azote. Ils sont généralement pauvres en phosphore, sauf quelquefois quand le taux de matière organique est élevé.

.../...

M.- Salure et alcalisation : ces sols ne sont jamais salés ; ils sont très rarement alcalisés, sauf quand apparaît en profondeur un limon plus ancien.

N.- Mise en valeur : les possibilités de mise en valeur de ces sols sont, bien entendu, très variables. Dans les meilleurs cas (non caillouteux, perméabilité moyenne, topographie régulière) ils pourront être consacrés à une gamme assez étendue de cultures, à condition bien sûr, leur stabilité structurale étant particulièrement faible, d'introduire beaucoup de cultures fourragères et d'éviter les plantes sensibles au calcaire actif. Au contraire, dans les cas les plus mauvais (très caillouteux, fonds de vallées très encaissées, zones d'érosion ou d'alluvionnement actuel), ils ne pourront être consacrés qu'à des arbres : eucalyptus, amandiers, figuiers. Nous avons donc classé ces sols, suivant les cas, en catégorie 2, 3 et 4.

Profils-types

de

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX PROFONDS



PHOTO Nº 20

Horizon très rubéfié, à structure polyèdrique fine, d'accumulation maxima de l'argile et du calcaire. Taches calcaires très nombreuses.

Disparition rapide de la rubéfaction, des taches calcaires et de la structure. Diminution du taux d'argile.

Roche-mère (Soltanien).

(Profil nº N24: voir fig. nº 58)

Début de la rubéfaction, de l'accumulation d'argile et du calcaire. Structure polyèdrique large.

Horizon assez rubéfié, à structure polyèdrique assez fine, d'accumulation maxima de l'argile et du calcaire. Taches calcaires nombreuses.

Passage progressif à la roche-mère (Soltanien): diminution puis disparition de la rubéfaction, de la structure et des taches calcaires. Diminution du taux d'argile.

(Profil nº S374: voir fig. nº 60)



PHOTO Nº 21

SOLS CHATAINS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- sur roche-mère complexe très argileuse
- non salés, non alcalisés

Profil nº T 51

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 44)

Profondeur cm	CO_3Ca Total %	Sels Totaux gr/kg	pH		Capacit. Rétent. %	Is
			Eau	KCl		
3 - 8	0,5	0,85	8,7	7,4	22,6	2,9
15 - 20	0,3	0,55	8,8	7,3	30,0	-
30 - 35	0,3	0,55	8,8	7,4	27,2	2,6
47 - 52	8,2	0,60	8,8	7,4	28,0	-
72 - 80	20,9	0,80	8,9	7,6	22,7	1,7
110 - 120	33,6	1,25	8,9	7,6	25,2	1,6

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
3 - 8	1,61	0,94	0,10	9,8	1,26	0,33	9,6	-
15 - 20	1,00	0,56	0,07	8,2	1,49	0,32	12,0	-
30 - 35	0,97	0,56	0,06	8,6	0,74	0,37	12,2	-
47 - 52	0,65	0,37	0,05	6,8	2,43	-	10,6	-
72 - 80	0,24	0,15	-	-	-	-	-	-
110 - 120	0,14	0,08	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
3 - 8	66,3	46,8	6,4	5,3	1,1	12,8	59,6	11,6	11,9	4,6	28,1	5,9	4,3	2,1	12,3
15 - 20	84,3	46,4	6,3	5,2	2,1	13,6	60,0	10,8	11,9	4,3	27,0	5,8	5,1	2,1	13,0
30 - 35	89,5	52,7	6,5	2,2	3,2	11,9	64,6	8,5	11,4	4,2	24,1	5,2	3,9	2,2	11,3
47 - 52	64,2	50,0	6,4	5,3	4,3	16,0	66,0	10,1	8,6	3,4	22,1	4,7	4,3	2,9	11,9
72 - 80	69,2	38,3	8,3	5,2	4,2	17,7	56,0	12,5	11,0	4,9	28,4	6,7	5,8	3,1	15,6
110 - 120	60,5	37,6	11,2	3,0	5,1	19,3	56,9	12,1	10,9	4,9	27,9	6,0	5,2	4,0	15,2

TABLEAU Nº 22

SOLS CHATAINS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- sur roche-mère complexe très argileuse
- non salés, non alcalisés

Orange barré rouge *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 51

Situation : 3 km à l'ESE de Zaïo

Observations : pente moyenne, voisine de 3% ; micro-relief accentué; cultivé.

Rharbien (15 cm.)
Brun-ocre-rouge. Structure polyèdrique à nuciforme; surface un peu glacée. Caillouteux; surface très caillouteuse.

Soltanien (45 cm.)
Brun-rouge foncé, parfois rouille. Structure prismatique; sous-structure grumeleuse au sommet, polyèdrique à la base. Graveleux mais non caillouteux.

Soltanien (60 cm. – 70 cm.)
Brun-rouge. Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées. Graveleux et finement caillouteux. Taches et granules calcaires.

Cailloutis.

Tensiftien
Brun-rouge. Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées. Graveleux et finement caillouteux. Taches et granules calcaires nombreux.

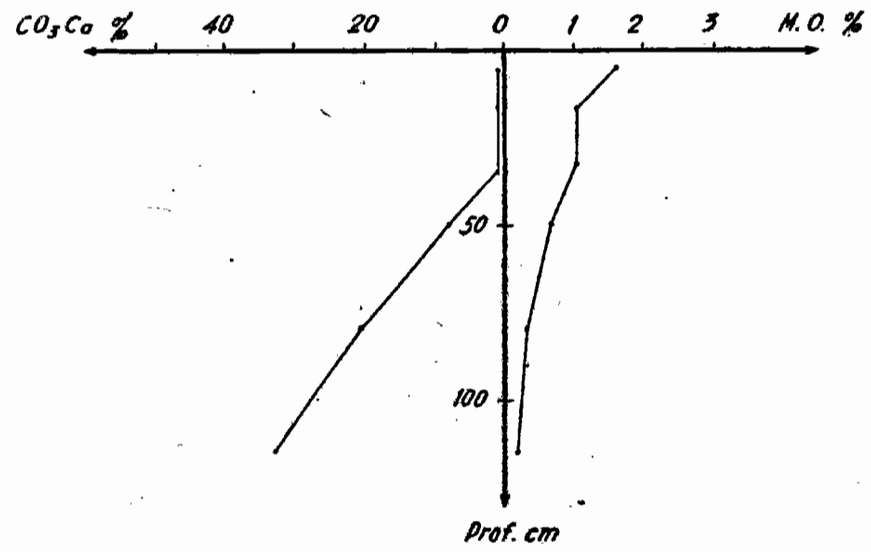
(95 cm. – 105 cm.)
Cailloutis.

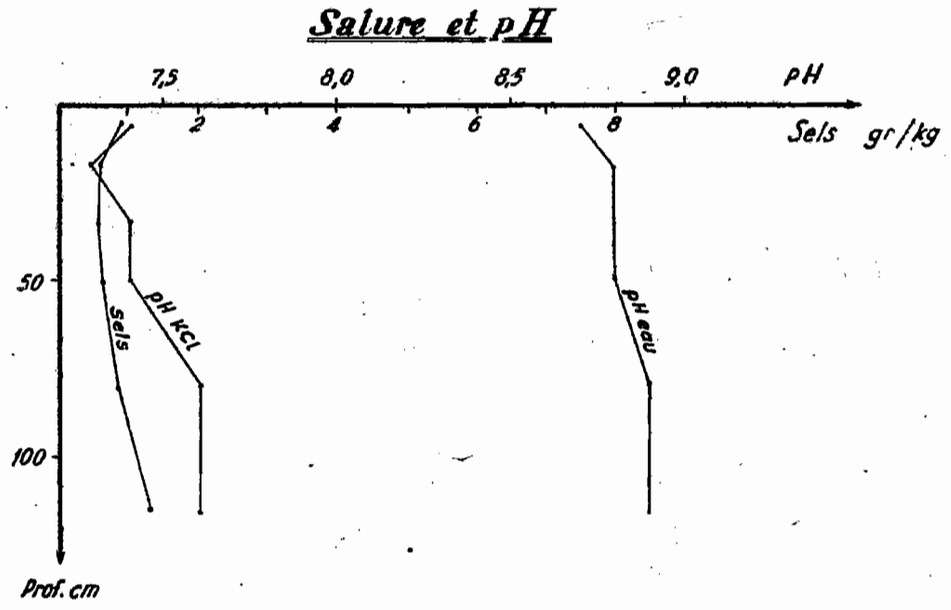
Tensiftien
Brun-rouge clair. Structure polyèdrique. Graveleux et finement caillouteux. Taches calcaires diffuses.

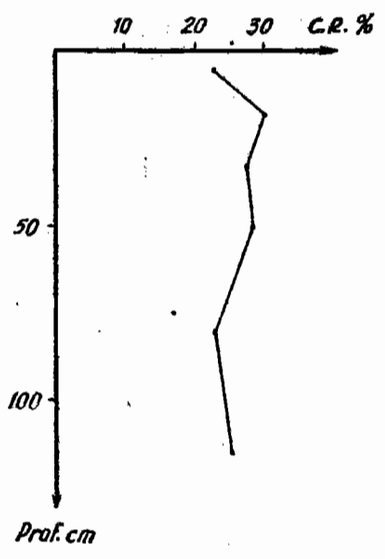
Résultats d'analyses : voir tableau nº 22

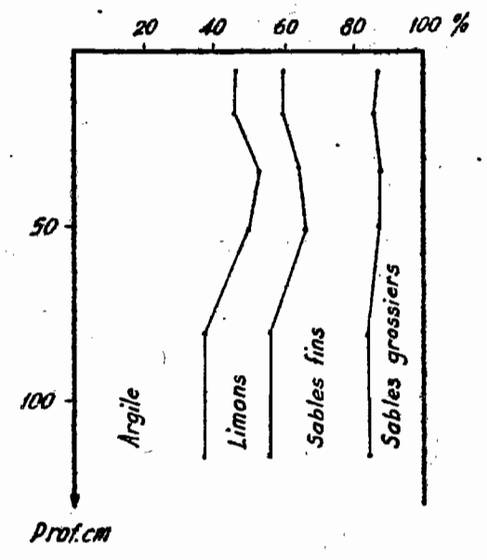
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 44









SOLS CHATAINS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- sur roche-mère complexe très argileuse
- non salés, non alcalisés

Profil nº T 62 (Encroûtement calcaire en profondeur)

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 45)

Profondeur cm	CO_3Ca Total %	Sels totaux gr/kg	pH Eau	pH KCl	Capacité rétent. %	Is
0 - 5	0,45	0,5	8,8	7,45	21,4	6,0
5 - 10	0,25	0,7	8,65	7,3	23,8	2,8
18 - 23	0,0	0,65	8,65	7,1	25,3	-
28 - 33	0,0	0,7	8,5	6,8	26,7	1,9
35 - 40	0,05	0,5	8,7	7,1	29,8	-
50 - 57	12,0	0,55	8,6	7,2	30,2	1,7
90 - 100	46,5	0,55	8,75	7,7	24,1	-

Profondeur cm	Matière organique Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Phosphore (P_2O_5) Total o/oo	Assim. o/oo	Potassium (K_2O) Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	1,94	1,12	0,15	7,7	0,51	0,31	3,3	0,78
5 - 10	2,32	1,34	0,11	12,4	0,85	0,25	8,7	-
18 - 23	1,00	0,58	0,05	12,6	3,25	0,48	10,4	-
28 - 33	0,90	0,52	0,06	8,7	-	0,31	10,4	-
35 - 40	0,98	0,57	0,06	9,5	3,50	0,43	12,5	-
50 - 57	0,61	0,35	0,05	7,1	0,62	-	9,6	-
90 - 100	0,22	0,13	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine % Arg.	Limons 3	Limons 2	Limons 1	Limons T	A+L	Sables fins 3	Sables fins 2	Sables fins 1	Sables fins T	Sables grossiers 3	Sables grossiers 2	Sables grossiers 1	Sables grossiers T
0 - 5	56,4	20,7	-	-	-	23,7	44,4	14,1	11,7	6,9	32,7	7,7	7,8	7,4	22,9
5 - 10	69,0	28,0	8,4	5,2	4,1	17,7	45,7	13,4	15,3	7,3	36,0	8,5	6,9	2,9	18,3
18 - 23	76,0	47,2	8,4	3,2	4,2	15,8	63,0	8,2	10,3	4,5	23,0	5,9	4,8	3,3	14,0
28 - 33	86,2	46,5	10,8	4,3	3,2	18,3	64,8	7,2	10,4	3,9	21,5	5,7	4,9	3,1	13,7
35 - 40	85,0	58,7	4,4	3,3	1,1	8,8	67,5	7,8	8,5	3,4	19,7	5,2	4,9	2,7	12,8
50 - 57	58,7	49,1	9,7	3,3	3,3	16,3	65,4	6,0	7,1	3,7	16,8	6,7	6,3	4,8	17,8
90 - 100	64,0	28,8	7,9	7,9	6,0	20,8	49,6	10,3	9,1	5,6	25,0	10,4	9,4	5,6	25,4

TABLEAU Nº 23

SOLS CHATAINS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- sur roche-mère complexe très argileuse
- non salés, non alcalisés

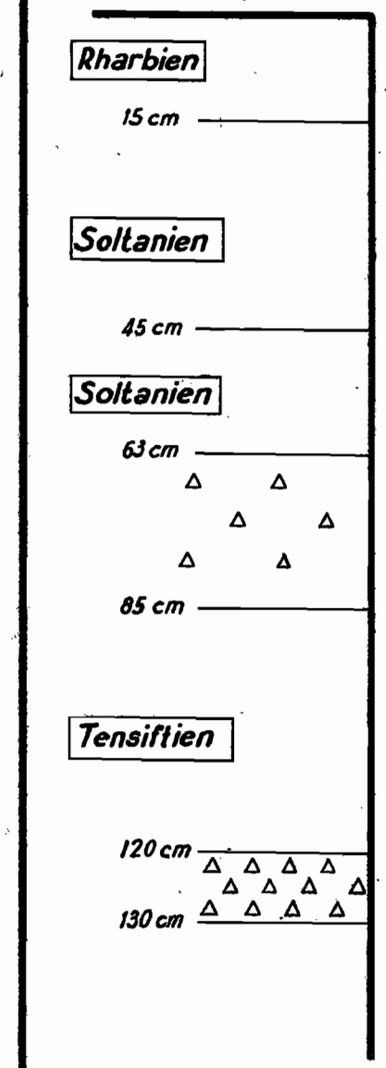
Orange barré rouge *

PROFIL - TYPE (Encroûtement calcaire en profondeur)

Profil nº : T 62

Situation : 2,5 km à l'E de Zaïo

Observations : pente forte, voisine de 5% ; micro-relief accentué ; cultivé.



Brun-ocre assez clair.
Structure nuciforme fine ; surface un peu glacée.
Caillouteux ; surface caillouteuse.

Brun-rouge foncé, parfois rouille surtout en profondeur.
Structure prismatique très bien formée.
Graveleux et un peu finement caillouteux.

Brun-rouge.
Structure polyèdrique fine.
Plus fortement graveleux et finement caillouteux.
Taches et granules calcaires.

Brun-rouge.
Structure polyèdrique fine.
Très caillouteux.
Taches et granules calcaires.

Encroûtement tuffeux.
Nettement plus calcaire en surface qu'en profondeur.
Graveleux et caillouteux.

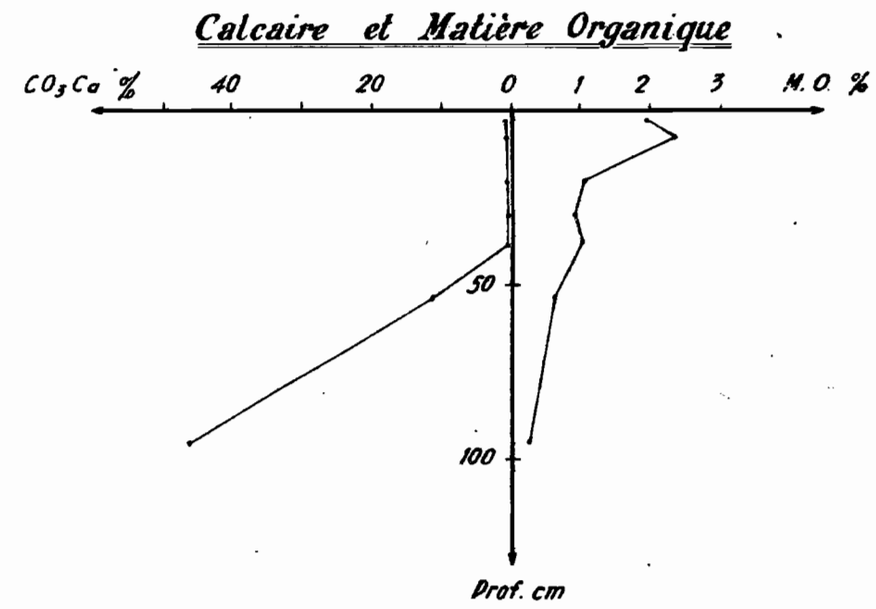
Cailloutis.

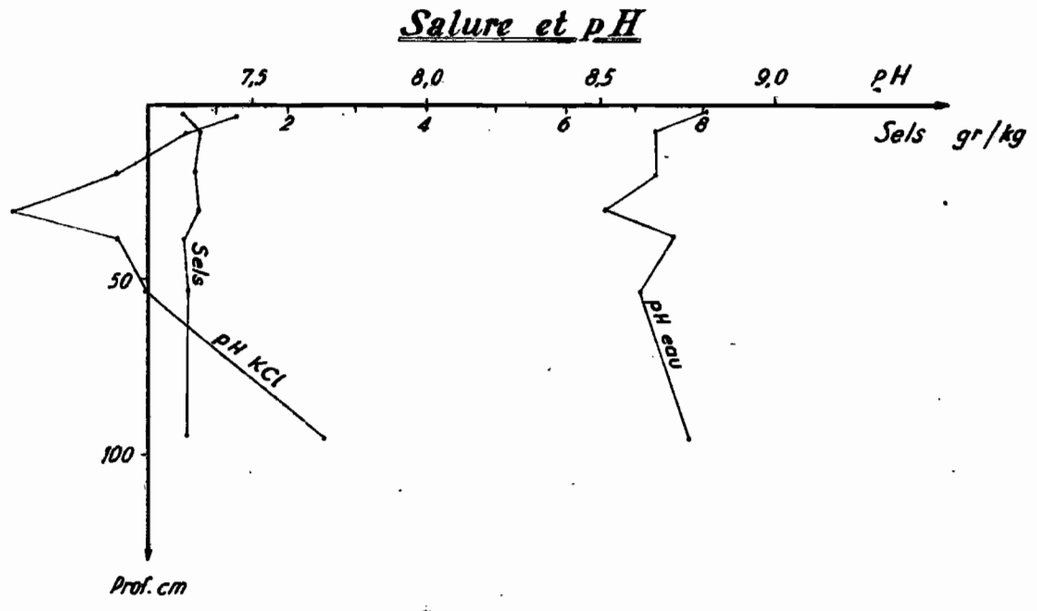
Limon à grosses taches blanches et rouge.

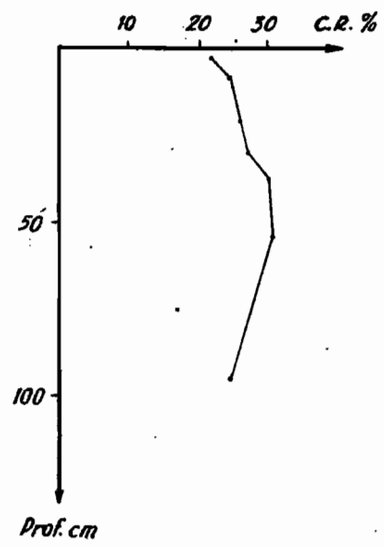
Résultats d'analyses : voir tableau nº 23

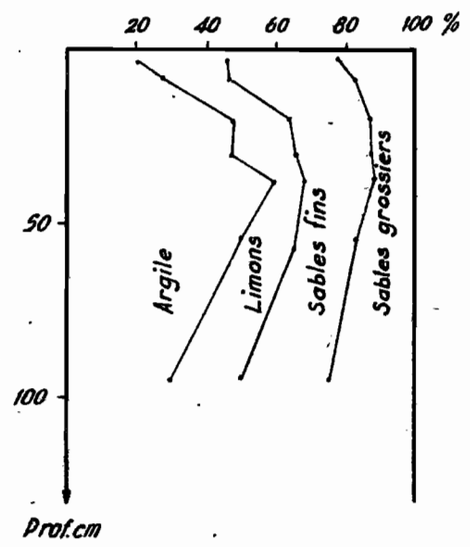
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 45









SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- peu calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- généralement non salés, non alcalisés

Profil nº T 6

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 46)

Profondeur cm	CO_3Ca Total %	Sels Totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 4	8,0	0,5	8,95	7,55	22,2	8,2
4 - 8	7,0	0,95	8,9	7,6	22,1	-
10 - 15	8,2	1,05	8,8	7,6	21,1	5,3
23 - 28	10,7	0,9	8,8	7,55	-	1,9
42 - 47	22,4	0,9	8,9	7,6	24,1	-
60 - 65	26,6	0,95	8,95	7,7	-	1,7

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 4	1,59	0,92	0,12	7,7	0,64	0,12	4,7	0,75
4 - 8	1,97	1,14	0,11	10,6	0,21	0,07	8,3	-
10 - 15	1,26	0,73	0,10	7,4	0,36	0,04	10,0	-
23 - 28	0,91	0,53	0,06	8,7	0,74	0,02	9,6	-
42 - 47	0,61	0,35	0,08	4,5	0,57	-	8,5	-
60 - 65	0,42	0,24	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 4	88,9	16,7	-	-	-	28,8	45,5	14,0	17,3	8,2	39,5	6,6	4,9	3,5	15,0
4 - 8	92,5	16,9	11,3	6,5	7,5	25,3	42,2	17,1	20,9	9,4	47,4	5,4	3,2	1,8	10,4
10 - 15	87,5	22,7	9,4	5,8	7,5	22,7	45,4	15,3	18,9	7,7	41,9	6,5	4,2	2,0	12,7
23 - 28	82,5	32,2	8,1	5,0	5,0	18,1	30,3	13,9	14,9	5,9	34,7	6,5	5,0	3,5	15,1
42 - 47	89,5	38,8	10,2	4,1	4,1	18,4	57,2	11,1	13,0	6,4	30,5	6,3	4,1	1,9	12,3
60 - 65	75,8	33,4	10,8	4,9	3,9	19,6	53,0	10,7	13,7	6,4	30,8	7,9	5,4	2,9	16,2

TABLEAU Nº 24

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- peu calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- généralement non salés, non alcalisés

Orange *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 6

Situation : 3.5 km à l'ESE de Zaio.

Observations : pente moyenne, voisine de 2% ; cultivé.

Rharbien

15 cm

Brun-ocre foncé.
Structure polyèdrique assez forte.
Surface un peu glacée, légèrement caillouteuse.

Soltanien

35 cm

Brun-ocre, plus rouge en profondeur.
Structure polyèdrique plus fine.
Graveleux et finement caillouteux.

Soltanien

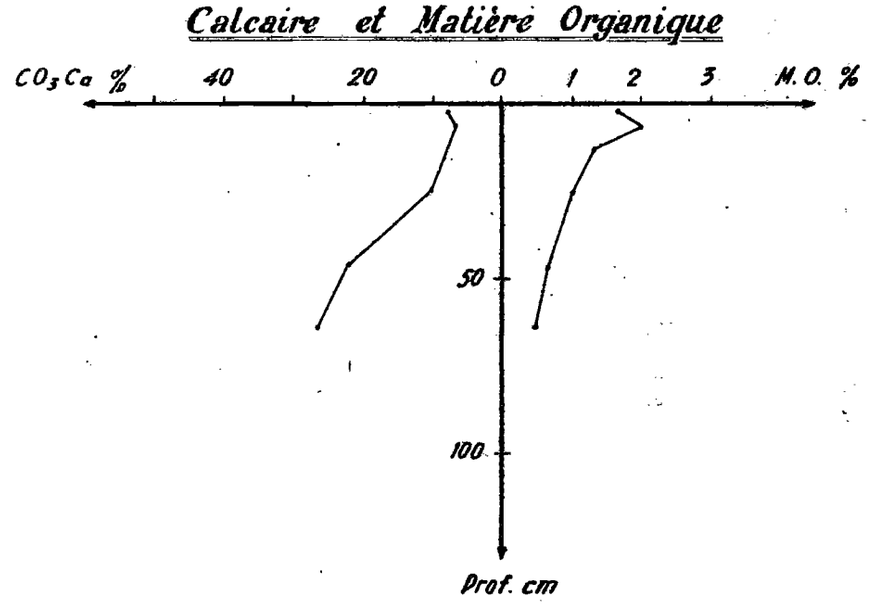
Brun-ocre-rouge.
Structure polyèdrique fine.
Graveleux et finement caillouteux; quelques cailloux plus gros.
Taches et granules calcaires nombreux.

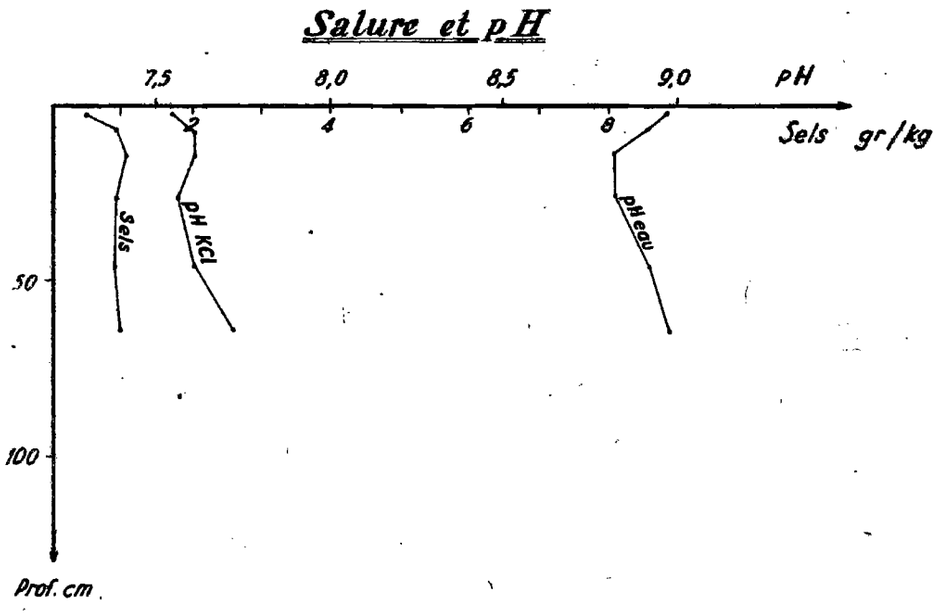
75 cm

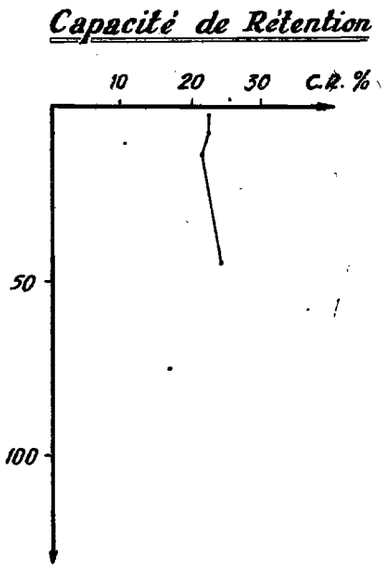
Cailloutis un peu limoneux.
Taches et granules calcaires au sommet, nettement moins nombreux en profondeur.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 24

* Couleur sur la carte pédologique







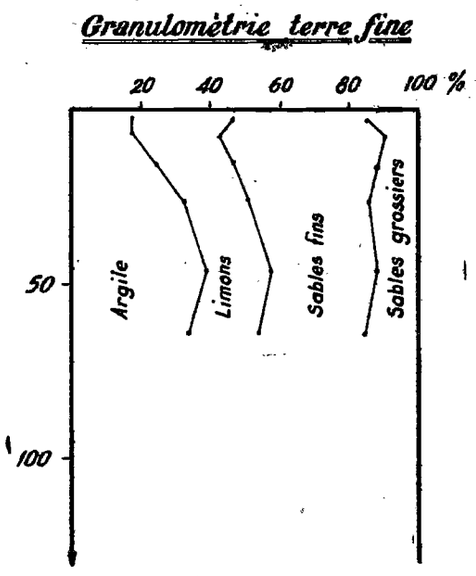


FIGURE Nº 46

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires.
- peu calcaires en sufface
- sur roche mère complexe assez argileuse
- généralement non salés, non alcalisés

Profil nº T 236

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 47)

Profondeur cm	CO_3Ca Total %	Sels Totaux gr/kg	pH		Capac. réten. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	8,8	0,6	8,8	7,5	21,4	4,4
10 - 15	11,3	1,05	8,55	7,5	22,2	2,9
25 - 30	18,1	1,0	8,85	7,45	18,2	4,0
38 - 43	28,7	1,7	8,9	7,55	22,8	5,0
55 - 60	39,8	2,4	8,65	7,4	22,8	4,2
110 - 120	33,8	2,5	8,8	7,9	22,6	0,7

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	1,86	1,08	0,11	9,6	1,36	0,22	4,2	0,33
10 - 15	1,12	0,65	0,09	7,2	0,76	0,06	6,4	0,33
25 - 30	0,82	0,47	0,06	7,3	0,80	0,07	5,4	0,30
38 - 43	0,55	0,32	0,06	5,7	1,04	0,07	5,4	0,25
55 - 60	0,31	0,17	0,04	4,7	1,44	0,04	6,7	0,21
110 - 120	0,16	0,9	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	54,5	14,5	-	-	-	26,4	40,9	11,8	17,4	8,9	38,1	8,3	6,9	5,8	21,0
10 - 15	63,5	27,3	-	-	-	27,1	54,4	9,9	14,2	6,4	30,5	7,4	5,1	2,6	15,1
25 - 30	81,7	33,6	-	-	-	27,6	61,2	8,5	11,7	5,4	25,6	6,5	4,6	2,1	13,2
38 - 43	83,3	32,2	-	-	-	31,8	64,0	7,9	10,1	5,1	23,1	5,7	5,0	2,2	12,9
55 - 60	67,2	29,6	-	-	-	37,7	67,3	7,5	8,1	4,9	20,5	5,8	4,2	2,2	12,2
110 - 120	68,3	23,2	-	-	-	33,6	56,8	12,7	11,0	5,7	29,4	6,5	5,5	1,8	13,8

TABLEAU Nº 25

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- a taches, granules et nodules calcaires
- peu calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- généralement non salés, non alcalisés

Orange *

PROFIL - TYPE

Profil n° : T 236

Situation : 2 km au Sud de Zaio

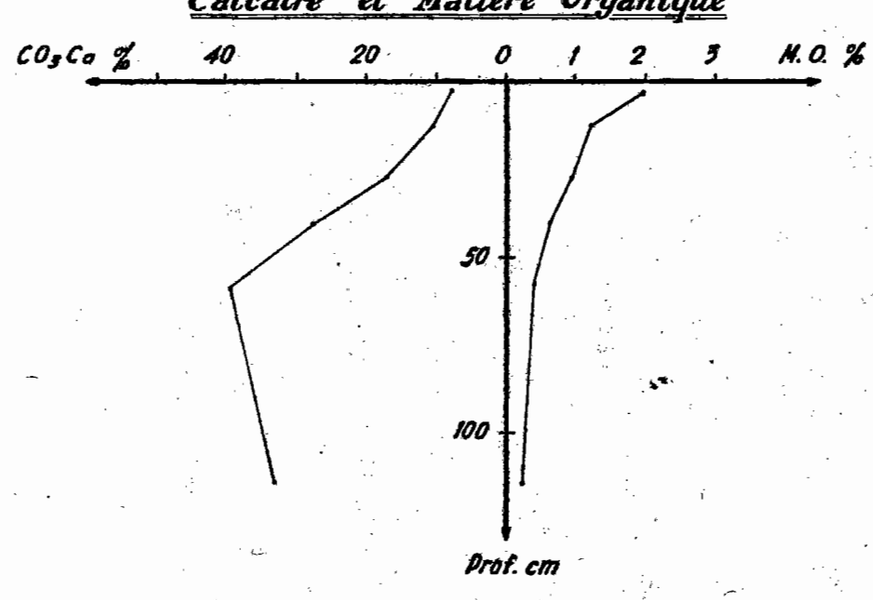
Observations : pente moyenne: 1,5 à 2% ; cultivé.

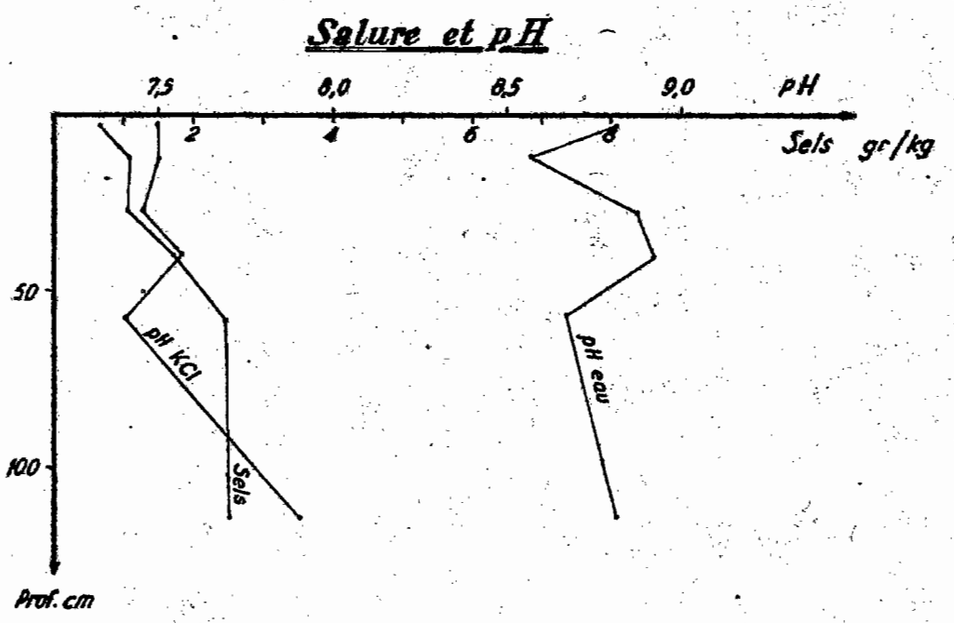
Rharbien / Soltanien	0 – 25 cm	Brun-ocre assez rouge, plus rouge en profondeur. Structure polyèdrique à nuciforme assez forte. Graveleux et finement caillouteux, un peu plus en surface qu'en profondeur. Surface assez caillouteuse.
Soltanien	25 – 50 cm	Brun-ocre-rouge. Structure polyèdrique fine. Graveleux et finement caillouteux. Taches et granules calcaires.
Tensiftien	50 – 85 cm	Brun-ocre-rose. Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées, assez soudée. Graveleux et finement caillouteux. Taches et granules nombreux; localement c'est assez tuffeux.
	85 – 100 cm	Cailloutis
Tensiftien	100 cm –	Brun-ocre. Structure polyèdrique, assez faible. Légèrement graveleux et finement caillouteux. Grosses taches, granules et nodules calcaires très nombreux, surtout au sommet.

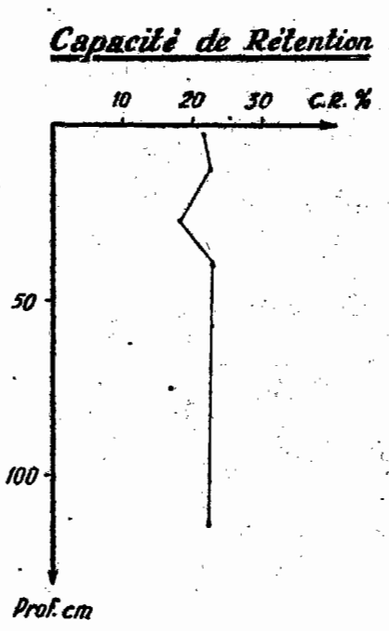
Résultats d'analyses : voir tableau n° 25

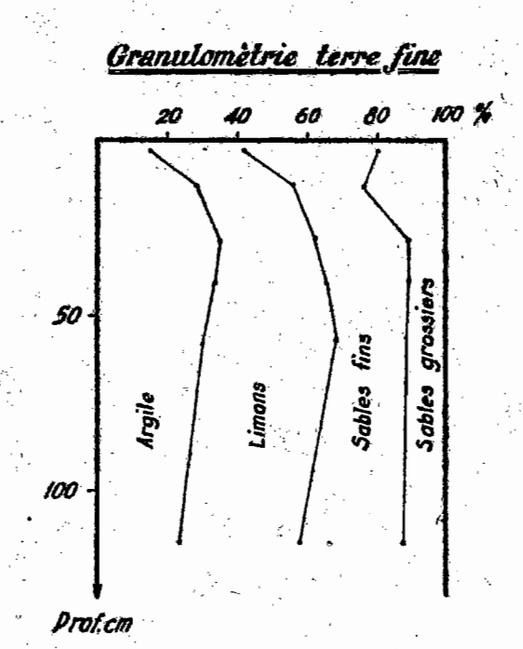
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE N° 47









SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- peu calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- généralement non salés, non alcalisés

Profil nº T 431

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 48)

Profondeur cm	CO_3Ca Total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	5,3	0,65	8,8	7,5	20,0	5,2
10 - 15	5,7	1,05	8,7	7,4	23,8	2,4
25 - 30	13,5	1,0	8,6	7,5	22,4	-
45 - 50	25,3	0,95	8,6	7,6	22,2	-
65 - 72	33,4	1,6	8,7	7,7	-	2,9
90 - 98	33,4	1,75	8,8	7,8	-	-
110 - 120	21,4	1,7	9,0	7,9	-	1,9

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	1,70	0,99	0,13	7,4	1,36	0,39	9,2	0,56
10 - 15	1,05	0,61	0,08	8,0	0,68	0,06	9,9	0,87
25 - 30	0,73	0,43	0,06	7,3	0,68	0,03	6,7	0,54
45 - 50	0,48	0,28	0,03	8,2	0,86	0,04	12,2	0,34
65 - 72	0,22	0,12	-	-	-	-	-	-
90 - 98	0,15	0,09	-	-	-	-	-	-
110 - 120	0,15	0,06	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %												
		Arg.	Limons				A + I	Sables fins				Sables grossiers		
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	81,2	12,4	-	-	-	25,8	38,2	14,8	18,5	9,3	42,6	8,9	5,9	4,4	19,2
10 - 15	85,0	31,2	16,7	2,1	6,2	25,0	56,2	14,9	13,6	4,5	33,0	5,5	3,3	2,0	10,8
25 - 30	85,8	27,8	20,4	5,3	6,4	32,1	59,9	13,8	10,6	5,4	29,8	5,0	4,1	1,2	10,3
45 - 50	93,4	44,8	9,0	7,0	2,0	18,0	62,8	7,5	11,0	4,5	23,0	4,0	4,1	6,1	14,2
65 - 72	96,5	35,2	14,5	8,3	4,1	26,9	62,1	13,3	7,5	4,2	25,0	3,6	3,7	5,6	12,9
90 - 98	97,9	32,3	18,2	6,0	7,0	31,2	63,5	16,5	9,3	3,2	29,0	3,4	2,1	2,0	7,5
110 - 120	89,3	34,3	15,1	7,0	5,0	27,1	61,4	10,4	11,3	4,8	26,5	4,1	3,3	4,7	12,1

TABLEAU Nº 26

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- peu calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- généralement non salés, non alcalisés

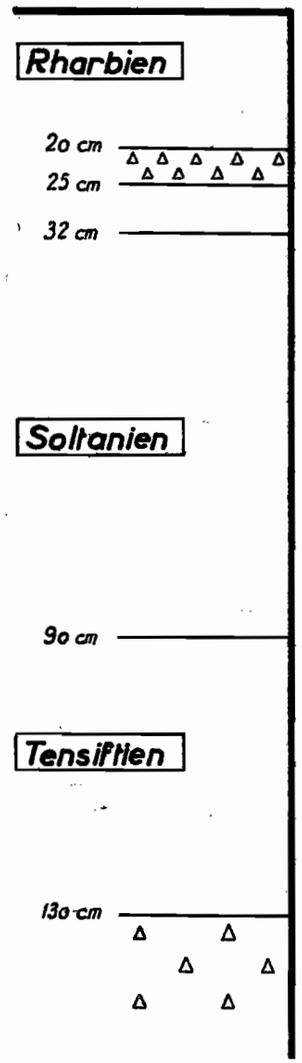
Orange *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 431

Situation : 2,2 km au SSE de Zaïo

Observations : pente moyenne: 1,5 à 2% ; cultivé.



Brun-ocre assez rouge.
Structure nuciforme à tendance polyèdrique.
Un peu caillouteux; surface un peu caillouteuse.

Cailloutis.

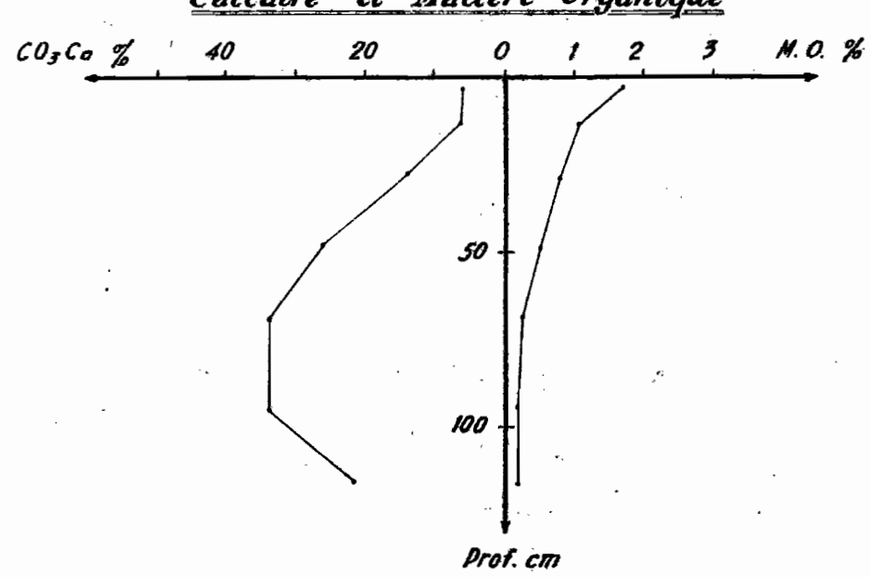
Brun-ocre-rouge, Structure polyèdrique fine.
Graveleux et finement caillouteux.

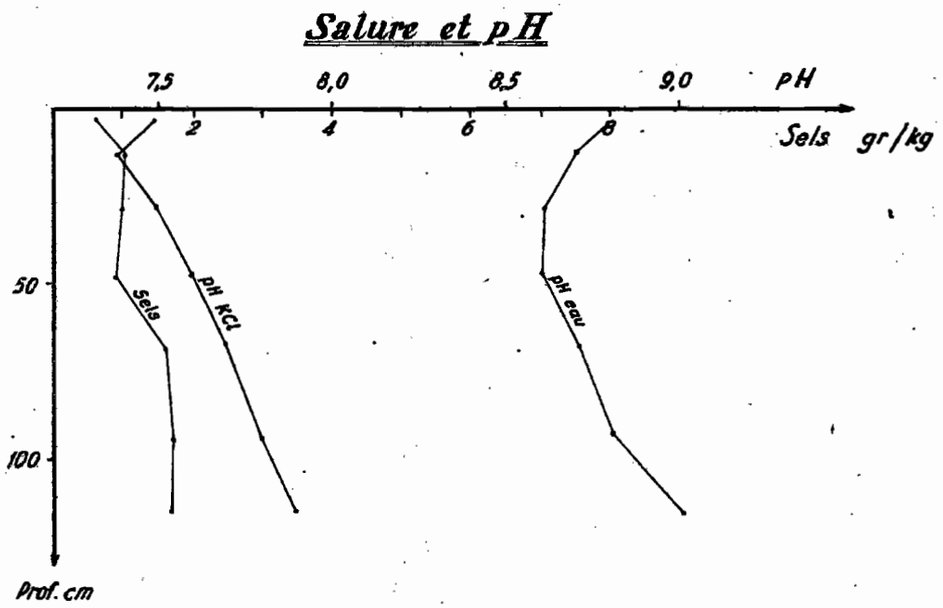
Brun-ocre-rouge.
Structure polyèdrique fine puis polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Graveleux et finement caillouteux.
Taches et granules calcaires, de plus en plus nombreux en profondeur.

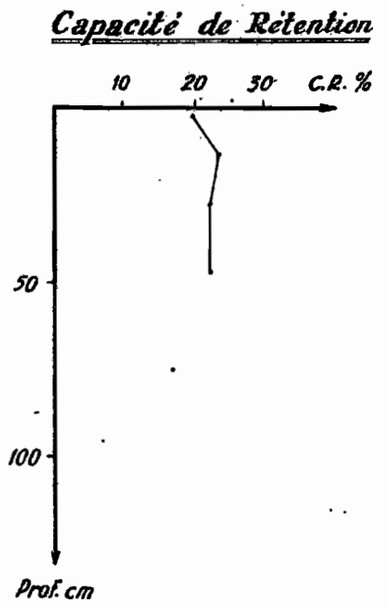
Ocre-rouge.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Graveleux et finement caillouteux.
Taches et granules calcaires nombreux ; nodules en profondeur.

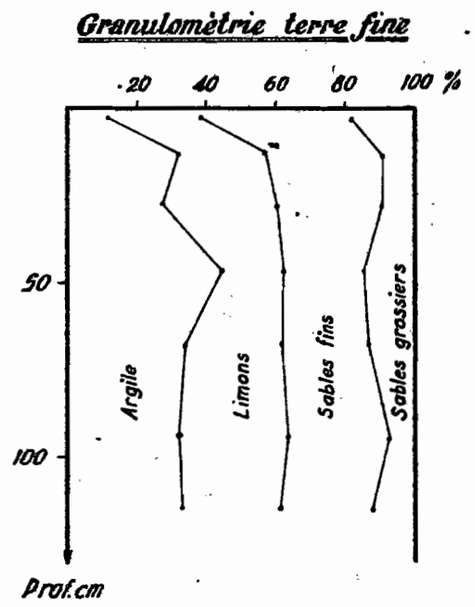
Idem, mais très caillouteux.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 26









* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 48

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Profil nº T 131

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 49)

Profondeur cm	CO_3Ca Total %	Sels totaux gr/kg	pH Eau	pH KCl	Capac. rétent. %	Is
0 - 5	16,5	0,75	8,85	7,6	22,0	2,4
12 - 17	15,7	0,9	8,55	7,5	22,4	3,1
32 - 37	21,3	0,65	8,75	7,5	21,0	-
58 - 63	38,1	0,65	8,9	7,7	19,2	3,4
85 - 95	40,5	0,65	9,0	7,9	18,5	-
105 - 115	34,8	0,7	9,25	8,0	18,0	1,2

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	CN	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	3,13	1,82	0,18	10,0	1,04	0,15	8,1	1,02
12 - 17	2,64	1,53	0,16	9,6	0,80	0,10	6,7	0,72
32 - 37	1,29	0,75	0,09	8,6	0,80	0,05	5,2	0,30
58 - 63	0,53	0,31	0,05	6,0	2,08	0,05	4,0	0,20
85 - 95	0,25	0,14	-	-	-	-	-	-
105 - 115	0,18	0,10	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	74,0	18,7	-	-	-	30,2	48,9	12,9	11,8	8,1	32,8	7,4	6,1	4,8	18,3
12 - 17	89,6	22,5	-	-	-	30,8	52,3	10,8	11,1	6,8	28,7	7,9	5,6	4,5	18,0
32 - 37	56,8	33,8	-	-	-	26,2	60,0	9,3	9,4	6,5	25,2	6,5	4,6	3,7	14,8
58 - 63	75,0	28,3	-	-	-	28,8	57,1	7,5	7,9	6,1	21,5	8,8	6,5	6,1	21,4
85 - 95	58,3	22,0	-	-	-	25,8	47,8	5,2	10,4	12,2	27,8	12,7	6,8	4,9	24,4
105 - 115	72,2	19,0	-	-	-	25,4	44,4	5,2	11,8	11,1	28,1	12,1	7,9	7,5	27,5

TABLEAU Nº 27

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Vert clair *

PROFIL - TYPE

Profil n° : T 131

Situation : 2 km à l'ESE de Zaïo

Observations : pente moyenne, voisine de 3%; micro-relief assez accentué; cultivé.

Rharbien

Brun assez foncé. Structure polyèdrique, légèrement nuciforme en surface. Surface un peu glacée. Un peu caillouteux; surface assez caillouteuse.

25 cm

Soltanien

Brun-ocre. Structure polyèdrique. Très caillouteux. Quelques taches et granules calcaires.

45 cm

Tensiftien

Brun-ocre-rose.
Structure polyèdrique fine.
Graveleux et finement caillouteux.
Plus calcaire vers le bas; taches et granules calcaires nombreux.

75 cm

80 cm

Cailloutis.

Tensiftien

Brun-ocre. Structure polyèdrique fine.
Fortement graveleux et finement caillouteux.
Plus calcaire vers le haut; grosses taches, granules et nodules calcaires nombreux.

110 cm

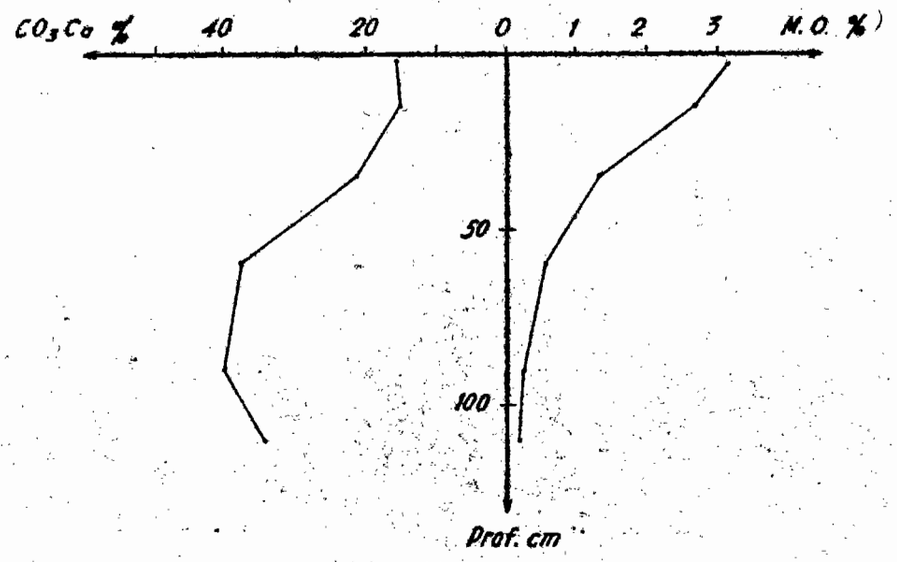
Cailloutis limoneux.
Taches calcaires.

Résultats d'analyses : voir tableau n° 27

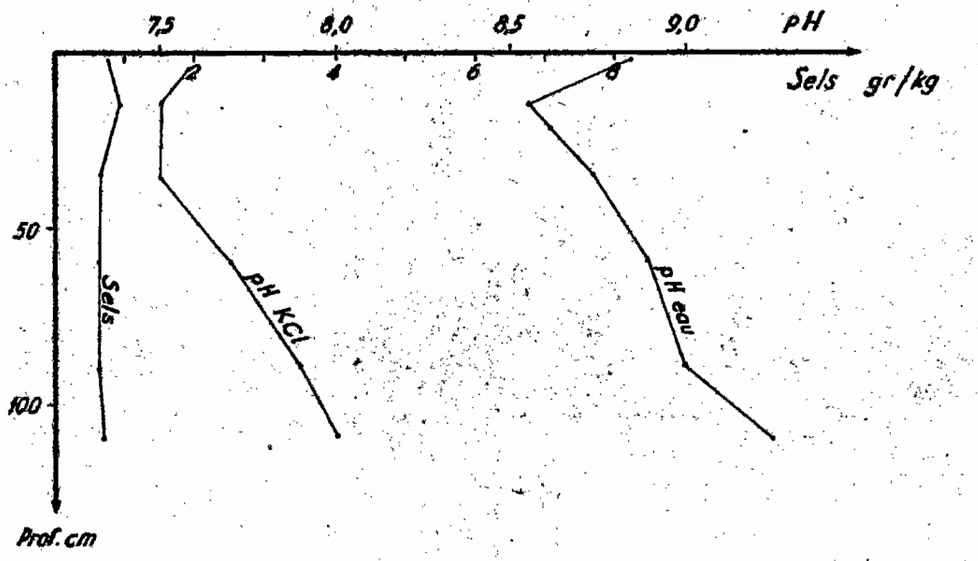
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE N° 49

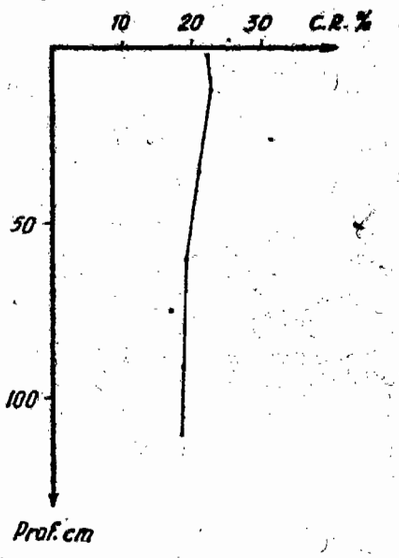
Calcaire et Matière Organique



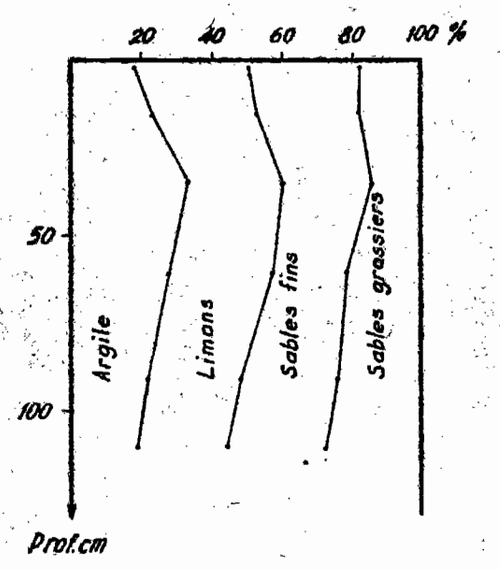
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Profil nº T 144

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 50)

Profondeur cm	CO_3Ca Total %	Sels totaux gr/kg	p H		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	20,8	0,65	8,95	7,75	21,2	8,0
12 - 17	21,3	0,7	8,85	7,8	20,4	2,9
33 - 38	27,4	0,6	8,95	7,7	20,0	-
48 - 53	33,0	0,6	9,05	7,75	19,8	4,9
80 - 88	29,9	0,8	9,45	7,9	16,0	4,8

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	1,80	1,05	0,11	9,6	2,20	0,03	6,3	0,60
12 - 17	1,07	0,62	0,08	8,1	3,68	0,04	8,1	0,30
33 - 38	0,67	0,38	0,05	7,9	0,56	0,08	9,6	0,30
48 - 53	0,46	0,27	0,05	5,6	0,40	0,02	3,3	0,12
80 - 88	0,21	0,12	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	92,8	23,6	-	-	-	28,5	52,1	9,2	15,4	8,3	32,9	7,6	4,3	3,1	15,0
12 - 17	89,0	26,1	-	-	-	31,4	57,5	11,3	11,4	6,9	29,6	6,1	4,0	2,8	12,9
33 - 38	94,0	32,2	-	-	-	31,8	64,0	8,7	9,0	5,9	23,6	6,1	3,7	2,6	12,4
48 - 53	83,7	32,9	-	-	-	32,4	65,3	8,0	7,9	5,9	21,8	5,6	3,8	3,5	12,9
80 - 88	78,9	23,1	-	-	-	25,3	48,4	8,0	7,6	7,6	23,2	13,1	8,7	6,6	28,4

TABLEAU Nº 28

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

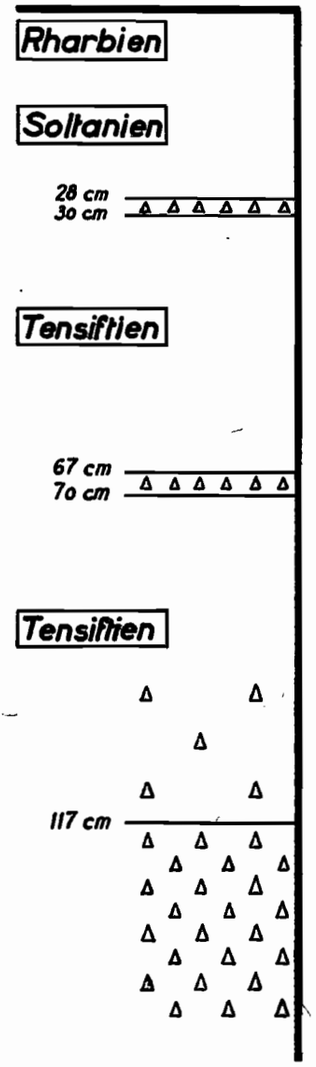
Vert clair *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 144

Situation : 1,8 km au SE de Zaïo

Observations : pente moyenne, de 2,5 à 3%; cultivé.



Brun-ocre.
Structure polyèdrique; un peu glacé en surface.
Surface légèrement caillouteuse.

Cailloutis.

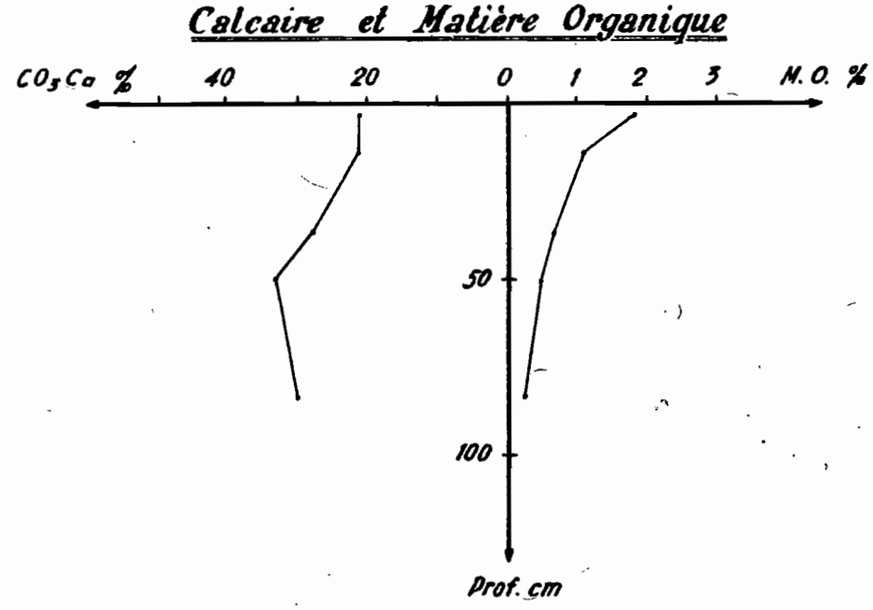
Brun-ocre un peu plus rouge.
Structure polyèdrique fine, à tendance polyèdro-cubique à facettes lissées.
Un peu graveleux et finement caillouteux.
Taches et granules calcaires assez nombreux.

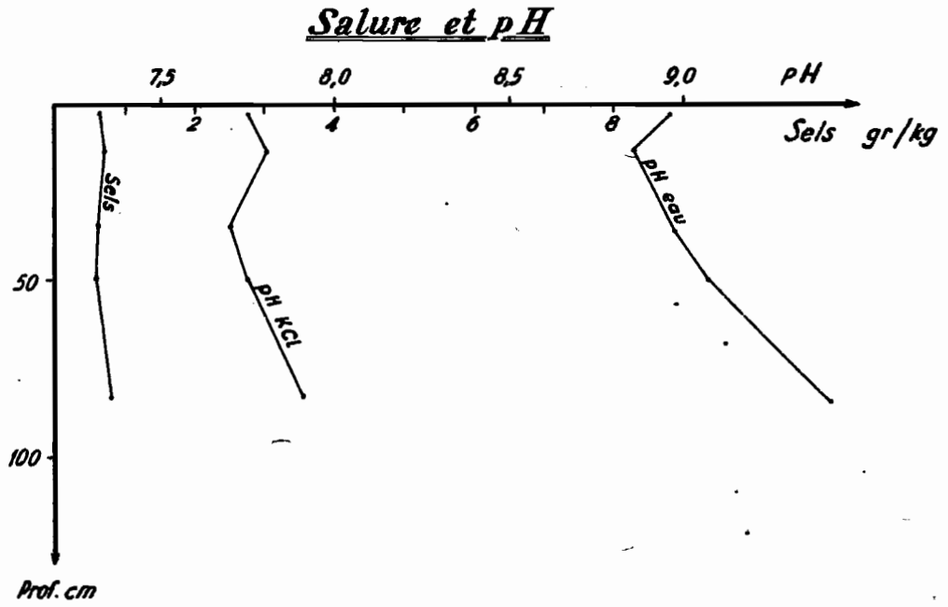
Cailloutis.

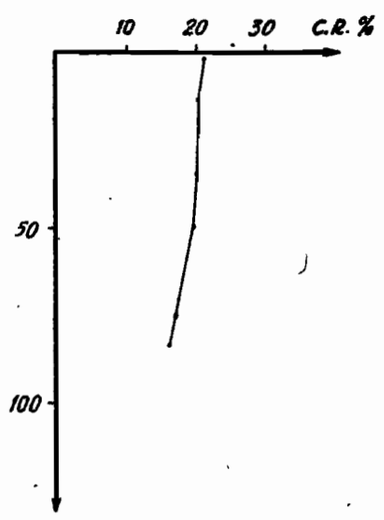
Brun-ocre-rouge.
Structure polyèdrique moyenne.
Graveleux et finement caillouteux; assez fortement caillouteux à partir de 100 cm.
Taches, granules et nodules calcaires.

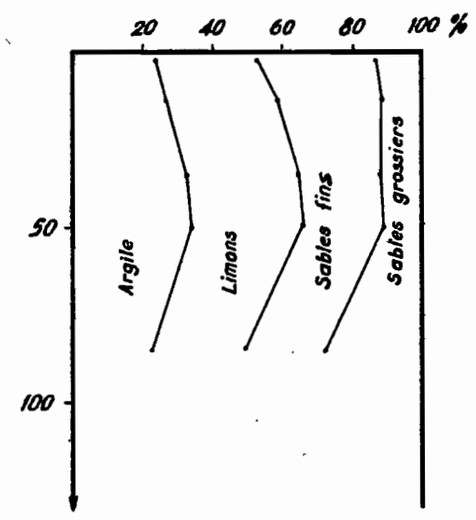
Cailloutis.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 28









* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 50

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Profil nº T 245

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 51)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	14,0	1,15	8,5	7,6	25,6	6,2
10 - 15	14,0	0,9	8,7	7,7	24,0	6,2
28 - 33	14,5	0,6	8,9	7,65	21,8	2,8
37 - 42	18,3	0,75	8,95	7,6	-	-
50 - 60	34,8	1,5	9,05	7,8	20,2	3,9
75 - 85	46,5	2,7	8,8	8,1	-	-
95 - 105	52,4	3,2	8,7	8,2	19,2	1,8

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim o/oo
0 - 5	2,49	1,44	0,12	12,0	1,44	0,04	9,6	0,60
10 - 15	1,75	1,02	0,16	6,3	1,04	0,04	9,2	0,56
28 - 33	0,93	0,54	0,07	7,4	0,80	0,08	10,0	0,44
37 - 42	0,53	0,30	0,05	5,7	1,04	0,06	8,3	0,30
50 - 60	0,40	0,24	-	-	-	-	-	-
75 - 85	0,24	0,13	-	-	-	-	-	-
95 - 105	0,21	0,12	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	93,4	22,7	-	-	-	39,3	62,0	12,0	13,4	5,7	31,1	3,7	2,4	0,8	6,9
10 - 15	93,7	22,5	-	-	-	36,8	59,3	16,4	11,7	5,9	34,0	3,5	2,4	0,8	6,7
28 - 33	81,9	24,8	-	-	-	34,9	59,7	12,4	15,8	6,4	34,6	3,6	2,2	0,6	6,4
37 - 42	80,7	37,8	-	-	-	27,8	65,6	10,9	11,7	5,2	27,8	2,8	2,0	1,8	6,6
50 - 60	81,7	41,8	-	-	-	32,3	74,1	6,4	9,4	3,7	19,5	2,7	1,8	1,9	6,4
75 - 85	60,7	32,6	-	-	-	33,8	66,4	5,4	8,9	4,9	19,2	5,1	4,6	4,7	14,4
95 - 105	84,4	28,2	-	-	-	35,3	63,5	6,3	9,3	5,2	20,8	5,4	5,2	5,1	15,7

TABLEAU Nº 29

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Vert clair *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 245

Situation : 3,5 km au Sud de Zaïo

Observations : pente moyenne à faible, de 1 à 1,5% ; cultivé.

Rharbien

Brun assez clair.
Structure lamellaire sur 1 cm, puis polyèdrique à nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur.
Surface glacée.

Soltanien

27 cm

Soltanien

Brun-ocre.
Structure polyèdrique fine.
Très caillouteux.
Quelques taches calcaires à la base.

42 cm

Tensiftien

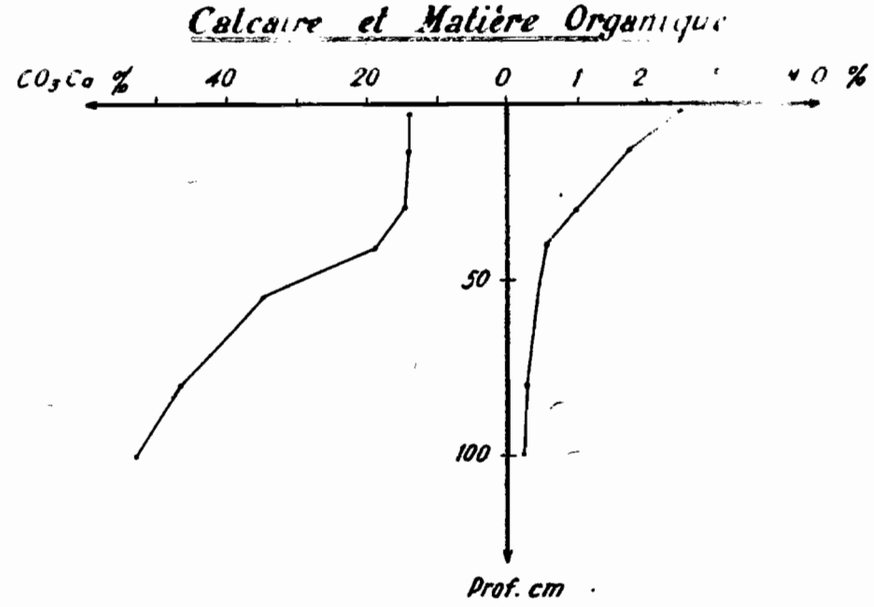
Ocre-rose.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Graveleux et finement caillouteux.
Taches et granules calcaires ; les taches grossissent en profondeur.
Cailloutis.

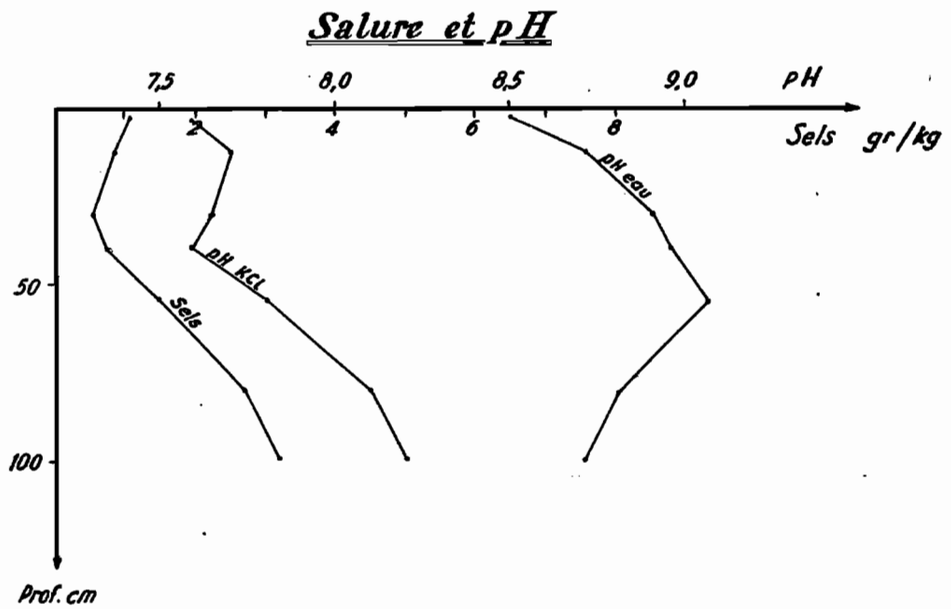
67 cm
68 cm

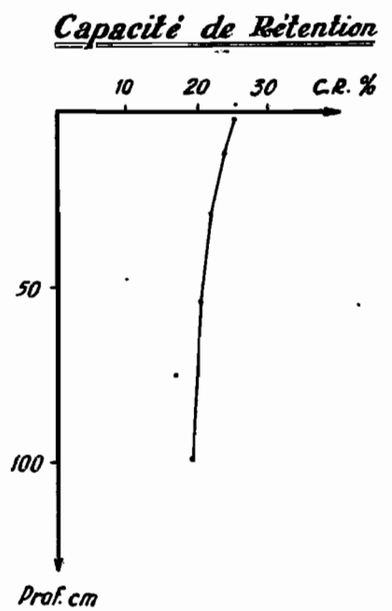
Tensiftien

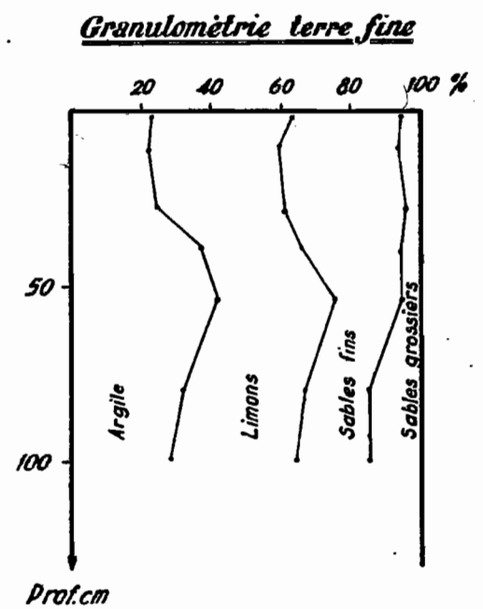
Les taches et granules calcaires deviennent nettement plus nombreux. Localement même, il y a une certaine tendance à l'encroûtement.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 29









* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 51

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Profil nº T 249

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 52)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		capac. rétent %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	16,5	0,7	8,75	7,5	26,4	4,6
10 - 15	16,1	1,25	8,4	7,2	27,2	3,5
30 - 35	19,5	0,85	8,5	7,25	22,8	4,3
52 - 60	23,2	0,6	8,7	7,3	22,4	-
65 - 73	29,0	0,6	8,8	7,5	23,0	3,6
80 - 88	30,2	0,6	9,0	7,7	-	-
105 - 115	39,8	0,7	9,2	7,9	-	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim o/oo	Total o/oo	Assim o/oo
0 - 5	3,54	2,06	0,17	11,8	0,91	0,07	4,2	0,93
10 - 15	3,61	2,10	0,20	10,7	0,96	0,10	4,8	0,78
30 - 35	1,80	1,05	0,12	8,8	1,60	0,06	5,6	0,51
52 - 60	0,77	0,44	0,06	6,9	1,09	0,11	4,8	0,39
65 - 73	0,62	0,36	0,09	4,2	1,09	0,05	5,1	0,36
80 - 88	0,45	0,26	-	-	-	-	-	-
105 - 115	0,19	0,11	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	98,4	24,1	-	-	-	39,2	63,3	18,1	10,5	3,2	32,0	1,8	1,4	1,5	4,7
10 - 15	98,2	20,4	-	-	-	40,8	61,2	17,4	9,7	5,9	33,0	3,3	1,5	1,0	5,8
30 - 35	94,4	27,6	-	-	-	36,1	63,7	12,7	10,2	5,6	28,5	3,3	2,5	2,0	7,8
52 - 60	88,3	32,7	-	-	-	29,9	61,6	14,7	9,2	6,0	29,9	3,0	2,3	2,2	7,5
65 - 73	96,9	40,0	-	-	-	30,3	70,3	10,2	8,8	4,5	23,5	2,5	2,0	1,7	6,2
80 - 88	93,3	44,1	-	-	-	32,4	76,5	7,1	7,6	3,9	18,6	1,9	1,5	1,5	4,9
105 - 115	74,4	43,5	-	-	-	9,6	53,1	13,1	11,6	6,7	31,4	5,9	5,2	4,4	15,5

TABLEAU Nº 30

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Vert clair *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 249

Situation : 4 km au SSW de Zaïo

Observations : fond de vallon très évasé; cultivé

Rharbien

Brun; plus ocre en profondeur.
Structure nuciforme bien formée sur les 20 premiers cm (horizon cultivé particulièrement profond); puis polyèdrique assez large et forte. La surface est un peu glacée.

Soltanien

45 cm
50 cm

Cailloutis.

Brun-ocre-rouge, plus rouge en profondeur.
Structure polyèdrique assez fine, de plus en plus fine en profondeur; structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées tout à fait en profondeur.
Un peu graveleux et finement caillouteux.
Taches et granules calcaires, peu nombreux au sommet, plus nombreux à la base.

Soltanien

90 cm
105 cm

Cailloutis.

Tensiftien

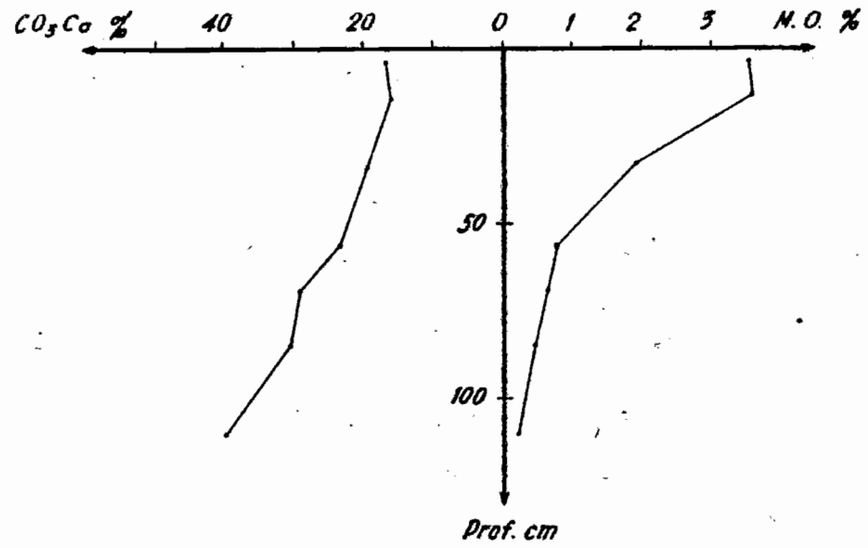
Ocre-rose, avec taches plus blanches ou plus rouges.
Très compact.
Structure polyèdrique très soudée.
Un peu graveleux et finement caillouteux.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 30

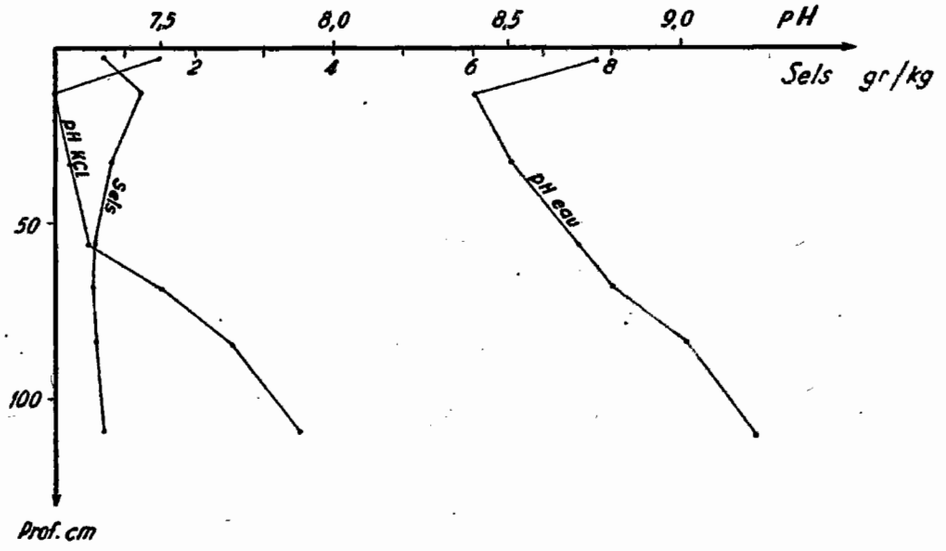
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 52

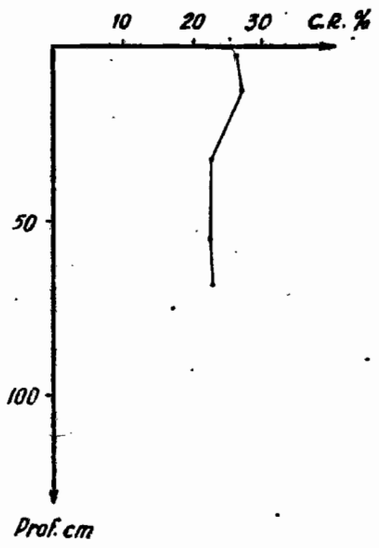
Calcaire et Matière Organique



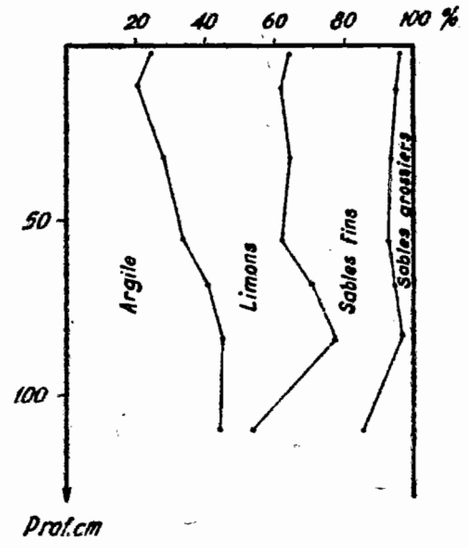
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Profil nº T 309

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 53)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	29,8	0,75	8,8	7,2	-	-
10 - 15	25,9	-	8,65	7,25	26,4	-
20 - 25	27,9	-	9,0	7,35	25,6	-
45 - 50	34,6	1,05	9,0	7,4	22,8	-
75 - 80	36,3	2,35	8,8	7,4	23,2	-
95 - 100	28,8	2,65	8,65	7,4	23,6	-
130 - 140	24,6	3,5	8,7	7,4	20,6	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim o/oo	Total o/oo	Assim o/oo
0 - 5	1,43	0,84	-	-	-	-	-	-
10 - 15	1,15	0,67	0,08	8,0	1,16	0,08	6,9	0,75
20 - 25	0,88	0,51	0,06	8,2	1,38	0,05	5,9	0,66
45 - 50	0,39	0,22	0,04	4,9	1,12	0,03	5,2	0,51
75 - 80	0,20	0,11	-	-	-	-	-	-
95 - 100	0,15	0,08	-	-	-	-	-	-
130 - 140	0,12	0,07	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	96,0	14,5	12,0	12,0	7,0	31,0	45,5	16,7	16,6	8,3	41,6	6,1	3,7	3,1	12,9
10 - 15	97,5	21,3	12,2	11,1	5,0	28,3	49,6	15,8	15,0	8,0	38,8	5,7	3,4	2,5	11,6
20 - 25	83,3	34,8	12,7	9,4	5,3	27,4	62,2	15,0	10,9	4,0	29,9	3,9	2,9	1,1	7,9
45 - 50	93,3	35,7	18,9	6,3	10,5	35,7	71,4	7,7	11,7	2,8	22,2	2,9	2,0	1,5	6,4
75 - 80	95,0	44,1	10,5	8,4	5,2	24,1	68,2	13,6	10,4	2,8	26,8	2,6	1,6	0,8	5,0
95 - 100	96,2	40,5	7,1	9,1	5,0	21,2	61,7	20,1	11,8	3,3	35,2	1,6	1,1	0,4	3,1
130 - 140	98,2	32,2	4,0	7,0	4,0	15,0	47,2	13,1	17,4	12,3	42,8	9,6	1,2	0,2	11,0

TABLEAU Nº 31

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches, granules et nodules calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe assez argileuse
- salure et alcalisation, en profondeur, variables

Vert clair *

PROFIL - TYPE

Profil n° : T 309

Situation : 4,5 km au SE de Zaïo

Observations : pente moyenne à faible, de 1 à 1,5 %; cultivé.

Rharbien

Brun-ocre.
Structure lamellaire sur 1 cm, puis polyèdrique à nuciforme en surface, polyèdrique assez large en profondeur. Surface glacée.
Un peu graveleux.

35 cm

Soltanien

Brun-ocre-rouge.
Structure polyèdrique, de plus en plus fine avec la profondeur.
Graveleux et finement caillouteux.
Taches calcaires nombreuses.
Cailloutis

60 cm
62 cm

Tensiftien

Ocre-rouge.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Un peu graveleux.
Taches calcaires nombreuses et quelques granules.

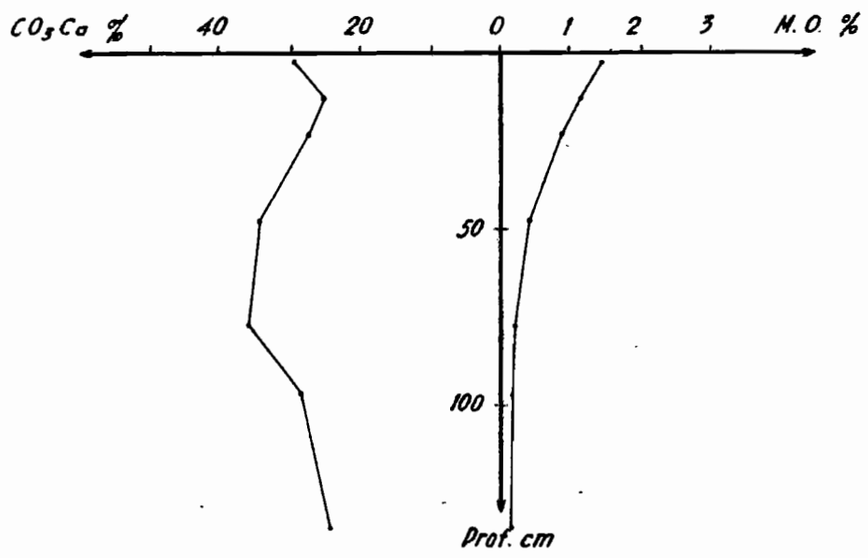
93 cm

Tensiftien

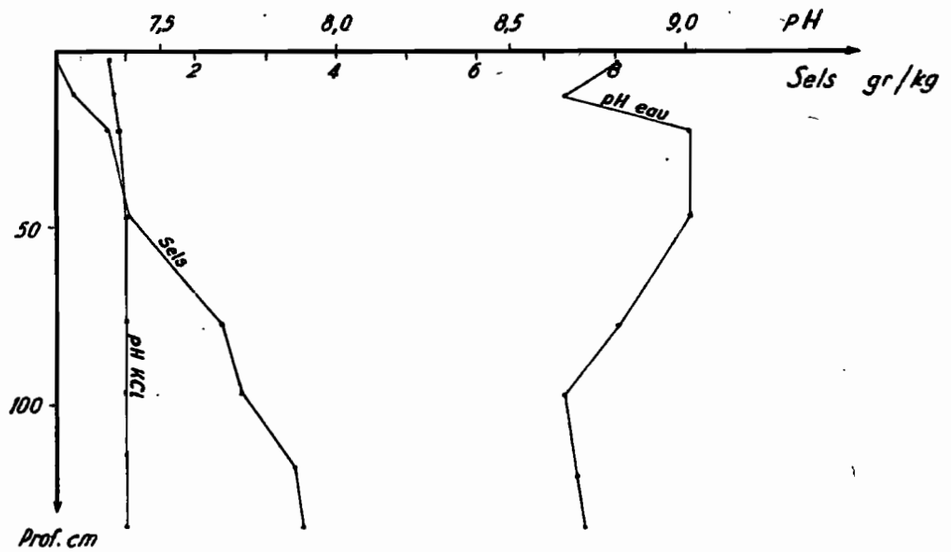
Ocre-rose, de plus en plus clair avec la profondeur.
Disparition progressive de la structure polyèdro-cubique fine pour passer à une structure polyèdrique large, mal formée.
Un peu graveleux.
Les taches calcaires diminuent puis disparaissent.

Résultats d'analyses : voir tableau n° 31

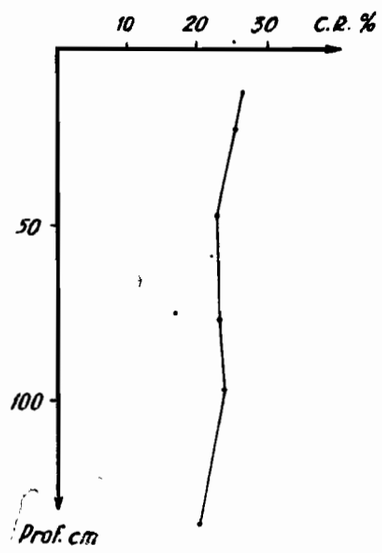
Calcaire et Matière Organique



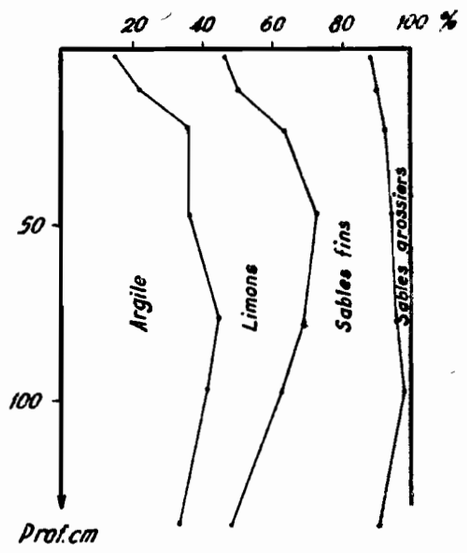
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



*Couleur sur la carte pédologique

FIGURE N° 53

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Profil nº E 6

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 54)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
5 - 10	20,9	0,85	8,6	7,7	25,0	3,2
18 - 23	21,4	0,95	8,7	7,7	24,0	1,9
33 - 38	24,2	1,65	9,0	7,9	23,6	2,0
47 - 52	25,1	3,65	8,8	8,0	26,0	2,7
63 - 68	28,0	4,9	8,5	8,0	25,8	3,3
80 - 90	26,0	5,45	8,4	8,1	25,0	4,1
100 - 110	25,1	5,6	8,4	8,0	24,0	4,5
120 - 130	19,0	5,6	8,4	7,9	23,5	7,3
140 - 150	16,6	6,2	8,3	7,7	24,0	4,8

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
5 - 10	1,88	1,04	0,12	9,0	0,67	0,06	6,7	1,08
18 - 23	1,04	0,60	0,07	8,5	0,80	0,04	5,8	1,02
33 - 38	0,75	0,43	0,05	8,2	0 61	0,04	6,7	0,81
47 - 52	0,53	0,30	0,05	6,3	0,70	0,03	8,9	0,78
63 - 68	0,30	0,18	0,04	4,2	0,83	0,03	8,6	0,99
80 - 90	0,20	0,11	-	-	-	-	-	-
100 - 110	0,18	0,11	-	-	-	-	-	-
120 - 130	0,13	0,07	-	-	-	-	-	-
140 - 150	0,15	0,08	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
5 - 10	97,2	27,8	13,4	8,2	8,2	29,8	57,6	11,3	16,9	7,3	35,5	4,1	2,1	0,7	6,9
18 - 23	97,0	34,7	12,2	8,2	10,2	30,6	65,3	10,2	14,5	5,0	29,7	3,0	1,4	0,6	5,0
33 - 38	98,1	34,4	19,9	7,3	6,2	33,4	67,8	12,3	12,6	4,0	28,9	2,0	0,9	0,4	3,3
47 - 52	97,6	50,1	10,5	6,3	3,1	19,9	70,0	12,7	12,0	3,3	28,0	1,3	0,5	0,2	2,0
63 - 68	98,0	53,0	15,3	6,8	4,9	27,0	80,0	10,3	7,1	1,7	19,1	0,6	0,2	0,1	0,9
80 - 90	99,0	42,8	18,2	7,5	5,3	32,0	74,8	12,7	7,8	1,9	22,4	1,3	1,1	0,4	2,8
100 - 110	99,4	38,8	19,4	8,2	7,1	34,7	73,5	14,3	9,8	1,8	25,9	0,4	0,2	0,0	0,6
120 - 130	98,6	35,0	21,7	8,3	5,0	35,0	70,0	12,9	13,6	2,8	29,3	0,6	0,1	0,0	0,7
140 - 150	98,0	42,0	15,7	7,2	4,1	27,0	69,0	7,7	17,3	4,8	29,8	1,0	0,2	0,1	1,2

TABLEAU Nº 32

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Vert foncé *

PROFIL - TYPE

Profil nº : E 6

Situation : Station Expérimentale : parcelle nº 1

Observations : Pente moyenne à faible, voisine de 1%; cultivé.

Rharbien / Soltanien

Brun-ocre.
Structure polyèdrique forte.
Surface très glacée.

20 cm

Soltanien

Brun-ocre rouge. Structure polyèdrique fine.
Taches calcaires.

40 cm

Amirien

Brun-ocre rouge foncé.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées, très developpée.
Taches calcaires très nombreuses.

70 cm

Amirien

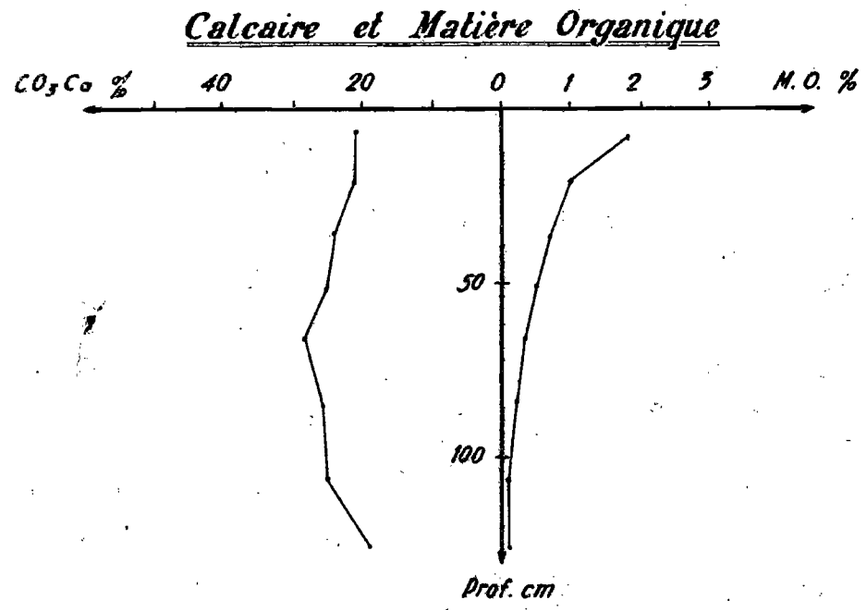
Ocre rouge foncé.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées; sur-structure prismatique.
Taches calcaires moins nombreuses, mais plus grosses.

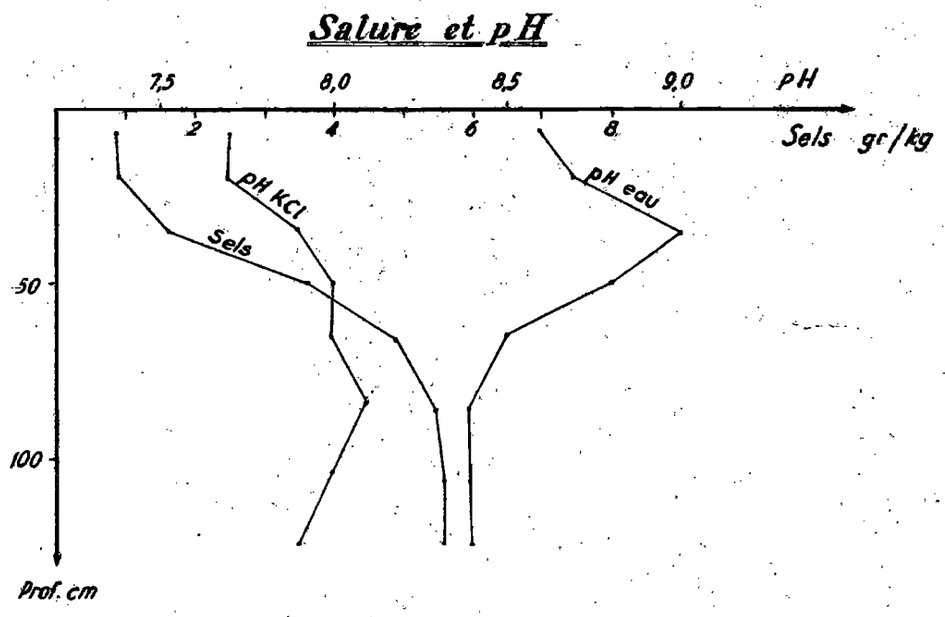
105 cm

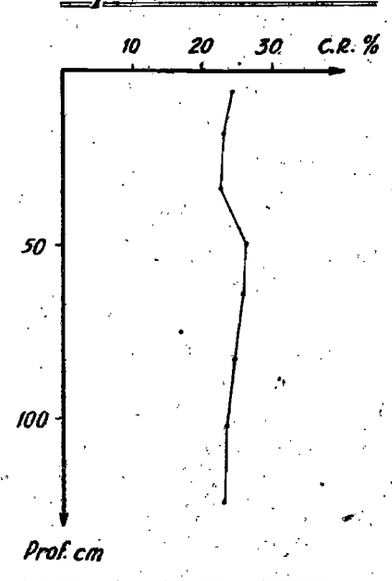
Amirien

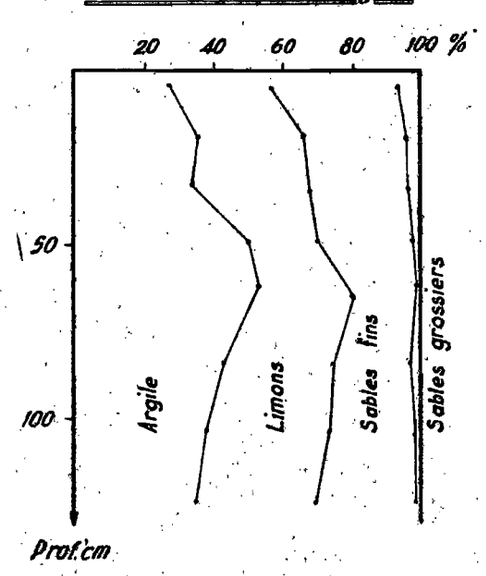
Brun-ocre rouge foncé.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées; sur-structure prismatique.
Taches calcaires diffuses.
Nodules gypseux à partir de 150 cm.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 32









* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 54

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Profil nºT 26

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 55)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	22,9	0,75	8,4	7,4	-	5,2
15 - 20	20,8	-	8,85	7,65	25,8	3,1
25 - 30	22,4	0,75	8,8	7,7	26,8	2,5
40 - 45	22,4	-	8,9	7,75	24,1	4,6
60 - 70	28,2	0,85	9,0	7,9	22,8	8,2
90 - 100	33,2	-	9,2	8,05	21,4	6,8
115 - 125	36,7	0,9	9,3	8,1	22,2	5,3

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	2,08	1,21	-	-	-	-	-	-
15 - 20	1,24	0,77	0,08	9,9	3,52	0,10	10,2	-
25 - 30	0,89	0,52	0,06	8,1	3,62	0,08	10,8	-
40 - 45	0,51	0,29	0,05	6,3	1,41	0,05	10,8	-
60 - 70	0,26	0,15	-	-	-	-	-	-
90 - 100	0,14	0,08	-	-	-	-	-	-
115 - 125	0,14	0,08	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 - 20	93,6	24,3	14,2	6,1	6,0	26,3	50,6	14,7	17,0	6,6	38,3	6,6	3,3	1,2	11,1
25 - 30	95,3	26,9	14,9	8,0	8,0	30,9	57,8	15,1	13,0	4,6	32,7	5,4	3,2	0,9	9,5
40 - 45	93,7	34,0	12,8	6,3	6,3	25,4	59,4	12,5	13,4	4,5	30,4	5,6	3,3	1,3	10,2
60 - 70	93,9	43,5	10,9	7,6	5,4	23,9	67,4	12,0	9,7	3,6	25,3	4,2	2,4	0,7	7,3
90 - 100	97,5	50,0	6,2	10,5	6,2	22,9	72,9	12,1	7,0	2,2	21,3	2,7	2,1	1,0	5,8
115 - 125	98,8	42,4	16,9	8,5	7,4	32,8	75,2	7,9	8,7	1,8	18,4	2,5	2,1	1,8	6,4

TABLEAU Nº 33

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Vert foncé *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 26

Situation : 4,2 km à l'ESE de Zaïo

Observations : fond de vallon évasé; cultivé.

Rharbien

Brun-ocre assez clair.
Structure polyèdrique à nuciforme en surface, plus polyèdrique en profondeur.
Surface glacée.

30 cm

Léger cailloutis.

Soltanien

Brun-ocre-rouge.
Structure polyèdrique assez forte et assez large.
Taches calcaires peu nombreuses.

55 cm
60 cm

Cailloutis.

Amirien

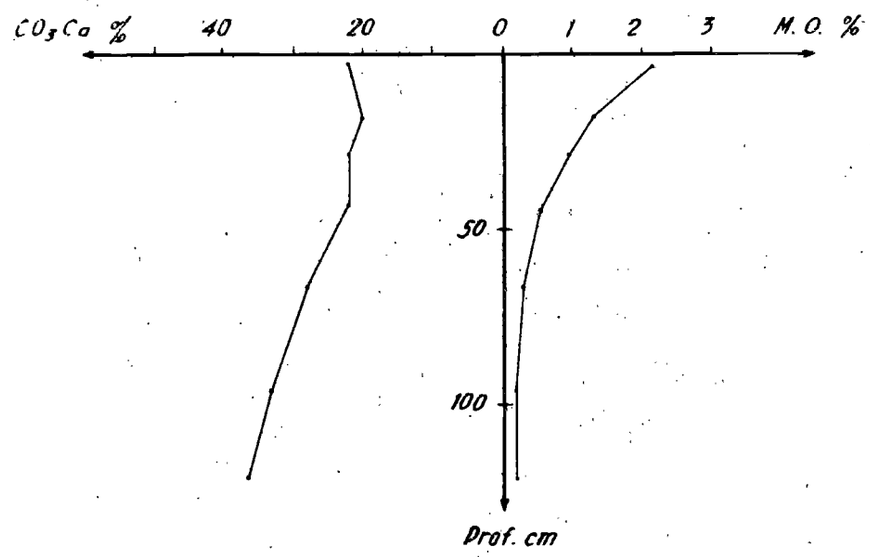
Ocre-rouge.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées, bien développée.
Taches calcaires nombreuses.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 33

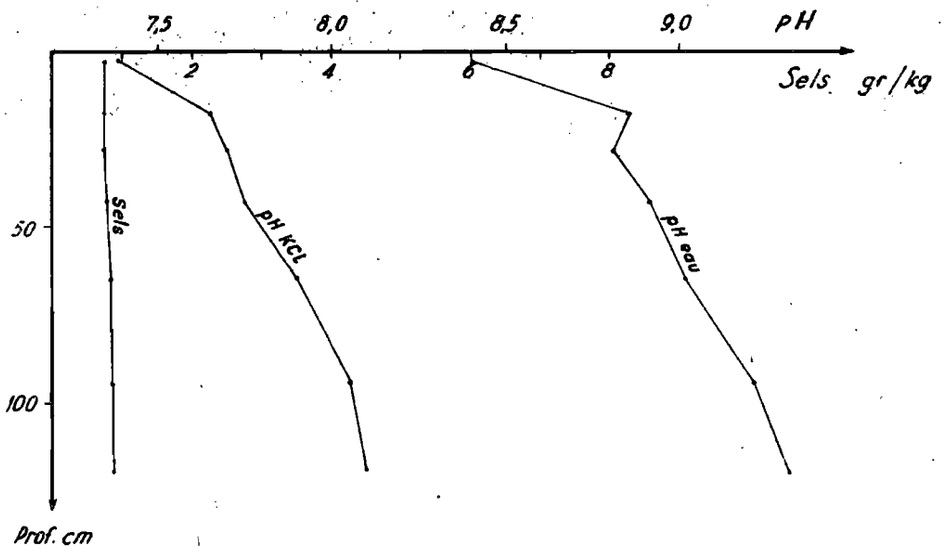
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 55

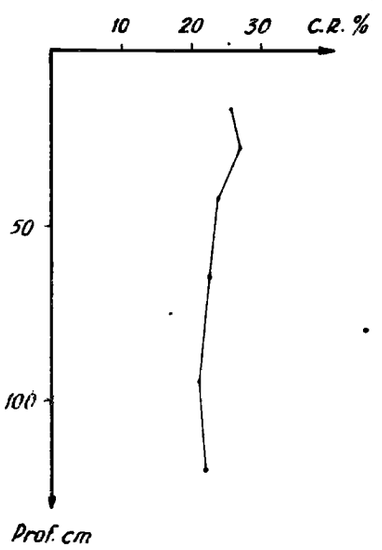
Calcaire et Matière Organique



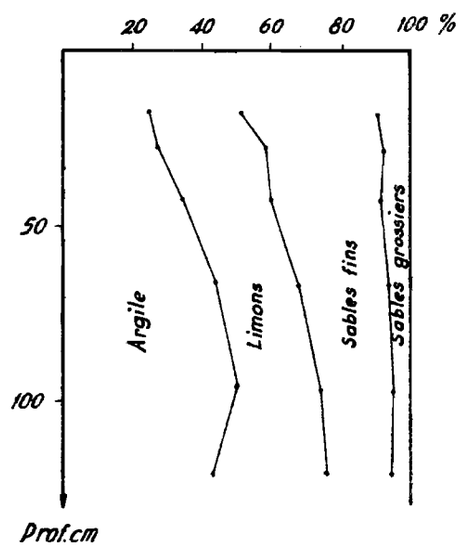
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Profil nº S 287

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 56)

Profond. cm.	CO_3Ca Total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 8	20,7	1,0	8,6	7,45	29,0	-
29 - 38	30,2	3,4	8,5	7,7	26,4	-
50 - 59	33,3	5,3	8,5	7,8	26,8	-
70 - 88	24,4	5,3	8,75	7,85	22,4	-
115 - 125	20,7	4,7	9,15	8,1	23,4	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 8	2,04	1,18	0,12	9,8	1,26	0,12	11,0	0,88
29 - 38	0,84	0,48	0,05	9,1	1,26	0,10	12,8	0,69
50 - 59	0,35	0,20	0,03	6,4	0,56	0,05	8,2	0,58
70 - 88	0,17	0,10	0,02	4,5	1,38	0,07	9,5	0,55
115 - 125	0,12	0,07	0,02	2,8	1,12	0,07	8,2	0,42

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 8	95,4	19,7	12,4	8,3	10,3	31,0	50,7	18,1	15,1	8,8	42,0	4,3	2,2	0,8	7,3
29 - 38	92,5	31,0	17,5	8,3	7,2	33,0	64,0	15,7	10,8	5,4	31,9	2,4	1,2	0,5	4,1
50 - 59	95,7	38,9	14,6	8,4	5,2	28,2	67,1	13,8	11,3	5,0	30,1	1,8	0,8	0,2	2,8
70 - 88	99,7	38,2	14,4	10,3	7,2	31,9	70,1	15,0	9,4	3,7	28,1	1,1	0,4	0,3	1,8
115 - 125	99,8	38,2	15,5	9,2	6,2	30,9	69,1	16,1	9,3	3,7	29,1	1,0	0,5	0,3	1,8

TABLEAU Nº 34

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Vert foncé *

PROFIL - TYPE

Profil nº : S 287

Situation : au Sud de l'oued Zebra, à 7 km au SW de Zaïo.

Observations : dèpression très évasée.

Rharbien

Brun-ocre assez clair.
Structure polyèdrique, légèrement nuciforme en surface. Surface fortement glacée.

Soltanien

25 cm

Soltanien

Brun-ocre plus rouge.
Structure polyèdrique plus fine.

40 cm

Soltanien

Ocre-rouge.
Structure polyèdrique fine en surface, de plus en plus polyèdro-cubique fine à facettes lissées, en profondeur.
Taches calcaires de plus en plus nombreuses en profondeur.

Amirien

100 cm

Amirien

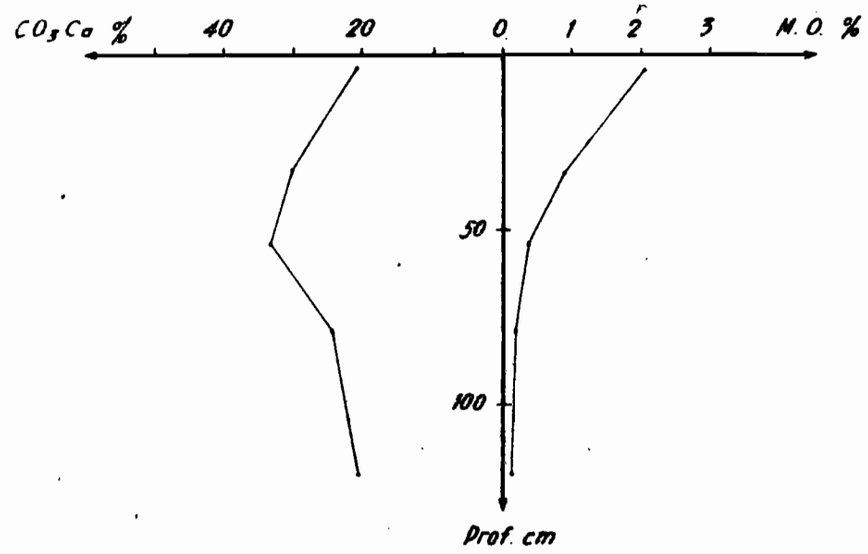
Diminution progressive de la rubéfaction: on passe à un limon ocre.
Passage progressif à une structure polyédrique plus large.
Disparition progressive des taches calcaires.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 34

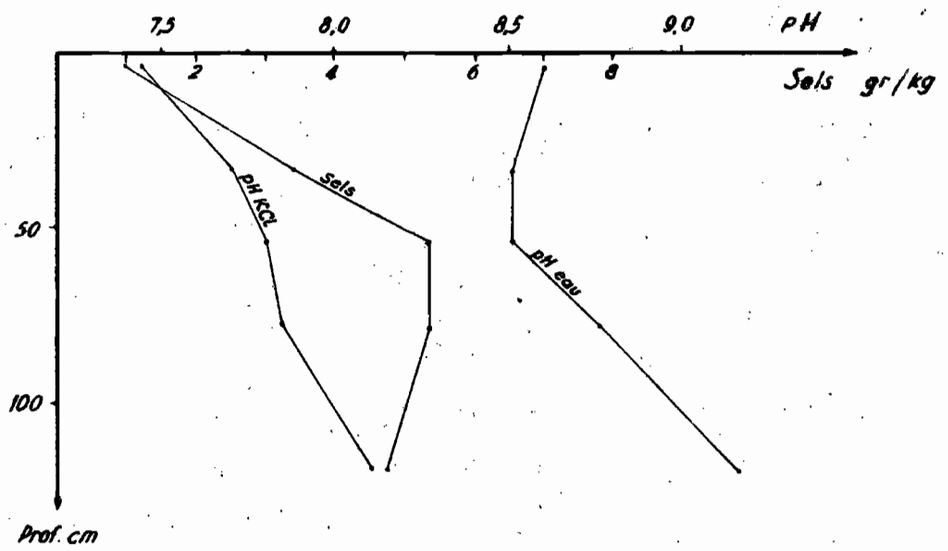
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 56

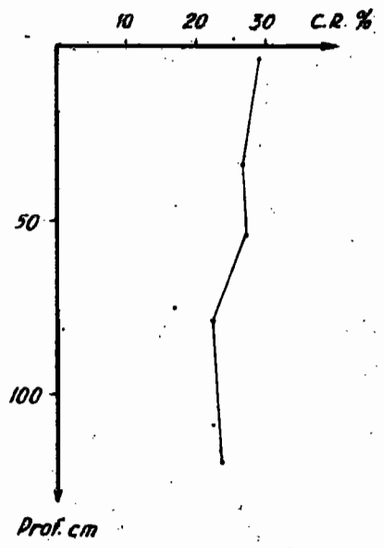
Calcaire et Matière Organique



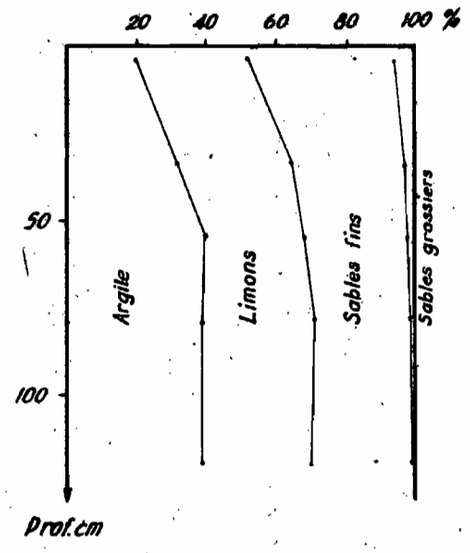
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Profil nº T 327

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 57)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	36,8	0,75	8,9	7,6	-	-
15 - 20	47,3	2,5	8,7	7,8	29,0	-
30 - 35	49,8	3,3	8,8	7,9	27,6	-
50 - 55	44,8	5,2	8,85	7,7	25,6	-
65 - 75	33,0	9,0	8,65	7,8	28,2	-
110 - 120	49,8	8,9	8,65	7,85	27,6	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim o/oo	Total o/oo	Assim o/oo
0 - 5	0,88	0,51	-	-	-	-	-	-
15 - 20	0,77	0,45	0,05	9,0	0,78	0,02	4,2	-
30 - 35	0,36	0,21	,03	6,2	0,98	0,02	4,4	-
50 - 55	0,19	0,11	0,03	3,9	0,56	0,02	4,2	-
65 - 75	-	-	-	-	-	-	-	-
110 - 120	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	99,0	26,0	20,0	15,3	8,0	43,3	69,3	15,6	4,5	4,2	24,3	3,5	1,9	1,0	6,4
15 - 20	99,3	24,5	28,7	18,0	8,6	55,3	79,8	7,2	6,3	3,0	16,5	2,1	1,3	0,3	3,7
30 - 35	99,7	39,3	25,6	19,2	5,4	50,2	89,5	4,6	3,5	0,9	9,0	0,8	0,5	0,2	1,5
50 - 55	99,9	44,5	29,0	14,1	4,4	47,5	92,0	4,8	1,7	0,7	7,2	0,5	0,2	0,1	0,8
65 - 75	100,0	48,6	25,7	9,8	6,6	42,1	90,7	5,0	3,0	0,7	8,7	0,4	0,1	0,1	0,6
110 - 120	100,0	45,7	26,6	11,7	6,4	44,7	90,4	3,8	5,0	0,4	9,2	0,3	0,1	0,0	0,4

TABLEAU Nº 35

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur
- généralement salés et alcalisés en profondeur

Vert foncé *

PROFIL - TYPE

Profil n° : T 327

Situation : 5 km au SE de Zaïo

Observations : pente forte, supérieure à 10% (front de la grande faille post-Moulouyenne)

20 cm

Ocre-clair.
Structure polyèdrique.

40 cm

Ocre: rubéfaction faible.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Taches calcaires nombreuses; quelques rares granules.

65 cm

Limon Villafranchien altéré, saumon à tendance rouge.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées; quelques éléments plus gros.
Les taches calcaires ont disparu.

87 cm

Diminution de la rubéfaction: on passe au saumon; traînées rouges.
Structure polyèdrique plus large, à cassures concoïdales. Cette structure est très friable, mais les agrégats sont très dures. Les traînées rouges correspondent à une structure beaucoup plus fine.

Villafranchien Inférieur

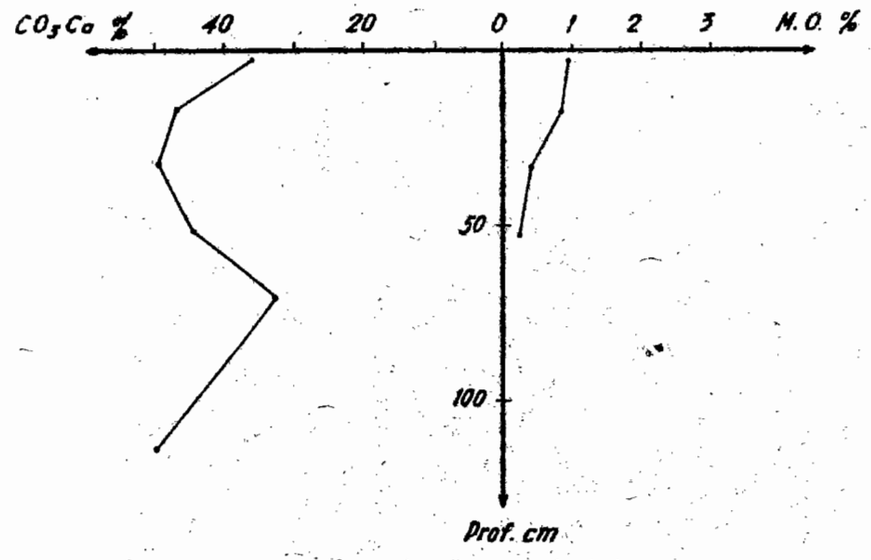
Saumon. Taches noires.
Structure arrondie, large, à cassures concoïdales. Ca devient de plus en plus dur.
Nodules et filons de gypse.

Résultats d'analyses : voir tableau n° 35

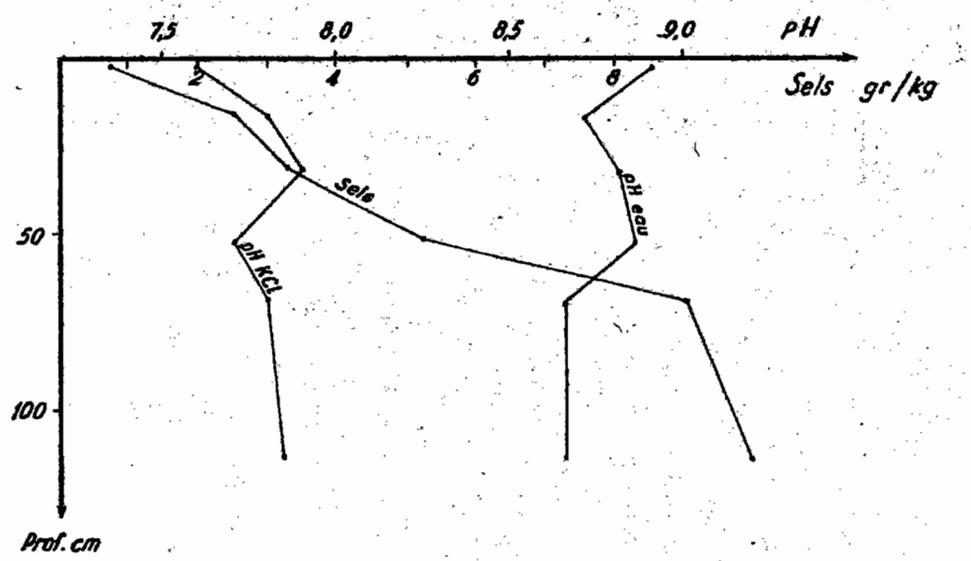
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE N° 57

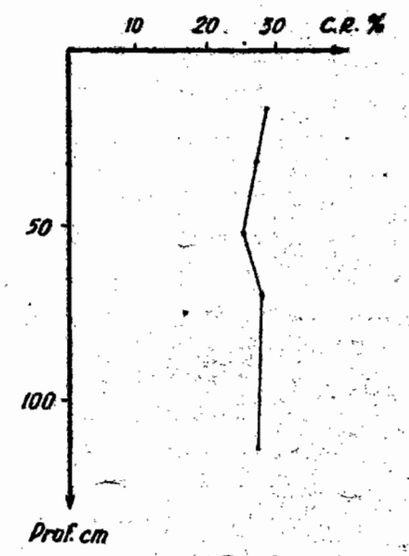
Calcaire et Matière Organique



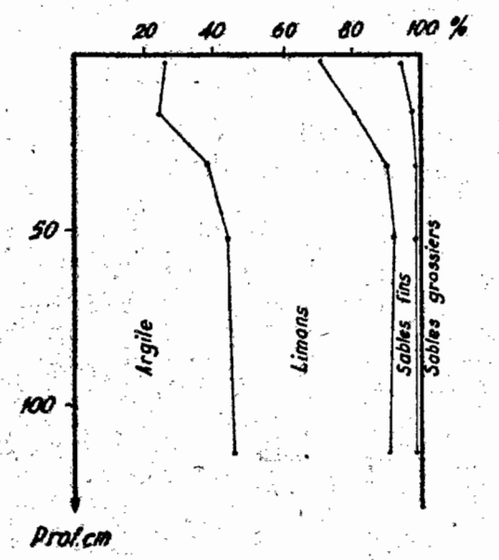
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- salés et alcalisés en profondeur

Profil nº N 24

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 58)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	16,1	0,95	8,7	7,6	18,8	4,1
15 - 20	20,3	1,8	8,8	7,7	17,6	5,6
25 - 30	23,5	2,75	8,95	7,9	19,2	13,4
42 - 47	18,5	4,15	8,9	7,85	19,2	44,1
58 - 63	14,6	5,2	8,85	8,0	17,6	65,1
77 - 82	17,0	4,7	8,8	7,9	15,6	14,7
105 - 115	16,6	5,5	8,75	7,85	15,6	62,5

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	1,41	0,82	0,10	7,9	2,11	0,17	12,0	0,71
15 - 20	0,76	0,44	0,07	6,3	0,99	0,11	13,6	1,06
25 - 30	0,53	0,30	0,08	3,7	0,99	0,10	13,8	1,06
42 - 47	0,40	0,23	0,05	4,7	1,82	0,08	13,6	1,02
58 - 63	0,19	0,11	0,03	3,2	2,11	0,12	12,6	0,41
77 - 82	0,20	0,11	0,03	3,2	1,82	0,14	12,2	0,60
105 - 115	0,18	0,11	0,05	2,3	1,82	0,12	11,5	0,41

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	97,0	11,7	-	-	-	27,9	39,6	17,0	22,2	12,5	51,7	5,3	2,1	1,3	8,7
15 - 20	97,3	23,6	-	-	-	28,9	52,5	14,6	16,2	9,5	40,3	4,3	1,9	1,0	7,2
25 - 30	99,3	32,4	-	-	-	33,9	66,3	10,2	9,3	9,1	28,6	3,1	1,1	0,9	5,1
42 - 47	100,0	33,9	-	-	-	34,3	68,2	13,0	11,1	4,8	28,9	1,9	0,7	0,3	2,9
58 - 63	100,0	30,2	-	-	-	30,2	60,4	16,1	12,0	9,2	37,3	1,8	0,4	0,1	2,3
77 - 82	99,8	23,2	-	-	-	25,0	48,2	17,0	15,6	12,6	45,2	5,4	0,7	0,5	6,6
105 - 115	100,0	24,0	-	-	-	23,9	47,9	25,2	17,4	7,3	49,9	1,7	0,3	0,2	2,2

TABLEAU Nº 36

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- salés et alcalisés en profondeur

Jaune, barré vert *

PROFIL - TYPE

Profil nº : N 24

Situation : le long de l'oued Zebra, sur la rive droite, à 5,5 km au SSE de Zaio.

Observations : terrasse soltanienne de 200 à 250 m. de large; au milieu de cette terrasse; pente moyenne voisine de 1,5 % ; cultivé.

Soltanien

0 — 15 cm : Brun-ocre. Structure polyèdrique à nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur. Surface très glacée.

Soltanien

15 — 25 cm : Brun-ocre rouge. Structure polyèdrique assez fine. Quelques taches calcaires.

Soltanien

25 — 50 cm : Brun-ocre très rouge. Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées. Taches calcaires très nombreuses.

Soltanien

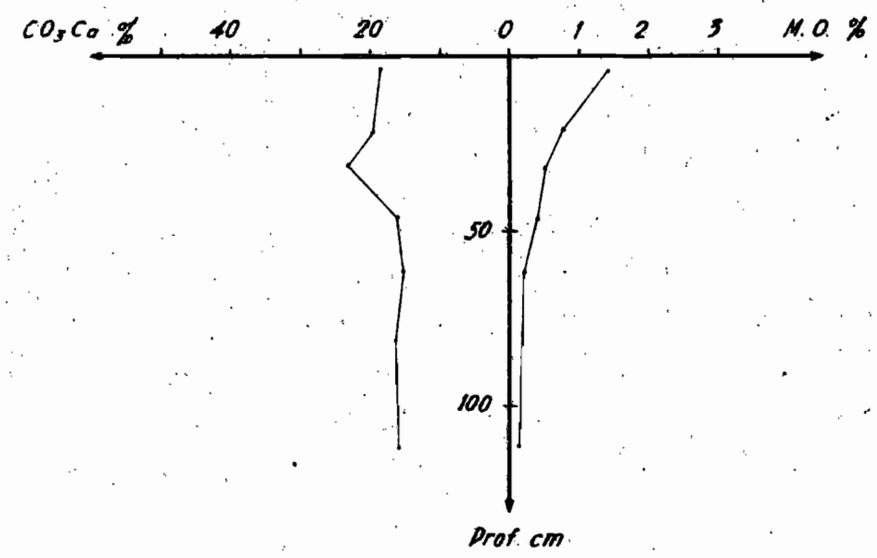
50 — 100 cm : Brun-ocre rouge de plus en plus clair en profondeur. Structure massive.
Dimunution rapide des taches calcaires en profondeur; disparition des ces taches vers 80 cm.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 36

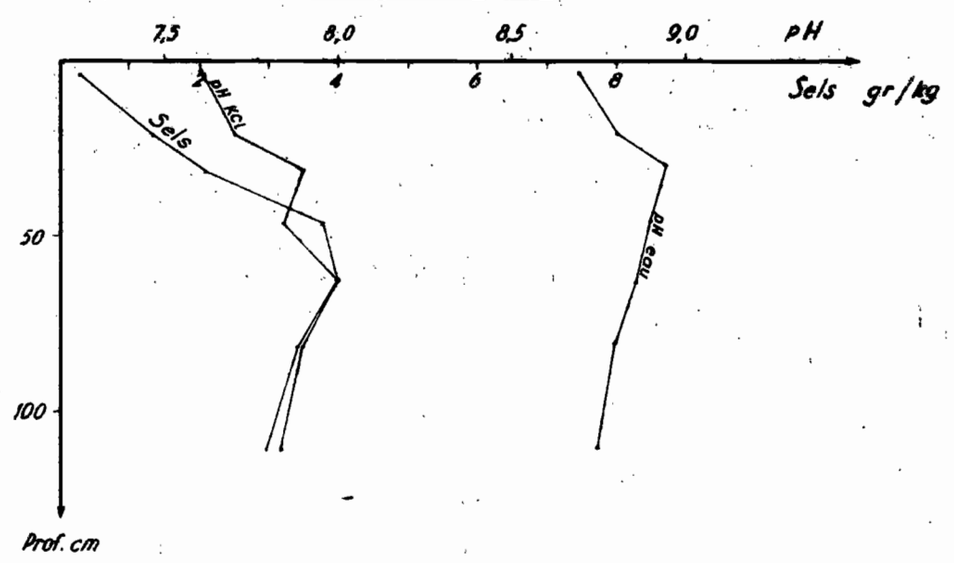
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 58

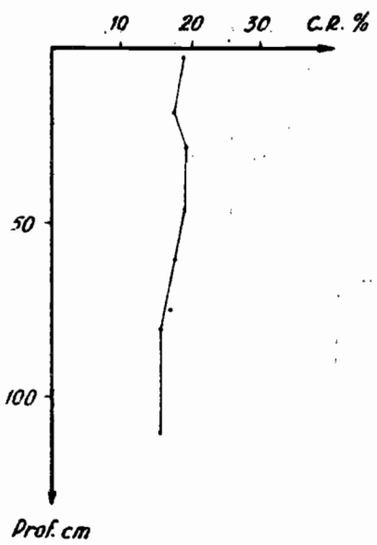
Calcaire et Matière Organique



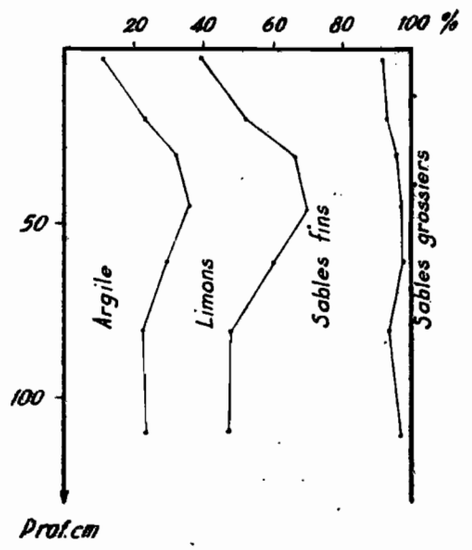
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- salés et alcalisés en profondeur

Profil nº S 128a

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 59)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	12,5	0,45	8,6	7,65	-	-
13 - 18	14,6	0,5	8,6	7,7	-	-
25 - 30	13,8	0,5	8,95	7,7	-	-
60 - 65	18,1	1,95	9,1	7,95	-	-
80 - 85	17,6	3,15	9,1	8,05	-	-
105 - 115	16,7	3,5	9,1	8,0	-	-
130 - 140	28,6	3,4	8,8	7,9	-	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	assim o/oo	total o/oo	assim o/oo
0 - 5	1,40	0,81	0,08	9,8	-	0,06	-	-
13 - 18	0,89	0,52	0 06	9,3	-	0,08	-	-
25 - 30	0,69	0,40	0,04	9,5	-	0,05	-	-
60 - 65	0,29	0,17	-	-	-	-	-	-
80 - 85	0,17	0,10	-	-	-	-	-	-
105 - 115	0,13	0,07	-	-	-	-	-	-
130 - 140	0,08	0,05	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	97,7	19,5	7,4	4,6	7,4	19,4	38,9	13,5	28,9	11,6	54,0	4,9	1,6	0,6	7,1
13 - 18	97,9	27,2	9,1	4,7	7,3	21,1	48,3	11,9	25,8	8,5	46,2	3,6	1,2	0,7	5,5
25 - 30	98,3	27,5	13,9	1,0	6,4	21,3	48,8	16,2	21,5	8,1	45,8	3,4	1,2	0,8	5,4
60 - 65	99,5	31,9	7,4	3,8	5,7	16,9	48,8	19,0	20,5	6,5	46,0	2,2	0,8	2,2	5,2
80 - 85	99,2	27,4	11,3	5,5	5,5	22,3	49,7	18,0	22,3	7,2	47,5	2,0	0,5	0,3	2,8
105 - 115	99,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130 - 140	95,2	26,1	7,2	2,7	4,6	14,5	40,6	13,2	22,5	12,2	47,9	8,6	2,2	0,7	11,5

TABLEAU Nº 37

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- salés et alcalisés en profondeur

Jaune, barré vert

PROFIL - TYPE

Profil n° : S 128 a.

Situation : le long de l'affluent Sud de l'oued Zebra, rive droite, à 8 km au SW de Zaïo.

Observations : terrasse Soltanienne de 400 à 500 m. de large; à 50 mètres de l'oued Zebra; pente moyenne à faible, voisine de 1%; cultivé.

Soltanien

Brun-ocre.
Structure polyèdrique à nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur. Surface très glacée.

25 cm

Soltanien

Brun-ocre plus rouge.
Structure polyèdrique plus fine.
Quelques taches calcaires.

40 cm

Soltanien

Brun-ocre-rouge.
Structure polyèdro-cubique assez fine à facettes lissées.
Taches calcaires nombreuses.

80 cm

Soltanien

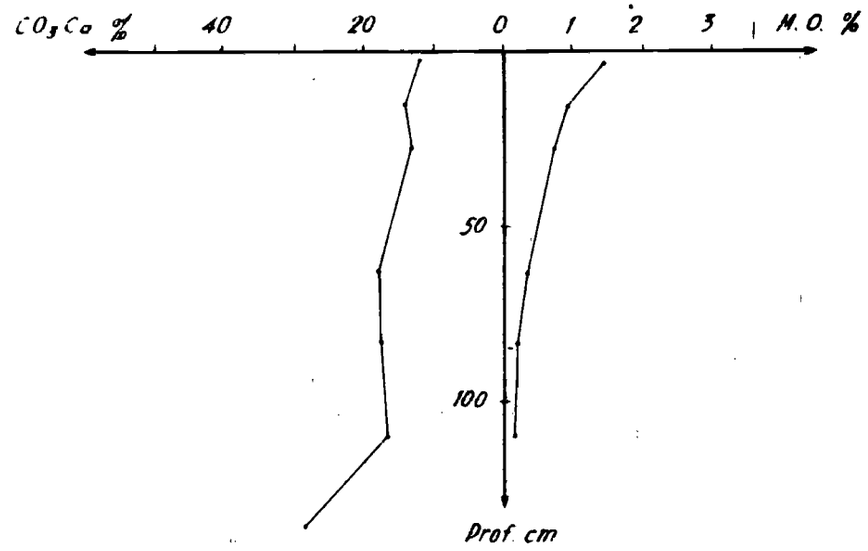
Brun-ocre, de plus en plus clair en profondeur.
Structure polyèdrique de plus en plus large et de moins en moins bien formée avec la profondeur.
Disparition assez rapide des taches calcaires.

Résultats d'analyses : voir tableau n° 37

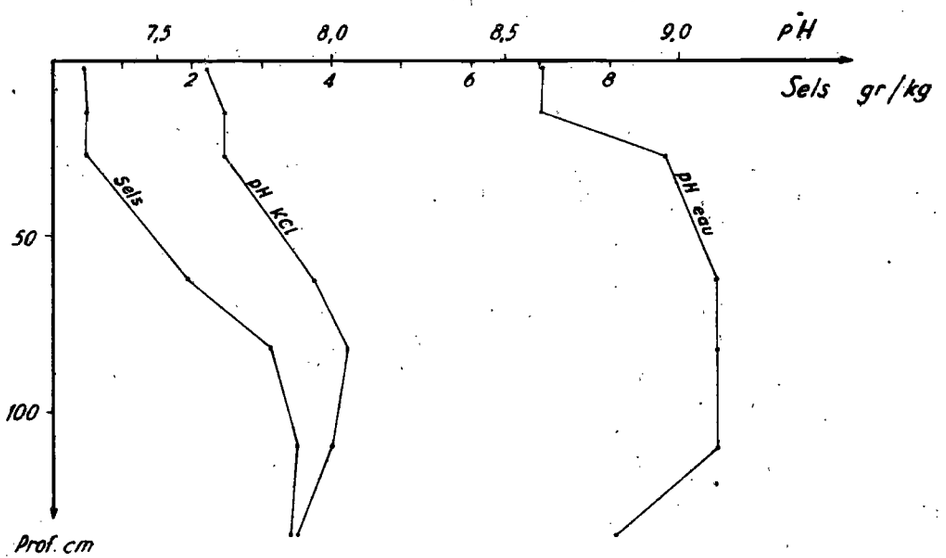
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE N° 59

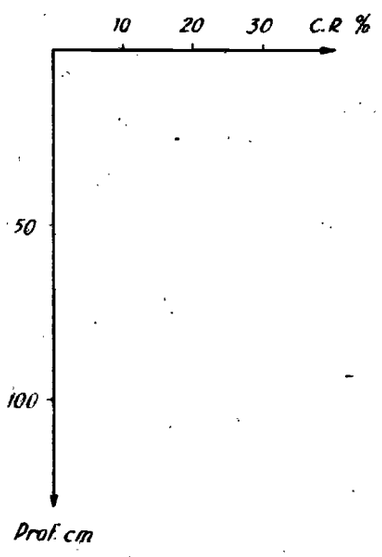
Calcaire et Matière Organique



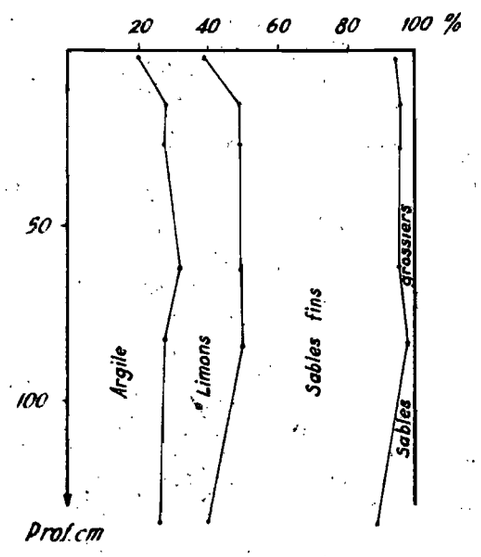
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX g

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- non ou peu salés, alcalisation variable

Profil nº S 374

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 60)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent %	Is
			Eau	KCl		
7 - 12	22,8	0,35	8,6	7,4	-	-
25 - 30	26,6	0,65	8,55	7,4	-	-
42 - 47	26,4	0,6	8,6	7,5	-	-
60 - 65	27,3	0,65	8,6	7,45	-	-
90 - 95	27,3	0,6	8,5	7,7	-	-
115 - 125	26,4	0,75	8,65	7,85	-	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
7 - 12	1,60	0,93	-	-	-	-	-	-
25 - 30	1,34	0,78	-	-	-	-	-	-
42 - 47	0,86	0,49	-	-	-	-	-	-
60 - 65	0,50	0,29	-	-	-	-	-	-
90 - 95	0,25	0,15	-	-	-	-	-	-
115 - 125	0,16	0,09	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
7 - 12	95,0	24,0	11,5	8,3	9,4	29,2	53,2	15,4	12,4	8,9	36,7	5,7	3,3	1,1	10,1
25 - 30	93,6	26,8	14,4	9,2	8,2	31,8	58,6	14,4	13,6	6,2	34,2	4,2	2,3	0,7	7,2
42 - 47	91,0	33,9	9,5	8,5	8,5	26,5	60,4	14,6	11,9	6,7	33,2	3,6	2,2	0,6	6,4
60 - 65	97,0	35,3	10,4	8,3	6,2	24,9	60,2	13,9	14,9	5,4	35,2	3,4	1,7	0,5	5,6
90 - 95	95,0	29,1	10,4	8,4	3,1	21,9	51,0	14,4	18,9	10,9	44,2	3,5	0,9	0,4	4,8
115 - 125	98,4	25,8	6,9	6,9	7,0	20,8	46,6	16,2	11,8	7,6	35,6	10,8	5,3	1,7	17,8

TABLEAU Nº 38

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- non ou peu salés, alcalisation variable

Jaune *

PROFIL - TYPE

Profil nº : S 374

Situation : au Sud de l'oued Zebra, 8,5 km au Sud de Zaïo.

Observations : vallée assez encaissée

Rharbien

Brun assez gris.
Structure polyèdrique assez forte; surface un peu glacée.
Légèrement caillouteux.

30 cm

Soltanien

Brun-ocre.
Structure polyèdrique large, forte.
Quelques taches calcaires.

50 cm

Soltanien

Brun-ocre plus rouge.
Structure polyèdrique assez fine.
Taches calcaires nombreuses.

70 cm

Soltanien

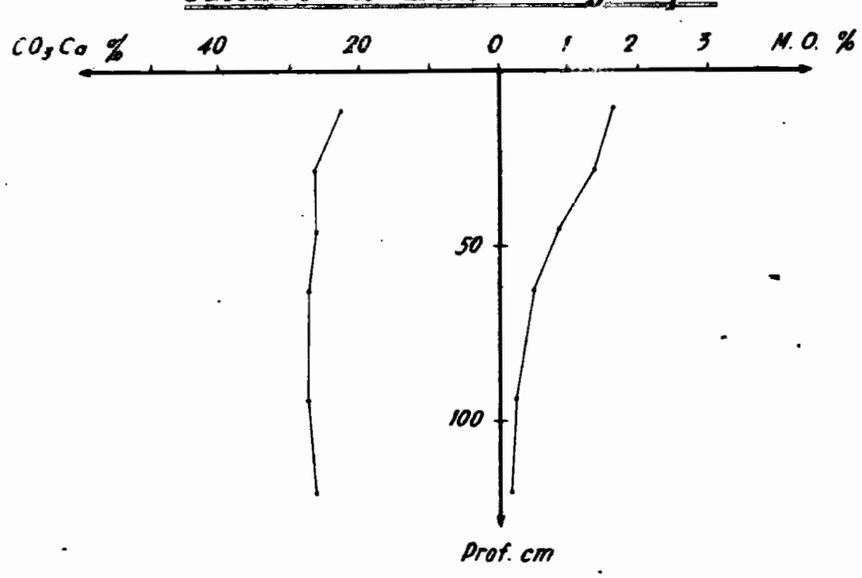
Brun ocre clair.
Structure polyèdrique au sommet, massive à la base.
Diminution puis disparition des taches calcaires.

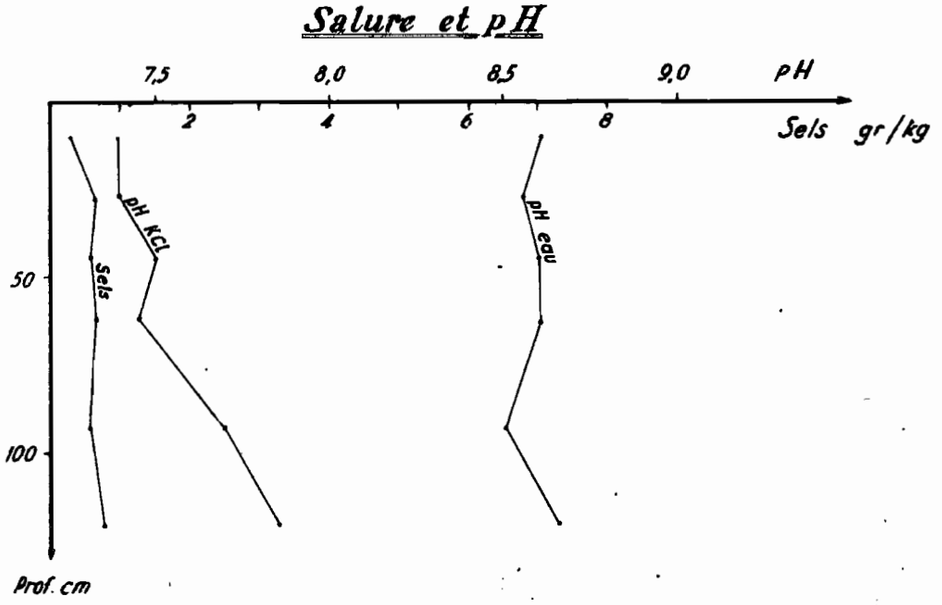
150 cm

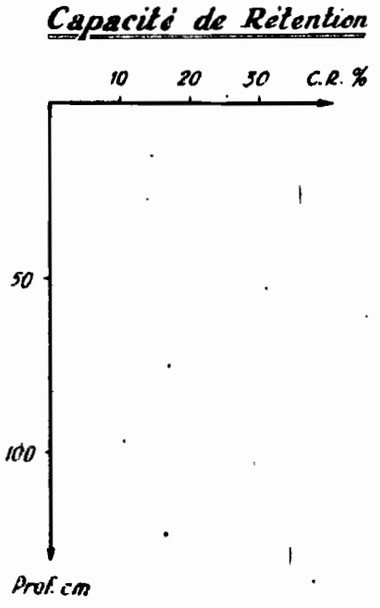
Cailloutis.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 38

* Couleur sur la carte pédologique







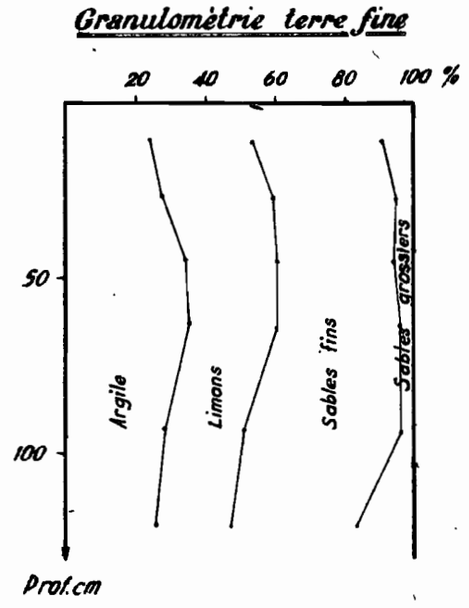


FIGURE Nº 60

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- non ou peu salés, alcalisation variable

Profil nº T 573

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 61)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
5 - 10	19,0	-	-	-	28,4	-
23 - 28	19,5	0,85	8,65	7,4	27,2	-
45 - 50	21,8	-	-	-	24,6	-
63 - 68	23,5	1,1	8,65	7,55	20,4	-
85 - 90	19,5	-	-	-	-	-
120 - 130	31,7	1,05	9,1	7,7	-	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim o/oo
5 - 10	1,91	1,11	0,13	8,4	1,02	0,16	8,0	0,79
23 - 28	1,36	0,79	0,11	7,4	1,20	0,12	8,6	-
45 - 50	0,61	0,31	0,06	5,0	1,02	0,10	8,4	0,27
63 - 68	0,35	0,20	-	-	-	-	-	-
85 - 90	0,20	0,12	-	-	-	-	-	-
120 - 130	0,11	0,06	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
5 - 10	95,0	14,8	-	-	-	35,9	50,7	15,3	13,9	7,4	36,6	5,7	4,3	2,7	12,7
23 - 28	96,2	19,7	-	-	-	36,4	56,1	12,7	13,5	6,9	33,1	4,6	3,6	2,6	10,8
45 - 50	96,2	29,6	-	-	-	32,3	61,9	9,6	14,2	6,1	29,9	3,6	2,4	2,2	8,2
63 - 68	96,5	29,3	-	-	-	25,6	54,9	6,3	22,3	8,5	37,1	3,5	2,3	2,2	8,0
85 - 90	98,5	23,9	-	-	-	18,1	42,0	9,8	28,0	13,4	51,2	4,3	1,5	1,0	6,8
120 - 130	97,8	40,6	-	-	-	33,3	73,9	8,2	9,2	3,0	21,4	2,0	1,5	1,2	4,7

TABLEAU Nº 39

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface
- sur roche-mère assez argileuse
- non ou peu salés, alcalisation variable

Jaune *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 573

Situation : 4,2 km. au SSE de Zaïo.

Observations : fond de vallon évasé; cultivé.

Rharbien

Brun-ocre.
Structure nuciforme, puis polyèdrique assez large. Surface glacée.

Soltanien

45 cm

Brun-ocre un peu plus rouge.
Structure polyèdrique assez fine.
Taches calcaires assez peu nombreuses, moins nombreuses en profondeur qu'en surface.

Soltanien

95 cm

Cailloutis.

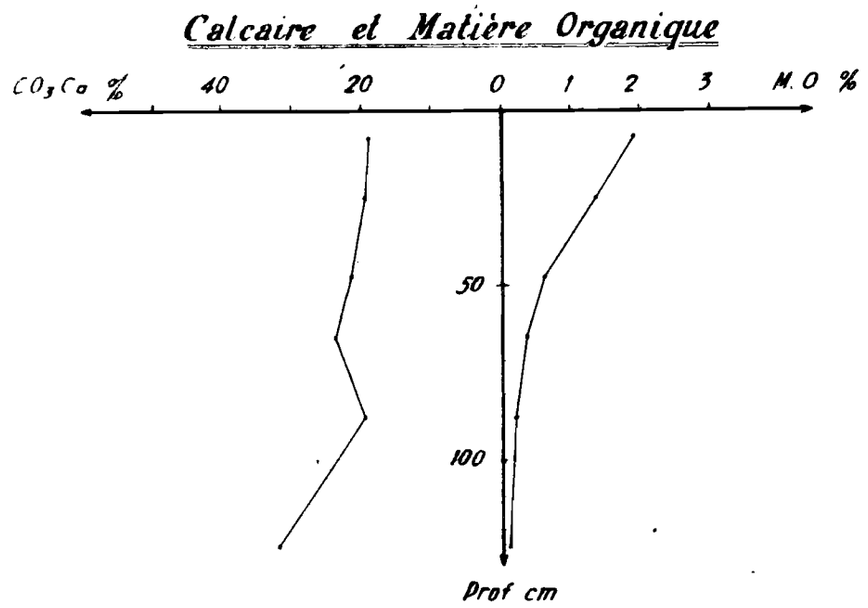
118 cm

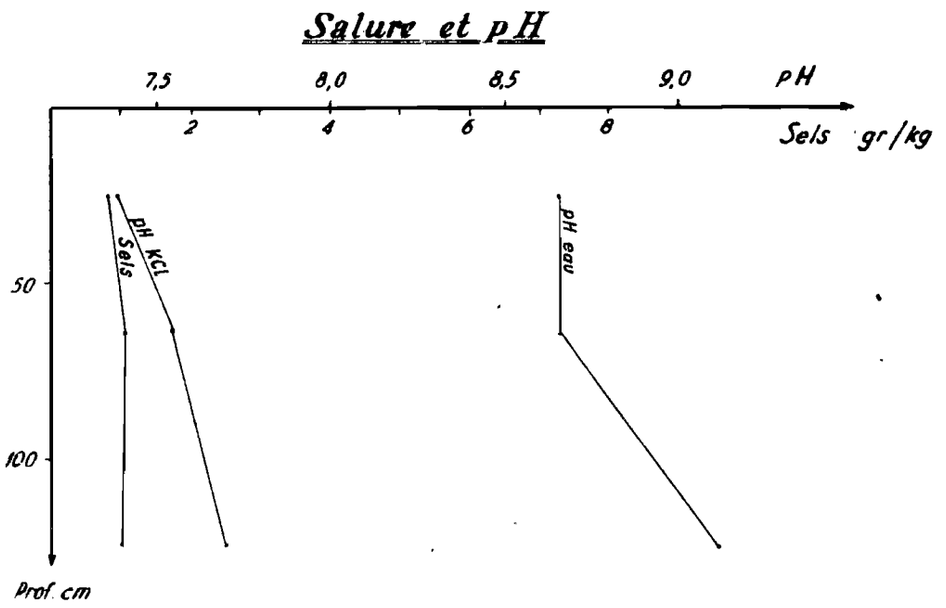
Amirien

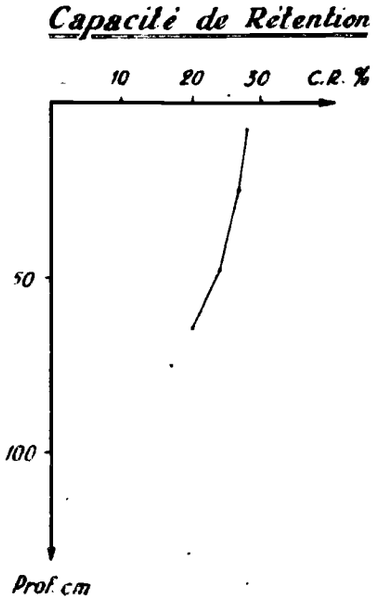
Brun-ocre rouge.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Taches calcaires nombreuses.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 39

* Couleur sur la carte pédologique







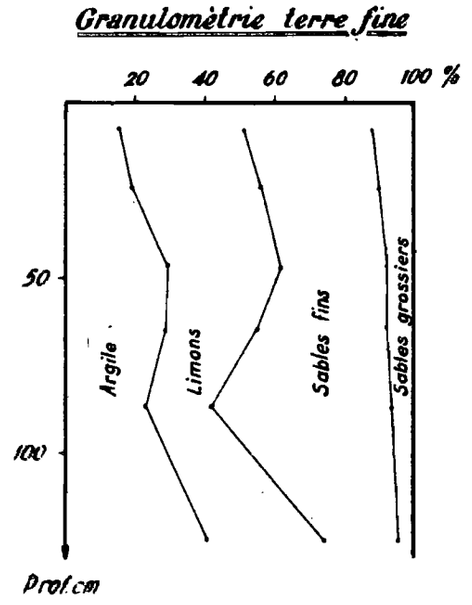


FIGURE Nº 61

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- sans taches calcaires
- non salés, non alcalisés
- non ou peu caillouteux

Profil nº T 1

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 62)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	18,9	0,75	8,5	7,25	25,2	-
5 - 10	18,1	1,2	8,7	7,6	29,6	-
15 - 20	17,4	-	-	-	26,9	-
25 - 30	18,7	0,85	8,75	7,65	23,7	-
40 - 45	20,8	-	8,8	7,7	-	-
63 - 68	21,3	0,85	8,8	7,7	23,7	-
90 - 95	18,1	-	8,8	7,65	-	-
135 - 145	32,0	0,9	9,2	7,9	24,2	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim o/oo
0 - 5	2,42	1,41	0,14	9,9	0,88	0,32	6,4	0,45
5 - 10	2,59	1,50	0,14	10,7	1,20	0,13	9,3	-
15 - 20	1,63	0,95	0,09	10,0	0,91	0,13	9,4	-
25 - 30	1,31	0,76	0,08	8,9	1,11	0,11	9,4	-
40 - 45	0,97	0,56	0,04	14,0	0,88	0,10	9,4	-
63 - 68	0,56	0,32	-	-	-	-	-	-
90 - 95	0,49	0,28	-	-	-	-	-	-
135 - 145	0,11	0,06	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	-	18,8	-	-	-	33,3	52,1	7,8	18,1	8,8	34,7	6,2	4,4	2,6	13,2
5 - 10	97,4	24,4	10,2	11,2	9,2	30,6	55,0	16,6	14,0	6,9	37,5	4,4	2,3	0,8	7,5
15 - 20	96,5	29,5	12,7	8,5	5,3	26,5	56,0	16,8	13,8	5,0	35,6	4,7	2,4	1,3	8,4
25 - 30	95,0	29,3	9,8	7,8	9,8	27,4	56,7	15,6	13,4	5,7	34,7	4,6	2,5	1,5	8,6
40 - 45	96,0	32,8	10,1	8,1	6,1	24,3	57,1	8,9	18,0	6,5	33,4	5,4	2,9	1,2	9,5
63 - 68	95,8	32,8	5,8	5,8	6,7	18,3	51,1	13,5	13,8	7,9	35,2	8,9	3,7	1,3	13,9
90 - 95	96,1	31,9	15,9	6,0	7,0	28,9	60,8	12,9	11,2	5,3	29,4	5,7	2,9	1,2	9,8
135 - 145	99,5	47,8	15,0	14,0	8,7	37,7	85,5	7,2	3,2	1,4	11,8	1,6	0,7	0,4	2,7

TABLEAU Nº40

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- sans taches calcaires
- non salés, non alcalisés
- non ou peu caillouteux

Rouge *

PROFIL - TYPE

Profil n° : T 1

Situation : 3,8 km à l'ESE de Zaïo

Observations : fond de vallon assez étroit; micro-relief assez bosselé; cultivé.

Rharbien

Brun assez foncé.
Structure polyèdrique, très légèrement nuciforme en surface; surface glacée.

20 cm

Rharbien ou Soltanien

Brun assez clair.
Structure polyèdrique moyenne, assez faible. Sur-structure lamellaire.

55 cm

Soltanien

Brun-ocre: légère rubéfaction.
Structure polyèdrique plus fine, mieux formée.
Quelques rares taches calcaires, très mal délimitées.

110 cm

Cailloutis.

125 cm

Amirien

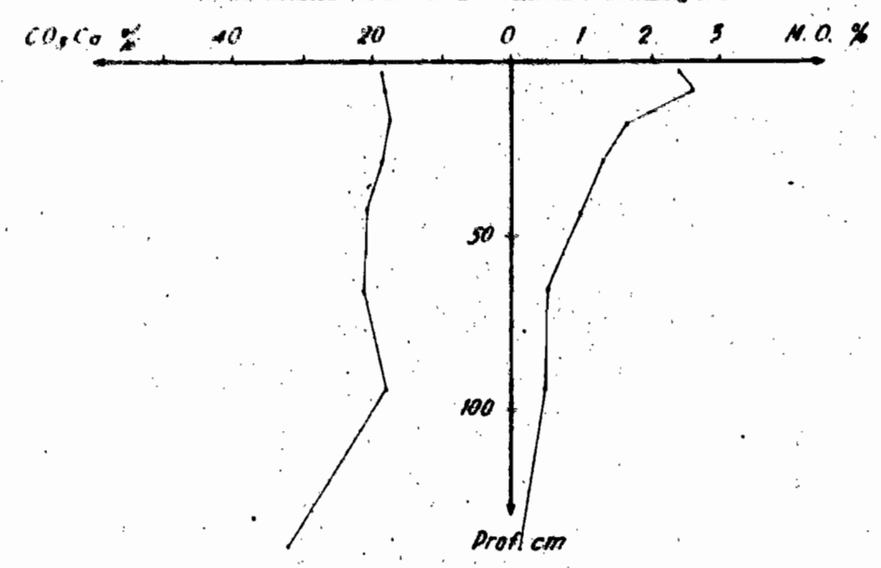
Ocre-rouge sombre.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Taches calcaires assez nombreuses.

Résultats d'analyses : voir tableau n° 40

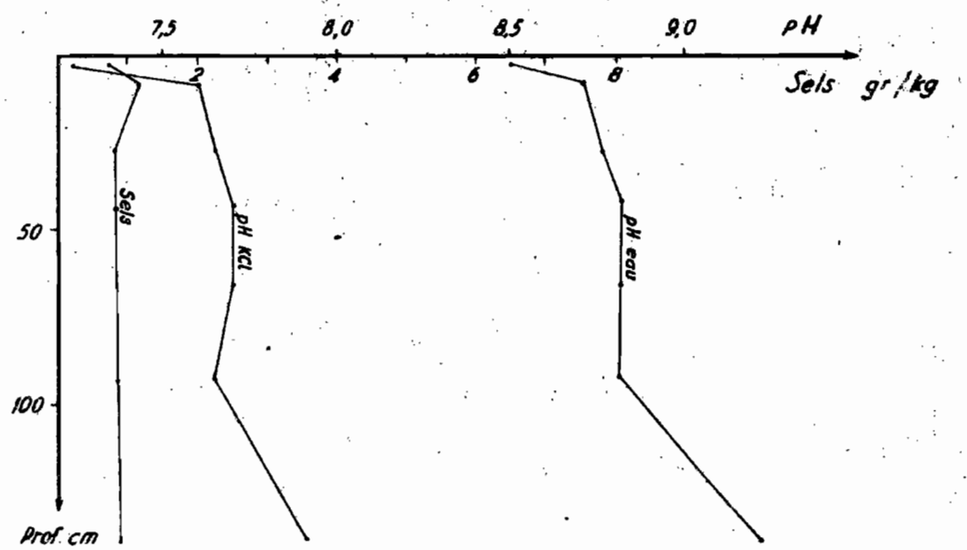
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE N° 62

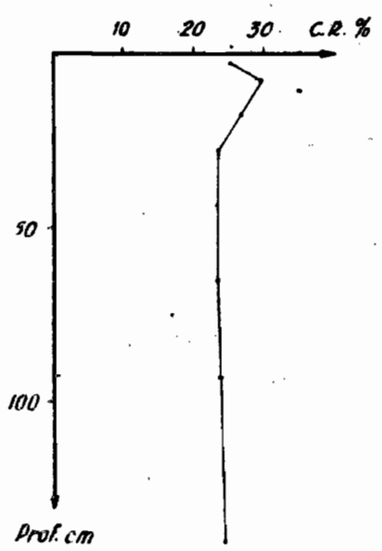
Calcaire et Matière Organique



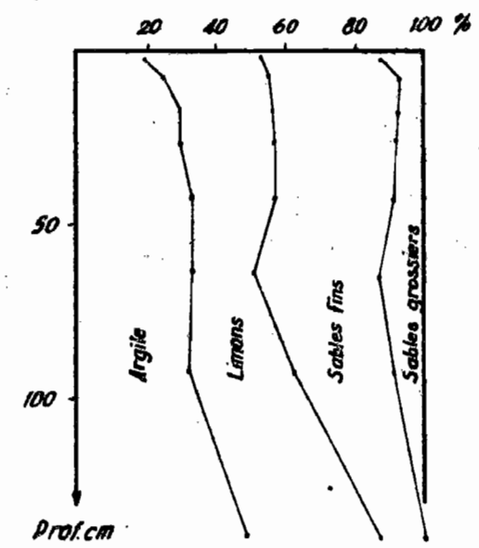
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS PEU EVOLUES D'APPORT

- non salés, non alcalisés
- non ou peu caillouteux

Profil nº T 375

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 63)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 4	19,1	0,7	8,55	7,4	18,6	3,5
10 - 14	14,8	0,9	8,45	7,3	23,8	3,8
22 - 27	16,5	0,8	8,65	7,45	24,0	2,9
37 - 42	19,1	0,85	8,7	7,45	26,4	2,0
48 - 53	20,0	0,9	8,7	7,45	26,0	2,0
62 - 67	18,3	0,9	8,65	7,4	26,4	2,4
77 - 82	20,8	0,9	8,6	7,35	24,2	3,9
95 - 105	24,9	1,0	8,6	7,35	24,8	3,8

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	assim. o/oo	total o/oo	assim. o/oo
0 - 4	2,02	1,17	0,13	9,3	1,22	0,15	4,7	0,96
10 - 14	2,72	1,62	0,16	10,0	1,22	0,14	6,7	1,38
22 - 27	1,90	1,10	0,12	9,1	1,09	0,11	5,6	0,90
37 - 42	1,50	0,87	0,09	9,5	1,47	0,04	6,9	0,81
48 - 53	1,72	1,00	0,08	12,3	1,47	0,08	6,4	0,96
62 - 67	1,75	1,02	0,11	9,4	1,68	0,12	7,2	1,08
77 - 82	1,15	0,67	0,07	9,2	1,47	0,13	4,8	0,90
95 - 105	0,69	0,39	0,06	7,0	0,96	0,11	2,9	0,66

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 4	97,5	12,6	-	-	-	22,6	35,2	23,8	2,1	2,0	45,9	13,1	4,2	1,6	18,9
10 - 14	97,7	12,8	-	-	-	30,9	43,7	13,8	18,8	12,5	45,1	6,8	2,9	1,5	11,2
22 - 27	97,5	16,3	-	-	-	31,2	47,5	12,8	17,0	12,5	42,3	5,9	2,5	1,8	10,2
37 - 42	92,0	18,8	-	-	-	36,2	55,0	15,3	11,4	8,9	35,6	4,5	2,5	2,4	9,4
48 - 53	94,4	19,6	-	-	-	37,8	57,5	12,0	8,4	10,0	30,4	5,7	3,0	3,4	12,1
62 - 67	85,0	24,9	-	-	-	37,2	62,1	9,0	9,3	6,9	25,2	4,8	3,7	4,2	12,7
77 - 82	87,2	30,9	-	-	-	30,7	61,6	7,4	10,6	8,4	26,4	4,9	3,6	3,5	12,0
95 - 105	94,4	34,4	-	-	-	31,3	65,7	17,0	2,3	5,8	25,1	4,1	3,0	2,1	9,2

TABLEAU Nº 41

SOLS PEU EVOLUES D'APPORT

- non salés, non alcalisés
- non ou peu caillouteux

Rouge *

PROFIL - TYPE

Profil nº : *T 375*

Situation : *4 km au SSW de Zaïo*

Observations : *fond de vallée très étroit : axe de drainage; micro-relief très bosselé ; peu cultivé.*

Actuel (0 à 10 cm) — *Brun très clair. Structure nuciforme très faible; sur-structure lamellaire. Débris de coquilles d'escargots très nombreux. Quelques cailloux. La surface est caillouteuse par petites taches.*

Rharbien — *Brun - ocre clair. Structure polyèdrique à nuciforme au sommet, puis polyèdrique large et faible. Un peu caillouteux en profondeur.*

70 cm – 72 cm — *Cailloutis*

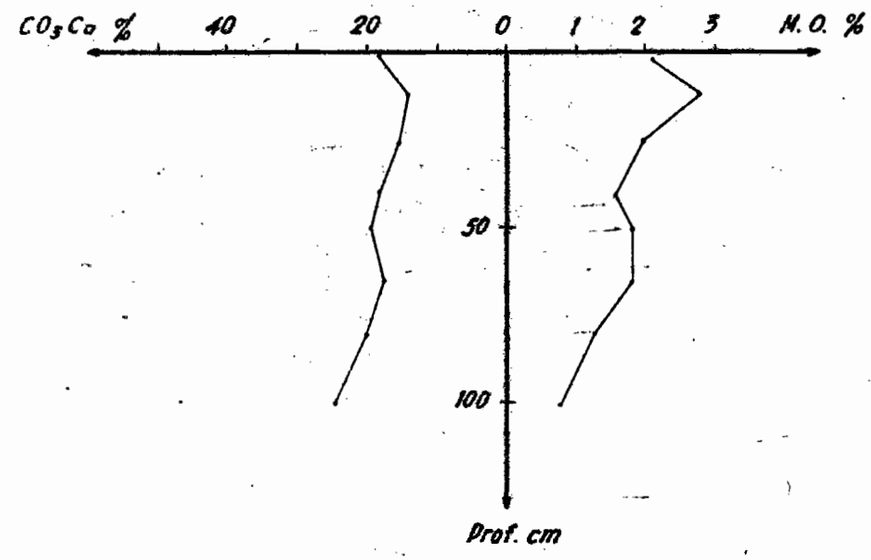
Soltanien — *Brun - ocre. Structure polyèdrique large et forte.*

Résultats d'analyses : *voir tableau nº 41*

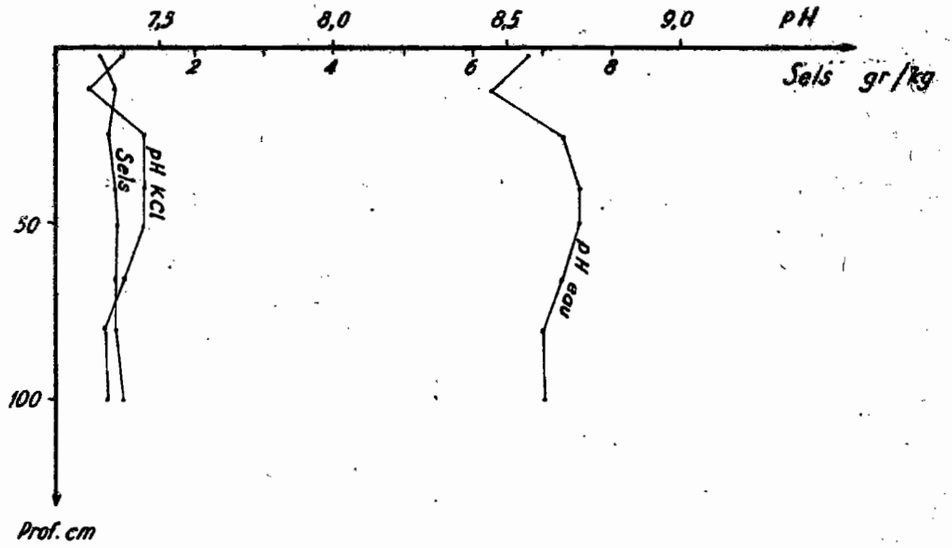
* *Couleur sur la carte pédologique*

FIGURE Nº 63

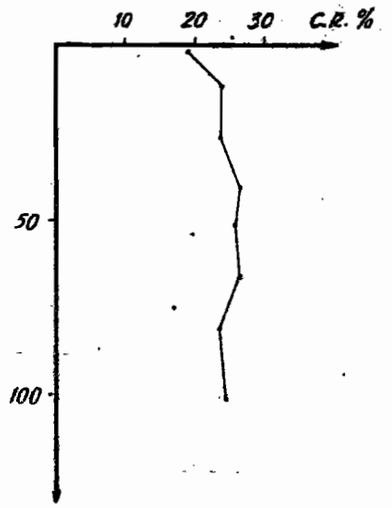
Calcaire et Matière Organique



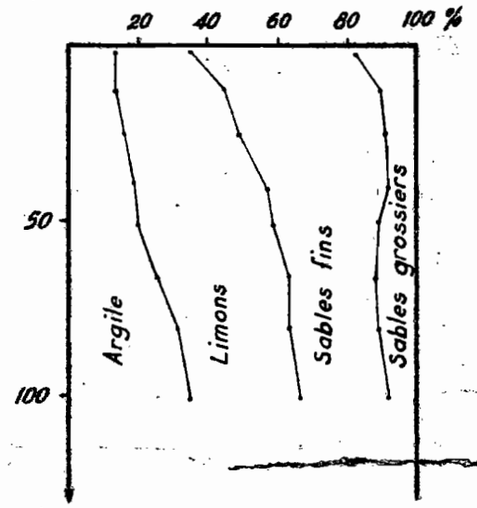
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS PEU EVOLUES D'APPORT

- non salés, non alcalisés
- caillouteux

Profil nº N 12

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 64)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels toteux gr/kg	pH		Capac. rétent %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	22,2	0,3	8,2	7,7	15,0	-
42 - 47	23,1	0,55	8,4	7,7	13,0	-
75 - 85	24,2	0,35	8,7	7,75	13,5	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 O5)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	total o/oo	assim. o/oo	total o/oo	assim. o/oo
0 - 5	0,82	0,47	0,04	11,2	-	0,04	-	-
42 - 47	0,79	0,46	-	-	-	-	-	-
75 - 85	0,86	0,50	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %												
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	97,5	16,6	5,2	1,0	1,0	7,2	23,8	7,2	17,5	19,2	43,9	22,5	5,9	3,9	32,3
42 - 47	91,5	17,0	1,0	1,0	1,0	3,0	20,0	8,6	17,1	19,5	45,2	20,4	8,8	5,6	34,8
75 - 85	92,9	19,0	2,0	1,0	1,0	4,0	23,0	5,9	17,9	22,6	46,4	20,9	6,0	3,7	30,6

TABLEAU Nº 42

SOLS PEU EVOLUES D'APPORT

- non salés, non alcalisés
- caillouteux

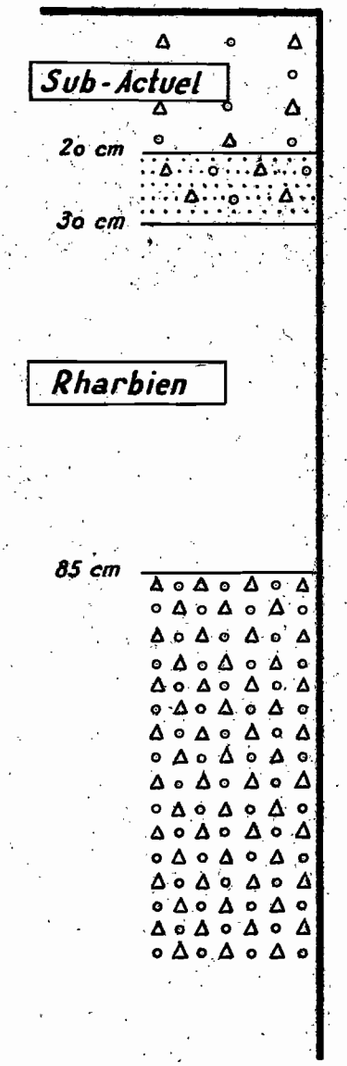
Rouge *

PROFIL - TYPE

Profil n° : N 12

Situation : 5 km au SSE de Zaïo, le long de l'oued Zebra, sur la rive droite.

Observations : lit majeur de l'oued Zebra, à 20 m. du lit actuel; micro-relief très bosselé : le profil est situé sur une petite butte du bourrelet alluvial; non cultivé.



Brun. Structure nuciforme faible. -- Fortement caillouteux; surface très caillouteuse.

Cailloutis sableux.

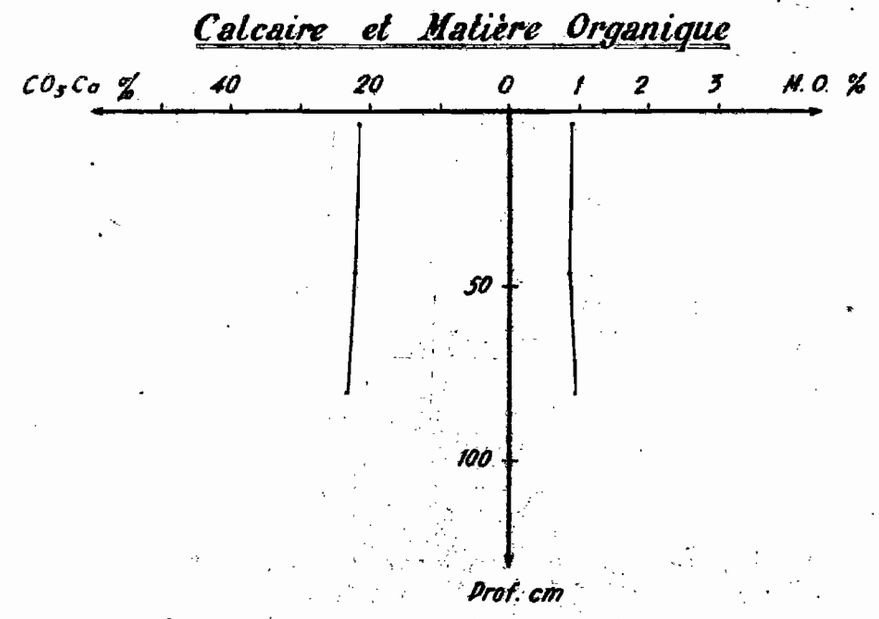
Brun. Structure massive, peu compacte. Légèrement caillouteux.

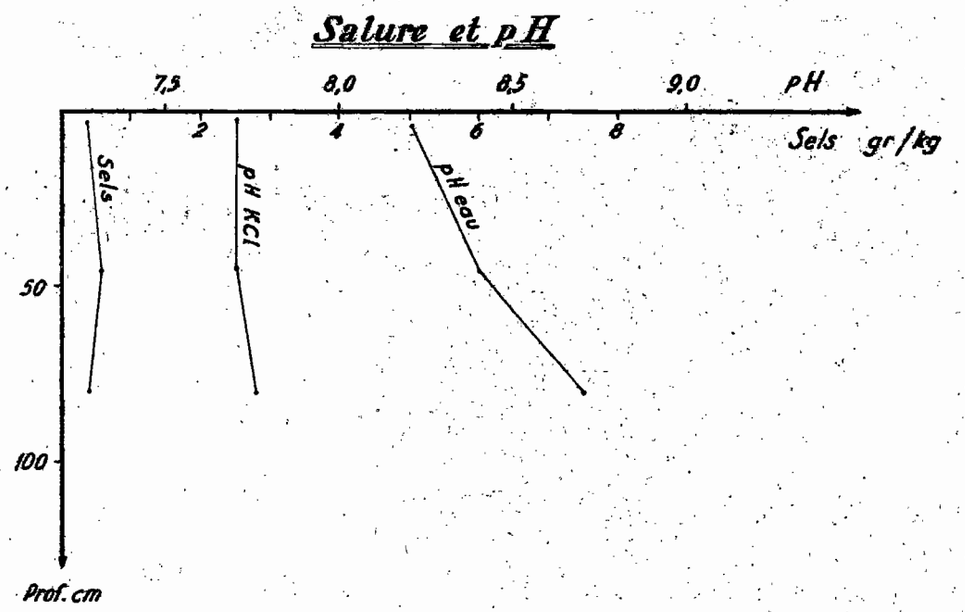
Cailloutis.

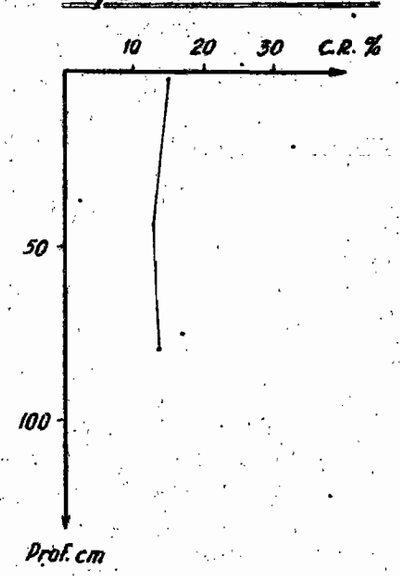
Résultats d'analyses : voir tableau n° 42

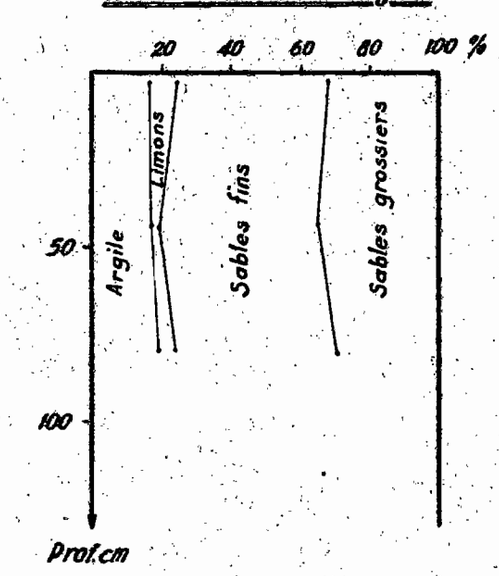
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE N° 64









CHAPITRE III . - LES SOLS PEU PROFONDS

I.- LA CLASSIFICATION DES SOLS PEU PROFONDS

Les sols peu profonds de la plaine du Zebra, d'après les caractères du sol peu profond lui-même, et d'après le type de la croûte sur laquelle il repose, peuvent être classés en 18 catégories :

a) les sols châtains steppiques subtropicaux à taches calcaires sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux.

b) les sols châtains steppiques subtropicaux à taches calcaires sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface.

c) les sols châtains steppiques subtropicaux à taches calcaires sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec dalle rubannée fine en surface.

d) les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, peu calcaires en surface ; sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux.

e) les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, peu calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans

.../...

dalle rubannée (voir fig. nº 65 et tabl. nº 43) (*).

f) les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, peu calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec dalle rubannée fine en surface.

g) les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface ; sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux (voir fig. nº 66 et 67, tabl. nº 44 et 45 et photo nº 22).

h) les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface (voir photo nº 24).

i) les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec dalle rubannée fine en surface ;(voir profil nº 69, tabl. nº 47 et photo nº 25).

j)les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire dure moyennement épaisse, avec dalle rubannée assez épaisse en surface (voir fig. nº 73).

k) Les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire dure très épaisse, avec dalle compacte épaisse en surface (voir fig. nº 71, tabl. nº 49 et photo nº 26).

l) Les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface ; sur croûte calcaire double : encroûtement ou croûte tendre, sur dalle épaisse, sur croûte dure très épaisse (voir photo nº 28).

m) Les sols brun-calcaires ; sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux (voir fig. nº 68 et tabl. nº 46)

n) Les sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, sans dalle rubannée en surface (voir fig. nº 70, tabl. nº 48 et photo nº 23).

o) Les sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire tendre peu épaisse, avec dalle rubannée fine en surface.

.../...

(*) Toutes les figures, tableaux et photos sont placés à la fin de ce chapitre.

p) Les sols brun.-calcaires ; sur croûte calcaire dure moyennement épaisse, avec dalle rubannée assez épaisse en surface.

q) Les sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire dure très épaisse, avec dalle compacte épaisse en surface (voir photo nº 27).

r) Les sols brun-calcaires ; sur croûte calcaire double : encroûtement ou croûte tendre, sur dalle épaisse, sur croûte dure très épaisse (voir fig nº 72, tabl. nº 50).

Nous n'avons pas, bien entendu, distingué toutes ces catégories dans notre cartographie : cela aurait été, pour ainsi dire, presque toujours impossible, du moins à l'échelle du 1/20.000º. En particulier :

- Les sols châtains steppiques peu épais, couvrant de très petites surfaces dans le Nord de la plaine, n'ont absolument pas pu être signalés sur la carte : ils ont été inclus soit dans les sols châtains steppiques profonds, (voir p. 170), soit dans les sols bruns steppiques peu profonds peu calcaires en surface.

- Bien que cela ait une certaine importance sur le plan de la mise en valeur (importance de l'épierrage), il ne nous a pas été possible de distinguer les croûtes non recouvertes d'une dalle rubannée de celles qui sont recouvertes par une dalle rubannée fine. En effet cette dalle est très fugace. : sa cartographie est même, à notre avis, impossible à une échelle plus grande telle le 1/5000º.

- Nous n'avons pas non plus cru pouvoir, à l'échelle du 1/20.000º, cartographier d'une façon précise les sols peu profonds sur encroûtement. Il suffit en effet d'un faible changement dans le microrelief, souvent invisible, d'une petite modification dans la granulométrie des roches-mères, ce qui est très fréquent, pour que l'on passe d'un sol profond à taches à un sol peu profond sur encroûtement puis à un sol peu profond sur croûte tendre peu épaisse. Nous aurions pu, dans certains cas, tracer certaines limites : nous l'avons essayé ; nous avons préféré finalement y renoncer car d'une part, pour être précis, il nous aurait fallu beaucoup de temps ; d'autre part cela aurait énormément

.../...

compliqué, embrouillé, une carte qui est déjà peut-être trop détaillée. Nous avons donc regroupé ces sols sur encroûtement, soit avec des sols profonds (sols bruns steppiques peu calcaires en surface : voir p.174, et surtout sols bruns steppiques à taches, granules et nodules calcaires, calcaires en surface : c'est ce que nous avons appelé les sols bruns steppiques subtropicaux, à taches, granules et nodules calcaires, calcaires en surface, localement fortement encroûtés en profondeur ; voir p. 178) ; soit avec des sols sur croûte tendre peu épaisse en signalant par des points verts les endroits où nous pensons que des sols sur encroûtement existent, seuls ou en association serrée avec des sols sur croûte tendre peu épaisse. Il sera bien entendu important, et généralement possible, à une échelle plus grande telle le 1/5000º, de cartographier ces encroûtements dont la mise en valeur (travaux d'aménagement, cultures, etc..) sera différente à la fois de celle des sols profonds et de celle des sols sur croûte.

- Nous avons également du regrouper dans une seule catégorie tous les sols sur croûte dure très épaisse avec dalle épaisse en surface : nous verrons pourtant qu'à une échelle plus grande telle le 1/5.000º, on peut essayer de faire quelques subdivisions bien que cela n'ait pas à notre avis un intérêt énorme sur le plan de la mise en valeur (voir p. 260).

- Un autre problème nous a été posé par les sols sur croûte dure moyennement épaisse avec dalle rubannée assez épaisse en surface. S'il est en général facile, aussi bien sur le plan de la cartographie que sur celui des possibilités de mise en valeur, c'est-à-dire de défoncement, de faire la distinction entre les croûtes tendres peu épaisses, tensiftiennes, facilement défonçables, et les croûtes dures très épaisses, avec dalles épaisses, très difficilement défonçables (sinon impossible), datant du Moulouyen inférieur, il arrive malgré tout assez souvent que certaines croûtes tensiftiennes, à la faveur d'un bombement ou d'une rupture de pente, deviennent beaucoup plus puissantes, ou au contraire, que certaines croûtes moulouyennes, et en particulier celles du Moulouyen supérieur, deviennent moins dures, moins épaisses et perdent leur dalle compacte. Et toutes les transitions, tous les intermédiaires sont bien sûr possibles. Deux problèmes se posent donc : celui de tracer des limites et celui surtout de juger

.../...

de la résistance au défoncement. Dans la carte du secteur Nord que nous avons publiée en 1960, (51), nous avions essayé de distinguer les trois catégories suivantes : facilement, difficilement et très difficilement défonçable ; mais nous avions signalé l'imprécision de cette distinction qui ne faisait que compliquer la carte. Nous avons donc finalement préféré supprimer la catégorie intermédiaire, les sols sur croûte dure moyennement épaisse ayant été alors le plus souvent classés avec les sols sur croûte dure très épaisse.

- Enfin, nous n'avons pas pu séparer, et cela n'aurait d'ailleurs eu qu'un intérêt très limité sur le plan de la mise en valeur, les sols bruns steppiques des sols bruns-calcaires. Il semble en effet qu'il suffit d'une faible modification dans la topographie, dans l'épaisseur du dépôt situé au-dessus de la croûte, dans la texture et l'âge de ce dépôt, pour que l'on passe d'un type de sol à l'autre. Il aurait donc été très difficile, sinon impossible, de tracer des limites qui n'auraient eu, par ailleurs, qu'un intérêt presque purement scientifique.

Nous avons donc finalement regroupé les sols peu profonds en quatre grandes catégories :

A.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- peu calcaires en surface

sur CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE ou ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX

- avec ou sans dalle rubannée fine en surface
- salure variable dans et sous l'encroûtement

Cet ensemble de sols, cartographié en orange barré de marron, regroupe donc la plupart des sols bruns steppiques peu profonds peu calcaires en surface, c'est-à-dire les catégories d , e et f. La plupart seulement, car une petite partie de ceux sur encroûtement n'ont pu être séparés des sols profonds (voir p. 244). Cet ensemble inclut également quelques petites taches de sols châtains peu profonds.

.../...

La surface couverte par cet ensemble de sols, dans la zone cartographiée, est très faible: 33 hectares. On ne les trouve qu'en bordure de la chaîne des Kebdana, sur des pentes généralement assez fortes (2 à 5 %) à micro-relief assez accentué. Ces sols semblent par contre assez fréquents au Nord de la zone cartographiée, quand on se rapproche de la chaine des Kebdana.

Au-dessus de la zone encroûtée, les roches-mères de ces sols datent du Rharbien et du Soltanien : Rharbien plus ou moins épais, quelquefois inexistant, reposant sur la roche-mère soltanienne nº 11 plus ou moins recalcarifiée ou mélangée à la roche-mère nº 10. Sous la zone encroûtée, la roche-mère est généralement tensiftienne (roches-mères nº 5, 6, 7 ou 9).

B.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

ou LES SOLS BRUN-CALCAIRES

sur CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE

- avec ou sans dalle rubannée fine en surface
- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

Cet ensemble de sols, cartographiés en marron clair, regroupe une grande partie des sols des catégories h, i, n, et o, et une petite partie des sols des catégories j et p.

Nous ne pouvons pas, bien entendu, donner de chiffres concernant la surface couverte par ces sols, étant donné que nous ne les avons pas séparés sur la carte de l'ensemble de sols suivants.

.../...

C.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

ou LES SOLS BRUN-CALCAIRES

sur CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE ou ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX

- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

Cet ensemble de sols, cartographié en marron clair avec surcharge de ronds verts, regroupe donc en plus des sols des catégories h, i, n et o, les sols des catégories g et m.

La surface couverte par cet ensemble de sols et l'ensemble précédent, est de 4382 hectares, dont 3073 sont dominés par le canal principal. Ils couvrent donc les 2/5 du futur périmètre irrigué : étant donnée la qualité médiocre de ces sols, cela fait beaucoup. Et encore faudrait-il ajouter les sols sur encroûtement cartographiés en association avec des sols profonds (vert barré de marron : voir p 178 et 244).

Les sols peu profonds sur croûte et encroûtement sont répartis dans toute la plaine ; ils sont cependant beaucoup plus fréquents à l'Ouest et au Sud.

Leur répartition topographique est très variable : on peut, au fond, les trouver à peu près dans toutes les situations topographiques. Cependant ils sont surtout fréquents :

- Sur des buttes ou des éperons assez étroits, la croûte occupant généralement les sommets, et les encroûtements les versants.

- Sur des glacis, la croûte apparaissant de préférence en bordure des axes de drainage qui entaillent ces glacis, les encroûtements couvrant le milieu du glacis, généralement en association avec des sols profonds.

.../...

- Sur les versants des buttes et plateaux couverts par les croûtes très épaisses du Moulouyen, la croûte couvrant le sommet du versant et l'encroûtement le bas du versant.

Les croûtes et surtout les encroûtements sont par contre assez rares dans les fonds de vallées.

Mais tout cela n'est que très schématique. Rappelons (voir p. 44) que le tout est lié à l'histoire géomorphologique, aux dépôts (épaisseur et granulométrie) et aux érosions des différentes périodes du quaternaire. Certaines buttes ne seront pas encroûtées si les dépôts datent du Soltanien ; certaines vallées seront encroûtées si les érosions et dépôts post-tensiftiens ont été faibles. Sur la figure nº 74 nous avons essayé de résumer les principaux cas de répartition des croûtes et encroûtements en fonction de la topographie.

Les roches-mères de ces sols sont dans la très grande majorité des cas, du Soltanien (roches-mères nº 10 et 12) recouvrant du Tensiftien (roches-mères nº 5, 6, 7 ou 8), croûte et encroûtement se formant au sommet de ces limons tensiftiens. Les couvertures rharbiennes bien individualisées sont assez rares ; le plus souvent le pluvial rharbien n'a réalisé qu'un très léger remaniement sur place (départ d'éléments fins). Sous les croûtes et encroûtements, il se peut quelquefois, en particulier dans le centre Sud de la plaine et sur la bordure Nord, que les limons tensiftiens n'existent pas, soit parce qu'ils ne sont pas déposés, soit parcequ'ils ont été érodés avant la période d'encroûtement : croûte et encroûtement, datant toujours du Tensiftien, se font alors sur un dépôt plus ancien, amirien, moulouyen, villafranchien et même quelquefois plus ancien.

.../...

D.- LES SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

ou les SOLS BRUN-CALCAIRES

sur CROUTE CALCAIRE DURE EPAISSE

- avec dalle épaisse en surface
- salure forte dans et sous l'encroûtement

Cet ensemble de sols, cartographié en marron foncé regroupe les sols des catégories j, k, l, p, q et r.

Ils couvrent une surface de 3027 hectares, dont 1336 sont dominés par le canal principal ; ces sols ne pouvant être consacrés à une irrigation intensive, l'importance de cette surface limite une fois de plus les possibilités de mise en valeur de la plaine du Zebra.

Ces sols existent à peu près partout dans la plaine ; mais c'est surtout dans la moitié Sud et sur les pourtours Est et Ouest qu'ils sont très fréquents.

Ils sont le plus souvent situés dans des positions topographiques dominantes par rapport aux autres types de sol (voir fig. nº 74) : plateaux à pentes généralement faibles, buttes à sommet plat ou arrondi, éperons souvent assez étroits, glacis courts et à pentes fortes accrochés aux collines qui sont situées sur le pourtour et dans la plaine.

Sous la croûte, la roche-mère est moulouyenne (roches-mères nº 2 ou 3) ou villafranchienne (roche-mère nº 1), plus rarement tensiftienne (certains sols des catégories j et p) (Tensiftien majeur : roche-mère nº 5, 6 ou 8). Par dessus la dalle, les dépôts datent, dans la très grande majorité des cas, du Soltanien. Le Rharbien est rare. Par contre, il est assez fréquent de trouver, en particulier dans les zones de plateau, une petite épaisseur de Tensiftien se plaçant entre la dalle et le limon soltanien ; ce Tensiftien est alors le plus souvent encroûté (croûte double : catégories l et r).

.../...

II.- DESCRIPTION DES DIVERS TYPES DE CROUTES CALCAIRES

Une croûte calcaire complète comprend, du haut vers le bas :

1º) Une dalle rubannée, qui peut avoir quelques millimètres à plusieurs centimètres d'épaisseur. Cette dalle, très riche en calcaire (75 à 85 %) est très dure surtout quand elle est épaisse. Elle est de couleur saumon, avec des filets plus ou moins sombres, quelquefois bien noirs.

2º) Une dalle compacte, qui peut avoir jusqu'à 20 cm d'épaisseur. Cette dalle, très riche en calcaire (70 - 80 %) est extrêmement dure. Elle est souvent très continue, non brisée. Elle est de couleur saumon. Elle peut être très caillouteuse.

3º) Une croûte lamellaire, pouvant avoir un mètre et plus d'épaisseur. Cette croûte est constituée par la superposition de feuillets, épais en surface, de plus en plus fins en profondeur. Ces feuillets ne sont pas continus, surtout ceux de surface ; ils sont séparés par des fentes sub-horizontales s'anastomosant entre elles, les fentes étant de plus en plus fines quand on va du haut vers le bas : vers le haut ces fentes peuvent avoir quelques cm d'épaisseur, et être remplies de terre provenant du sol situé au-dessus de la croûte. Le durcissement de la croûte diminue toujours quand on va du haut vers le bas ; elle est souvent très dure sur plusieurs dizaines de cm. Quand il n'y a pas de dalle compacte, le feuillet supérieur, qui peut avoir une dizaine de centimères d'épaisseur est généralement très brisé par des fentes verticales, la dalle rubannée qui le recouvre descendant dans ces fentes. La croûte est très riche en calcaire (70 à 75 %) ; elle est généralement blanche à blanc-crème, avec des taches noires ; quand elle est très durcie, elle a tendance à devenir plus rose. Elle est souvent caillouteuse.

4º) Un encroûtement, qui peut également avoir 1 mètre et plus d'épaisseur. Dans sa zone supérieure, où il est en transition avec la croûte, il est finement feuilleté,

.../...

puis il devient assez compact. Les encroûtements sont soit tuffeux, soit granulaires et nodulaires. Quand ils sont tuffeux, ils passent généralement en profondeur, progressivement, à un limon à taches calcaires ; quand ils sont granulaires et nodulaires, le sommet de l'encroûtement peut être tuffeux (tuff entre les granules et les nodules), et ils passent en profondeur, progressivement, à un limon à granules et nodules. Les encroûtements sont généralement blanchâtres au sommet, de plus en plus jaunes, bruns, vers la profondeur. Ils peuvent être assez durs en surface, mais ils ne sont jamais très durs. Les encroûtements très tuffeux contiennent 60 à 70 % de calcaire en surface, le taux de calcaire diminuant progressivement avec la profondeur. Les encroûtements granulaires et nodulaires contiennent, mis à part les granules et nodules, 50 à 60 % de calcaire en surface. Les encroûtements peuvent être caillouteux, mais le sont généralement moins que les croûtes.

Nous parlons de :

a) Sol sur encroûtement, quand le sol repose directement sur un encroûtement ; il n'y a ni croûte, ni dalle en surface de l'encroûtement. Cet encroûtement a généralement 20 à 50 cm d'épaisseur : sa limite supérieure est presque toujours bien marquée ; par contre sa limite inférieure est le plus souvent difficile à déterminer étant donné que le passage avec le limon sous-jacent est progressif.

Il est quelquefois assez délicat de faire la différence entre un sol peu profond sur encroûtement granulaire et nodulaire et un sol profond présentant un niveau d'accumulation fortement taché, riche en granules et nodules. Il arrive en effet qu'un sol classé sur le terrain, à l'observation du profil, en sol sur encroûtement, se révèle à l'analyse guère plus calcaire qu'un sol voisin classé en sol profond. Ceci provient du fait qu'à la préparation de l'échantillon les granules et les nodules sont éliminés ; or les encroûtements ne sont souvent, par rapport aux sols profonds, que plus riches en granules et nodules, et non en calcaire fin. Ceci nous a alors amenés à nous fonder plus souvent sur des critères de physique du sol pour séparer les encroûtements : dureté, compacité, densité de granules et de nodules, augmentation de la quantité des nodules par rapport aux granules, limite plus brutale au sommet

.../...

de l'accumulation. Tout n'est pas pour autant résolu : il reste souvent bien difficile de placer certains sols dans l'une ou l'autre des deux catégories. C'est une des raisons pour laquelle nous avons fait ce complexe de sols profonds à taches, granules et nodules, localement fortement encroûtés en profondeur : dans ce complexe les encroûtements vraiment bien développés sont en réalité assez rares (voir p. 179).

b) Sol sur croûte tendre peu épaisse ; quand le sol repose sur une croûte, datant presque toujours du Tensiftien, ayant le plus souvent 10 à 25 cm d'épaisseur ; croûte généralement pas très dure et qui n'est jamais surmontée par une dalle compacte. Elle est par contre assez souvent coiffée par une dalle rubannée mais qui n'est jamais très épaisse (2 cm maximum) et qui est généralement brisée. La croûte elle-même repose sur un encroûtement passant progressivement en profondeur à un limon à taches ou à granules et nodules. L'ensemble croûte plus encroûtement a une épaisseur très variable : 20 à 70 cm, le plus souvent 30 à 60 cm. Signalons qu'il peut y avoir plusieurs croûtes superposées, séparées par des zones non encroûtées ; c'est ce que l'on trouve souvent très près des montagnes quand les dépôts qui sont encroûtés sont très caillouteux (voir profil nº T 216 : fig. nº 65).

c) Sol sur croûte dure épaisse avec dalle épaisse en surface, quand le sol repose sur une croûte ayant généralement 60 cm à plus d'1 mètre d'épaisseur Cette croûte est très dure en surface et est surmontée soit d'une dalle rubannée très épaisse, généralement assez continue, pouvant avoir jusqu'à 5 cm d'épaisseur (croûtes tensiftiennes puissantes et croûtes de Moulouyen supérieur) ; soit d'une dalle compacte très dure, très continue, pouvant avoir jusqu'à 20 cm d'épaisseur (croûtes du Moulouyen inférieur). La croûte elle-même repose sur un encroûtement pouvant avoir 30 cm à plus d'un mètre d'épaisseur. Rappelons qu'il est assez fréquent de trouver une croûte tendre ou un encroûtement de 20 à 50 cm d'épaisseur posé par-dessus la dalle : c'est ce que nous avons appelé les croûtes doubles (voir profil nº N 25 : fig. nº 72).

.../...

III.- DESCRIPTION DES SOLS PEU PROFONDS SITUES SUR LES CROUTES OU ENCROUTEMENTS CALCAIRES

A.- Profondeur : ces sols ont donc 25 à 50 cm d'épaisseur, le plus souvent 30 à 40 cm. Mais, dans certaines situations topographiques particulières, telles que les bordures de plateaux ou de terrasses, les buttes très étroites, les sols peuvent être moins épais : 10 à 20 cm ; ce sont alors ce qu'il est habituel d'appeler des sols squelettiques. Nous ne les avons pas séparés étant donné qu'ils couvrent de très faibles surfaces. Par ailleurs, sur les grands plateaux moulouyens situés à l'Est, en bordure de la Moulouya, une reconnaissance rapide nous a montré que, comme dans la plaine des Triffa (RUELLAN : 1960 ; BEN DRISS et RUELLAN : 1962) (2 et 54), les sols pouvaient avoir localement, à la faveur des ondulations de la dalle, une épaisseur plus grande : 60 à 70 cm, quelquefois un peu plus. A l'échelle du 1/20.000º, il ne pouvait être question de cartographier ces sols plus profonds : ceci n'a d'ailleurs que peu d'importance, les possibilités de mise en valeur de ces sols restant à notre avis très limitées (voir p. 260). Rappelons pour terminer, que les sols brun-calcaires sont généralement moins profonds (moins de 30 - 35 cm) que les sols bruns steppiques.

B.- Couleur : par rapport aux sols profonds, les sols peu profonds sont très souvent plus clairs en surface, moins ocres. C'est un caractère très important, qui ressort parfaitement sur les photographies aériennes, facilitant beaucoup la cartographie. D'une façon très générale, ils sont plus ocres en surface quand on se rapproche de la chaîne des Kebdana. Enfin, les quelques sols peu calcaires en surface sont nettement plus ocre-rouges. En profondeur, il y a presque toujours un petit peu de rubéfaction, d'autant plus marquée que le sol est plus profond. Cette rubéfaction n'est que très légère, sinon inexistante dans les sols brun-calcaires.

C.- Calcaire : en dehors des quelques rares sols peu calcaires dosant 4 à 10 % en surface, les sols peu profonds sont toujours très calcaires dès la surface : 15 à 25 %, les sols brun-calcaires l'étant généralement plus que les sols bruns steppiques. En profondeur le taux de calcaire augmente généralement progressivement, mais

.../...

d'une façon beaucoup plus marquée dans les sols bruns steppiques que dans les sols brun-calcaires ; au contact de la croûte ou de l'encroûtement le taux de calcaire peut osciller entre 20 et 40 % (plutôt 20 à 30 % dans les sols brun-calcaires et 30 à 40 % dans les sols bruns steppiques). Dans les sols bruns steppiques, des taches et même des granules calcaires apparaissent à partir de 20 - 40 cm de profondeur : ils sont inexistants dans les sols brun-calcaires.

D.- Granulométrie : les sols peu profonds sur encroûtement ne sont généralement pas ou peu caillouteux, sauf près des montagnes, en particulier là où ils sont en association avec des sols bruns steppiques à taches, granules et nodules calcaires. Par contre les sols sur croûte ou dalle sont presque toujours caillouteux (les cailloux étant bien entendu des morceaux de croûte dure et de dalle) : d'une façon générale, plus la croûte est dure et plus la dalle est importante, plus les sols sont caillouteux ; d'autre part, les sols seront également d'autant plus caillouteux qu'ils sont moins profonds (dans les sols suffisamment profonds, les cailloux sont plus abondants à la base qu'au sommet). Ce sont donc bien entendu les sols sur croûte dure épaisse avec dalle épaisse qui sont les plus caillouteux ; ils le sont souvent d'une façon très impressionnante, avec des blocs de dalle énormes (voir photos nº 28 et 30). En ce qui concerne la granulométrie de la terre fine, il y a généralement 10 à 25 % d'argile en surface (c'est donc très variable) et 20 à 30 % en profondeur, cette accumulation d'argile étant plus marquée dans les sols bruns steppiques que dans les sols brun-calcaires. Les sols peu calcaires en surface sont généralement plus argileux (roche-mère sol tanienne plus argileuse) : 15 à 25 % en surface, 30 à 45 % en profondeur. La teneur en argile plus limons oscille le plus souvent entre 35 et 50 % en surface, 40 et 60 % en profondeur, le reste étant essentiellement composé de sables fins.

E.- Structure : elle est nuciforme ou polyédrique à nuciforme en surface, polyédrique plus ou moins fine en profondeur. Dans les sols brun-calcaires, cette structure polyédrique est souvent mal développée. Par contre dans les sols bruns steppiques, en particulier ceux situés sur encroûtement, une structure légèrement

.../...

polyédro-cubique à facettes lisses peut apparaître en profondeur. La stabilité structurale est faible, surtout en surface (glaçage généralisé), mais elle est quand même dans l'ensemble un peu meilleure que dans les sols profonds : Is de 2 - 5.

F.- Capacité de rétention : elle est de 20 à 25 %

G.- Matière organique : il n'y en a,le plus souvent, pas plus de 1,5 à 2 % en surface ; c'est donc assez peu. En profondeur, au contact de la croûte ou de l'encroûtement, le taux est assez variable, mais le plus souvent il y en a encore beaucoup 0,7 à I,0 % et même plus. Puis c'est la chute brutale : même quand l'encroûtement est de faible puissance, la matière organique tombe très souvent à moins de 0,3 - 0,4 % ; ceci prouve bien que l'encroûtement, même quand il est faible, est un obstacle physique et chimique à la pénétration des racines.

H.- Eléments fertilisants : les sols sont pauvres en azote et phosphore, riches en potassium. Signalons que les croûtes et encroûtements sont très pauvres même en potassium.

IV.- LES LIMONS SITUES SOUS LES ENCROUTEMENTS

Les encroûtements, seuls ou situés sous des croûtes, passent progressivement en profondeur à des limons qui ne sont, bien sûr, autres que des roches-mères datant du Tensiftien, de l'Amirien, du Moulouyen ou du Villafranchien, roches-mères que nous avons déjà décrites (voir chap. II de la 1º partie). Nous n'avons donc que peu de choses à préciser ; à savoir que :

.../...

- Le taux de calcaire diminue avec la profondeur. Juste sous l'encroûtement, il est en général encore de 40 à 50 %, puis il diminue rapidement à 20 - 30 % (dans les limons moulouyens et villafranchiens, le taux de calcaire peut rester élevé jusqu'à une grande profondeur).

- La granulométrie des roches-mères situées sous les encroûtements est souvent plus grossière que celle des roches-mères de sols profonds voisins. En particulier, elles sont souvent plus caillouteuses et les lits de cailloux sont assez fréquents.

- La stabilité structurale est toujours faible.

- La capacité de rétention oscille entre 20 et 25 %.

- La teneur en matière organique est à peu près nulle.

- La fertilité chimique est toujours très limitée, sauf en potassium.

V.- POROSITE ET PERMEABILITE

La porosité des sols peu profonds est toujours bonne. Par contre, la porosité des dalles est absolument nulle : l'eau ne peut pénétrer que par les zones où la dalle est brisée. La porosité des croûtes est également nulle ou très faible, l'eau ne pouvant pénétrer que par des fentes qui généralement, quand la croûte est assez épaisse, ne la traversent pas entièrement ; l'eau ne peut donc circuler facilement que sub-horizontalement, entre les feuillets de croûte. La porosité des encroûtements est variable mais dans l'ensemble assez faible. Enfin, la porosité des limons situés sous les encroûtements, est en général assez bonne.

Il en découle que, si dans les sols peu profonds la perméabilité est toujours très forte, il n'en est pas de même au-dessous.

.../...

Pour les croûtes, la perméabilité dépend avant tout de la surface de ces croûtes. Si cette surface est une dalle continue ou une croûte très dure non brisée, la perméabilité sera bien entendu nulle ; les irrigations sans défoncement préalable (défoncement qui est dans ce cas généralement impossible à réaliser) provoqueront rapidement une hydromorphie juste au-dessus de la croûte. Si par contre cette croûte est très brisée en surface, l'eau pénètrera plus facilement et circulera ensuite (probablement très lentement) entre les feuillets de croûte. La perméabilité des encroûtements dépend beaucoup du type d'encroûtement ; s'il s'agit d'un encroûtement granulaire ou nodulaire relativement peu tuffeux, la perméabilité pourra être forte (5 - 10 cm/h). Au contraire s'il s'agit d'un encroûtement tuffeux, compact, la perméabilité sera dans l'ensemble beaucoup plus faible. Mais qu'il s'agisse d'une croûte ou d'un encroûtement granulaire, nodulaire ou tuffeux, il faut se souvenir que la limite entre le sol supérieur et la croûte ou l'encroûtement est toujours brutale : il y a là une discontinuité qui gènera toujours la circulation de l'eau si des défoncements et des sous-solages ne sont pas effectués. En ce qui concerne les limons sous-jacents aux encroutements, leur perméabilité est très variable suivant leur granulométrie, c'est-à-dire en gros suivant leur âge : les limons tensiftiens et moulouyens sont en général assez perméables ; au contraire les limons amiriens et villafranchiens sont souvent très imperméables.

VI.- SALURE ET ALCALISATION

Les sols peu profonds ne sont généralement ni salés ni alcalisés, sauf en profondeur, près de la croûte, où ils peuvent être, mais assez rarement, légèrement salés (2, à 2,5 o/oo), et où ils sont, plus généralement, alcalisés.

Par contre, les croûtes, et surtout les encroûtements et les limons sous-jacents, sont toujours alcalisés et sont souvent très fortement salés (plus de 3 o/oo ; souvent plus de 5 o/oo). Ce n'est que dans le secteur Nord de la plaine, près de la chaîne des Kebdana, que l'on trouve des encroûtements et limons sous-jacents peu ou non salés.

.../...

Signalons que l'alcalisation des encroûtements est souvent très violente : des pH voisins et même supérieurs à 9,5 ne sont pas exceptionnels. Nous pensons que cela provient peut-être de la présence de carbonate de magnésium : nous poursuivons actuellement quelques analyses en laboratoire pour vérifier cette hypothèse.

VII.- LA MISE EN VALEUR DES SOLS PEU PROFONDS

La mise en valeur des sols peu profonds sur encroûtement. ou croûte, exige :

- le défoncement et l'épierrage des croûtes ;
- le sous-solage des encroûtements ;
- le dessalage, la désalcalisation, la stabilisation de la structure, du sol et surtout du sous-sol.

Nous reparlerons dans la 3º partie de ce rapport de l'aménagement de ces sols peu profonds (voir p. 310). Il nous faut cependant souligner dès maintenant les points suivants :

- 1º) Le défoncement ne sera à faire que sur les sols sur croûte tendre peu épaisse. Dans les sols sur croûte dure il est, à notre avis, impossible, à moins de mettre en oeuvre des moyens démesurés. Dans les sols sur encroûtement, il est à déconseiller car il entraîne la remontée dans le sol superficiel de grandes quantités de calcaire.

- 2º) L'épierrage ne sera à effectuer que dans les sols sur croûte tendre peu épaisse, après défoncement ; dans les sols sur croûte dure, mais uniquement en surface; dans les sols sur encroûtement quand ils sont caillouteux : dans ce dernier cas, cet épierrage, peu important, pourra être laissé aux soins des agriculteurs.

- 3º) Le sous-solage sera probablement nécessaire dans les sols sur encroûtement d'une part, dans les sols sur croûte tendre d'autre part (après le défoncement).

.../...

En ce qui concerne le dessalage, la désalcalisation, la stabilisation de la structure des sols et surtout des sous-sols, c'est à peu près partout le problème majeur à résoudre avant la mise en place d'une agriculture irriguée intensive. Et nous pensons qu'il sera pour ces sols encroûtés plus délicat et plus long à résoudre que dans la plupart des sols profonds (voir p. 288).

Quelles seront les cultures possibles sur l'ensemble de ces sols peu profonds ?

a) Les sols sur encroûtement : dans les zones où ces sols prédominent nettement sur les sols sur croûte tendre, zones dont les limites devront être précisées par un tri des sols à l'échelle du 1/50000 , il sera possible de prévoir, une fois l'alcalisation et la salure supprimées, des cultures très variées, à condition qu'elles soient résistantes au calcaire actif (un arbre comme l'oranger sera à proscrire) et que la fertilité soit maintenue par des cultures fourragères fréquentes et des apports massifs de fumier. Par contre, pour les zones où les encroûtements couvrent de faibles surfaces en mélange avec des croûtes, il faudra prévoir les mêmes assolements que ceux prévus pour ces dernières.

b) Les sols sur croûte tendre peu épaisse : ces sols pourront être consacrés à des cultures maraîchères (primeurs, ces sols se réchauffent probablement rapidement au printemps), céréalières, fourragères (prairies temporaires à base de graminées et légumineuses) et arboricoles : olivier , abricotier et vigne. Comme culture industrielle, seul le coton sera intéressant mais il ne donnera des résultats valables que si les défoncements sont parfaitement réalisés. La betterave est à déconseiller, du moins tant que les sols ne seront pas parfaitement défoncés et épierrés.

c) Les sols sur croûte dure très épaisse avec dalle épaisse :

En dehors de la salure et de l'alcalisation, la mise en valeur de ces sols est limitée par :

.../.../...

- La profondeur,

- L'abondance des cailloux, qu'on ne peut pas enlever sans diminuer la profondeur.

- Le drainage : nous avons vu que les croûtes et dalles sont très imperméables et leur surface a un micro-relief très accentué ; sous irrigation, on risque de voir se constituer, au contact de la dalle, des poches d'hydromorphie permanente. D'autre part, ce manque de drainage interdit toute possibilité de lessivage des sels et de désalcalisation.

Ces sols ne pourront donc être consacrés qu'à des cultures à enracinement peu profond, adaptées à des sols caillouteux, peu exigeantes en eau et résistantes à la salure : étant donné que pour éviter l'hydromorphie en profondeur il faudra apporter des doses d'eau faibles, il y aura assez rapidement, l'eau de la Moulouya étant assez salée, augmentation de la salure des sols.

Par un travail de tri des sols à l'échelle du 1/5.000º (un trou tous les 100 à 150 m), on peut distinguer dans ces sols trois catégories (BEN DRISS et RUELLAN ; 1962) (2) :

1º) Les sols ayant moins de 30 cm d'épaisseur, ou ceux très caillouteux ayant 30 à 50 cm d'épaisseur ; ces sols devront être consacrés aux arbres forestiers : Eucalyptus, Pin d'Alep, qu'il faudra planter dans des trous creusés à l'explosif, la profondeur des trous dépendant de l'épaisseur de la croûte. Ces arbres devront être irrigués en hiver. On pourra également essayer certains arbres fruitiers comme l'amandier, le caroubier, le figuier, qu'il faudra planter, comme les arbres forestiers, dans des trous creusés à l'explosif, et qu'il faudra irriguer en hiver. On pourra enfin également essayer de créer, entre les arbres, des prairies permanentes à base de plantes peu exigeantes en eau, à enracinement fasciculé peu profond ; dans son rapport sur la plaine des Triffa (29), HEUSH propose des espèces qu'il serait intéressant d'essayer : Pennisetum villosum, Orysopsis miliacea, Dactylis glomerata, Oenchrus ciliata.

2º) Les sols ayant soit 30 à 50 cm d'épaisseur mais n'étant pas caillouteux, soit 50 à 80 cm d'épaisseur (avec souvent une croûte tendre ou un encroûtement en profondeur), mais étant fortement caillouteux

.../...

à partir d'une profondeur inférieure à 40 cm. Ces sols pourront recevoir en plus des arbres et des prairies permanentes, des cultures de céréales et des plantations de vigne.

3º) Les sols ayant 50 à 80 cm d'épaisseur et n'étant pas caillouteux sur les 40 premiers centimètres. Ces sols, assez peu nombreux, ont souvent un encroûtement ou une croûte entre 40 et 80 cm. Ils pourraient être consacrés à une agriculture plus intensive : maraîchage, coton, betterave, prairies temporaires. Nous conseillons cependant une très grande prudence, les risques d'hydromorphie, d'augmentation de la salure, d'épuisement des sols, étant grands. Il serait préférable de les cultiver comme les sols de la catégorie précédente.

L'ensemble de ces sols peu épais sur croûte dure épaisse avec dalle ne doit donc pas faire l'objet d'un équipement hydraulique couteux, mais seulement d'un équipement sommaire permettant de faire quelques irrigations d'automne, d'hiver et de printemps, époques à laquelle on ne manque pas d'eau.

Reste le problème de la mise en valeur des sols peu profonds sur croûte dure moyennement épaisse avec dalle rubannée assez épaisse en surface. Tout dépend si ces sols sont ou ne sont pas défonçables par des moyens raisonnables. S'ils le sont, ils pourront être cultivés comme les sols sur croûte tendre peu épaisse ; ils seront cependant beaucoup plus couteux à aménager et de toutes façons ils ne seront défonçables que si la croûte ne commence pas trop profondément, au-delà de 50 cm à peu près. S'ils ne sont pas défonçables, ils seront à classer avec les sols sur croûte dure très épaisse. Il serait donc urgent que les services de la Mise en Valeur nous donnent leur avis. En attendant, dans le tri des sols au 1/5000º qui est actuellement poursuivi dans la plaine des Triffa, ces croûtes moyennement épaisses sont cartographiées mais seulement quand elles sont à moins de 50 cm de profondeur ; si elles sont plus profondes on ne les distingue pas des croûtes très épaisses.

*

* *

.../...

Nous avons classé en catégorie 3 (aménagements nécessaires importants, fertilité médiocre, cultures limitées) les sols sur encroûtement ou croûte tendre peu épaisse : 3c quand ils ne sont pas salés, 3d quand ils le sont. Pour les encroûtements, si nous les avions individualisés sur la carte, nous aurions pu les classer en catégorie 2 quand ils ne sont ni salés ni alcalisés, en 3a ou 3b quand ils le sont (3a si l'alcalisation et la salure sont faibles ou si la texture de l'encroûtement et du limon sous-jacent permettent de prévoir une amélioration facile ; 3b dans les autres cas). Nous avons classé en catégorie 4 tous les sols sur croûte dure épaisse avec dalle : ce sont des sols qui ne doivent pas recevoir une mise en valeur irriguée intensive.

SOL BRUN STEPPIQUE SUBTROPICAL
sur
ENCROUTEMENT TUFFEUX



PHOTO Nº 22

Sol brun steppique.

Encroûtement tuffeux blanc, légèrement feuilleté en surface. Cet encroûtement est très altéré en surface.

Passage progressif vers un limon tensiftien caillouteux.

(Profil nº S133)

SOL BRUN-CALCAIRE
sur
CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE
sans dalle rubannée en surface

Sol brun-calcaire, très caillouteux à la base (morceaux de dalle et de croûte).

Croûte lamellaire blanche.

Poche de remplissage terreux.

Encroûtement peu tuffeux, ocre-rose, à taches plus rouges ou plus blanches

Limon amirien, très rouge, à structure finement polyèdro-cubique à facettes lissées. Taches calcaires.

(Profil nº N63)



PHOTO Nº 23

SOL BRUN STEPPIQUE SUBTROPICAL
sur
CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE
sans dalle rubannée fine en surface



PHOTO Nº 24

Sol brun steppique, assez caillouteux.

Croûte lamellaire blanche, bien durcie au sommet. Le feuillet supérieur est très brisé.

Encroûtement tuffeux blanc.

Limon amirien, très rouge, à structure finement polyèdro-cubique à facettes lissées. Taches calcaires.

(Profil nº N37)

SOL BRUN - CALCAIRE
sur
CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE
avec dalle rubannée fine en surface

Sol brun-calcaire très caillouteux (morceaux de dalle et de croûte).

Croûte lamellaire blanche, très durcie et plus rose au sommet. Le feuillet supérieur est très brisé. Dalle rubannée fine en surface.

Encroûtement tuffeux rose, très durci.

Passage progressif vers un limon tensiftien ocre-rose, encore très calcaire.

(Profil nº N38)

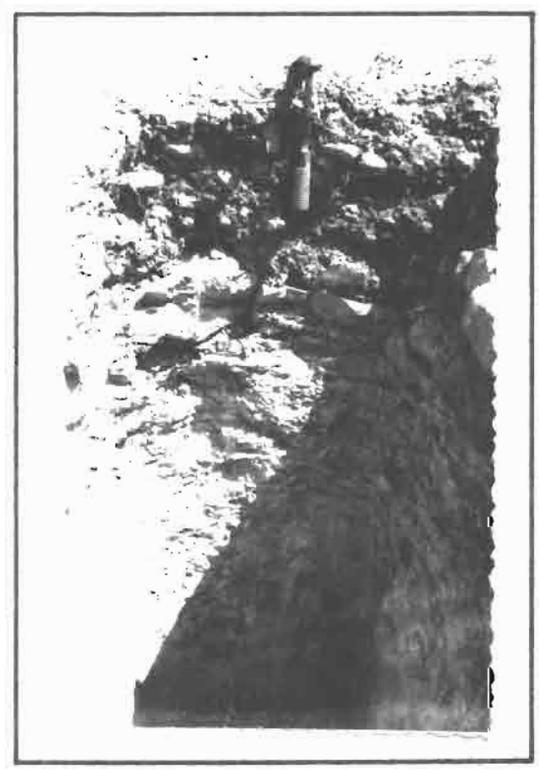


PHOTO Nº 25

SOL BRUN STEPPIQUE SUBTROPICAL
sur
CROUTE CALCAIRE DURE TRES EPAISSE
avec dalle compacte épaisse en surface



Sol brun steppique.

Dalle compacte.

Croûte très dure.

Encroûtement tuffeux très dur.

(Route Berkane-Zaio : 1 km après Saf-Saf)

PHOTO Nº 26

SOL BRUN-CALCAIRE
sur
CROUTE CALCAIRE DURE TRES EPAISSE
avec dalle compacte épaisse en surface

Sol brun-calcaire très peu épais.

Dalle compacte.

Croûte très dure.

Cailloutis encroûté, très durci.

(Route Berkane-Zaio : 1 km après Saf-Saf)

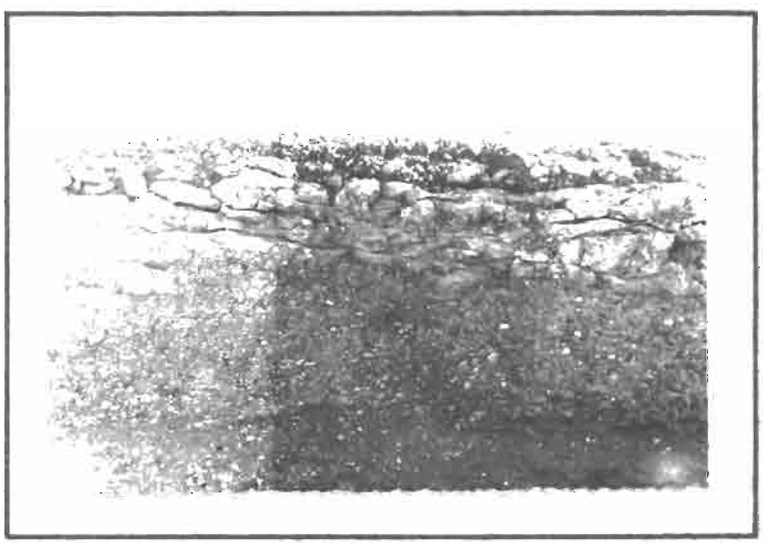


PHOTO Nº 27

SOL BRUN STEPPIQUE SUBTROPICAL
sur
CROUTE CALCAIRE DOUBLE



PHOTO Nº 28

Sol brun steppique, très caillouteux: très gros blocs de dalle.

Croûte lamellaire tendre et encroûtement tensiftiens, très caillouteux: très gros blocs de dalle.

Dalle compacte très dure, du Moulouyen inférieur.

Croûte lamellaire très dure.

(Profil nº N.30)

Dalle compacte et croûte très dures.

Encroûtement tuffeux et nodulaire.

Cailloutis du Moulouyen inférieur.



PHOTO Nº 29.-Coupe de la croûte du Moulouyen inférieur le long de l'affluent Sud de l'oued Zebra.



PHOTO Nº 30.- Etat de la surface d'un sol peu profond sur croûte calcaire dure très épaisse avec dalle compacte épaisse en surface.

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- peu calcaires en surface

sur

CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE

- sans dalle rubannée en surface
- salure variable dans et sous l'encroûtement

PROFIL Nº T 216

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 65)

Profondeur cm	CO_3Ca	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	4,2	0,55	8,6	7,2	21,8	3,0
5 - 10	5,0	0,5	8,5	7,2	24,6	1,7
17 - 22	5,0	0,65	8,6	7,3	24,0	1,6
30 - 35	22,8	0,65	8,8	7,55	-	1,6

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	2,22	1,29	0,14	9,2	0,96	0,06	7,5	0,99
5 - 10	2,25	1,30	0,13	9,8	-	0,04	9,9	0,78
17 - 22	1,54	0,90	0,09	9,5	1,15	0,02	7,5	0,69
30 - 35	1,18	0,69	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %												
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	59,0	25,0	-	-	-	26,5	51,5	13,7	9,1	6,6	29,4	7,7	5,8	5,6	19,1
5 - 10	58,9	26,0	-	-	-	25,7	51,7	12,5	12,1	6,0	30,6	6,5	5,7	5,5	17,7
17 - 22	55,0	39,8	-	-	-	22,0	61,8	8,5	10,8	4,6	23,9	5,5	4,7	4,1	14,3
30 - 35	-	44,4	-	-	-	22,5	64,9	5,6	10,0	4,2	19,8	5,0	5,6	2,7	13,3

TABLEAU Nº 43

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX
- à taches calcaires
- peu calcaires en surface

sur

CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE
- sans dalle rubannée en surface
- salure variable dans et sous l'encroûtement

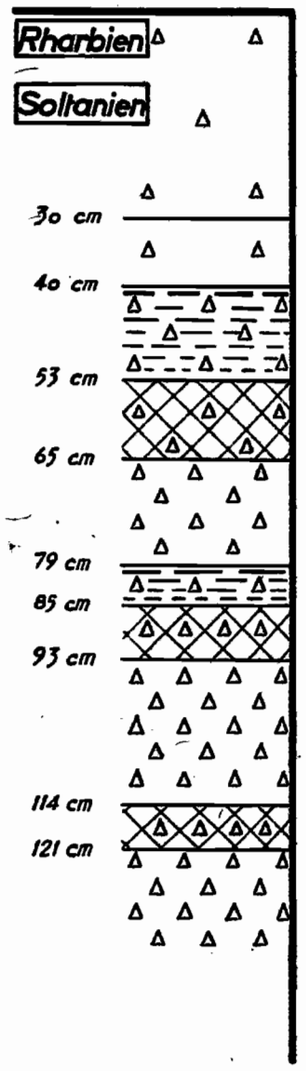
Orange barré marron *

PROFIL - TYPE

Profil nº : T 216

Situation : 1.6 km au SW de Zaïo

Observations: éperon largement bombé: pente moyenne voisine de 2%; cultivé.



Brun-ocre rouge, plus rouge en profondeur. Structure polyèdrique à nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur. Surface un peu glacée. Caillouteux. Surface caillouteuse.

Ocre-rouge. Structure polyèdrique assez fine. Caillouteux. Taches calcaires, quelques granules.

Croûte lamellaire.

Encroûtement granulaire et tuffeux.

Croûte lamellaire.

Encroûtement granulaire et tuffeux.

Encroûtement granulaire et tuffeux.

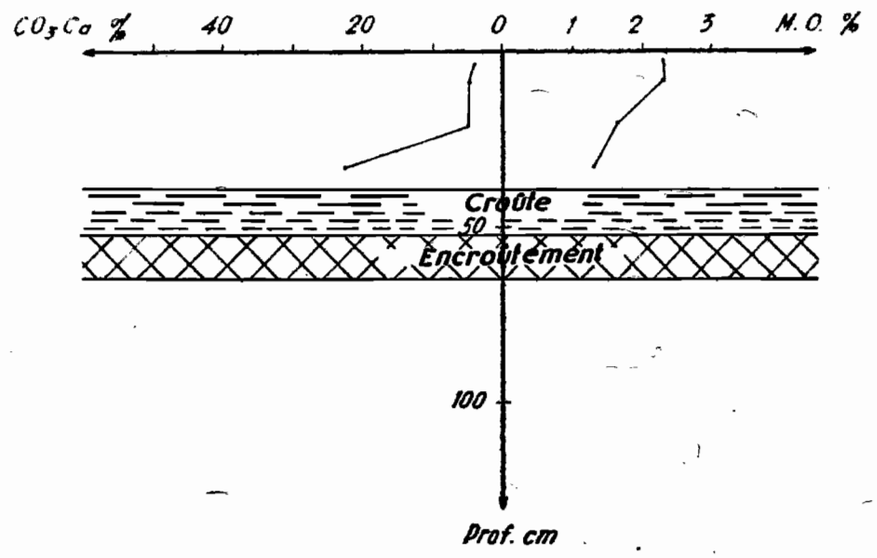
Cailloutis encroûté à plusieurs niveaux.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 43

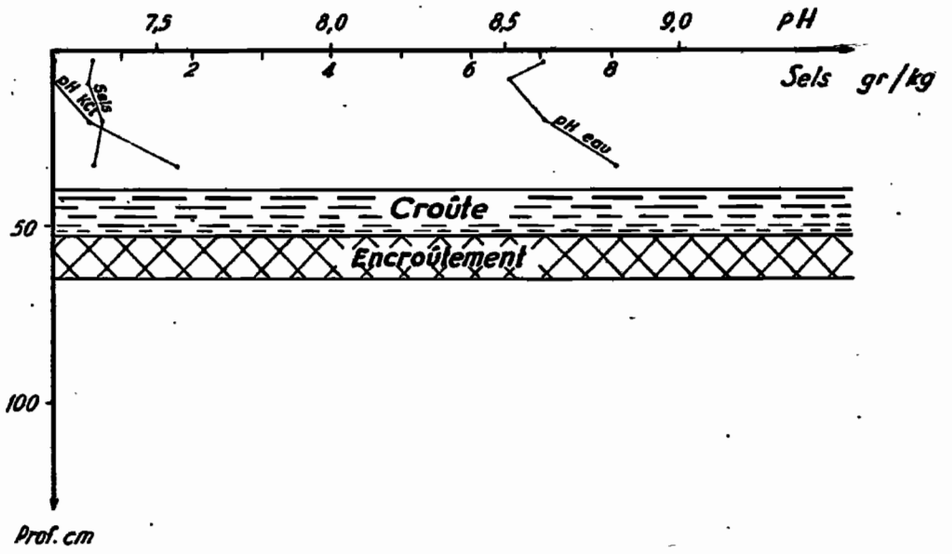
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 65

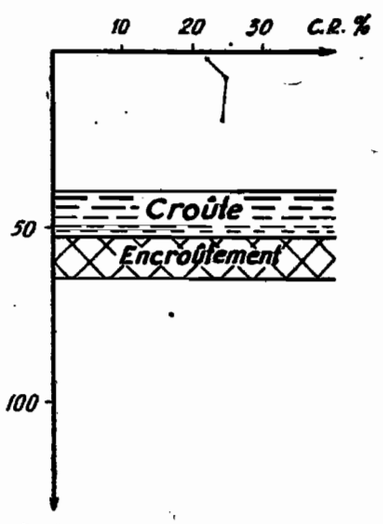
Calcaire et Matière Organique



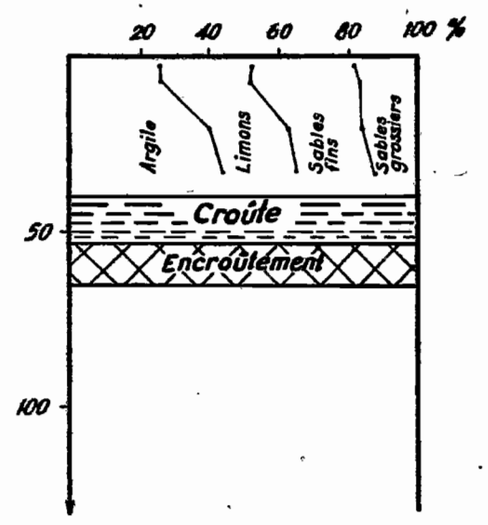
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX

- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

PROFIL Nº T 242 (Encroûtement granulaire et nodulaire)

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 66)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent %	Is.
			Eau	KCl		
0 - 5	17,1	0,65	8,9	7,65	23,0	3,6
12 - 17	19,6	0,95	8,75	7,65	24,0	2,4
27 - 32	27,6	1,2	8,85	7,8	21,2	2,4
47 - 52	47,0	1,45	8,75	7,45	-	-
65 - 70	53,6	1,75	9,1	8,05	-	-
85 - 90	45,2	2,25	9,25	8,1	-	-
110 - 120	35,1	3,25	9,35	8,1	22,6	2,9

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	totale %	carbone %	azote %	C/N	total o/oo	assim. o/oo	total o/oo	assim o/oo
0 - 5	1,61	0,93	0,11	8,3	2,80	0,12	5,6	0,36
12 - 17	1,15	0,67	0,09	7,4	1,00	0,08	5,6	0,34
27 - 32	0,62	0,35	0,02	14,0	1,20	0,08	7,9	0,33
47 - 52	0,48	0,28	0,03	8,2	2,40	0,06	4,2	0,30
65 - 70	0,23	0,13	-	-	-	-	-	-
85 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-
110 - 120	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	85,1	13,3	-	-	-	28,8	42,1	13,8	19,2	9,7	42,7	7,2	4,3	3,7	15,2
12 - 17	83,3	21,4	-	-	-	31,4	52,8	11,5	15,4	7,0	33,9	6,1	3,8	3,4	13,3
27 - 32	85,0	34,0	-	-	-	29,2	63,2	8,0	13,0	5,7	26,7	4,5	2,9	2,7	10,1
47 - 52	85,9	36,0	-	-	-	34,9	70,9	6,6	7,5	4,4	18,5	3,9	2,9	3,8	10,6
65 - 70	89,8	30,9	-	-	-	43,9	74,8	5,4	5,5	3,1	14,0	3,8	3,3	4,1	11,2
85 - 90	84,4	30,1	-	-	-	40,4	70,5	6,9	7,7	4,2	18,8	4,1	3,5	3,1	10,7
110 - 120	90,1	29,0	-	-	-	33,4	62,4	8,6	7,5	4,3	20,4	5,9	5,4	5,9	17,2

TABLEAU Nº 44

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX

- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

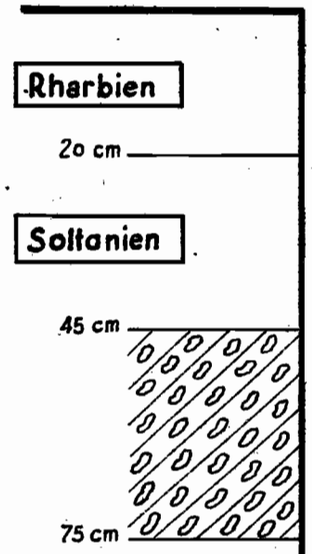
marron clair Points verts *

PROFIL - TYPE (Encroûtement granulaire et nodulaire)

Profil nº : T 242

Situation : 2,5 km au Sud de Zaïo

Observations : éperon largement bombé; pente moyenne voisine de 2,5 %; cultivé.



Brun-ocre clair. Structure polyèdrique, légèrement nuciforme en surface. Quelques cailloux, un peu plus nombreux à la base. Surface un peu glacée.

Brun-ocre, plus rouge en profondeur. Structure polyèdrique fine. Graveleux et finement caillouteux. Taches calcaires durcies, de plus en plus nombreuses vers le bas.

Encroûtement granulaire et nodulaire, assez tuffeux au sommet, blanc-rose. Structure feuilletée, surtout au sommet; sous-structure polyèdrique fine. Graveleux et finement caillouteux.

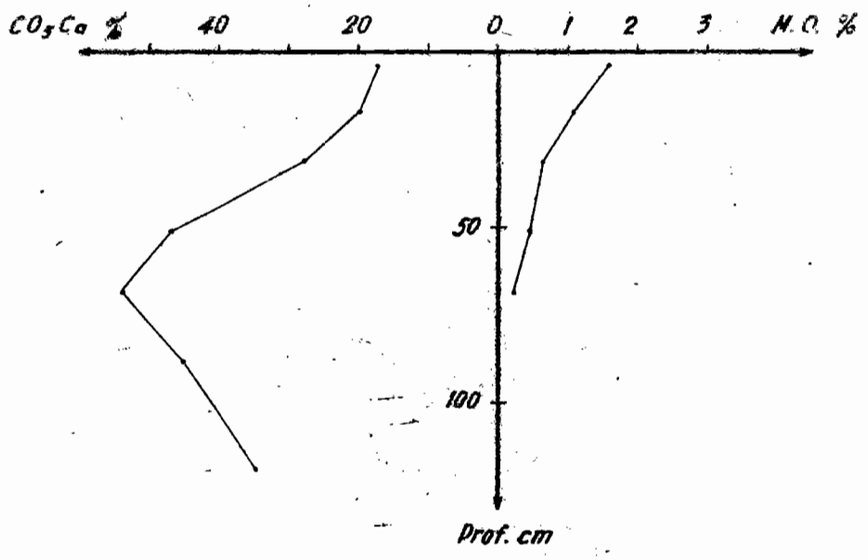
Brun-ocre, clair au sommet, de plus en plus rouge en profondeur. Structure polyédro-cubique fine à facettes lissées. Graveleux et finement caillouteux. Taches et granules calcaires nombreux; nodules calcaires en profondeur.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 44

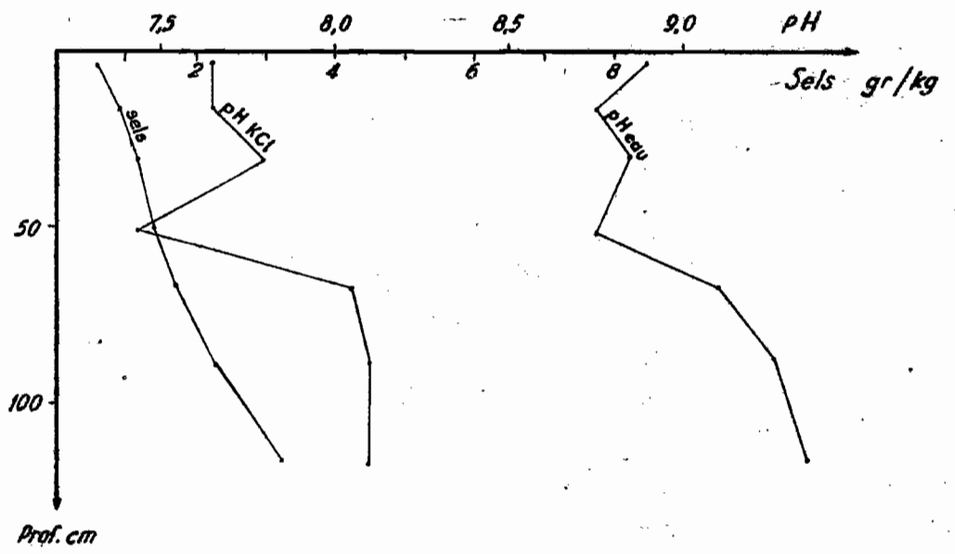
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 66

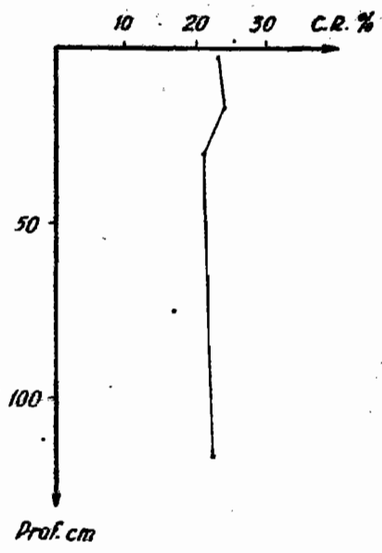
Calcaire et Matière Organique



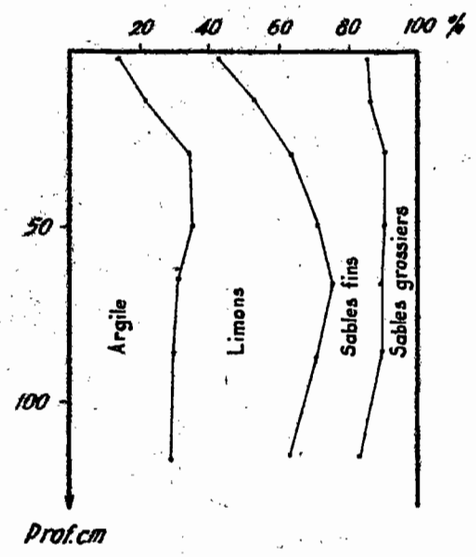
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX

- saluro généralement forte dans et sous l'encroutement

Profil nº S 160 (Encroûtement tuffeux)

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 67)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	26,0	0,5	8,45	7,65	25,2	4,6
12 - 17	28,1	1,1	8,6	7,7	24,1	2,6
28 - 33	33,4	2,5	8,8	7,85	24,8	2,1
42 - 48	62,0	4,2	8,6	8,05	-	-
60 - 70	38,0	6,0	8,5	8,0	26,3	-
85 - 95	30,0	2,3	9,2	8,05	23,0	4,5
110 - 120	27,0	3,6	8,8	7,9	22,9	-
125 - 130	25,0	3,7	8,7	7,9	21,0	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	assim o/oo	total o/oo	assim o/oo
0 - 5	1,74	1,00	0,13	7,9	-	0,12	-	-
12 - 17	1,47	0,85	-	-	-	-	-	-
28 - 33	0,70	0,40	0,08	4,8	-	0,15	-	-
42 - 48	0,54	0,31	-	-	-	-	-	-
60 - 70	0,23	0,13	-	-	-	-	-	-
85 - 95	0,10	0,06	-	-	-	-	-	-
110 - 120	-	-	-	-	-	-	-	-
125 - 130	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	88,5	22,2	8,7	6,5	3,2	18,4	40,6	15,4	18,0	11,2	44,6	6,2	4,5	4,1	14,8
12 - 17	95,1	27,4	10,7	8,8	5,8	25,3	52,7	12,1	13,6	8,9	34,6	5,7	3,6	3,4	12,7
28 - 33	77,7	34,0	10,0	8,0	4,0	22,0	56,0	7,6	14,2	7,3	29,1	5,7	4,1	5,1	14,9
42 - 48	98,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60 - 70	96,1	36,0	10,0	8,0	6,0	24,0	60,0	12,7	12,9	7,0	32,6	4,9	1,8	0,7	7,4
85 - 95	89,3	31,1	9,7	5,8	4,9	20,4	51,5	7,5	10,6	5,8	23,9	7,1	9,7	7,8	24,6
110 - 120	93,2	27,6	23,8	9,9	4,9	38,6	66,2	12,1	11,2	5,3	28,6	2,6	1,3	1,3	5,2
125 - 130	98,9	24,0	13,0	7,3	2,7	24,0	48,0	19,5	22,2	6,5	48,2	2,5	0,7	0,6	3,8

TABLEAU Nº 45

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX
- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX
- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

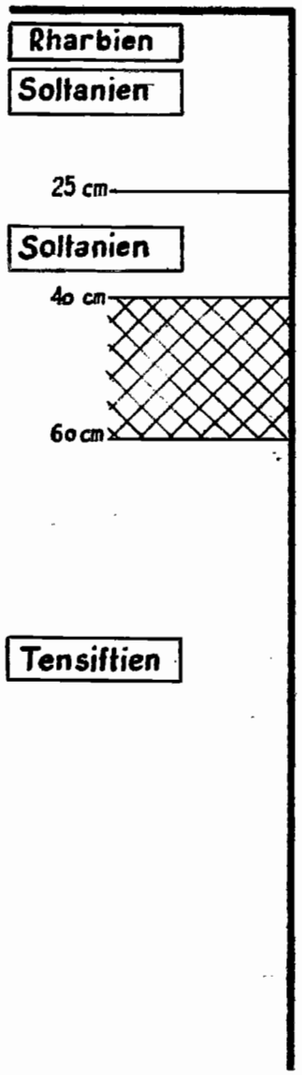
Marron clair Points verts *

PROFIL - TYPE (Encroûtement tuffeux)

Profil nº : S 160

Situation : au Sud de l'oued Zebra, 7 km. au SW de Zaïo

Observations : dépression assez large formant tête de vallée.



Brun-ocre, plus rouge en profondeur. Structure nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur. Surface glacée.

Brun-ocre rouge. Structure polyèdrique fine. Taches calcaires.

Encroûtement tuffeux blanc.

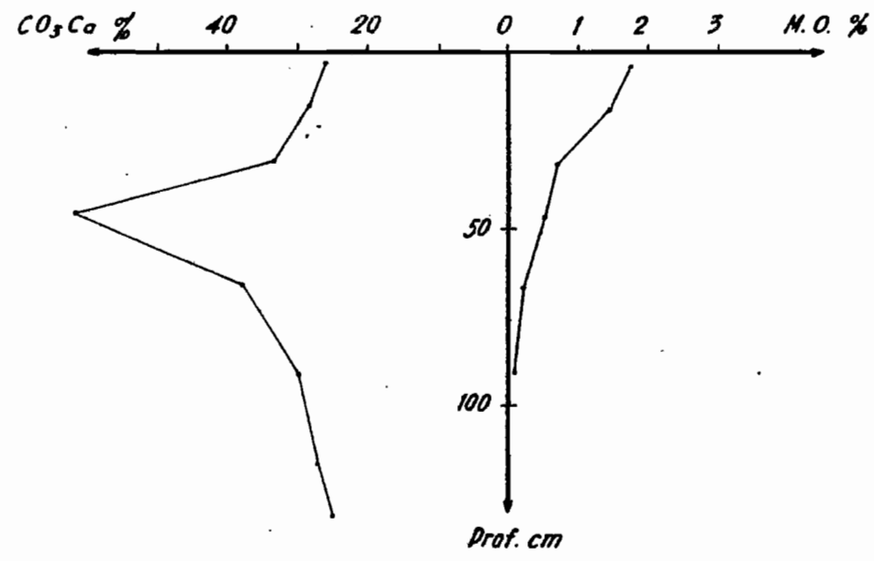
Brun-ocre, de plus en plus rouge avec la profondeur.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées, de plus en plus compacte avec la profondeur.
Texture localement graveleuse et finement caillouteuse.
Taches calcaires, trés nombreuses au sommet, de moins en moins nombreuses avec la profondeur.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 45

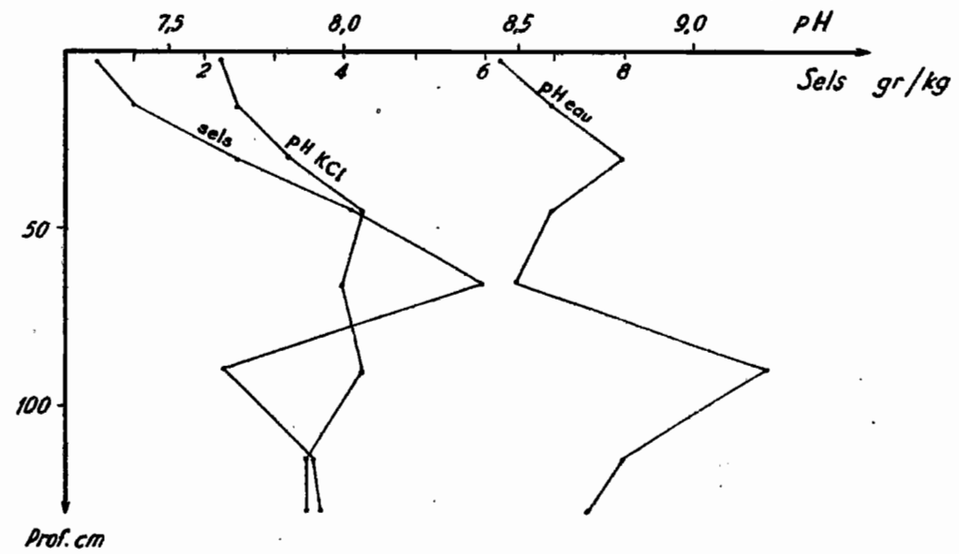
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 67

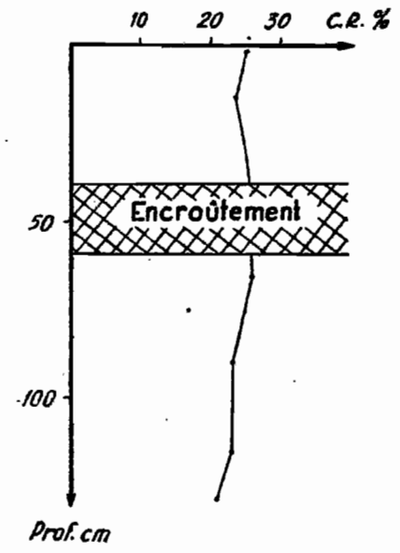
Calcaire et Matière Organique



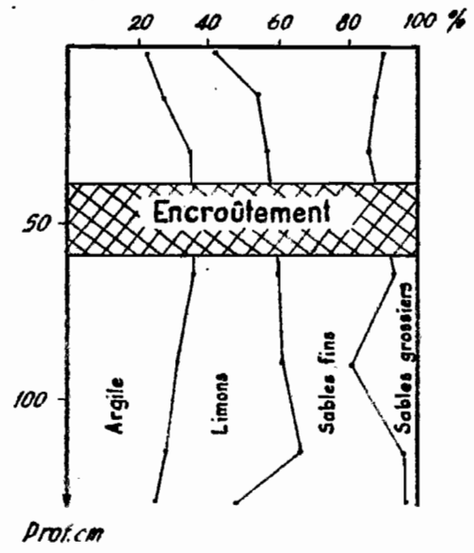
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS-CALCAIRES

sur

ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX

- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

PROFIL Nº T 5 (Encroûtement tuffeux)

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 68)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	17,7	0,5	9,0	7,6	19,6	-
7 - 12	16,5	1,2	8,85	7,6	23,6	-
20 - 25	22,8	1,75	9,0	7,75	13,9	-
40 - 45	53,1	2,55	9,3	8,3	22,1	-
80 - 90	46,5	2,75	9,1	8,1	23,5	-
120 - 130	26,4	3,2	9,35	8,25	-	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P2 05)		Potassium (K 20)	
	Totale %	Carbone %	Azote %	C/N	Total o/oo	Assim. o/oo	Total o/oo	Assim. o/oo
0 - 5	1,45	0,84	0,08	10,0	0,74	0,09	4,4	0,72
7 - 12	0,95	0,55	0,07	7,7	0,74	0,07	8,7	-
20 - 25	0,74	0,43	0,05	9,3	0,22	0,05	8,3	-
40 - 45	0,34	0,20	0,02	8,0	0,41	0,07	4,2	-
80 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-
120 - 130	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	88,9	12,8	-	-	-	21,6	35,4	14,5	18,4	10,8	43,7	10,1	6,5	4,3	20,9
7 - 12	83,5	20,7	6,9	5,9	6,0	18,8	39,5	16,4	19,2	8,3	43,9	9,1	5,2	2,3	16,6
20 - 25	88,8	26,5	11,2	5,1	6,1	22,4	48,9	12,4	17,0	7,5	36,9	7,8	4,5	1,9	14,2
40 - 45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 - 130	92,5	25,3	10,7	7,8	1,0	19,5	44,8	14,9	19,5	7,3	41,7	6,2	4,6	2,7	13,5

TABLEAU Nº 46

SOLS BRUN-CALCAIRES
sur
ENCROUTEMENT CALCAIRE PLUS OU MOINS TUFFEUX
- salure généralement fort dans et sous l'encroûtement

Marron clair Points verts *

PROFIL - TYPE (Encroûtement tuffeux)

Profil nº : T 5

Situation : 3.5 km à l'ESE de Zaîo

Observations : pente moyenne voisine de 2% ; cultivé

Rharbien

Brun-gris.
Structure nuciforme, légèrement polyèdrique en profondeur. Surface glacée.
En profondeur, morceaux de l'encroûtement. Surface un peu caillouteuse.

Soltanien

35 cm

Encroûtement tuffeux blanc.
Structure un peu feuilletée en surface.

75 cm

Tensiftien

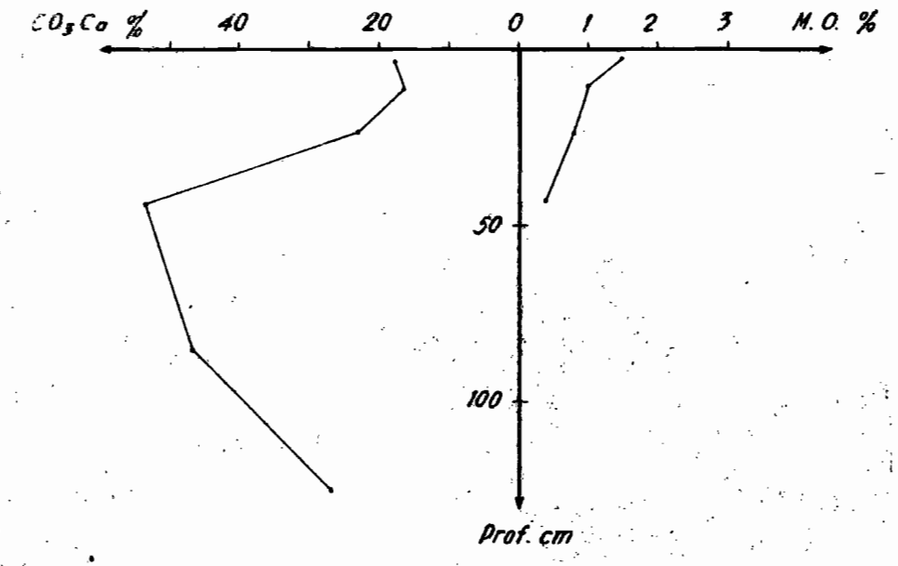
Passage progressif à un limon ocre à taches rouges et rose.
Structure polyèdro-cubique assez fine à facettes lissées, assez soudée.
Nombreuses grosses taches calcaires.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 46

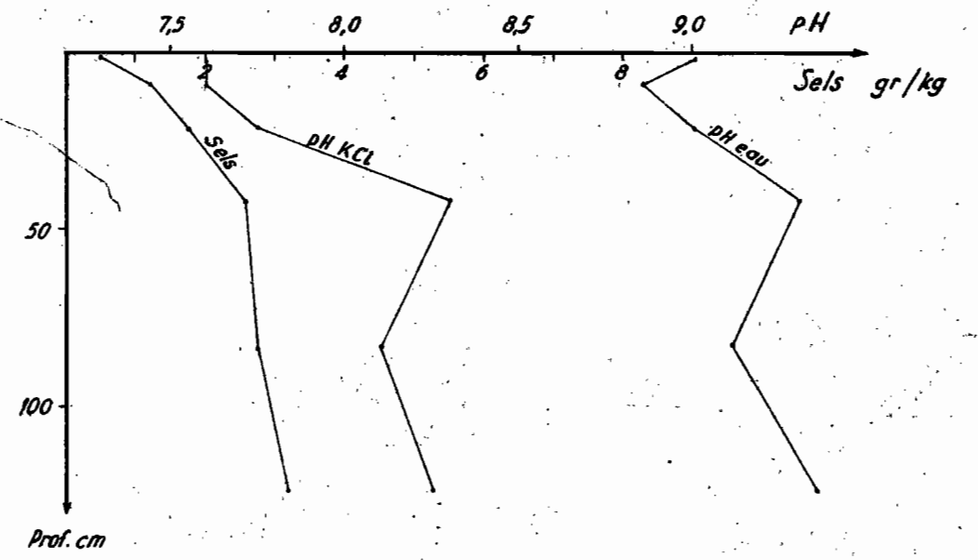
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 68

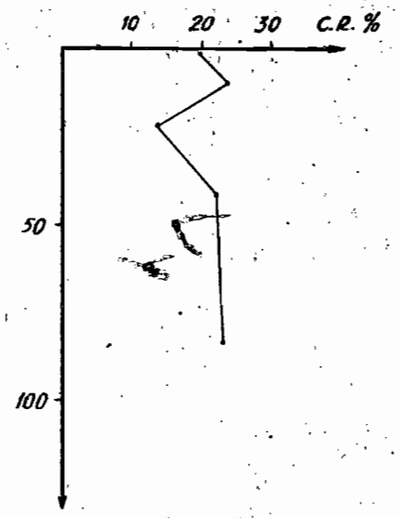
Calcaire et Matière Organique



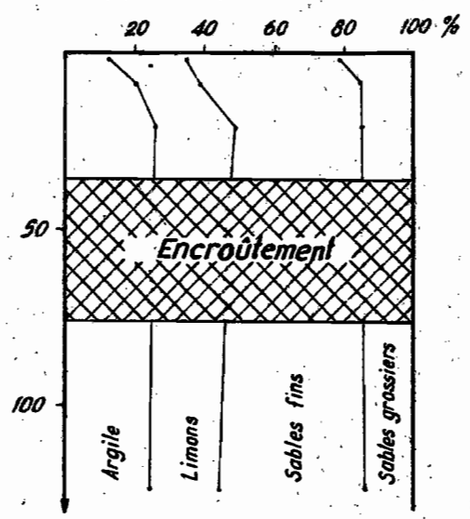
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE

- avec dalle rubannée fine en surface
- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.

PROFIL Nº S 68

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 69)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	16,5	0,4	8,6	7,6	26,0	2,7
12 - 17	22,5	0,8	8,5	7,7	24,1	1,9
23 - 28	25,0	1,3	8,7	7,8	23,1	1,8
32 - 37	31,0	2,7	8,9	8,1	23,9	2,1
48 - 53	70,0	3,4	-	-	-	-
65 - 75	65,0	3,2	8,7	8,3	-	-
85 - 95	54,0	6,0	8,6	8,2	-	-
105 - 115	40,0	5,7	8,6	8,2	23,2	5,4
120 - 130	36,0	4,5	8,6	8,1	24,9	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	totale %	carbone %	azote %	C/N	total o/oo	assim. o/oo	total o/oo	assim. o/oo
0 - 5	2,21	1,28	0,14	9,1	0,85	0,06	7,7	0,63
12 - 17	1,63	0,97	0,10	9,6	0,77	0,03	6,4	0,57
23 - 28	1,45	0,84	0,10	8,7	0,70	0,02	7,9	0,46
32 - 37	1,35	0,78	0,09	8,5	0,65	0,02	8,1	0,30
48 - 53	-	-	-	-	-	-	-	-
65 - 75	-	-	-	-	-	-	-	-
85 - 95	-	-	-	-	-	-	-	-
105 - 115	-	-	-	-	-	-	-	-
120 - 130	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	-	16,0	-	-	-	33,0	49,0	-	-	-	39,0	-	-	-	12,0
12 - 17	-	18,0	-	-	-	31,0	49,0	-	-	-	39,0	-	-	-	12,0
23 - 28	-	23,0	-	-	-	32,0	55,0	-	-	-	34,0	-	-	-	11,0
32 - 37	-	30,0	-	-	-	27,0	57,0	-	-	-	30,0	-	-	-	13,0
48 - 53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65 - 75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85 - 95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
105 - 115	-	39,5	-	-	-	33,5	73,0	-	-	-	20,0	-	-	-	7,0
120 - 130	-	41,0	-	-	-	33,0	74,0	-	-	-	23,0	-	-	-	3,0

TABLEAU Nº 47

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

-à taches calcaires
-calcaires en surface
sur

CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE

-avec dalle rubannée fine en surface
-salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

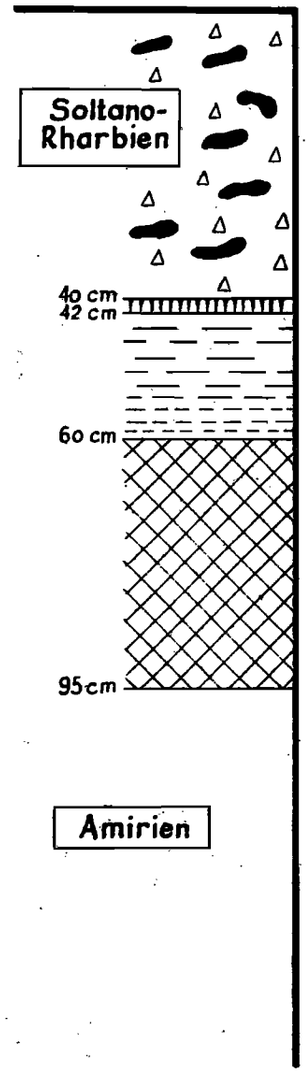
Marron clair *

PROFIL - TYPE

Profil nº : S 68

Situation : 5,5 km au SW de Zaïo

Observations : sommet d'un éperon assez étroit ; pente moyenne, voisine de 2% ; cultivé



Brun en surface ; brun-ocre en profondeur.
Structure polyèdrique à nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur. Surface glacée.
Caillouteux : débris de dalle rubannée et de croûte. Surface caillouteuse.
Taches calcaires à partir de 30 cm.

Dalle rubannée rose, discontinue, brisée.

Croûte lamellaire blanche ; feuillets épais et durcis au sommet, de plus en plus fins et de plus en plus tendres vers le bas.

Encroûtement tuffeux, blanc, assez dur au sommet, plus tendre en profondeur.
Structure finement feuilletée.

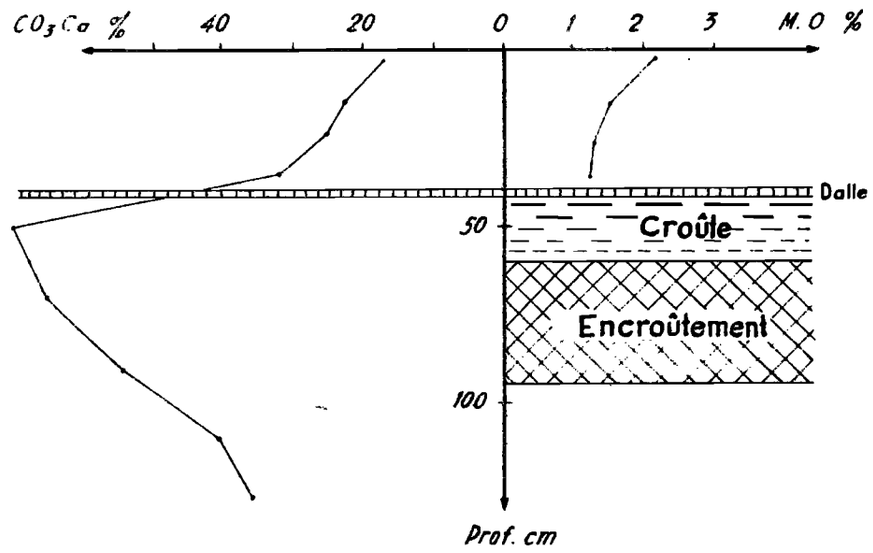
Brun-ocre, de plus en plus rouge vers le bas.
Structure polyèdro-cubique fine à facettes lissées.
Taches calcaires nombreuses.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 47

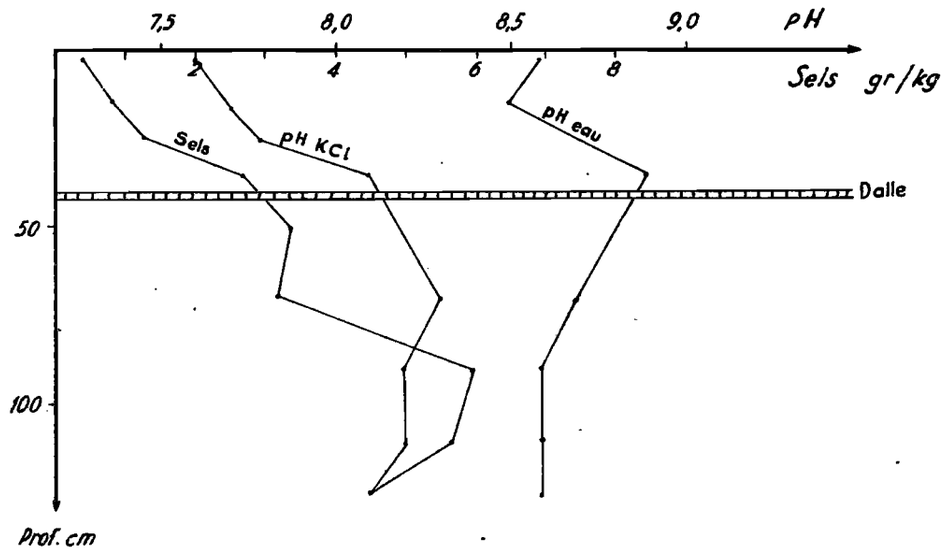
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 69

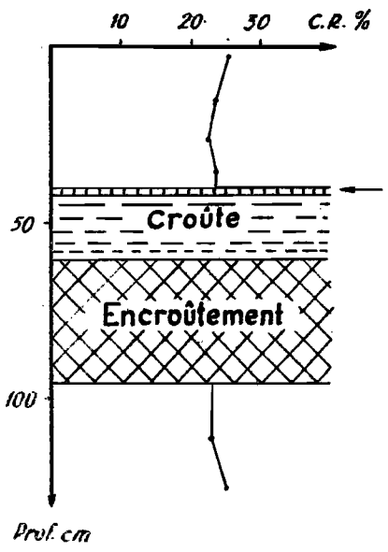
Calcaire et Matière Organique



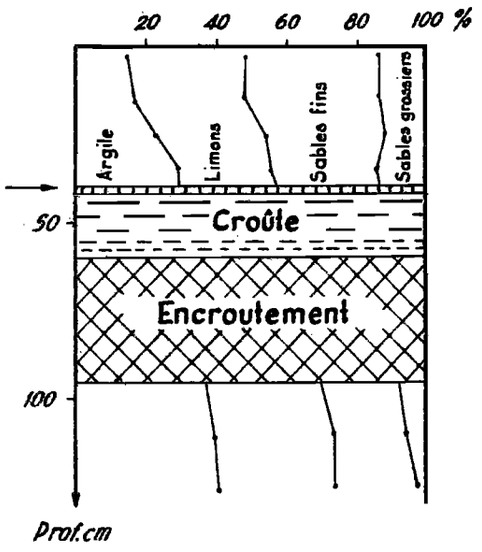
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUN - CALCAIRES

sur

CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE

- sans dalle rubannée en surface,
- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

PROFIL Nº S 316

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 70)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is.
			Eau	KCl		
2 - 7	23,1	1,05	8,5	7,6	24,8	-
10 - 15	23,1	1,1	8,7	7,7	25,2	-
20 - 25	29,0	3,4	8,6	7,95	25,6	-
45 - 50	65,0	7,7	8,75	8,25	-	-
65 - 70	32,1	6,7	8,6	8,1	-	-
83 - 88	16,8	7,7	8,5	8,0	24,6	-
120 - 130	23,6	5,2	8,6	8,2	22,1	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	totale %	carbone %	azote %	C/N	total o/oo	assim o/oo	total o/oo	assim o/oo
2 - 7	2,72	1,58	0,14	11,6	2,3	0,09	3,5	0,64
10 - 15	1,36	0,79	0,11	7,1	1,3	0,05	3,8	0,61
20 - 25	0,96	0,55	0,06	8,6	2,0	0,04	4,2	0,57
45 - 50	-	-	-	-	-	-	-	-
65 - 70	-	-	-	-	-	-	-	-
83 - 88	-	-	-	-	-	-	-	-
120 - 130	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %												
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers		
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
2 - 7	87,4	25,8	7,2	4,2	6,2	17,6	43,4	16,0	19,8	9,8	45,0	6,3	3,4	1,9	11,6
10 - 15	76,8	32,8	8,3	4,1	4,1	16,5	49,3	12,1	16,8	8,7	37,6	6,7	4,2	2,2	13,1
20 - 25	64,2	33,0	9,3	6,2	3,1	18,6	51,6	12,9	15,3	9,4	37,6	6,7	3,4	0,7	10,8
45 - 50	93,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65 - 70	95,5	33,0	12,3	6,2	6,2	24,7	57,7	15,3	15,8	7,4	38,5	3,3	1,1	0,4	4,8
83 - 88	95,7	32,0	10,0	6,0	4,0	20,0	52,0	14,2	19,7	9,5	43,3	3,5	0,9	0,3	4,7
120 - 130	96,8	26,4	11,9	2,0	4,9	18,8	45,2	12,8	22,3	12,5	47,6	5,5	1,4	0,3	7,2

TABLEAU Nº 48

SOLS BRUN-CALCAIRES
sur
CROUTE CALCAIRE TENDRE PEU EPAISSE
- sans dalle rubannée en surface
- salure généralement forte dans et sous l'encroûtement

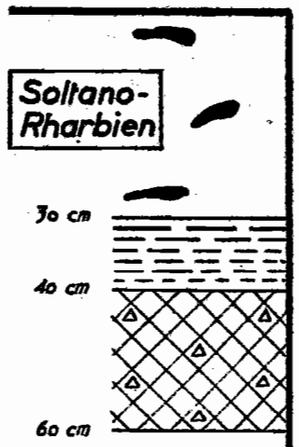
Marron clair *

PROFIL - TYPE

Profil nº : S 316

Situation : au Sud de l'oued Zebra; 7 km au SSW de Zaïo.

Observations : au fond d'une dépression assez large; cultivé.



Brun en surface, un peu plus ocre en profondeur.
Structure nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur; surface glacée.
Un peu caillouteux: morceaux de croûte. Un peu caillouteux en surface.

Croûte lamellaire blanche: feuillets plus épais et plus durcis au sommet qu'à la base.

Encroûtement granulaire et tuffeux, blanc rosé; plus tendre en profondeur qu'en surface.

Ocre-rose, à petites taches diffuses plus rouges ou plus jaunes.
Structure polyèdrique moyenne.
Taches et granules calcaires nombreux au sommet, de moins en moins nombreux à la base.

Cailloutis.

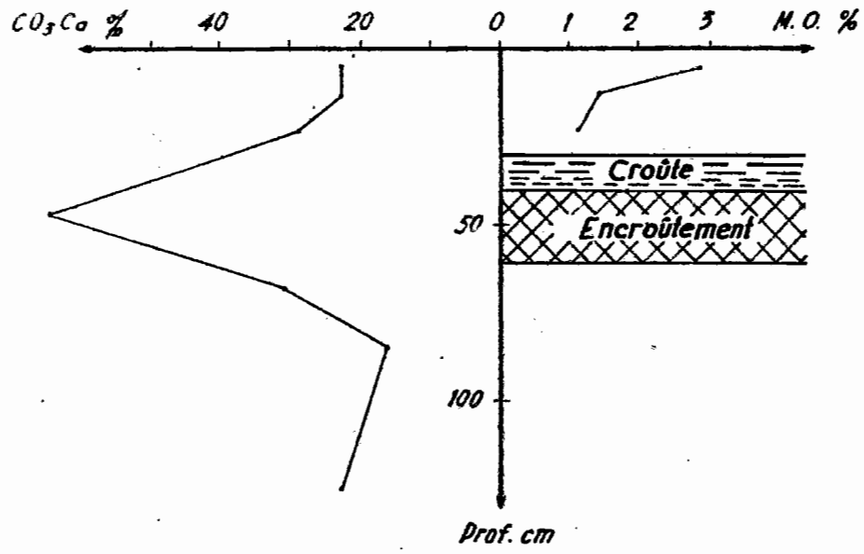
Ocre-rose; petites taches rouges, jaunes et noires, très nombreuses.
Structure polyèdro-cubique à facettes lisses, assez large.
Quelques taches calcaires diffuses.
Quelques rognons de gypse.

Résultats d'analyses : voir tableau nº 48

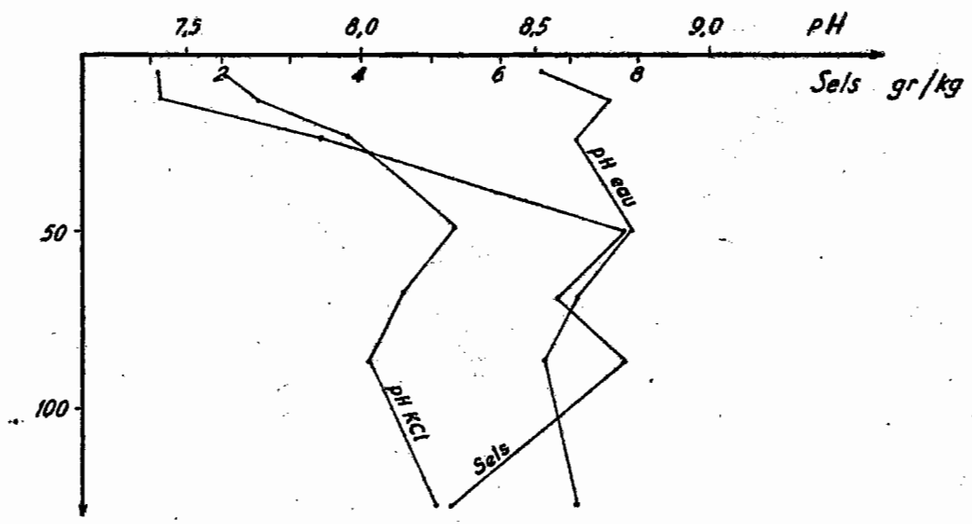
* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 70

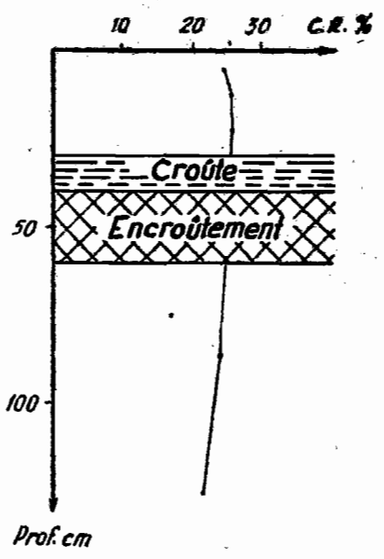
Calcaire et Matière Organique



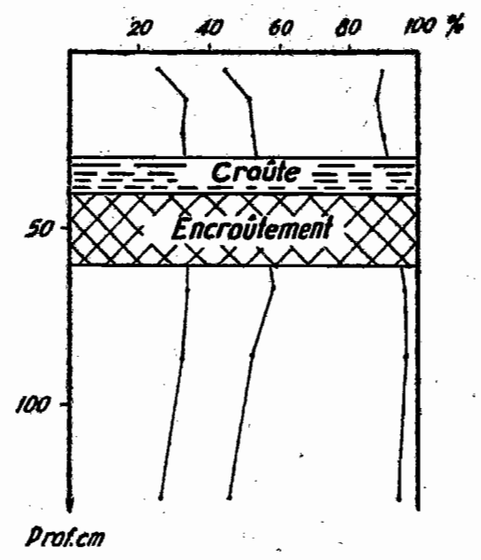
Salure et pH



Capacité de Rétention



Granulométrie terre fine



SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

CROUTE CALCAIRE DURE EPAISSE

- avec dalle épaisse en surface
- salure forte dans et sous l'encroûtement

PROFIL Nº N I48

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 71)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
7 - 12	17,2	0,4	8,65	7,65	23,8	3,4
17 - 22	22,0	0,5	8,7	7,7	24,4	4,4
27 - 32	25,2	2,55	8,6	7,9	24,5	3,8
50 - 60	72,0	6,05	-	-	-	-
85 - 95	66,0	9,35	8,5	8,2	-	-
125 - 135	50,3	12,2	8,4	8,2	22,0	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	totale %	carbone %	azote %	C/N	total o/oo	assim. o/oo	total o/oo	assim o/oo
7 - 12	1,89	1,10	0,14	7,6	0,90	0,13	8,4	-
17 - 22	1,34	0,78	0,10	7,4	0,78	0,07	9,8	-
27 - 32	0,60	0,35	0,05	6,9	0,66	0,05	8,9	-
50 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-
85 - 95	-	-	-	-	-	-	-	-
125 - 135	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %												
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers		
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
7 - 12	88,3	12,5	8,7	9,7	9,6	28,0	40,5	23,2	18,4	9,7	51,3	4,4	1,9	1,9	8,2
17 - 22	29,4	16,6	10,7	11,7	10,7	33,1	49,7	21,4	14,2	7,8	43,4	3,4	1,0	2,5	6,9
27 - 32	57,6	24,8	10,9	9,0	9,0	28,9	53,7	16,9	13,9	6,5	37,2	3,5	2,0	3,5	9,0
50 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85 - 95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125 - 135	91,0	28,1	7,0	5,0	2,0	14,0	42,1	14,6	22,0	16,1	52,7	4,2	0,8	0,2	5,2

TABLEAU Nº 49

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX
- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

CROUTE CALCAIRE DURE EPAISSE
- avec dalle épaisse en surface
- salure forte dans et sur l'encroûtement

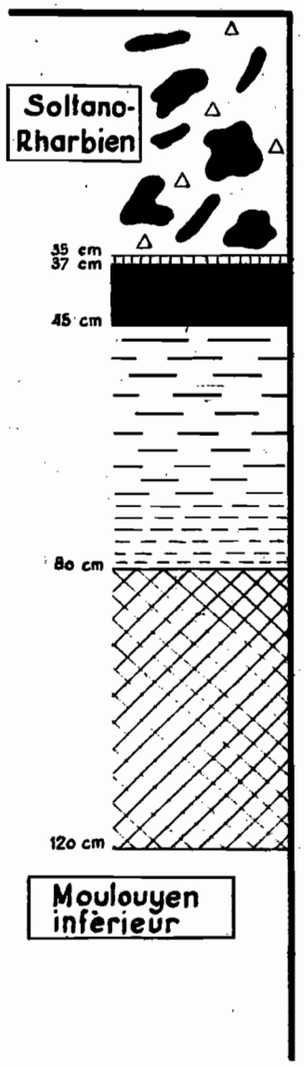
Marron foncé *

PROFIL - TYPE

Profil n° : N 148

Situation : au Sud de l'oued Zebra; 6 km au Sud de Zaïo.

Observations : plateau Moulouyen; pente faible: 0,5 à 1%; cultivé.



Brun-ocre, plus rouge en profondeur.
Structure nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur. Surface glacée.
Très caillouteux: gros et petits blocs de dalle et de croûte. Surface très caillouteuse.
Taches calcaires à partir de 25 cm.

Dalle rubannée rose.

Dalle compacte rose, très dure. Quelques fentes verticales. Quelques cailloux englobés dans la dalle.

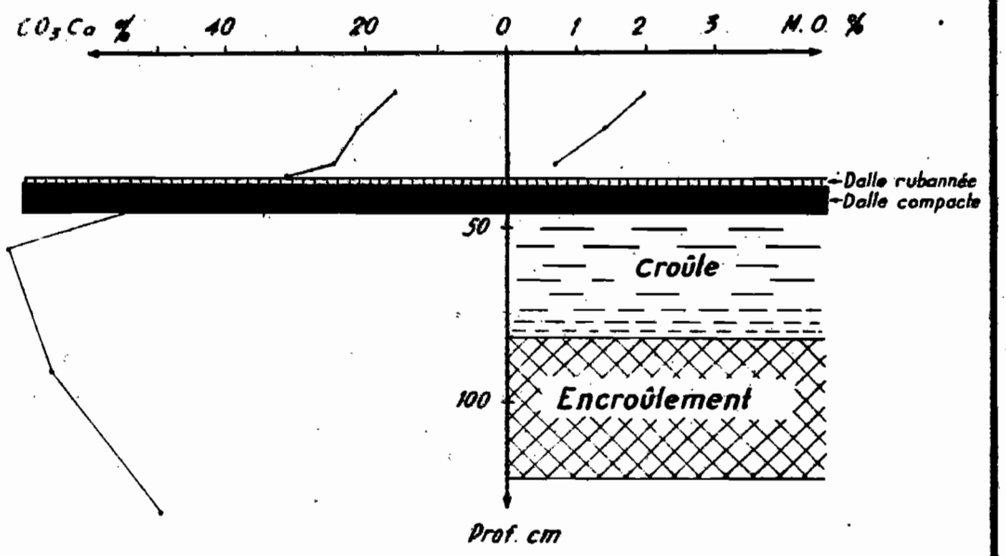
Croûte lamellaire, blanc-rose au sommet, plus blanche à la base.
Feuillets épais et très durcis au sommet, de plus en plus fins et de plus en plus tendres vers le bas.
Finement caillouteux.

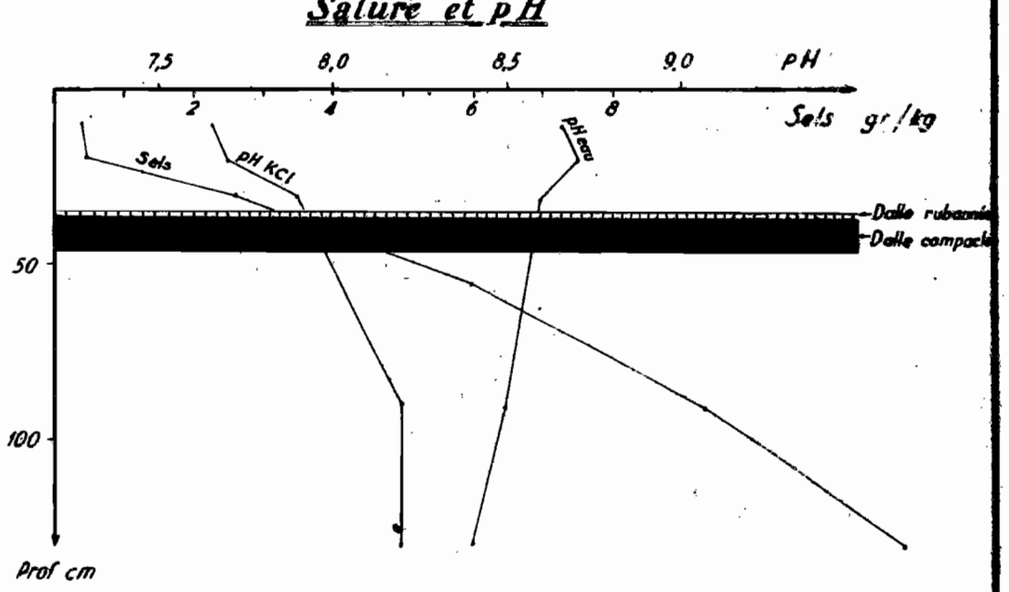
Encroûtement tuffeux nodulaire, blanc au sommet, plus rose en profondeur.
Dur au sommet, plus tendre en profondeur.
Structure finement feuilletée.

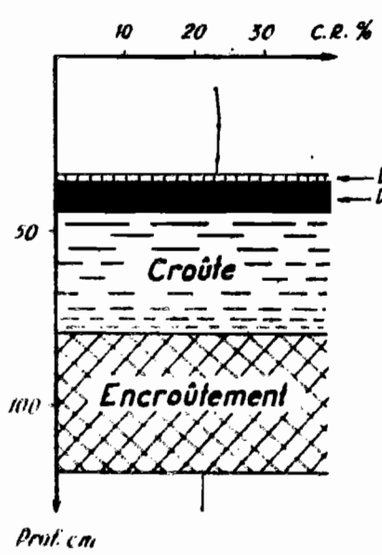
Brun-ocre rose; taches jaunes et noires.
Structure polyèdrique fine, très compacte.
Taches calcaires diffuses.

Résultats d'analyses : voir tableau n° 49

* Couleur sur la carte pédologique







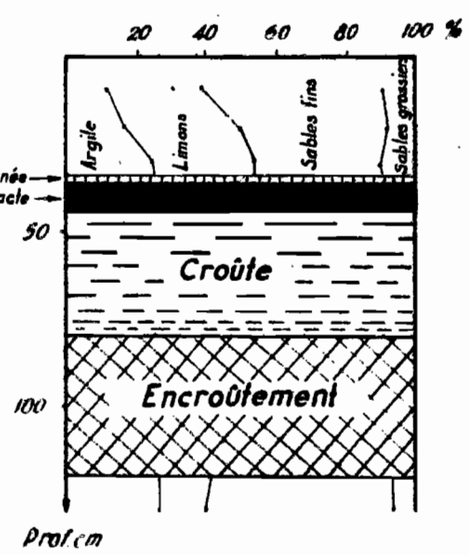


FIGURE N° 71

SOLS BRUN - CALCAIRES

sur

CROUTE CALCAIRE DURE EPAISSE

- avec dalle épaisse en surface
- salure forte dans et sous l'encroûtement

PROFIL Nº N 25 (Croûte double)

RESULTATS D'ANALYSES

(voir fig. nº 72)

Profondeur cm	CO_3Ca total %	Sels totaux gr/kg	pH		Capac. rétent. %	Is
			Eau	KCl		
0 - 5	20,5	0,8	8,65	7,6	-	-
12 - 17	20,0	1,0	8,7	7,7	-	-
22 - 27	21,2	1,5	8,8	7,8	-	-
37 - 42	68,0	2,5	8,7	8,1	-	-
47 - 52	62,0	3,2	8,6	8,2	-	-

Profondeur cm	Matière organique				Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Totale %	carbone %	azote %	C/N	total o/oo	assim. o/oo	total o/oo	assim. o/oo
0 - 5	1,59	0,92	0,11	8,4	0,82	0,07	8,0	-
12 - 17	1,00	0,58	0,08	7,4	0,78	0,07	9,9	-
22 - 27	0,42	0,24	0,04	6,8	0,66	0,04	7,2	-
37 - 42	-	-	-	-	-	-	-	-
47 - 52	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondeur cm	Terre fine %	Granulométrie terre fine %													
		Arg.	Limons				A+L	Sables fins				Sables grossiers			
			3	2	1	T		3	2	1	T	3	2	1	T
0 - 5	72,6	13,6	13,2	9,4	12,0	34,6	48,2	16,9	15,4	8,3	40,6	5,3	2,0	3,9	11,2
12 - 17	57,7	17,0	15,1	6,2	14,1	35,4	52,4	16,5	12,6	9,2	38,3	4,3	1,7	3,3	9,3
22 - 27	75,7	24,8	16,0	5,1	7,2	28,3	53,1	18,2	13,1	7,8	39,1	3,2	1,5	3,1	7,8
37 - 42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47 - 52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLEAU Nº 50

SOLS BRUN-CALCAIRES
sur
CROUTE CALCAIRE DURE EPAISSE
- avec dalle épaisse en surface
- salure forte dans et sous l'encroûtement

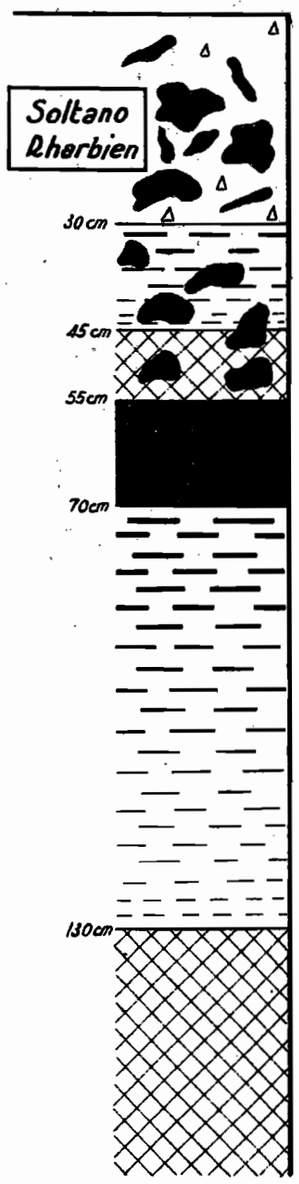
Marron foncé *

PROFIL - TYPE (Croûte double)

Profil n° : N 25

Situation : au Sud de l'oued Zebra; 6 km au Sud de Zaïo.

Observations : plateau Moulouyen; pente moyenne à faible, voisine de 1%; cultivé.



Brun - Structure nuciforme, tendance polyèdrique en profondeur. Très caillouteux: gros et petits blocs de dalle et de croûte. Surface très caillouteuse et glacée.

Croûte lamellaire blanche, peu durcie; feuillets épais au sommet, de plus en plus fins en profondeur. Très caillouteux: gros et petits blocs de dalle.
Encroûtement tuffeux, blanc, tendre. Très caillouteux: gros et petits blocs de dalle.

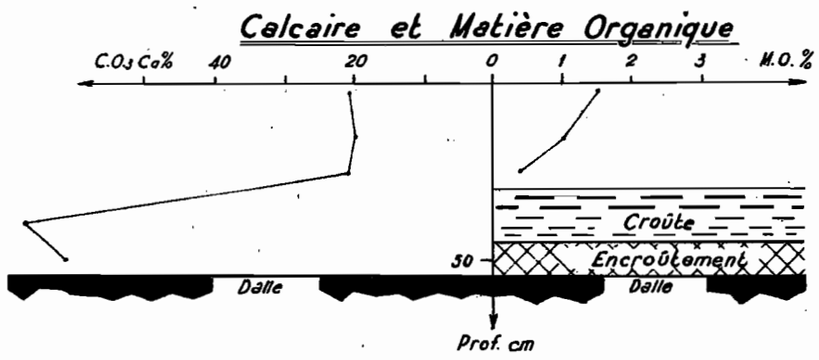
Dalle compacte rose, très dure, très continue.

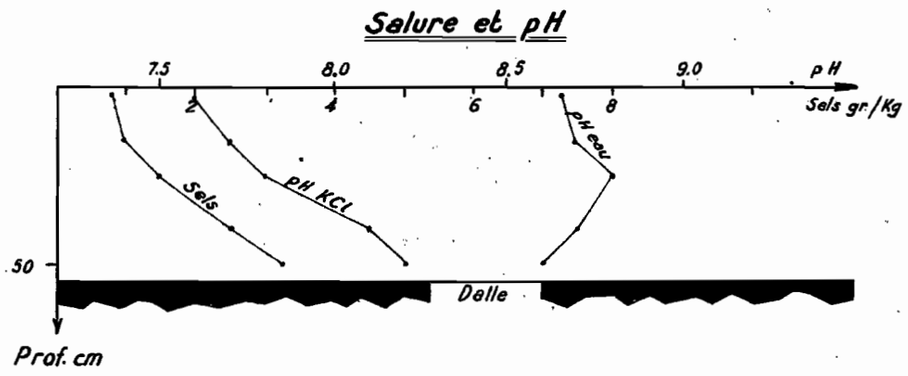
Croûte lamellaire, blanc-rose au sommet, plus blanche à la base.
Feuillets épais et très durcis au sommet, de plus en plus fins et de plus en plus tendres vers le bas.

Encroûtement tuffeux, nodulaire, blanc au sommet, plus rose en profondeur.
Dur au sommet, plus tendre en profondeur.
Structure finement feuilletée.

Résultats d'analyses: voir tableau n° 50

* Couleur sur la carte pédologique





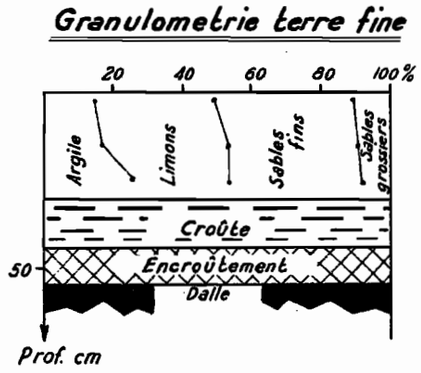


FIGURE N° 72

SOLS BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX

- à taches calcaires
- calcaires en surface

sur

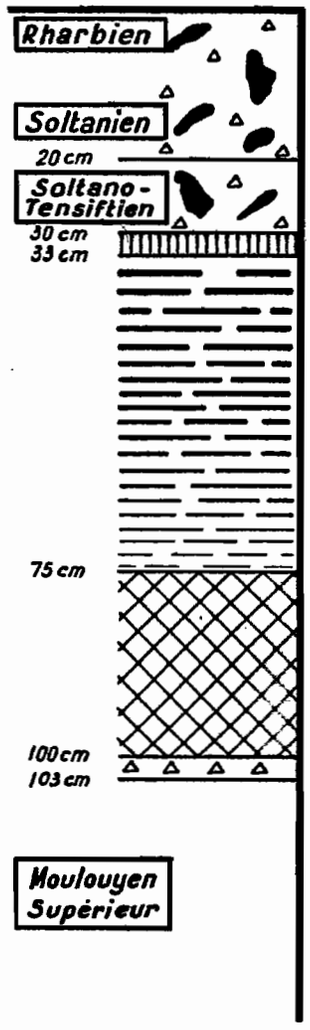
CROUTE CALCAIRE DURE EPAISSE

- avec dalle épaisse en surface
- salure forte dans et sous l'encroûtement

Marron foncé *

PROFIL-TYPE (Croûte moyennement épaisse)

Profil n° : S 262
Situation : 5 Km. au S W de Zaio
Observations : Sommet d'un éperon assez étroit; pente moyenne, voisine de 2% ; cultivé.



Brun, plus ocre en profondeur.
Structure nuciforme en surface, polyèdrique en profondeur. Surface glacée.
Caillouteux : débris de dalle rubannée et de croûte. Surface caillouteuse.

Brun-ocre assez rouge. Structure polyèdrique assez fine. Caillouteux. Taches calcaires nombreuses : localement c'est tuffeux.
Dalle rubannée rose, assez brisée.

Croûte lamellaire, blanche en profondeur, plus rose en surface.
Les feuillets sont très durcis et épais au sommet : localement ils prennent la couleur rose et la dureté d'une dalle compacte. En profondeur ils deviennent moins durs et plus fins.
Au sommet les fentes subhorizontales séparant les feuillets peuvent avoir jusqu'à 1 cm. d'épaisseur : des dalles rubannées fines se développent alors à la surface des feuillets.

Encroûtement tuffeux, blanc, assez dur au sommet, plus tendre en profondeur.
Structure finement feuilletée au sommet.

Cailloutis.

Limon ocre-rouge, à grosses taches blanches de calcaire.
Structure finement polyèdro-cubique à facettes lisses.

* Couleur sur la carte pédologique

FIGURE Nº 73

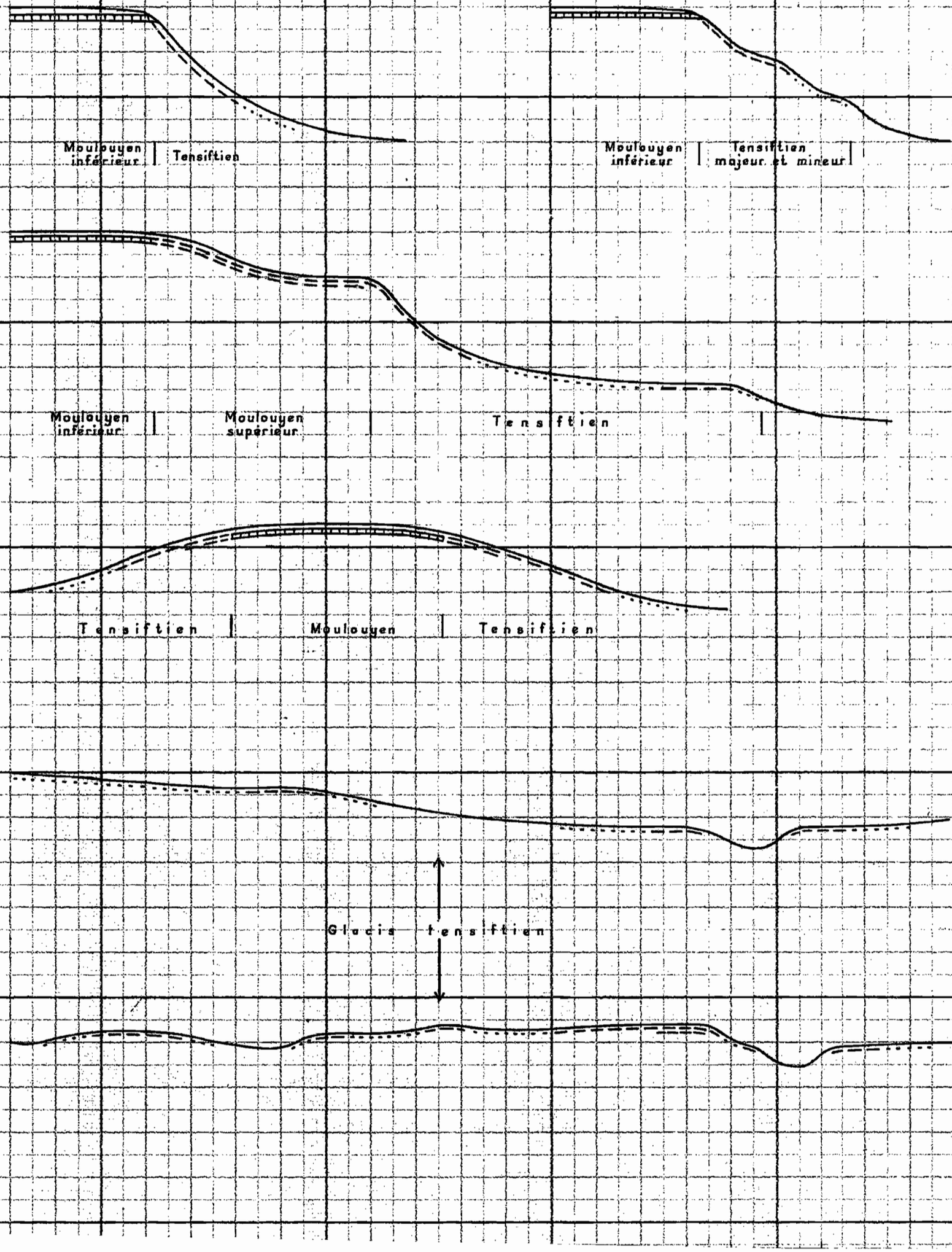


FIGURE N° 74

Quelques exemples de la répartition des croûtes et encroûtements calcaires en fonction de la topographie

Croûte calcaire dure épaisse, avec dalle compacte épaisse en surface.

Croûte calcaire dure moyennement épaisse, avec dalle rubannée épaisse en surface.

Croûte calcaire tendre peu épaisse, avec ou sans dalle rubannée fine en surface.

Encroûtement calcaire.

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

TOME QUATRIEME

TROISIEME PARTIE : LA MISE EN VALEUR

RESUME ET CONCLUSIONS

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

E T U D E P E D O L O G I Q U E

D E L A

P L A I N E D U Z E B R A

*****

TOME QUATRIEME

TROISIEME PARTIE : LA MISE EN VALEUR

RESUME ET CONCLUSIONS

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

TROISIEME PARTIE

L A M I S E E N V A L E U R

I N T R O D U C T I O N

Etant maintenant en possession de l'essentiel des données connues sur le milieu dans lequel doit s'installer le futur périmètre irrigué de la plaine du Zebra, données dont nous avons déjà souligné, tout au cours des premi`re et deuxième parties de ce rapport, les conséquences possibles sur le plan de la mise en valeur, nous allons dans cette troisième partie tenter une synthèse agronomique de tout cet ensemble.

Nous commencerons, dans un premier chapitre, par tirer les conclusions agronomiques qui découlent des principales propriétés physiques et chimiques des sols. Nous serons amenés, tout particulièrement, à reparler de la salure et de l'alcalisation, ceci en soulignant quelques premiers résultats déjà obtenus à la Station Expérimentale d'Amélioration des Sols.

Dans un deuxième chapitre, nous serons ensuite conduits à parler des productions agricoles que nous estimons possibles dans la plaine du Zebra ; de celles que nous croyons indispensables pour essayer de relever la fertilité des sols actuellement très médiocres ; de celles que nous pensons devoir déconseiller.

.../...

Nous aborderons ensuite, dans un troisième chapitre, les problèmes très délicats posés par l'aménagement des sols : draînage, défoncement, sous-solage, épierrage, nivellement, lutte contre l'érosion. Certains de ces aménagements sont indispensables pour relever et maintenir les niveaux de production, du moins sur certains types de sols ; d'autres sont discutables. Nous insisterons en tous les cas sur le fait que la plupart de ces aménagements qui bouleversent les sols, doivent être conduits avec beaucoup de prudence.

Ce sera après, dans un quatrième chapitre, les modes d'irrigation qui retiendront notre attention. Quelles sont, sur les sols, les influences probables ou déjà constatées des différentes méthodes ; comment peut-on les améliorer ; quelles sont celles qu'il faudrait essayer d'éliminer.

Tout ceci nous conduira, dans un cinquième chapitre à rappeler le classement des sols, en vue de l'irrigation, que nous avons adopté, classement qui n'est, nous le rappellerons, qu'une synthèse agronomique très partielle.

Enfin, dans un sixième et dernier chapitre, nous examinerons très rapidement quelles sont les possibilités d'extension de ce périmètre du Zabra, possibilités d'ailleurs limitées étant données les qualités médiocres des sols.

CHAPITRE I . - LES PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS ET LEURS INFLUENCES SUR LA MISE EN VALEUR.

I.- LA SALURE ET L'ALCALISATION

Tout au long de ce rapport, (voir en particulier p. 160)nous avons déjà souvent insisté sur la gravité des problèmes posés par la présence de sels dans la plupart des sous-sols de la plaine du Zebra, et surtout par la présence de sodium et très probablement de magnésium sur le complexe adsorbant de la presque totalité de ces sous-sols qui sont par ailleurs généralement fortement argileux. C'est de la résolution possible ou non de ces problèmes, qui sont à la fois techniques et économiques, que dépend avant tout l'avenir de la plaine du Zebra.

Les solutions de problèmes aussi complexes ne pouvant être recherchées que dans une expérimentation sur le terrain, une station expérimentale d'une certaine importance (trois hectares, 144 parcelles) fut lancée en Juin I96I (RUELLAN : I96I) (53).

Cette station, dont la mise en route fut précédée par plus d'une année d'essais à très petite échelle sur le terrain et en

.../...

laboratoire (RUELLAN : I96I) (52), commence déjà à donner quelques résultats intéressants : bien qu'il soit encore un peu tôt pour pouvoir en tirer des conclusions importantes, ces premiers résultats feront l'objet d'un prochain rapport.

Voyons en bref, quels sont ces premiers résultats.

A.- Le dessalage

Sur les petites parcelles de luzerne, irriguées depuis Février I960 par camion-citerne (eau prélevée dans le canal principal rive droite à son arrivée dans la plaine des Triffa), il a fallu un an d'irrigation intensive, soit 20.000 m3 par hectare, pour dessaler le sol sur un mètre d'épaisseur. Cependant, étant donnée la salure de l'eau de la Moulouya, le dessalage n'est pas total : malgré ces doses d'eau énormes, l'équilibre s'établit à 1,5 - 2,0 o/oo en surface (il s'agit de calants), à I,0 o/oo en profondeur. Ceci est d'ailleurs un facteur très favorable : cette légère salure empêche une destruction trop rapide de la structure, donc permet à la perméabilité de se maintenir, ce qui est indispensable pour pouvoir tenter la désalcalisation de la profondeur.

Sur la Station Expérimentale, les essais de dessalage par submersion ont été un succès sur les sols profonds : avec 5.000 m3/Ha, la salure a été ramenée à I o/oo sur plus d'un mètre d'épaisseur. Dans les sols sur croûte, malgré un défoncement préalable (deux passages croisés), ce succès a été moins total, surtout moins régulier : on trouve encore fréquemment en profondeur des salures de 2 à 3 o/oo ; l'hétérogénéité des croûtes, l'obligation qu'a l'eau de circuler par des fentes qui sont souvent sub-horizontales, entre les feuillets de croûte.., la perméabilité générale plus faible, permettent d'expliquer ce moindre succès. Sans submersion préalable, sous luzerne billonnée (petits billons : 33 cm du sommet d'un billon à l'autre), ayant reçu de Juillet à Mars 1962 (8 mois d'irrigation) environ I4.000 m3, la salure a nettement diminué en profondeur ; elle est tombée en moyenne à 2 - 3 o/oo à partir de 60 cm de profondeur ; sous culture billonnée de coton suivie de betterave, ayant reçu de Juin à Mars I962 (9 mois d'irrigation) environ I0.000 m3, le dessalage s'est également effectué, mais un peu moins bien.

.../...

Donc le dessalage des sols en profondeur n'est pas difficile ; on peut l'effectuer très rapidement par submersion, ou bien plus lentement, sous culture résistante au sel (plantes fourragères, coton, betterave) avec des doses d'irrigation assurant un bon drainage à chaque irrigation. Ce dessalage semble cependant un peu plus difficile, moins régulier, dans les croûtes et encroûtements calcaires.

B.- La désalcalisation

Sur les petites parcelles de luzerne, irriguées depuis Février 1960, il semble que, par la seule action de l'eau de la Moulouya qui, nous l'avons vu, est riche en sulfate de calcium (voir chapitre V de la 1º partie), la désalcalisation sodique se soit faite à peu près totalement, du moins jusqu'à un mètre de profondeur, et ceci après deux ans à deux ans et demi d'irrigation. Par contre l'alcalisation magnésienne ne semble pas avoir le moindrement diminuée : elle aurait même eu tendance à augmenter, l'eau de la Moulouya étant riche en magnésium; il en résulte que les pH restent élevés, voisins de 9,0.

Sur la Station Expérimentale, pour accélérer la désalcalisation sodique qui est quand même assez longue et surtout pour provoquer la désalcalisation magnésienne, une méthode d'apport de gypse fin dans l'eau d'irrigation est essayée, l'expérience ayant montré que la méthode classique d'apports de gypse en surface ne donnait aucun résultat. Il semble que cette nouvelle méthode doive donner des résultats intéressants ; il est cependant encore beaucoup trop tôt pour se prononcer. Signalons seulement les difficultés auxquelles on se heurte pour dissoudre le gypse dans l'eau : et pourtant l'apport n'est que de 0,6 gr/litre.

C.- La structure

Sur la Station Expérimentale aucune observation sur l'évolution de la structure n'a encore été faite.

.../...

Sur les petites parcelles de luzerne irriguées par camion-citerne, quelques observations ont déjà pu être faites ; elles sont cependant encore très limitées et il faut être très prudent dans leur interprétation. Signalons seulement :

- En surface la perméabilité s'est nettement améliorée : mesurée par la méthode Muntz, avec une eau dosant 0,6 gr/l de sels totaux, la perméabilité est passée en trois ans de 1,2 cm/h à 3 cm/h. La luzerne a donc bien travaillé.

- En profondeur par contre, à 50 cm, donc au niveau de l'accumulation d'argile, la perméabilité n'a pas changé ; elle est toujours aussi faible : nous avons obtenu les chiffres de 0,04 et 0,42 cm/h sur terrain non irrigué, 0, 27 et 0,29 cm/h sur terrain irrigué.

- Si à l'observation du profil, on ne constate aucune modification de la structure polyédro-cubique fine qui caractérise l'horizon argileux alcalisé, quelques indices soulignent peut-être un début de dégradation de cette structure. Les indices sont en particulier une augmentation de l'instabilité structurale et une légère augmentation de la capacité de rétention.

D.- Les cultures

Le coton et la luzerne donnent des résultats corrects. Malgré un semis tardif (Ière quinzaine de Juin), un rendement moyen de 15 quintaux/Ha en coton Egyptien a été obtenu. Pour la luzerne les coupes sont actuellement de 5 à 8 tonnes/hectare. (environ IO coupes par an).

La betterave sucrière, par contre, même sur les sols profonds, non caillouteux, donne des résultats très médiocres (15 à 20 tonnes/hectare) : les racines sont souvent très irrégulières, couvertes d'un chevelu dense de radicelles et elles sont très riches en sucres ; ce sont autant de signes qui prouvent qu'elles souffrent. Est-ce dû à l'alcalisation ? Sur les sols profonds non alcalisés, les résultats sont nettement meilleurs : 30 à 50 tonnes/ha ; racines très régulières.

.../...

Le napier est actuellement à l'essai : mis à part le problème climatique (il souffre beaucoup en hiver) il se développe correctement.

Enfin le bersim, essayé pendant un hiver, s'est assez mal comporté. En particulier l'apport de gypse dans l'eau lui a fortement déplu.

*

* *

L'ensemble de ces résultats permet peut-être de montrer un certain optimisme. Il faut cependant, à notre avis, rester encore très prudent.

Si de graves ennuis, concernant en particulier le draînage, doivent un jour se produire, ce n'est en effet pas dans un an ou deux que l'on pourra s'en rendre compte, mais peut-être seulement d'ici cinq ou dix ans. Doit-on alors pour autant attendre si longtemps avant de mettre au point un avant-projet de mise en valeur pour la plaine du Zebra ? Ce n'est pas ici, dans ce rapport, que l'on peut répondre à cette question, d'autres facteurs techniques et économiques devant être pris en ligne de compte. Nous pensons cependant que lorsque dans un an environ, il sera possible de commencer l'irrigation de la plaine du Zebra il faudra le faire, mais en commençant par les secteurs Nord de la plaine où les conditions topographiques sont les meilleures et où il existe à la fois des sols très mauvais et des sols très corrects. D'ici là l'expérimentation aura déjà donné, nous l'espérons, des résultats importants sur l'évolution des sols et les cultures possibles : un assolement améliorateur, probablement à base de nombreuses cultures fourragères, et exigeant des apports massifs de fumier et un travail du sol très soigné, pourra être proposé. Mais d'ici là, nous tenons à le souligner, on ne saura toujours pas avec précision, si, à longue échéance le projet de mise en valeur du Zebra sera rentable : ce n'est que dans plusieurs années quand les sols auront évolué dans un sens favorable ou non, quand on saura si l'amélioration permet l'installation d'une agriculture intensive normale, quand on connaîtra les moyens nécessaires à cette amélioration, que l'on pourra se prononcer.

.../...

LA STATION EXPÉRIMENTALE D'AMELIORATION DES SOLS



PHOTO Nº 31.- Vue d'ensemble des parcelles établies sur sols bruns steppiques profonds, salés et alcalisés en profondeur.

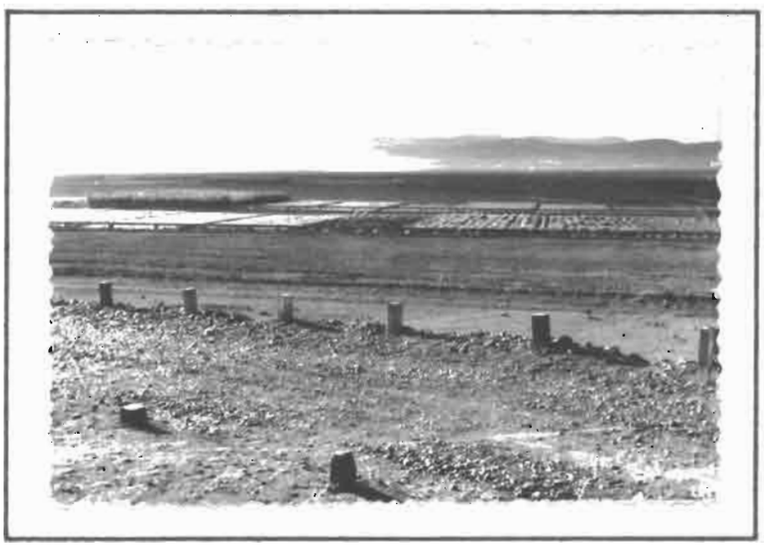


PHOTO Nº 32.- Vue d'ensemble des parcelles établies sur sols bruns steppiques peu profonds sur croûte tendre peu épaisse, salés et alcalisés dans et sous l'encroûtement.

LA STATION EXPERIMENTALE D'AMELIORATION DES SOLS

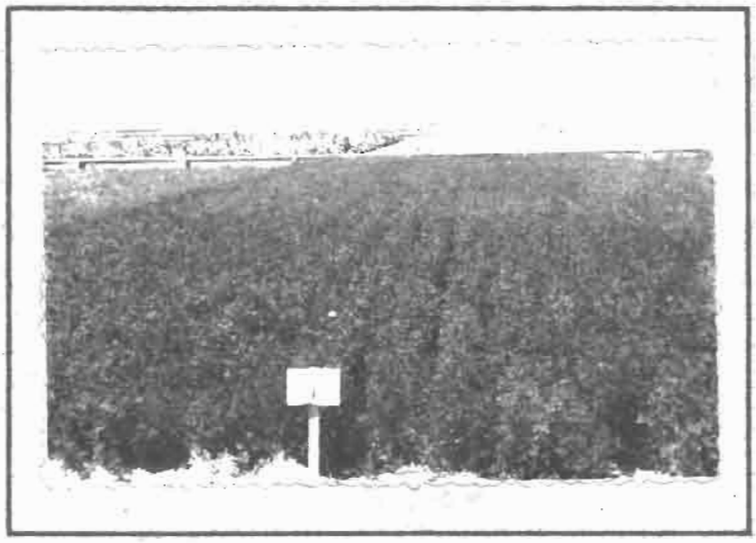


PHOTO Nº 33

Luzerne sur petits billons, sur sol profond salé et alcalisé en profondeur.

PHOTO Nº 34

Coton sur sol profond non salé, non alcalisé.

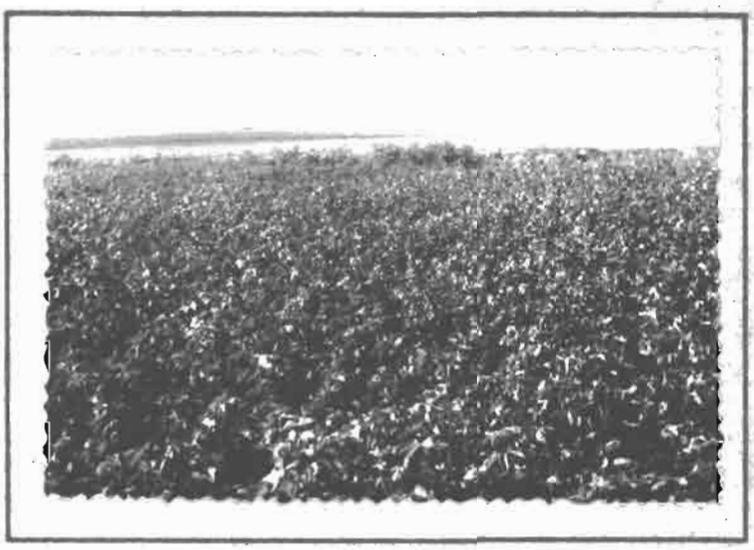




PHOTO Nº 35

Coton sur sol profond salé et alcalisé en profondeur.

LA STATION EXPERIMENTALE D'AMELIORATION DES SOLS



PHOTO Nº 36 .- Betterave sucrière sur sol profond non salé, non alcalisé.



PHOTO Nº 37 .- Betterave sucrière sur sol profond salé et alcalisé en profondeur.

II.- LE CALCAIRE

Le calcaire, sur le plan de son importance agronomique, se présente dans les sols essentiellement sous deux formes :

- le calcaire fin, (en particules inférieures à 2 mm), intimement mélangé aux autres constituants du sol ; c'est en gros, celui que l'on dose quand on fait une analyse de calcaire total ;

- les dalles, croûtes et encroûtements.

En ce qui concerne ces derniers, qui limitent la profondeur des sols aussi bien sur le plan physique (obstacle aux racines et à l'eau) que sur le plan chimique (teneur en calcaire très élevée, pauvreté en éléments fertilisants), ils imposent avant toute mise en valeur la réalisation d'un certain nombre de travaux d'aménagements qui sont : le défoncement, l'épierrage et le sous-solage. Nous en reparlerons dans le chapitre III de cette 3º partie. Soulignons cependant dès maintenant que ces aménagements, qui ne seront d'ailleurs pas possibles partout, ne résoudront pas tous les problèmes. Ils réduiront, sans les supprimer, les obstacles physiques ; mais le calcaire sera toujours là, interdisant beaucoup de cultures trop sensibles au calcaire actif, et tout spécialement un certain nombre d'arbres fruitiers parmi lesquels figurent, en particulier, l'oranger.

Pour le calcaire fin, nous avons vu que la très grande majorité des sols sont fortement calcaires dès la surface (plus de 10 %, généralement de 15 à 25 %) et que les taux de calcaire sont presque toujours supérieurs à 20 % dès 30 - 40 cm de profondeur, atteignant facilement des valeurs de 30 à 50 % vers 50 - 80 cm de profondeur. Une grande proportion de ce calcaire étant actif, c'est-à-dire suffisamment fin pour avoir une action sur la vie des plantes, il faut en tenir compte pour le choix des cultures et surtout des variétés. Cela limitera en particulier une fois de plus les possibilités de l'arboriculture et tout spécialement celles de l'oranger. Par ailleurs, cette richesse en calcaire, associée aux pH élevés, posera assez rapidement des problèmes de fertilisation assez graves : celui des oligo-éléments qui sont dans ces

.../...

sols en grande partie inassimilables ; des carences risquent de se produire, en particulier sur les arbres fruitiers, carences qui sont toujours difficiles à étudier avec précision et difficiles à éliminer.

III.- LA TEXTURE

Nous voulons, sous cette rubrique, simplement rappeler trois points :

1º) L'accumulation d'argile en profondeur dans presque tous les sols. Cette accumulation est très gênante quand il s'agit d'argile alcalisée : nous ne reviendrons pas sur ce sujet déjà longuement exposé. Cette accumulation, quand elle commence trop brutalement, (sols châtains), est également génante pour la pénétration de l'eau et des racines : des sous-solages profonds seront probablement nécessaires.

2º) Certains sols profonds, près des montagnes, sont caillouteux en surface ; des épierrages seront donc nécessaires ; mais étant donné qu'ils ne seront jamais énormes, ils pourront être réalisés par les propriétaires (voir la pièce hors-texte nº VII).

3º) L'existence de niveaux caillouteux à l'intérieur des sols. La présence de ces lits de cailloux sera à la fois bénéfique et néfaste. Bénéfique, car dans la mesure où ils sont continus, ces niveaux faciliteront le draînage ; d'autre part, séparant généralement deux limons de granulométries différentes, ils peuvent faciliter la pénétration de l'eau dans l'horizon inférieur qui est en général le plus argileux. Néfaste pour deux raisons : il est fréquent que ces niveaux ne soient pas continus mais soient sous forme de lentilles plus ou moins proches les unes des autres mais non reliées entre elles ; ils ne peuvent alors assurer le draînage ; bien au contraire, ils peuvent favoriser, dans la mesure où l'horizon sous-jacent est assez imperméable, la formation de poches d'eau à faible profondeur. D'autre part, quandils sont situés à faible profondeur, ce qui est fréquent (30,40, 50 cm), ils constituent un obstacle certain pour le développement des racines, obstacle qu'il est impossible d'éliminer.

.../...

IV.- LA STABILITE STRUCTURALE

En ce qui concerne la stabilité structurale des horizons de profondeur alcalisés, nous en avons déjà longuement parlé.

Pour les horizons de surface, nous avons vu que dans tous les sols la stabilité structurale était toujours faible à très faible, et d'autant plus faible qu'ils sont cultivés en sec. Or, il suffit de regarder l'état actuel des sols irrigués par l'eau de la Moulouya dans la plaine des Triffa pour se rendre compte des résultats d'une culture irriguée mal conduite sur des sols à structure superficielle instable : il y a d'une part destruction à peu près complète de la structure sur les 30 premiers centimètres du sol, d'autre part compactage et diminution de la porosité sur une dizaine de centimètres entre 20 et 30 cm de profondeur ; ce compactage s'accompagne presque toujours d'un noircissement (tirsification).

Pour lutter contre cette dégradation de la structure, et cette lutte est indispensable si on désire ne pas perdre une grande partie du bénéfice apporté par l'irrigation, il faudra :

1º) Apporter beaucoup de matière organique.

2º) Développer les cultures fourragères en particulier celles à enracinement fasciculé (graminées).

3º) Intensifier les façons culturales : travaux profonds plus fréquents (il faudrait un labour à 35 - 40 cm à chaque fois que l'on enfouit de la matière organique et surtout des griffages encore plus profonds destinés à lutter contre le compactage en profondeur) ; binages beaucoup plus fréquents, si possible, tant que l'on peut entrer dans les cultures, après chaque irrigation, une fois le sol ressuyé mais non encore complètement sec et durci.

4º) Modifier les méthodes d'irrigation dans le sens d'une réduction au strict minimum du contact direct en surface entre l'eau d'irrigation et la terre. Les irrigations par bassin, calant ou corrugation

.../...

sont des méthodes très dangereuses pour les sols. L'irrigation à la raie doit être modifiée par une diminution de la largeur et un approfondissement des raies. L'irrigation idéale est, sans aucun doute, l'aspersion, si elle est bien menée (pluie fine ; débit suffisamment faible pour éviter toute accumulation d'eau en surface). Nous reparlerons de tout cela dans le chapitre IV de cette 3º partie, consacré aux modes d'irrigation.

V.- LA CAPACITE DE RETENTION

Dans tous les sols, elle est étonnament faible, vue la richesse en argile des horizons de profondeur. Une série d'études que nous ne pouvons détailler ici, nous amène à penser que ceci est lié à une certaine micro-structure qui semble particulièrement développée quand la structure est polyédro-cubique à facettes lissées (RUELLAN 1959) (49, 50) ; il est donc probable que la capacité de rétention augmentera lentement quand les sols seront irrigués ; ce phénomène semble d'ailleurs déjà se produire sur les parcelles expérimentales. Elle augmentera également par l'apport de matière organique.

VI.- LES PERMEABILITES

Mis à part les croûtes et dalles, et certains sols trop fortement argileux, nous avons vu que dans l'ensemble les perméabilités sont actuellement bonnes en surface comme en profondeur.

Cependant, sans parler de l'imperméabilisation possible des horizons profonds alcalisés, il est certain, c'est bien connu, que cette perméabilité diminuera rapidement et fortement dès que débuteront les irrigations, ceci si un certain nombre de précautions ne

..../...

sont pas prises, précautions qui ne sont autres que celles que nous avons déjà citées pour améliorer la stabilité structurale (matière organique, cultures fourragères, façons culturales, modes d'irrigation). Ces précautions entraîneront en particulier une amélioration de la perméabilité à l'eau de pluie, actuellement très faible, ce qui est très important, d'une part pour limiter le ruissellement et l'érosion, ou au contraire, en terrain plat, la stagnation de l'eau, et d'autre part pour favoriser un certain lessivage annuel des sels accumulés en surface par l'irrigation.

VII.- LA MATIERE ORGANIQUE

Bien que pour des sols bruns steppiques situés en climat sub-aride les taux de matière organique soient assez forts, ils restent sur le plan agricole assez faibles et il faut s'attendre, si des précautions ne sont pas prises, à ce que ces taux diminuent encore, et rapidement, en culture irriguée intensive. Or il est capital que tous les sols, sans exeption, ne s'appauvrissent pas mais au contraire s'enrichissent en matière organique. N'oublions pas que la matière organique, apportée sous forme d'engrais vert mais surtout, c'est l'essentiel, sous forme de fumier :

- est indispensable pour maintenir la structure des sols en bonne condition, et en conséquence pour limiter les baisses de perméabilité ;

- facilitera l'alimentation des plantes en provoquant une baisse des pH et un apport d'éléments immédiatement assimilables ;

- contribuera à la désalcalisation des horizons profonds ;

- augmentera la capacité de rétention et la capacité d'échange

Nous insistons donc une fois de plus sur l'importance qui doit être donnée dans les assolements aux cultures fourragères : elles apporteront elles-mêmes de la matière organique mais surtout elles permettront le développement d'un élevage producteur de fumier.

.../..

VIII.- LES ELEMENTS FERTILISANTS

Tous les sols sont pauvres en azote et phosphore, et riches en potassium. Si donc les engrais potassiques ne sont nécessaires que sous forme d'une fumure d'entretien (qui sera réalisée en partie par les apports dus à l'eau de la Moulouya : voir p. 120), par contre, des apports réguliers d'azote et phosphore sont absolument indispensables. Azote sous forme ammoniacale, le sulfate d'ammoniaque étant particulièrement intéressant étant donnée son action désalcalisante, en milieu calcaire, grâce à son anion sulfate. Phosphore sous forme de superphosphate ou peut-être, c'est à essayer, sous forme d'hyperphosphate. Les apports de matière organique contribueront également grandement à l'enrichissement du sol en azote, phosphore et potassium.

Pour le potassium, un problème se pose quand même dans le cas des sols peu profonds. Nous avons vu en effet que les encroûtements sont pauvres en cet élément. Il sera donc peut-être nécessaire, en particulier si on veut développer certaines productions arboricoles, d'étudier pour ces sols des apports d'engrais potassique en profondeur.

En ce qui concerne les oligo-éléments, rappelons les difficultés qui risquent d'apparaître étant donnée la richesse en calcaire. Enfin signalons que des carences en bore sont très probables ; nous n'avons pas encore fait de dosage de bore dans les sols mais nous en avons fait dans l'eau de la Moulouya : il n'y en a absolument pas ; les apports de bore seront donc nécessaires pour certaines cultures.

CHAPITRE II . - LES CULTURES POSSIBLES

A la fin de la description de chaque type de sol, nous avons déjà souligné dans les paragraphes consacrés à la mise en valeur, l'essentiel des aptitudes culturales de ces sols en insistant plus particulièrement, d'une part sur les cultures amélioratrices indispensables, d'autre part sur celles qui sont au contraire à proscrire. Les lignes qui vont suivre n'apporteront donc rien de bien neuf si ce n'est une synthèse que nous avons estimée nécessaire.

Mais avant de passer en revue les différentes productions, rappelons quatre points que l'Agronome qui aura à étudier en détail les cultures à introduire ne devra jamais oublier.

1º) Toutes les espèces et variétés choisies doivent être très résistantes au calcaire actif, les sols profondément non calcaires ne couvrant que de très faibles surfaces (sols châtains).

2º) Toutes les espèces et variétés choisies doivent être résistantes à une certaine salure, ceci non pas tant à cause de la salure naturelle des sols qui, nous l'avons vu, diminuera très rapidement

.../...

(voir p. 289), mais à cause de la salure de l'eau de la Moulouya qui maintient dans les sols un taux minima de salure assez élevé (voir p. 117).

3º) Même après désalcalisation sodique, le pH des sols reste assez élevé, toujours supérieur à 8, souvent voisin et même supérieur à 9 : nous ne savons pas si ces pH se maintiendront ou diminueront au bout de quelques années d'irrigation ; il faut donc en tenir compte dans le choix des espèces et des variétés à introduire pendant les premières années.

4º) Enfin il y a les limitations imposées par le climat. En particulier il faut se rappeler que les gelées sont possibles, du moins localement, en particulier dans les bas-fonds.

I.- LES CULTURES FOURRAGERES

La production d'un fumier indispensable pour le maintien et l'amélioration de la fertilité physique et chimique des sols, la régénération directe de la structure et de la porosité, imposent que les cultures fourragères occupent une place importante dans tous les assolements qui seront mis en place dans la plaine du Zebra. Et cette place est à prévoir particulièrement importante sur tous les sols salés et alcalisés en profondeur, ceci pendant la période d'amélioration des sols : l'idéal serait des prairies temporaires de deux à trois ans revenant tous les six ans.

Ces cultures fourragères ne devront pas être la luzerne seule dont l'enracinement profond mais trop pivotant n'a qu'une action assez limitée sur la structure : il faut des plantes à enracinement fasciculé abondant et profond. Ce sont donc des mélanges de graminées et des mélanges graminées-légumineuses qui devront être introduits, les espèces choisies devant être résistantes à la fois à une certaine salure et au calcaire actif. Signalons en particulier la fetuque élevée semée en lignes alternées avec la luzerne (Festuca arundinacea ; variétés :

.../...

Manade de chez Vilmorin, ou S 170 Aberystwith, ou Grombalia de Tunisie). Rappelons que le Napier, essayé à la Station Expérimentale, ne donne pas de très bons résultats, ceci étant probablement du à un hiver trop froid.

En ce qui concerne les sols peu profonds sur dalle épaisse, rappelons que nous avons signalé qu'il serait intéressant d'essayer l'introduction de plantes fourragères peu exigeantes en eau et à enracinement peu profond (p. 260).

II.- LES CULTURES INDUSTRIELLES

Mis à part les sols peu profonds sur dalle épaisse, tous les sols de la plaine du Zebra conviennent à la culture du coton, même ceux qui actuellement sont très salés et très alcalisés. Il sera seulement nécessaire, pour les sols peu profonds sur croûte tendre peu épaisse ou encroûtement, de s'assurer que défoncements et sous-solages sont très correctement réalisés. Rappelons également les problèmes posés par le climat : pluies tardives au printemps et précoces en automne (voir p. 75).

Il semble par contre que pour la betterave, bien peu de sols puissent convenir, du moins pendant les premières années. Il faut d'abord éliminer tous les sols peu profonds sur croûte tendre qui seront trop caillouteux pendant de nombreuses années. Il faut également éliminer tous les sols profonds trop caillouteux en surface, présents surtout dans la zone Nord du périmètre (voir pièce hors texte nº VII). Il faut enfin probablement éliminer, du moins pendant la période d'amélioration des sols, tous les sols alcalisés en profondeur : les résultats obtenus à la Station Expérimentale sont vraiment trop médiocres (voir p. 291). Il ne reste donc pas grand chose, quelques centaines d'hectares très dispersés qui permettraient cependant la mise en place de cultures de betteraves fourragères ou demi-sucrières très intéressantes pour compléter l'alimentation du bétail.

.../...

Les autres cultures industrielles auxquelles on peut penser sont éventuellement le ricin, le tournesol et le carthame : c'est à essayer. Pour le ricin qui est assez exigeant sur la profondeur et le drainage des sols, nous sommes assez sceptiques.

Enfin, il y a la canne à sucre : mais là bien des renseignements nous manquent pour conseiller ou déconseiller cette culture. Nous pensons qu'il faut l'essayer. Si ses besoins en eau ne sont pas trop élevés, elle pourrait avantageusement remplacer la betterave, d'autant plus que son action sur la structure est excellente. Mais par ailleurs, c'est une plante exigeante quant à la profondeur des sols : son installation sur les sols peu profonds sur encroûtement ou croûte tendre nécessitera certainement des défoncements et sous-solages parfaitement réalisés.

III.- LES CULTURES MARAICHERES

Mis à part les sols peu profonds sur dalle épaisse, tous les sols conviennent à la plupart des cultures maraîchères. Seules des cultures trop sensibles aux sels, comme le haricot, devront être évitées. La climat aidant, la culture des primeurs sera certainement très intéressante, en particulier sur les sols peu profonds sur croûte tendre qui doivent se réchauffer assez rapidement à la fin de l'hiver.

Les cultures maraîchères, nécessitant des apports de fumier importants et un travail du sol très soigné, sont des cultures améliorantes. Il serait donc très intéressant de les généraliser, pendant la période d'amélioration, sur tous les sols salés et alcalisés en profondeur, en assolement avec les cultures fourragères.

.../...

IV.- LES CULTURES CEREALIERES

Elles peuvent être introduites sur tous les types de sols, y compris une grande partie de ceux de la catégorie 4.

Nous pensons que bien que ce soient des cultures réputées peu rentables en périmètre irrigué, il est intéressant de les introduire dans tous les assolements pour les raisons suivantes :

- pour faire du fumier, il faut de la paille ;

- ce sont des cultures peu exigeantes, pouvant profiter des reliquats de fumure ;

- grâce à leur enracinement dense et profond, (si la préparation du sol est bonne), elles sont amélioratrices de la structure et de la porosité ;

- elles demandent un nombre réduit d'irrigations.

Les cultures de céréales constituent donc une période de repos relatif du sol, surtout au point de vue physique. Elles devront être en particulier introduites dans les assolements améliorateurs des sols salés et alcalisés.

V.- L'ARBORICULTURE

Les agrumes sont à proscrire de presque tous les sols ; seuls les sols châtains qui, rappelons-le, couvrent une très faible surface, peuvent être plantés en agrumes. Tous les autres sols sont trop calcaires et trop alcalins.

Par contre, l'olivier, l'abricotier et la vigne , peuvent être généralisés sur tous les types de sols, mis à part, bien

.../...

entendu, ceux sur dalle épaisse. Ils viendront en particulier très bien sur tous les sols peu profonds sur encroûtement ou croûte tendre à condition de réaliser au préalable un défoncement très soigné.

Sur les sols profonds, d'autres arbres fruitiers pourraient être tentés : pommier, prunier (pruneaux).

Enfin, sur les sols peu profonds sur dalle calcaire, ce sont des arbres comme l'amandier, le caroubier, peut-être l'olivier, et surtout des arbres forestiers comme l'Eucalyptus et le Pin d'Alep, indispensables pour produire le bois dont a besoin tout périmètre irrigué, qui devront être plantés ; plantations qui exigent, si on désire les réussir pleinement, de gros travaux de défoncement à la dynamite et des irrigations, au moins pendant l'hiver.

CHAPITRE III.- L'AMENAGEMENT DES SOLS

Par aménagement des sols, nous entendons l'exécution d'un certain nombre de travaux qui sont entrepris, soit dans le but d'améliorer certaines propriétés physiques et chimiques qui limitent trop fortement les possibilités de mise en valeur : c'est le cas d'opérations telles que le dessalage, la désalcalisation, le draînage, l'épierrage, le sous-solage, le défoncement ; soit dans un but d'efficacité des irrigations et de simplification des problèmes posés par le micro-relief : c'est le cas du nivellement ; soit enfin dans un but de protection générale du périmètre : c'est le cas de la lutte contre l'érosion.

Ces travaux d'aménagement ont entre eux deux points communs qu'il ne faut jamais perdre de vue :

- Tout d'abord, ce sont des opérations qui coûtent cher, souvent très cher. Nous devons donc avant de les conseiller bien réfléchir à leur rentabilité.

- Ensuite, si ces aménagements sont souvent indispensables, car sans eux il n'y aurait pas d'agriculture intensive possible ; s'ils sont parfois seulement souhaitables car ils peuvent permettre d'améliorer une production ; il faut se souvenir qu'ils peuvent aussi entraîner plus

.../...

de mal que de bien, résoudre un problème mais en créer d'autres plus graves : les exemples malheureux ne manquent pas.

Ces opérations d'aménagement doivent donc être, surtout pour certaines d'entre elles (nivellement, travail profond du sol), réalisées avec beaucoup de prudence. Avant d'être lancées sur une trop grande échelle, elles doivent être très sérieusement pensées, étudiées, expérimentées. Il ne faut pas oublier que le sol n'est pas inerte ; il doit être considéré comme un être vivant, en équilibre depuis très longtemps avec un milieu donné : ses réactions à une modification trop brutale soit de son profil soit de son milieu sont la plupart du temps imprévisibles. L'irrigation va déjà profondément modifier le milieu, les conséquences sur le profil des sols étant, pour la plupart, inconnues ; il ne faut donc pas dès le départ compliquer les problèmes par des travaux d'aménagements intempestifs.

I.- LE DESSALAGE ET LA DESALCALISATION

Nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons déjà écrit, précédemment, en particulier dans le chapitre I de la deuxième partie (voir p. 161) et surtout dans le chapitre I de cette troisième partie (voir p. 288). En ce qui concerne la lutte contre l'accumulation du sel apporté par l'eau d'irrigation, nous en avons déjà parlé dans le chapitre V de la première partie (voir p. 117) et nous serons amenés à en reparler dans le chapitre IV de cette troisième partie consacré aux modes d'irrigation.

II.- LE DRAINAGE

Nous n'avons pas non plus grand chose à ajouter en ce qui concerne le drainage.

.../...

Il n'y a actuellement aucune nappe phréatique, mais nous savons que ce drainage sera peut-être un jour nécessaire, si les limons argileux et alcalisés, qui existent partout dans la plaine du Zebra à une profondeur inférieure à 2 - 3 mètres, deviennent imperméables.

Si le phénomène doit se produire, il est très probable qu'il apparaîtra :

- D'abord le long de la grande faille moulouyenne, orientée ENE - WSW, prolongeant vers l'WSW la "vallée morte" (voir p. 26). La vallée située le long de cette faille sera l'exutoire d'environ 2.000 hectares de terrain irrigué situés au Nord. Nous croyons devoir conseiller d'y prévoir dès maintenant un drain profond (4 mètres) à ciel ouvert.

- Ensuite dans la zone Sud du périmètre où le relief très compliqué limitera certainement le drainage naturel.

III.- LE TRAVAIL PROFOND DU SOL

Le travail profond du sol peut être soit le défoncement, soit le sous-solage, soit le labour profond.

A.- Le défoncement

Il s'agit du travail effectué au rooter pour défoncer les croûtes.

Ce travail ne doit à notre avis être effectué que pour défoncer les croûtes tendres peu épaisses. En effet :

1º) Sur les croûtes dures épaisses, ce travail n'est pas à entreprendre, car, à moins d'utiliser des moyens énormes et très couteux,

.../...

il est impossible. Nous mettons en garde les responsables de la mise en valeur qui ont déjà tenté de défoncer de telles croûtes et qui croient avoir réussi. Le résultat du passage d'un rooter dans les sols peu profonds sur croûte dure avec dalle, est en effet très impressionnant : l'engin sort du sol des blocs de dalle souvent énormes ce qui fait croire que la croûte est défoncée. Or il n'en est rien : les blocs sortis étaient dans le sol peu profond ; la dalle compacte et continue, n'a pas été touchée ; si cette dalle n'existe pas, la croûte très dure elle-même reste intacte (RUELLAN, 1961) (54). La dalle ou la croûte dure a pu cependant être légèrement ébranlée, et on peut penser qu'en effectuant plusieurs passages croisés du rooter on pourrait quand même réussir à les percer. Mais rappelons que ces croûtes ont un minimum de 60 cm d'épaisseur, et que généralement elles ont plus d'un mètre d'épaisseur En comptant les 30 ou 40 cm de sols qui sont au dessus, il faudrait donc, pour traverser toute la croûte, utiliser des engins travaillant au minimum à 120 - 130 cm : c'est impensable dans un matériel aussi dur.

Le seul résultat important du passage du rooter est donc de faciliter l'épierrage du sol peu profond. Or nous déconseillons absolument cet épierrage qui amincira le sol, souvent de moitié, facilitera son tassement, rendra encore beaucoup plus difficile un drainage déjà problématique. Seul doit être effectué un épierrage superficiel afin de faciliter les façons culturales.

Reste le problème du défoncement des croûtes moyennement épaisses : nous en avons déjà parlé (p. 261) ; seule l'expérience peut nous indiquer si le défoncement de ces croûtes est réalisable sans avoir à mettre en oeuvre des moyens énormes.

2º) Sur les encroûtements, le défoncement avec un rooter ne devrait également pas être effectué ; en effet le résultat est souvent de remonter dans le sol superficiel des morceaux de l'encroûtement sous-jacent, ce qui serait à éviter. Cependant étant donné que souvent les encroûtements et les croûtes tendres passent latéralement en permanence de l'un à l'autre (voir p. 243), il n'est pas possible de conseiller dans tous les cas de limiter les défoncements aux seules croûtes tendres ; cela exigerait d'abord une cartographie très précise, ensuite un travail du rooter extrêmement délicat. Nous conseillons cependant

.../...

qu'une cartographie de tri des sols au 1/5000º soit effectuée dans tous les sols prévus pour le défoncement. Cette cartographie permettra de différiencier des zones où les croûtes tendres sont majoritaires et des zones où au contraire, les croûtes sont rares, les sols peu profonds étant le plus souvent directement sur encroûtement : le défoncement ne sera pas à effectuer dans ces zones à encroûtement majoritaire.

3º) Sur les sols profonds nous estimons que ce travail est inutile, sauf peut-être pour les plantations afin d'ameublir le sous-sol. Par ailleurs il peut être néfaste en remontant vers la surface les horizons très calcaires, argileux, salés et alcalisés, et en permettant des pertes d'eau trop importantes en profondeur. Reste à savoir cependant si ce défoncement ne sera pas nécessaire et à répéter régulièrement pour justement faciliter le draînage.

Sur les croûtes tendres le défoncement devra atteindre au minimum la profondeur de 70 cm, l'idéal étant 80 cm : c'est en effet entre 60 et 80 cm que se trouve la base de la plupart des croûtes (encroûtement non compris). Pour atteindre ces profondeurs, il faut travailler avec des engins très lourds : 6 à 7 tonnes, ayant au maximum 2 dents (et non 3) de 90 cm de long (pour tenir compte du fait que la terre est "soufflée" en surface par le passage de la dent). Nous avons pu observer que des défoncements faits avec des engins de 3 - 4 tonnes et à trois dents, n'ont donné que des résultats très médiocres : la profondeur du travail a rarement dépassé 50 cm ; les croûtes n'ont donc été qu'effleurées, elles n'ont jamais été défoncées (RUELLAN, I96I) (54).

Ce défoncement à 2 dents doit être fait "à cheval" afin de faire le travail de la 3º dent qui manque ; d'autre part, afin de faire un travail vraiment efficace, nous conseillons deux passages croisés, le deuxième passage devant être fait parallèlement aux courbes de niveaux ; un premier épierrage doit être effectué entre les deux passages croisés. Même ainsi, le défoncement sera loin d'être parfait. L'idéal, serait d'obtenir une raie de défoncement au minimum tous les 50 cm, dans deux directions perpendiculaires. En effet, si les raies de défoncement sont trop éloignées les unes des autres une grande partie des racines ne peut en profiter alors qu'au contraire l'eau en profite pour

.../...

se perdre en profondeur. Il en résulte, et c'est ce qui vient d'être constaté à la S.E.H.A du Zebra (communication orale de Monsieur BIGOT du C.E.O.N.I), une augmentation très sensible des besoins en eau pour un accroissement relativement faible des rendements. Il est tout à fait normal que le défoncement augmente les besoins en eaux du sol, surtout au début tant que le sol ne s'est pas retassé, mais il faut que ceci s'accompagne d'une très nette amélioration de l'enracinement qui ne peut être obtenu que si les raies de défoncements sont très rapprochées les unes des autres.

Les défoncements doivent bien entendu être suivis d'un travail d'épierrage. Ce travail est très long : il est à reprendre après chaque travail du sol, ceci pendant de nombreuses années.

B.- Le sous-solage

Nous entendons par sous-solage, un travail très profond du sol effectué par des appareils qui fendent la terre sans remonter quoique ce soit vers la surface. Ce travail permet d'atténuer des discontinuités existants entre divers horizons du sol, de faciliter la pénétration des racines et le drainage, mais il n'ameublit presque pas le sol

Ce sous-solage doit être essayé :

1º) Sur les sols peu profonds sur encroûtement afin de faciliter la pénétration de l'eau et des racines dans l'encroûtement.

2º) Sur les sols peu profonds sur croûte tendre, après le défoncement de la croûte, afin de fendre l'encroûtement situé sous la croûte.

3º) Sur les sols châtains qui, nous l'avons vu, sont brusquement très argileux à partir d'une faible profondeur.

4º) Sur tous les sols profonds salés et alcalisés, si des difficultés de drainage apparaissent un jour.

.../...

Si sur les sols châtains, ce travail n'a guère besoin d'être très profond (60 à 80 cm), par contre dans les encroûtements et les croûtes tendres il faudrait que la profondeur minima de 100 cm soit atteinte; l'idéal serait 120 cm. Par ailleurs, comme pour le défoncement, ce sous-solage ne sera vraiment efficace que si les raies de sous-solage sont très rapprochées (50 cm) et croisées.

Signalons enfin que si ce travail se révèle vraiment intéressant, voir même indispensable, il est très probable qu'il sera alors à refaire fréquemment étant donné la très faible stabilité structurale des sous-sols.

C.- Le Labour profond

Si nous sommes amenés à parler ici du labour profond c'est parce que nous avons pu observer dans la plaine des Triffa voisine quelques travaux malheureux réalisés à l'aide d'une charrue-balance appartenant à un Centre de Mise en Valeur de l'O.N.I.

Le travail réalisé par cet appareil est vraiment très impressionnant : dans un sol profond, mais très argileux (sol châtain), le profil est complètement inversé sur 70 cm d'épaisseur, l'ameublissement étant, bien entendu, parfait. Cependant nous pensons qu'il est inutile de préciser très longuement les graves conséquences d'une telle opération qui réussit à placer la matière organique et la zone la plus vivante du sol à 50 - 70 cm de profondeur et à ramener en surface les horizons profonds dont nous n'avons pas besoin de rappeler les mauvaises propriétés (dans la plaine des Triffa, les horizons profonds ne sont pas salés et alcalisés, mais ils sont très calcaires, très pauvres en matière organique, en éléments fertilisants).

Ce travail est donc à proscrire absolument, sauf cas particuliers de profils très homogènes. Dans la plaine du Zebra, nous estimons que les labours ne devront jamais dépasser 35 - 40 cm. Cela ne veut pas dire que les sols ne devront pas être travaillés plus profondément ; nous avons déjà vu au contraire que, sans parler du sous-solage

.../...

et du défoncement, il était absolument indispensable de prévoir un travail profond du sol pour lutter contre la formation d'une semelle d'irrigation (voir p.298) ; mais ce travail devra être un griffage profond et non un labour.

IV.- L'EPIERRAGE

Nous ne reviendrons pas sur l'épierrage des sols peu profonds qui doit accompagner et suivre le défoncement des croûtes tendres, mais qui doit être très limité dans les sols peu profonds sur croûte dure.

Sur les sols profonds, les épierrages à réaliser sont rarement très importants et nous pensons qu'ils pourront toujours être réalisés par les agriculteurs eux-mêmes. Ces sols profonds caillouteux ne sont d'ailleurs fréquents que dans la zone Nord du Périmètre et sur les basses terrasses situées le long de l'Oued Zebra et de son affluent Sud, (voir la pièce hors-texte nº VII qui donne l'essentiel de la répartition des sols profonds caillouteux en surface).

V.- LE NIVELLEMENT

Cette opération de nivellement, qui consiste soit à donner au terrain qui doit être irrigué une pente faible uniforme, soit, si on est plus prudent, à régulariser simplement la pente en enlevant en particulier les contre-pentes, est certainement l'aménagement le plus dangereux qui existe. Il peut conduire à de véritables catastrophes : voir l'exemple situé au milieu de la plaine du Zebra.

.../...

Si dans l'ensemble du Périmètre de la Basse Moulouya la plupart des sols peuvent difficilement supporter un nivellement trop poussé, ceci est particulièrement évident pour les sols de la plaine du Zebra.

Nous avons vu que la presque totalité dès sols de la plaine du Zebra présentent un profil marqué par l'accentuation en profondeur de nombreuses propriétés peu favorables : calcaire, argile, instabilité structurale, salure, alcalisation, pauvreté en matière organique et en éléments fertilisants. Tout nivellement quelqu'il soit entraînera donc une perte de fertilité par rapprochement vers la surface, dans les zones décapées, d'horizons pauvres et aussi par destruction de la partie humifère et vivante du sol ; il peut également entraîner une perte de fertilité dans les zones comblées par apport en surface d'une terre pauvre décapée ailleurs. Tout nivellement entraînera donc une perte de temps : le temps qu'il faut pour reconstituer les horizons de surface ; il entraînera aussi sur la moitié de la zone nivelée une baisse générale et souvent définitive de la valeur des sols par rapprochement vers la surface des horizons profonds.

Il faut souligner également que si ce travail est réalisé mécaniquement, ce qui semble inévitable si on veut aller vite et diminuer un peu son coût, le passage renouvelé des énormes tracteurs nécessaires et des nivelleuses, détruit très rapidement toute structure en surface, qu'il sera certainement assez long de reconstituer.

Tout nivellement, même limité, est donc dangereux. Seul le régalage, le surfaçage, qui ne cherchera qu'à supprimer les petites contre-pentes existant dans le sens de l'irrigation choisi, et qui peut être réalisé rapidement par des outils légers, ne fait que très peu de mal. Et si ce nivellement se révèle insuffisant pour permettre une bonne irrigation par des méthodes gravitaires classiques, il est certainement préférable de choisir d'autres méthodes d'irrigation n'exigeant aucun ou très peu de nivellement (voir le chapitre I.V de cette 3e partie) plutôt que de réaliser un nivellement plus poussé dont nous avons souligné tous les dangers.

Pour les cas cependant où il serait quand même décidé de procéder à des nivellements plus importants que le simple surfaçage, nous tenons à préciser que :

1º) Ce nivellement ne devra jamais dépasser 10 cm sur les sols profonds alcalisés ou alcalisés-salés en profondeur et sur tous les sols peu profonds.

2º) Il ne devra jamais dépasser 20 cm sur les autres types de sol.

Etant donné le relief très accentué d'une grande partie de la plaine du Zebra, cela limite beaucoup les possibilités de nivellement.

VI.- LA LUTTE CONTRE L'EROSION

Il n'est pas du domaine de ce rapport de discuter en détail les méthodes et les moyens à mettre en oeuvre pour limiter les érosions que l'on observe actuellement et celles qui peuvent apparaître dans le futur. Nous voulons simplement ici souligner quelques points importants.

Nous n'insisterons pas sur l'érosion qui se produit à l'extérieur du périmètre, dans les collines et montagnes qui entourent la plaine du Zebra. Des études très détaillées doivent être effectuées pour connaître l'importance de l'évolution actuelle dans ces zones généralement très dénudées et les moyens qui peuvent être utilisés pour limiter cette évolution.

En ce qui concerne les causes et l'importance des érosions dans la plaine elle-même, nous en avons déjà dit quelques mots dans les chapitres II et III et VI de la 1º partie. Nous en retiendrons les points suivants :

.../...

1º) Tous les axes d'écoulement actuels, très nombreux, doivent être aménagés. Il s'agit :

- Pour les axes d'écoulement principaux, d'une part d'éviter dans les zones de ravinement l'élargissement des ravins et des griffes d'érosion, d'autre part de supprimer les zones d'épandages, qui peuvent être très étendues et couvrir les meilleurs sols, en concentrant le ruissellement.

- Pour les axes d'écoulement secondaires, qui sont généralement des vallons assez élargis où se trouvent les meilleurs sols et où le comblement domine sur l'érosion, de les protéger du ruissellement.

Ces aménagements sont essentiels : les accidents qui se sont produits en 1962 et 1963 sur une partie de la Station Expérimentale l'ont suffisamment prouvé (inondations, cultures et séguias emportées, etc...).

2º) Des irrigations mal conduites, avec des pentes trop fortes, des débits trop élevés, des pertes en colature importantes, peuvent entraîner des érosions qui sont certainement loin d'être négligeables.

A ce sujet, il faut souligner que ce sont certainement les méthodes d'irrigations gravitaires modernes (raie et calant) qui sont les plus dangereuses. Avec les méthodes d'irrigation traditionnelles (robta, bassin), les débits trop importants qui sont généralement utilisés et des pentes trop fortes, ne peuvent jamais entraîner des érosions énormes. Par contre des raies ou des calants mal tracés, irrigués avec des débits trop importants, par des agriculteurs qui ne savent pas limiter les pertes en colature, risquent de conduire sur bien des plans, et en particulier sur celui de l'érosion, à des résultats catastrophiques. Il y a donc là un problème important de formation professionnelle : pour diverses raisons (voir chapitre IV de cette 3º partie), il n'est pas question de laisser les agriculteurs continuer à utiliser les méthodes d'irrigation traditionnelles ; il faut introduire les méthodes modernes ; mais cette transformation doit se faire prudemment, par un encadrement suffisant.

L'idéal, bien sûr, est l'irrigation par aspersion qui, bien conduite, n'entraîne aucune érosion.

..../...

3º) Le remaniement éolien qui se produit actuellement disparaîtra à peu près totalement quand le périmètre sera irrigué, ceci parceque les sols seront humides, parce qu'ils seront protégés par les cultures et parce que, pour protéger les cultures elles-mêmes et pour limiter l'évapo-transpiration, des brise-vents seront plantés.

4º) Toute érosion sera d'autant plus limitée que l'on améliorera la structure superficielle des sols : travail correct du sol, irrigations bien conduites, cultures fourragères, apport de fumier.

CHAPITRE IV . - LES MODES D'IRRIGATION

Nous avons déjà souligné qu'il ne fallait jamais oublier que l'irrigation, pour un sol en état d'équilibre avec le milieu d'un pays aride ou semi-aride, était une véritable révolution. Notre rôle en tant que Pédologue et Agronome est d'essayer de limiter cette révolution ou plutôt de la conduire dans le bon sens, de lutter contre la destruction du sol que toute irrigation mal faite entraîne automatiquement. C'est dans cet esprit qu'ont été écrites les quelques pages qui vont suivre.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, rappelons brièvement trois points essentiels :

- Il faut limiter le plus possible tous travaux de nivellement, nous venons d'en parler dans le chapitre précédent.

- L'eau de la Moulouya qui sera utilisée pour irriguer la plaine du Zebra, est suffisamment salée pour provoquer, sous le climat aride qui règne dans cette région, des accumulations de sels en surface qui sont loin d'être négligeables (voir p. 117).

.../...

- La stabilité structurale de tous les sols est faible. Ce sont donc des sols très sensibles à l'action directe de l'eau qui peut détruire très rapidement toute structure sur une épaisseur importante (voir p. 298).

Voyons maintenant, les uns après les autres, les différents modes d'irrigation avec leurs avantages et leurs inconvénients pour les sols.

I.- LE BASSIN

C'est la méthode traditionnelle pour l'irrigation des cultures fourragères.

Il faut absolument la proscrire : elle détruit à peu près complètement la structure sur les 30 - 40 premiers centimètres du sol, ce qui est inévitable étant donné qu'à chaque irrigation l'eau recouvre tout le sol et que les sols ne sont jamais travaillés entre les irrigations. Ses seuls avantages sont d'empêcher toute forte accumulation de sels en surface, et d'éviter toute érosion.

II.- LE CALANT ET LA CORRUGATION

Ces deux modes d'irrigation moderne des cultures fourragères présentent le même avantage que le bassin sur le plan de l'accumulation des sels en surface, ceci étant surtout vrai pour le calant. Mais ils présentent deux inconvénients graves :

.../...

- Ils exigent, surtout pour le calant, un nivellement parfait avec tous ses inconvénients ; nivellement difficile à réaliser dans la plaine du Zebra si on désire rester prudent (relief très mouvementé) ; nivellement difficile à entretenir.

- Presqu'autant que le bassin, ces méthodes où l'eau couvre toute la surface et qui interdisent des façons culturales nombreuses, détruisent la structure, limitant énormément l'effet améliorateur des cultures fourragères.

Ces deux méthodes d'irrigation ne devraient donc pas être vulgarisées.

III.- LE BILLON PLAT

Etant donnés les mauvais résultats donnés par les méthodes précédentes, nous avons commencé, à la Station Expérimentale d'Amélioration des Sols, la mise au point d'une nouvelle méthode d'irrigation des cultures fourragères, dite du billon plat, méthode qui semble donner de bons résultats.

Cette méthode est la suivante :

- On commence par faire ce que nous appelons des "raies plates " (voir fig. nº 75 ; photos nº 38, 39 et 40) ayant 60 à 90 cm de large (fonction de la perméabilité et de la largeur des roues d'un tracteur : voir plus loin), et une longueur, à calculer, fonction de la pente, de la perméabilité, de la taille des propriétés, etc.. : étant donné le relief compliqué de la plaine du Zebra, ces raies ne pourront pas être très longues (50 à 100 m) à moins de les tracer en suivant les courbes de niveau. Les raies sont séparées par des bourrelets de terre aussi étroits que possible (10 cm) et d'une hauteur de 10 - 15 cm. La pente de ces raies doit être assez faible : nous verrons tout à l'heure pourquoi.

.../...

- Après une pré-irrigation dans les raies, on sème, à la volée ou en ligne, dans les raies. On attend que la culture commence à germer, puis on procède à une deuxième irrigation : il ne faut pas que cette deuxième irrigation provoque une érosion quelconque qui risquerait d'entraîner les semis ; d'où la nécessité d'une pente faible (cependant sur la Station, un essai a été réalisé sur une pente moyenne de 1 % : aucune érosion ne s'est produite).

- On continue à irriguer de cette façon, dans les raies, jusqu'à ce que les plantes fourragères prennent un développement suffisant, soit pendant deux à quatre mois. On procède alors, après une coupe, à une inversion du profil (voir fig. nº 75 ; photo nº 41) : à la place des bourrelets sont creusés des sillons qui doivent être étroits et profonds, les irrigations se faisant dorénavant dans ces sillons, l'eau ne devant jamais déborder (*). La terre du bourrelet et celle provenant du creusement du sillon sont réparties uniformément sur l'ancienne "raie plate " qui devient un "billon plat". Les sillons, qui doivent être recreusés régulièrement, au moins à chaque coupe, pour lutter contre le limonage, doivent avoir au maximum 10 - 15 cm de large et une profondeur minima de 15 cm ; cela fait un rayon hydraulique assez faible, d'où probablement la nécessité d'une pente faible et d'un débit en tête assez faible ; ce sont des caractères qui doivent être calculés à l'aide d'une expérimentation sur le terrain sur les principaux types de sol (S.E.H.A) ; expérimentation qui doit par ailleurs déterminer quel peut être l'écartement maximum des sillons (donc la largeur des raies plates au départ), écartement qui dépend essentiellement de la perméabilité horizontale (des essais ont déjà été mis en route à la S.E.H.A du Zebra).

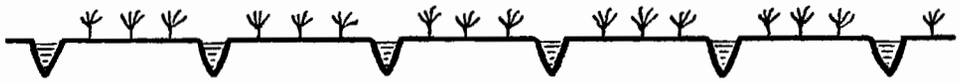
Cette méthode ne nécessite donc strictement aucun nivellement en dehors des régalages ; elle est appliquable à n'importe quelle pente, à condition de tracer les "raies plates" puis les sillons

.../..

(*) pour la luzerne, il semble que la meilleure méthode soit d'effectuer le semis en automne et de ne procéder à l'inversion du profil qu'à la fin de l'hiver.



RAIES PLATES



BILLONS PLATS

FIGURE Nº 75

IRRIGATION DE LA LUZERNE EN BILLONS PLATS



PHOTO Nº 38

Les raies plates avant le semis.





PHOTO Nº 39

PHOTO Nº 40

Développement de la luzerne dans les raies plates.

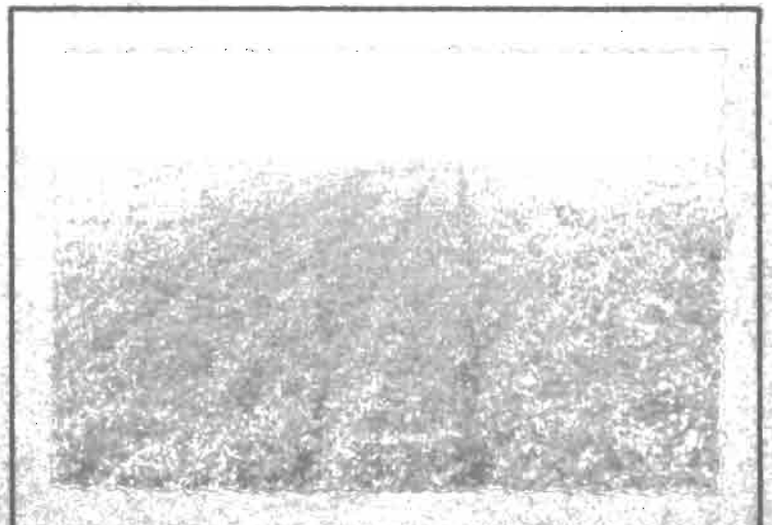


PHOTO Nº 41

Luzerne d'un an sur billons plats.

presque parallèlement aux courbes de niveau. Cette méthode n'évite pas l'accumulation des sels en surface ; elle l'évite cependant au début, au moment de la germination : or c'est à cette époque qu'elle est la plus dangereuse ; d'autre part, comme nous le pensions, l'accumulation en surface des "billons plats" est beaucoup moins importante que celle qui se produit sur les billons classiques : 1,5 à 3 o/oo au lieu de 3 à 10 o/oo. Enfin cette méthode réduit au strict minimum l'action directe de l'eau sur le sol, donc la destruction de la structure en surface : sur trois ans de cultures fourragères, l'eau n'est répartie sur toute la surface que pendant deux à quatre mois ; le reste du temps elle est concentrée sur une très faible surface.

Précisons, pour terminer, deux points :

- Nous pensons que c'est une méthode qu'il sera facile de vulgariser, beaucoup plus que le calant ou la corrugation.

- D'autre part, elle permet la mécanisation des travaux agricoles, en particulier celle du fauchage : en cas d'utilisation d'un tracteur, les roues de celui-ci roulent dans les sillons, ceux-ci devant être recreusés par un deuxième passage après le ramassage du foin. Il sera certainement facile de concevoir des petits instruments portés ou tractés destinés à faire les "raies plates "puis les sillons et les "billons plats".

IV.- LA RAIE

Cette méthode moderne d'irrigation, qui peut être utilisée pour toutes les cultures autres que les cultures fourragères, les céréales et les arbres, exige certaines précautions afin de limiter ses inconvénients.

.../...

1º) Rappelons d'abord que c'est une méthode qui peut s'adapter à n'importe quelle pente : il suffit, en terrain difficile, de tracer les raies presque parallèlement aux courbes de niveau, et, si on désire qu'elles restent rectilignes, de limiter leur longueur.

2º) Afin de limiter l'accumulation des sels sur le sommet des billons, il faut donner à ces billons un profil moins accentué, plus plat et les faire aussi larges que possible : 120 à 130 cm de l'axe d'une raie à l'autre ; on peut alors semer deux rangs (betteraves, coton, cultures maraîchères) par billon. Nous ne pensons pas que le procédé d'irrigation une raie sur deux soit bon : il est en effet probable, comme l'écrit MAHLER (1960) (36) que les sels s'accumuleront sur les flancs de la raie non irriguée ; mais ce procédé, qui exige des billons à profil accentué, ne réduira pas l'accumulation elle-même.

3º) Il faut réduire le plus possible la largeur des raies, donc les faire plus profondes, ceci toujours pour la même raison de limitation du contact direct terre - eau.

4º) Il faut éviter le système suivant qui semble très généralisé : labour à une profondeur de 10 - 15 cm, puis constitution des billons à partir de la terre labourée, le fond de la raie correspondant alors à la semelle de labour. Il en résulte que la semelle d'irrigation s'ajoute à la semelle de labour, d'où cette zone compacte, noircie, qui se développe entre 15 - 20 et 30 cm (voir p. 298). Il faut donc que les labours soient régulièrement plus profonds (25 cm minima) ; que lorsque l'on enfouit de la matière organique, la profondeur du travail soit encore plus grande (35 - 40 cm) ; que des griffages encore plus profonds (40 - 50 cm) soient exécutés très régulièrement. Rappelons également la nécessité des binages fréquents dans les raies.

V.- LE BASSIN BILLONNE : ROBTA

Etant donné les grandes pertes d'eau et de surface qu'il entraîne, ce mode d'irrigation traditionnel doit disparaître.

.../...

Sa facilité d'adaptation au micro-relief et aux pentes accentuées n'est pas un argument suffisant pour plaider son utilité : la raie tracée le long des courbes de niveaux s'adapte tout aussi bien à un relief difficile. Mais il sera bien sûr très délicat et même imprudent de la supprimer rapidement : on ne fait pas disparaître du jour au lendemain une méthode agricole traditionnelle, et pour le faire il faut un encadrement suffisant ; sinon l'application de méthodes modernes risque de faire plus de mal que de bien. Il y aurait donc lieu de commencer par améliorer cette méthode traditionnelle en aplatissant et en élargissant les billons, en rétrécissant la largeur des raies, en accentuant la profondeur et la fréquence du travail du sol.

VI.- L'ASPERSION

L'aspersion est certainement, pour bien des cultures et tout particulièrement les cultures fourragères, la méthode idéale :

- qui n'exige aucun nivellement préalable ;

- qui empêche toute accumulation des sels en surface ;

- qui détruit peu la structure et évite toute érosion si elle est bien conduite : pluie fine et débit suffisamment faible pour éviter toute accumulation d'eau en surface.

Dans la plaine du Zebra, où le relief est difficile, où tout nivellement est particulièrement dangereux, où il faut lutter d'une façon aussi efficace que possible contre une accumulation des sels particulièrement intense (climat aride), où la structure de surface est très instable, où il faudrait pouvoir contrôler le mieux possible les doses d'eau apportées (ceci étant donné les problèmes posés par le sous-sol), l'aspersion devrait être imposée pour l'irrigation de la plupart des cultures.

.../...

Son seul inconvénient est d'être coûteuse : achat et entretien du matériel, frais de pompage. Mais c'est un point qu'il est indispensable d'étudier de très près, l'augmentation de production, à suivre pendant un laps de temps suffisamment long, pouvant suffire pour couvrir très largement ces frais. Deux stations expérimentales (Zebra et Triffa) seront lancées très prochainement pour étudier ce problème.

Quant à l'objection des difficultés qu'il y aurait à introduire l'aspersion chez les fellahs, nous pensons qu'elle n'est pas très valable : le calant sera, à notre avis, tout aussi difficile, sinon plus, à vulgariser.

VII.- L'IRRIGATION DES CEREALES ET DES CULTURES FOURRAGERES DEMANDANT PEU D'EAU

L'irrigation idéale serait, bien entendu l'aspersion.

Cependant, ces cultures demandant peu d'eau, il ne peut y avoir de destruction considérable de la structure, quelque soit le mode d'irrigation adopté. On peut en particulier très bien maintenir le système actuel, qui est une submersion à partir de rigoles espacées de quelques mètres, ces rigoles étant orientées suivant la plus grande pente si celle-ci est faible, en sens perpendiculaire si cette pente devient importante (l'espacement des rigoles ne doit pas être trop grand sur les pentes fortes : on risquerait une érosion par l'eau qui déborde).

.../...

VIII.- L'IRRIGATION DES ARBRES

Il semble que le meilleur système soit celui des raies tracées parallèlement à la ligne d'arbres, de chaque coté de celle-ci (1, 2 ou 3 raies de chaque côté suivant l'âge des arbres). Si la pente est forte, ces raies devront bien entendu être tracées parallèlement aux courbes de niveau.

Dans le cas des vergers avec cultures intercalaires, ce qui n'est pas à conseiller, il faut établir une ou deux raies concentriques autour de chaque arbre.

Ce qu'il faut avant tout éviter c'est l'irrigation par cuvette et le contact direct de l'eau avec le collet des arbres.

IX.- LES IRRIGATIONS DE DESSALAGE (voir p. 117)

Pour les cultures fourragères qui doivent durer trois ans, il ne sera probablement pas possible d'attendre, dans la plaine du Zebra où le climat est très aride, la fin de la culture pour procéder au dessalage. Une irrigation de dessalage sera nécessaire en cours de culture ; elle devra être précédée d'un fauchage et d'un griffage de la surface qui facilitera la pénétration de l'eau ; elle devra être suivie d'un nouveau griffage qui reconstituera un peu la structure et limitera l'évaporation. En cas d'irrigation par bassin, calant ou aspersion cette irrigation de dessalage ne posera pas de problème : il suffira d'augmenter la dose. En cas d'irrigation par la méthode des "billons plats" que nous proposons, il suffira, par augmentation du débit et en barrant les sillons de faire déborder l'eau sur les "billons plats".

.../...

Quand l'irrigation de dessalage est faite en fin de culture, quelle que soit cette culture, nous pensons qu'il sera possible de suivre la méthode suivante :

- 1º) Labour.

- 2º) Travail superficiel du sol.

- 3º) Constitution de "raies plates" à très faibles pentes le long des courbes de niveau (raies de 100 cm de large).

- 4º) Irrigation de dessalage dans ces raies plates.

- 5º) Binage profond (avec suppression des bourrelets séparant les raies plates) dès que le sol s'est un peu réssuyé.

Bien entendu, si l'irrigation par aspersion est généralisée, les irrigations de dessalage seront à faire par cette méthode, après labour et travail superficiel du sol et avec un binage profond dès l'irrigation terminée et le sol suffisamment ressuyé.

CHAPITRE V.- LE CLASSEMENT DES SOLS POUR LA MISE EN VALEUR

Dans la pièce hors-texte nº X, interprétation de la carte de classement des sols de l'ensemble de la plaine (pièce hors-texte nº VIII) et de la carte de classement des sols de la zone nivelée située au centre de la plaine (pièce hors-texte nº IX) (*), nous avons résumé la correspondance entre la classification pédologique et le classement des sols et nous avons rappelé les améliorations nécessaires pour chaque type de sol, le tout étant chiffré en hectares. Dans le tableau de classement des sols nous avons également tenté de prévoir quel serait le classement des sols après leur amélioration (si cette amélioration est possible) : deux chiffres ont été donnés à chaque type de sol ; le premier correspond au classement dans une des catégories 2, 3 ou 4 ;

(*) dans cette zone nivelée , formant tache blanche sur la carte pédologique, nous n'avons pu faire que des études pédologiques très limitées. En effet, cette zone a été nivellée d'une façon très violente, les sols ayant été souvent attaqués sur plus d'un mètre d'épaisseur. Il en résulte qu'il est maintenant très difficile d'y comprendre quoique ce soit. Nous avons donc du nous contenter d'y faire un tri des sols très simple au 1/5000º.(Sur les cartes pédologiques, de salure, de classement des sols et des sols caillouteux, la zone nivelée ne couvre que 390 Ha : les 7 H. nivelés en 1959 n'y sont pas inclus ; ils le sont par contre sur la carte de classement des sols au 1/5000º de la zone nivelée).

le deuxième au classement des sols les uns par rapport aux autres à l'intérieur d'une même catégorie. Ce classement après amélioration est bien sûr très discutable : il doit être utilisé avec beaucoup de prudence.

Rappelons brièvement les critères qui sont intervenus dans le classement des sols en catégories 2, 3a, 3b, 3c, 3d, et 4.

1º) Soulignons tout d'abord qu'il n'y a pas, actuellement, de sols de catégorie 1. Les seuls sols qui auraient pu à la rigueur être classés en catégorie 1 sont d'une part les sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface, sur roche-mère assez argileuse, quand ils ne sont ni salés, ni alcalisés, ni caillouteux (voir p.190) ; d'autre part les sols bruns steppiques subtropicaux sans taches calcaires et les sols peu évolués d'apport quand ils ne sont pas caillouteux (voir p.194). Cependant étant donné leur émiettement dans toute la plaine, les positions topographiques assez difficiles qu'ils occupent souvent, et surtout étant données leur richesse en calcaire et leur très faible stabilité structurale, nous avons estimé plus logique de les laisser, dans les meilleurs cas, en catégorie 2.

Dans l'estimation du classement des sols profonds après amélioration (dessalage, désalcalisation, épierrage, sous-solage) nous n'avons pas non plus prévu de sols de catégorie 1, surtout à cause de la teneur en calcaire et de l'instabilité structurale.

2º) La topographie est entrée pour assez peu dans ce classement des sols (voir p.144). Elle n'est intervenue que dans le classement des sols bruns à taches calcaires, calcaires en surface sur roche-mère assez argileuse, des sols bruns sans taches calcaires et des sols peu évolués d'apport : ces sols se situent le plus souvent sur des terrasses ou dans des fonds de vallées, d'accès plus ou moins facile, plus ou moins soumis à l'action des eaux de ruissellement (érosion et dépôt).

3º) La présence de cailloux en surface et en profondeur dans des sols profonds, a été un facteur de plus pour classer en catégorie 2 les sols châtains et les sols bruns peu calcaires en surface ; elle est également intervenue dans le classement des sols bruns sans taches calcaires et des sols peu évolués d'apport.

.../...

4º) La granulométrie de la terre fine n'est intervenue que dans le classement des sols châtains : la présence d'un horizon très argileux commençant brutalement à faible profondeur exigera un sous-solage.

5º) La salure et l'alcalisation de profondeur ont été un facteur essentiel dans le classement des sols profonds : nous avons fait intervenir le taux de salure et les difficultés probables d'amélioration. Les sols peu salés et estimés faciles à améliorer, ont été classés en catégorie 2. Ceux très salés et estimés faciles à améliorer ont été classés en catégorie 3a. Enfin les sols estimés difficiles à améliorer ont été classés en catégorie 3b.

6º) Tous les sols peu profonds sur encroûtement ou croûte tendre peu épaisse ont été classés, sur la carte, en catégorie 3 : 3c quand ils ne sont pas salés dans et sous l'encroûtement, 3d quand ils le sont. Par contre, dans le tableau de classement des sols, nous avons souligné que les sols sur encroûtement, que nous n'avons pas pu individualiser sur la carte pédologique, pouvaient en réalité être classés en catégorie 2 quand ils ne sont ni salés, ni alcalisés, en catégorie 3a ou 3b quand ils le sont (voir p. 262).

Les sols sur croûte dure très épaisse ont tous été classés en catégorie 4.

*

* *

Nous rappellerons une fois de plus la prudence avec laquelle il faut utiliser ces cartes et tableau de classement des sols (voir p. 144). L'observation de la carte de classement des sols, associée aux connaissances que nous avons de la topographie de la plaine, imposent cependant une conclusion d'ensemble : en dehors même des zones de grands plateaux couverts de sols peu épais sur dalle épaisse, classés en catégorie 4, il existe dans la plaine du Zebra quelques zones qui devraient être éliminées de tout projet de mise en valeur intensive ; ce sont celles où, dans une topographie très mouvementée, des sols de catégorie 3 et 4

.../...

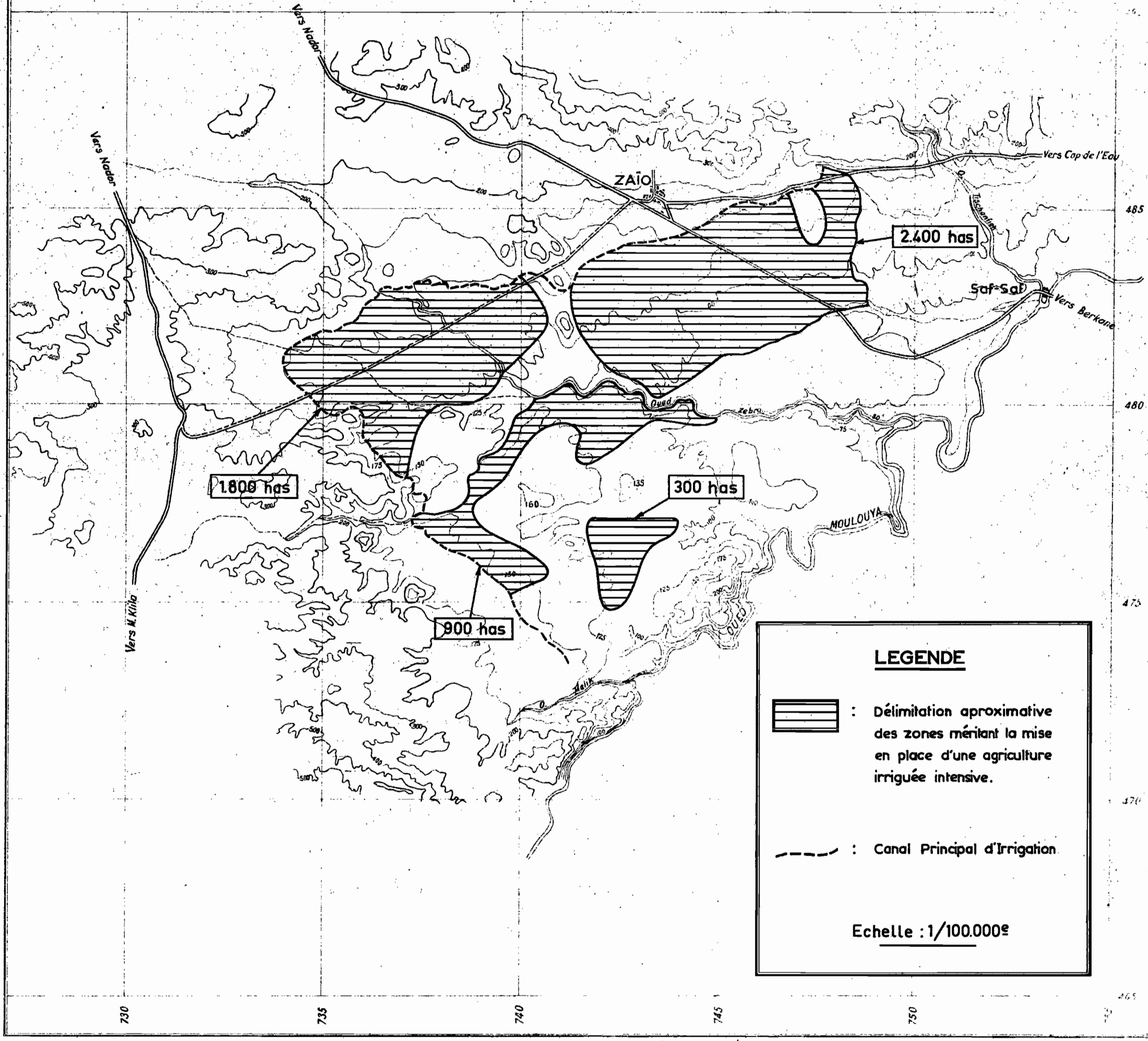
s'alternent en permanence : les croûtes dures et dalles coiffent les buttes et les petits plateaux, les sols profonds généralement très salés et très alcalisés et les sols sur croûte tendre ou encroûtement, également salés et alcalisés, se partageant un dédale compliqué de vallées et petites dépressions. Il est évident que de telles zones ne pourront que très difficilement rentabiliser un équipement intensif qui sera certainement très couteux étant donnée la topographie.

Dans la figure nº 76, nous avons, en conclusion, délimité approximativement les seules zones qui, à notre avis, pourront recevoir un équipement et une agriculture intensive. Cela réduit le futur périmètre d'irrigation intensive de la plaine du Zabra à environ 5.400 hectares.

FIGURE Nº 76

PLAINE DU ZEBRA

DELIMITATION DES ZONES D'IRRIGATION INTENSIVE



CHAPITRE VI . - EXTENSIONS POSSIBLES DU PERIMETRE

En conclusion du chapitre précédent, nous avons été amenés à réduire très sensiblement les surfaces qui, à notre avis, pouvaient justifier une mise en valeur irriguée intensive. Nous allons maintenant, très brièvement, signaler quelles pourraient être, au contraire, les extensions, en particulier en haut-services, de ce périmètre du Zebra.

I.- HAUT-SERVICES

Sur la figure nº 77, nous avons grossièrement délimité 4 haut-services auxquels il est possible de penser.

1º) Le haut-service nº 1, qui exigerait un canal situé à côte 175 environ, est limité au Sud par un glacis Moulouyen avec sa grosse dalle et au Nord par des collines rocheuses. Ce haut-service semble

.../...

être presqu'entièrement couvert de sols peu profonds sur encroûtement et surtout sur croûte tendre peu épaisse, fortement salés dans et sous l'encroûtement. Ce sont donc des sols de catégories 3b et 3d.

2º) Le haut-service nº 2, limité à la côte 200, occupe la partie amont de la grande dépression Ouest de la plaine du Zebra. Ce haut-service a été entièrement cartographié. En dehors d'un axe central couvert de sols profonds non salés, mais alcalisés et souvent fortement argileux en profondeur, cette zone est encore dominée par les sols peu profonds sur encroûtement ou croûte tendre peu épaisse, la salure dans et sous l'encroûtement étant faible sur le flanc Nord de la dépression mais forte sur le flanc Sud. Les sols de catégorie 3b et 3d couvrent donc de grandes surfaces. Signalons que la topographie y est assez régulière.

3º) Le haut-service nº 3, que nous avons également arrêté à la côte 200 mais qui pourrait peut-être être un peu plus remonté, est limité à l'Ouest par l'Oued Zebra et à l'Est par un éperon rocheux. L'ensemble de ce haut-service, dont une faible partie a déjà été cartographiée, est probablement dominé par des sols peu profonds sur encroûtement ou croûte tendre peu épaisse. Cependant :

- La salure dans et sous l'encroûtement est probablement faible ou nulle, cette salure étant d'autant plus faible que l'on remonte vers les Kebdana.

- Les sols peu profonds sont probablement souvent peu calcaires en surface. En allant vers les Kebdana, on doit même passer localement à des sols châtains.

- Les sols profonds qui occupent les dépressions et les fonds de vallée, sont probablement à peu près tous peu calcaires en surface (il doit même y avoir des sols châtains au Nord), non ou peu salés et alcalisés en profondeur. Cependant ces sols profonds doivent être fréquemment assez caillouteux en surface et en profondeur.

Ce haut-service est donc probablement couvert par des sols dans l'ensemble assez bons. Signalons cependant que la topographie y est assez mouvementée : il y a de nombreux axes de drainage assez profonds.

.../...

4º) Enfin le haut-service nº 4, toujours limité par la côte 200 (*), est arrêté à l'Ouest par l'éperon rocheux le séparant du haut-service précédent, et au Nord-Est par la route principale Berkane-Nador. Il semble à peu près entièrement couvert soit par des sols bruns profonds, peu calcaires en surface et par des sols châtains, soit par des sols peu profonds, souvent peu calcaires, sur encroûtement ou croûte tendre peu épaisse. La salure de profondeur doit être rare et l'alcalisation assez faible. Ce haut-service semble donc intéressant, d'autant plus que la topographie y est assez régulière.

II.- EXTENSION EST

Sur les grands glacis moulouyens, situés à l'Est de la plaine, entre la chaîne des Kebdana et l'oued Moulouya, glacis dotés d'une topographie assez régulière (mises à part les profondes entailles creusées par les vallées), on peut penser mettre en place une agriculture irriguée extensive.

Dans cette zone, mises à part quelques dépressions situées au pied des Kebdana, couvertes de sols profonds et surtout de sols peu profonds sur encroûtement ou croûte tendre ; mises à part également les vallées profondes et étroites qui sont le domaine de l'érosion ; mises à part enfin quelques terrasses situées le long de la Moulouya (sols profonds sableux, sols sur encroûtement ou croûte tendre); ce sont les sols peu profonds sur croûte épaisse avec dalle épaisse qui dominent très largement.

.../...

(*) Les hauts services 2, 3 et 4, pouvant être équipés à partir du pompage qui doit être réalisé pour l'irrigation de la plaine du Gareb, pourraient être alimentés par un canal situé à une côte voisine de 220 mètres ; il semble cependant qu'au-delà de la côte 200, les sols de catégorie 4 dominent, les pentes devenant, d'autre part, nettement plus fortes.

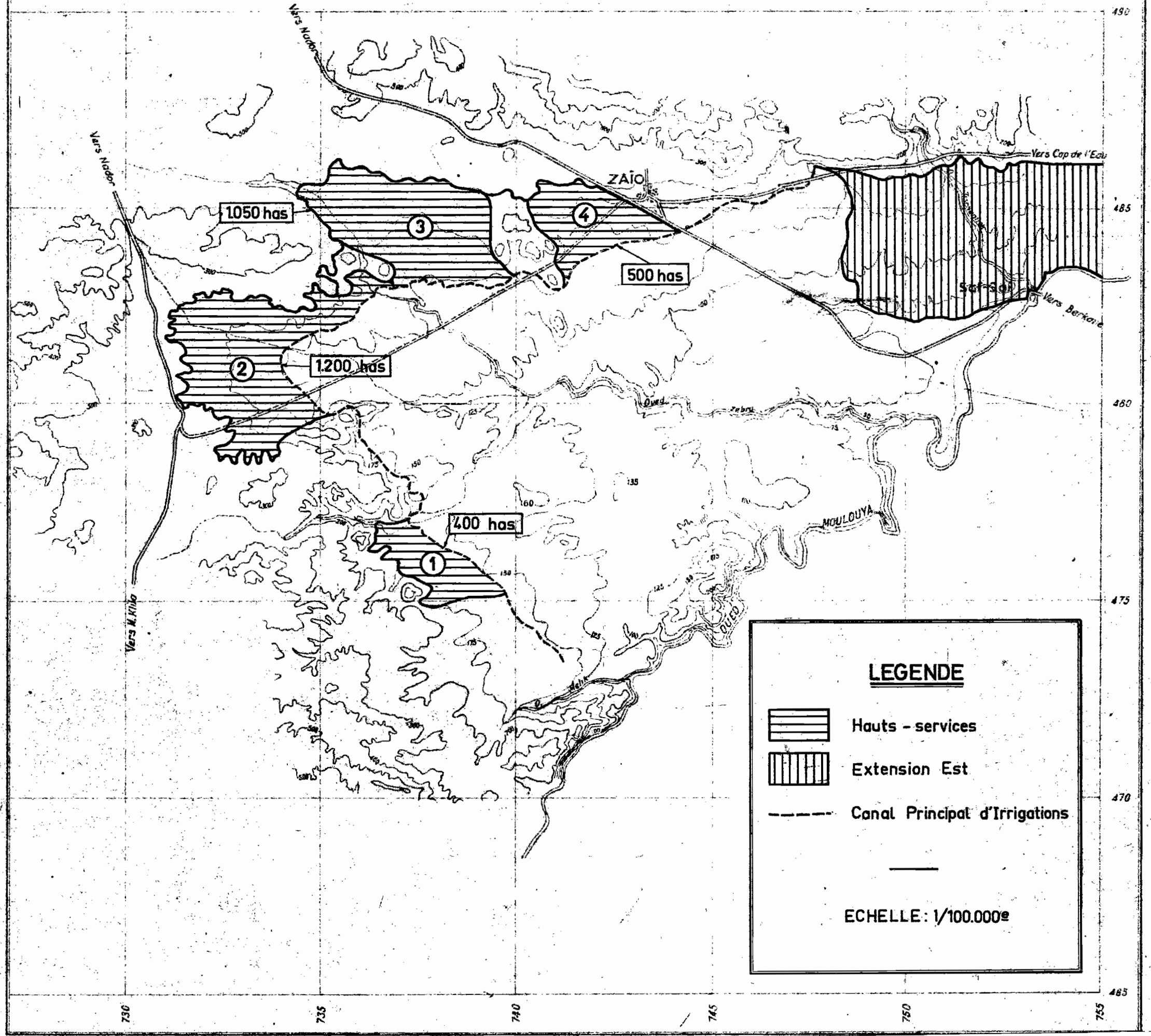
Les cultures possibles sont donc limitées (voir p. 259) : eucalyptus, pin d'Alep, amandier, caroubier, figuier, prairies permanentes peu exigeantes en eau, céréales. Nous pensons qu'il serait particulièrement intéressant d'y développer les arbres forestiers qui permettraient de couvrir les besoins énormes en bois d'un périmètre irrigué.

Cette zone pourrait couvrir 3.000 à 3.500 hectares.

FIGURE Nº 77

PLAINE DU ZEBRA

EXTENSIONS POSSIBLES DU PERIMETRE IRRIGUE



RESUME ET CONCLUSION

RESUME ET CONCLUSIONS

La plaine du Zebra, dont l'irrigation est prévue dans le cadre du grand périmètre d'irrigation de la Basse-Moulouya, se présente comme une grande zone synclinale bordant l'Oued Moulouya sur sa rive gauche.

Située en moyenne à 35 Km de la mer Méditerranée, mais isolée de celle-ci par un petit massif montagneux, la chaîne des Kebdana, cette plaine est en grande partie recouverte par des sols bruns steppiques subtropicaux, plus ou moins évolués et plus ou moins profonds, l'horizon limitant la profondeur étant une forte accumulation de calcaire plus ou moins durcie : encroûtements, croûtes et dalles.

*

* *

La cartographie des sols, réalisée à l'échelle du 1/20.000e, a été effectuée à l'aide de méthodes très classiques : sur les 12.500 hectares couverts, 1665 trous de 1,50 m de profondeur ont été

.../...

creusés et décrits; sur 1250 de ces profils, 4740 échantillons de terre ont été prélevés pour être analysés en laboratoire d'une façon plus ou moins détaillée. Toutes les limites entre les différents types de sol ont été tracées à l'aide de l'observation stéréoscopique de photographies aériennes, ce travail étant réalisé sur le terrain et non au bureau.

La classification pédologique adoptée est la classification française de Messieurs AUBERT et DUCHAUFOUR, légèrement modifiée dans sa présentation afin de mieux faire apparaître certains caractères pédologiques essentiels pour la mise en valeur.

*

* *

Le milieu, ancien et actuel, qui a présidé à la formation des sols de la plaine du Zebra, qui a entraîné leur diversification et qui conditionne leur évolution actuelle, lente mais non arrêtée, est le suivant :

1º) Les formations géologiques qui entourent la plaine sont essentiellement des calcaires, des calcaires dolomitiques, des marnes riches en calcaire, en éléments fins et en sels, des formations shisteuses. Les apports dans la plaine de calcaire, de magnésium, de sels, d'éléments fins, ont donc toujours été très importants.

2º) La presque totalité des sols de la plaine sont développés sur des formations alluvionnaires et colluvionnaires, mises en place au cours des divers pluviaux du Quaternaire et plus ou moins érodées pendant les inter-pluviaux. Les dépôts dominants sont ceux du Moulouyen, presque toujours recouverts d'une très grosse croûte calcaire, et ceux du Quaternaire moyen (Amirien et Tensiftien) également très souvent encroûtés mais beaucoup moins fortement. Les dépôts plus récents, soltaniens et rharbiens, ne forment le plus souvent qu'une pellicule peu épaisse mais recouvrant tous les dépôts plus anciens. Tous ces dépôts quaternaires ont entre eux peu de caractères communs ; on peut simplement souligner que :

.../...

- leur texture est généralement dominée par les éléments inférieurs à 0,005 mm (argile et limons très fins) ;

- leur teneur en calcaire est très souvent comprise entre 25 et 35 % ;

- ils sont très fréquemment fortement salés et alcalisés.

3º) La topographie, dont les éléments essentiels sont dus à une forte tectonique datant de la fin du Moulouyen, est dans l'ensemble assez compliquée. Les pentes oscillent le plus souvent entre 1 et 3 %, et toute une partie de la plaine, en particulier au Sud de l'Oued Zebra a une topographie très mouvementée. Cette topographie, très liée dans le détail à l'importance des dépôts et des érosions des périodes pluviales et inter-pluviales, a une grosse influence, par son action sur la situation et l'épaisseur des roches-mères, sur la répartition des types de sols : cette répartition est très hétérogène. L'évolution actuelle de cette topographie, par action du vent et surtout de l'eau, est lente mais non négligeable.

4º) Le climat actuel de la plaine du Zebra, connu par les résultats de quelques stations météorologiques et surtout grâce à une étude détaillée de la végétation réalisée par I. PERSOGLIO, se situe, d'après les indices climatiques (EMBERGER, THORNTHWAITE) à la limite du semi-aride et de l'aride, et d'après la végétation dans l'aride. Les données essentielles de ce climat sont :

- Une pluviométrie moyenne de 300 mm environ ; cette pluviométrie est très irrégulière d'une année à l'autre et une grande partie est perdue par ruissellement et évaporation.

- Une température moyenne annuelle de 19º C. La variation saisonnière et quotidienne de ces températures est très forte, marquant le caractère continental de ce climat. En hiver, des minima absolus inférieurs à 0ºC. se produisent tous les ans. En été, les températures atteignent et dépassent souvent 40º C.

.../...

- Une variation considérable de l'hygrométrie journalière qui fréquemment passe de 20 % dans la journée à 100 % au cours de la nuit.

- Une très forte évaporation : plus de 2.000 mm par an.

- Des vents presque quotidiens et souvent violents.

5º) L'étude de la végétation permet de diviser la plaine en trois grands secteurs :

- Un secteur Sud, très continental, relativement froid en hiver mais très chaud et très sec en été ; c'est un climat local continental aride "froid", le froid étant atténué par la proximité de la mer.

- Un secteur Nord, un peu moins continental grâce à une influence marine plus grande, moins froid en hiver mais plus chaud en été, peut-être un peu plus humide. C'est un climat local aride chaud.

- Le secteur des glacis moulouyens situés en bordure de la Moulouya, dont le climat se rapproche beaucoup de celui du secteur Sud mais avec une intensité de pluie un peu plus forte.

Les micro-climats ne sont pas seuls à régir la composition floristique de la plaine. Les propriétés physiques et chimiques des sols agissent également, à savoir essentiellement la texture, les propriétés hydriques, le calcaire et la salure. Cette dernière, n'apparaissant qu'en profondeur, n'agit que sur la répartition des plantes vivaces, buissonnantes et arbustives.

6º) L'eau de la Moulouya, qui doit être utilisée pour irriguer la plaine du Zebra, est caractérisée par :

- Une salure totale variant de 350 - 500 mg/l, minima atteint en hiver, à 900 - 1300 mg/l, maxima atteint au début de l'automne. Dans le détail cette variation de la salure, très liée à la localisation et à l'importance de la pluviométrie dans l'ensemble du bassin de la Moulouya, est très irrégulière.

.../...

- Une composition où dominent les cations alcalino-terreux, calcium et magnésium, et les anions sulfate et carbonate. Cette composition est assez constante tout au cours de l'année.

L'eau de la Moulouya ne présente donc aucun danger sur le plan de son action sur le complexe adsorbant des sols. Bien au contraire elle facilitera beaucoup l'amélioration des sols alcalisés en profondeur, très fréquents dans la plaine du Zebra. Par contre, sa salure totale est suffisamment élevée pour provoquer, sous le climat aride et chaud de la région, une forte accumulation de sels dans les sols, surtout en surface. Il sera indispensable de lutter contre cette accumulation, la meilleure méthode semblant être le lessivage annuel.

7º) La plaine du Zebra, manquant de ressources en eaux (il n'y a pas de nappe phréatique), est peu habitée. La densité de la commune de Zaio, qui couvre toute la plaine, n'est que de 26 habitants au Km2, la très grande majorité de cette population n'étant pas dans la plaine elle-même, mais sur le pourtour où se trouvent les sources.

Malgré cette densité assez faible, l'ensemble de la plaine est cultivé, en sec bien entendu : les sols non défrichés sont rares. La production végétale essentielle, presqu'unique, est celle des céréales, orge et blé dur, les rendements, toujours très faibles, dépendant étroitement de l'importance et de la répartition de la pluviométrie. La jachère est largement pratiquée. La production animale est essentiellement celle des moutons et des chèvres.

Cette agriculture extensive a profondément modifié la végétation naturelle : les steppes assez denses et à enracinement profond ont été remplacées par une végétation très clairsemée, surtout en été, à enracinement souvent faible. Le sol n'est couvert que 4 à 6 mois tous les deux ans, pendant la culture de céréales qui elle-même s'enracine peu. Il en résulte deux conséquences essentielles :

- Une modification de la répartition de la matière organique dans les sols : elle augmente en surface mais diminue en profondeur.

- Une destruction de la structure superficielle, ce qui facilite le développement de l'érosion.

.../...

*

* *

En dehors de quelques sols peu évolués d'apport, situés soit au fond de certaines vallées assez profondes, soit sur les très basses terrasses de l'Oued Zebra et de l'un de ses affluents, soit sur des petits cônes de déjection le long des Kebdana, et de quelques sols brun-calcaires très peu profonds sur croûte ou dalle calcaires, la très grande majorité des sols de la plaine du Zebra appartient à la classe des sols steppiques isohumiques, sous-classe des sols à complexe saturé des régions subtropicales. A l'intérieur de cette sous-classe, ils se répartissent en deux groupes :

- celui des sols châtains subtropicaux qui couvrent une très faible surface ; ils sont liés à la présence d'une roche-mère non calcaire et très argileuse ;

- celui des sols bruns subtropicaux qui représentent la presque totalité des sols de la plaine.

L'ensemble de ces sols, qui pour la plupart évoluent depuis très longtemps, et qui sont souvent très complexes tant sur le plan des roches-mères que sur celui des pédogénèses successives qui ont présidé à leurs formations, ont été regroupés en treize types principaux eux-mêmes répartis en deux grandes catégories :

- les sols profonds qui couvrent 3974 has dans la zone cartographiée dont 3171 has dans la zone dominée par le canal principal d'irrigation ;

- les sols peu profonds (moins de 50 cm) sur encroûtement, croûte ou dalle calcaires, qui couvrent 7796 has dans la zone cartographiée dont 4766 has dans la zone dominée.

Les principaux caractères de ces sols sont les suivants :

.../...

1º) Le calcaire : mis à part les sols châtains et quelques sols bruns peu calcaires en surface, tous les sols sont fortement calcaires dès la surface : 15 à 25 %. Par ailleurs, presque tous les sols présentent en profondeur un horizon d'accumulation du calcaire commençant vers 30 - 50 cm et pouvant avoir 50 à 100 cm d'épaisseur. Cette accumulation s'accompagne d'un simple blanchissement, ou de l'apparition de taches, granules ou nodules. Dans les sols peu profonds, c'est cette accumulation qui limite la profondeur : encroûtements plus ou moins puissants et plus ou moins tuffeux ; croûtes feuilletées plus ou moins dures et épaisses ; dalles rubannées très dures mais généralement fines et discontinues, dalles compactes épaisses et très dures ; les taux de calcaire varient alors de 50 à 90 %. Pour la cartographie de ces sols peu profonds, les types suivants ont été distingués :

- Les sols sur encroûtement : le sol brun-calcaire ou brun steppique repose directement sur un encroûtement ayant généralement 20 à 50 cm d'épaisseur.

- Les sols sur croûte tendre peu épaisse : les sols reposent sur une croûte feuilletée ayant le plus souvent 10 à 25 cm d'épaisseur, cette croûte reposant elle-même sur un encroûtement. L'ensemble croûte plus encroûtement a une épaisseur très variable : 20 à 70 cm. La croûte feuilletée est souvent coiffée par une dalle rubannée, mais cette dalle est toujours fine (2 cm maximum) et est généralement très brisée.

- Les sols sur croûte dure épaisse, avec dalle épaisse en surface : la croûte feuilletée a alors 60 cm à plus d'1 mètre d'épaisseur et elle repose sur un encroûtement lui-même très épais (30 à plus de 100 cm). Cette croûte est recouverte soit d'une dalle rubannée épaisse (jusqu'à 5 cm) et assez continue, soit d'une dalle compacte très dure, très continue, pouvant avoir jusqu'à 20 cm d'épaisseur.

Une partie de ce calcaire, en surface comme en profondeur, est du calcaire fin, actif.

2º) La texture : la plupart des sols sont plus argileux en profondeur, vers 50 - 80 cm, qu'en surface : 15 à 25 % en surface, 35 à 45 % en profondeur sur une épaisseur assez variable.

.../...

Cette argilification s'accompagne toujours d'une rubéfaction. La teneur en sables fins, dans tous les sols, est généralement assez forte : 20 à 40 %. Par contre la teneur en sables grossiers est faible : moins de 15 %, souvent moins de 10 %.

En dehors des sols peu profonds sur croûtes, les sols sont peu ou non caillouteux, sauf dans la zone Nord et Nord-Est proche des Kebdana. Il faut cependant signaler la présence très fréquente de niveaux caillouteux à l'intérieur des sols, niveaux ayant le plus souvent 5 à 30 cm d'épaisseur.

3º) La structure : glacée et lamellaire en surface sur quelques millimètres d'épaisseur, elle est ensuite polyédrique à nuciforme moyenne, assez faible, puis polyédrique de plus en plus fine et de mieux en mieux formée en profondeur, dans l'horizon d'accumulation d'argile et de calcaire. Plus profondément, dans la roche-mère, elle peut être polyédrique plus ou moins large ou massive.

La stabilité structurale est toujours très faible en surface, dans l'ensemble de l'horizon cultivé : Is de 3 à 10. Plus profondément elle reste faible : Is de 2 à 5, et elle peut être très faible quand se développe une structure finement polyédro-cubique à facettes lissées.

4º) La porosité : elle est, actuellement avant irrigation, toujours bonne.

5º) La capacité de rétention : elle oscille de 20 à 25 % ; elle dépend essentiellement du taux de matière organique.

6º) La densité apparente : elle est, en général, de 1 à 1,2 en surface ; de 1,3 à 1,5 dans les horizons d'accumulation d'argile.

.../...

7º) La perméabilité : quand elle est mesurée avec l'eau de la Moulouya, la perméabilité est en général bonne : 5 à 10 cm/heure. Par contre, à l'eau de pluie elle est très faible.

8º) La matière organique : bien que pour des sols bruns steppiques situés en climat sub-aride, les taux de matière organique soient assez forts, ils sont, sur le plan agricole plutôt faibles. Caractéristique essentielle des sols steppiques, cette matière organique est répartie profondément : il y en a 2 à 2,5 % en surface, 0,5 à 0,7 % à 50 cm de profondeur. Cette matière organique est très évoluée : c'est un mull à rapport carbone sur azote faible, voisin de 10 en surface, encore plus faible en profondeur.

9º) Les éléments fertilisants : presque tous les sols sont pauvres en azote et phosphore, mais riches en potassium. Ils doivent être pauvres en oligo-éléments assimilables.

10º) La capacité d'échange : les difficultés d'analyses de ce caractère en milieu calcaire et salé, font que les résultats obtenus sont peu nombreux. Il semble qu'elle oscille entre 10 et 20 meq pour 100 gr.

11º) La salure et l'alcalisation : une très grande partie des sols de la plaine sont alcalisés (pH eau supérieur à 9,0) et beaucoup sont fortement salés (plus de 3 o/oo de sels totaux). Mais cette salure et cette alcalisation ne commencent pas dès la surface : elles n'apparaissent que vers 30 - 50 cm, quelque fois plus profondément. Il semble par ailleurs que l'alcalisation soit en partie magnésienne.

La présence de cette salure et de cette alcalisation constitue un obstacle très grave à la mise en valeur de la plaine du Zebra. En effet, si aucune amélioration n'est possible, elles limiteront beaucoup les cultures que l'on peut penser faire ; et surtout, c'est l'alcalisation qui est responsable de la mauvaise stabilité structurale

.../...

des horizons de profondeur riches en argile : une mise en eau sans précaution risque donc de provoquer rapidement la dispersion de l'argile, donc l'imperméabilisation du sous-sol, donc un drainage très défectueux dont les conséquences seraient extrêmement graves.

Une grande partie des sols de la plaine du Zabra ne peut donc être mise en irrigation sans études et expérimentations détaillées préalables. C'est dans cette optique qu'a été commencé en 1960 une série d'essais sur le terrain et au laboratoire et qu'a été mise en route en 1961 une Station Expérimentale d'Amélioration des Sols ; il s'agit de résoudre des problèmes de dessalage, de désalcalisation, de stabilisation de la structure, de maintien des améliorations obtenues, tout ceci par des méthodes économiquement valables, c'est-à-dire rapides, peu coûteuses et permettant une rentabilisation immédiate du périmètre.

Essais et station expérimentale ont déjà donné quelques résultats qui permettent un certain optimisme.

- Le dessalage est assez rapide, du moins dans les sols profonds.

- Ce dessalage n'a pas, jusqu'à présent, provoqué la destruction de la structure des horizons profonds, ni une diminution de la perméabilité.

- Ceci a permis à la désalcalisation sodique de se faire en même temps, quoique plus lentement, que le dessalage. Cette désalcalisation n'est due qu'à l'action de l'eau de la Moulouya, l'apport de gypse en surface n'ayant aucun effet.

Cependant :

- Une certaine augmentation de l'instabilité structurale et de la capacité de rétention sont un peu inquiétantes.

- Par ailleurs, mise à part la luzerne, les cultures essayées (coton, betterave, napier, bersim) donnent des résultats médiocres. En particulier la betterave donne des rendements très faibles avec des racines en très mauvais état.

.../...

- Enfin la désalcalisation magnésienne est difficile à réaliser.

Mais de toutes façons, il est encore beaucoup trop tôt pour se prononcer définitivement sur l'avenir de ces sols salés et alcalisés en profondeur, c'est-à-dire, en fin de compte, étant donnée l'importance de la surface couverte par ces sols, de se prononcer sur l'avenir de l'ensemble du périmètre irrigué prévu dans la plaine du Zebra. La destruction de la structure, l'imperméabilisation du sous-sol, si elles doivent se produire, se feront lentement, très progressivement; par ailleurs les méthodes de lutte contre ces phénomènes, les productions possibles, ne peuvent être mises au point du jour au lendemain. Ce n'est donc que dans plusieurs années que l'on pourra dire si l'irrigation de la plaine du Zebra a un avenir prolongé, s'il est possible d'y installer définitivement une agriculture irriguée intensive et rentable.

Doit-on pour autant attendre si longtemps pour commencer à mettre en valeur cette plaine ? Il n'est guère possible de discuter ceci en détail dans le cadre de ce rapport, d'autres facteurs techniques et économiques entrent en ligne de compte. Cependant, quand dans un an il sera possible de commencer les irrigations, il semble qu'il serait intéressant de le faire, mais à condition d'y aller très prudemment, en commençant par les secteurs Nord de la plaine qui sont les meilleurs et en appliquant les premiers résultats donnés par la station expérimentale, résultats qui d'ici là seront très probablement plus concrets.

*

* *

Mis à part ce préalable à toute mise en valeur qu'est la résolution des problèmes posés par la salure et l'alcalisation, la création d'un périmètre irrigué dans la plaine du Zebra doit respecter certaines directives qui sont imposées par les conditions du milieu et en particulier par les propriét's physiques et chimiques des sols.

.../...

1º) Certains travaux d'aménagement doivent être effectués. Ce sont :

- Le draînage de la "vallée morte" et de sa prolongation vers l'WSW. Il est par ailleurs possible que ce draînage soit, à bref délai, nécessaire dans toute la zone Sud du périmètre.

- Le défoncement au rooter de tous les sols peu profonds sur croûte calcaire tendre peu épaisse. Ce défoncement doit atteindre la profondeur minima de 70 cm, si possible 80 cm ; il doit être aussi serré que possible et croisé : l'idéal serait de réaliser un quadrillage de raies de défoncement espacées de 50 cm.

- Le sous-solage qui doit travailler le sol très profondément (100 - 120 cm) mais sans bouleverser le profil. Ce travail est à faire sur les sols peu profonds sur encroûtement calcaire, sur les sols peu profonds sur croûte calcaire tendre peu épaisse (après le défoncement), sur les sols châtains qui sont très argileux. Comme le défoncement il doit être effectué aussi serré que possible.

- L'épierrage des sols peu profonds sur croûte calcaire tendre peu épaisse : ce travail est à effectuer après le défoncement et il sera nécessaire de le répéter plusieurs fois. Certains sols profonds, en particulier dans la zone Nord du périmètre, demanderont également un épierrage, en général léger.

- La lutte contre l'érosion, à l'extérieur et à l'intérieur du périmètre.

Par contre certains travaux doivent être limités ou même évités.

- Le défoncement au rooter ne doit être effectué ni dans les sols peu profonds sur croûte calcaire dure épaisse car il est inéfficace, ni dans les sols peu profonds sur encroûtement calcaire car il entraîne la remontée vers la surface de morceaux de cet encroûtement. Etant données la salure et l'alcalisation des horizons profonds, il doit être également évité dans les sols profonds.

.../...

- Le labour très profond, à 70 cm, qui inverse presque complètement le profil du sol doit être évité partout.

- L'épierrage des sols peu profonds sur croûte calcaire dure épaisse doit être limité à un simple travail de surface.

- Enfin, le nivellement doit être réduit au strict minimum. L'idéal, dans ces sols de la plaine du Zebra qui présentent presque tous un profil marqué par l'accentuation en profondeur de nombreuses propriétés peu favorables, serait d'éviter tout nivellement.

3º) Les modes d'irrigation qui peuvent être utilisés dans la plaine du Zebra, doivent tenir compte :

- des possibilités limitées du nivellement ;

- de la salure assez élevée de l'eau de la Moulouya ;

- de la stabilité structurale très faible de tous les sols, et donc de leur sensibilité à l'action directe de l'eau.

Le mode d'irrigation le plus favorable est donc certainement l'aspersion : elle sera peut-être la seule méthode possible dans certaines zones où le relief est très accentué.

Parmi les méthodes gravitaires :

- Pour les cultures fourragères, des méthodes comme le bassin, le calant et la corrugation sont dangereuses. Une méthode en billons plats est expérimentée depuis deux ans à la station expérimentale : elle semble donner de bons résultats.

- Pour les cultures sarclées, il faut essayer d'éliminer la méthode traditionnelle du bassin billonné et la remplacer par la raie. Mais cette dernière doit être améliorée : il faut en particulier que les raies soient aussi étroites que possible et que les billons soient larges et aplatis.

.../...

- Pour les céréales et les cultures fourragères demandant peu d'eau, le système actuel de la submersion à partir de rigoles espacées de quelques mètres peut être maintenu.

- Pour les arbres, la meilleure méthode semble celle des raies tracées parallèlement à la ligne d'arbres (1, 2 ou 3 raies de chaque côté suivant l'âge de la plantation). Ce qu'il faut éviter c'est la cuvette au pied de l'arbre.

- Enfin pour le dessalage annuel il semble possible d'utiliser le système des raies plates.

4º) L'amélioration et la conservation de la fertilité physique et chimique des sols imposent :

- Un travail parfait du sol pour lutter, en particulier, contre la destruction de la structure superficielle : labours fréquents à 35 - 40 cm suivis d'un griffage encore plus profond pour éviter la formation d'une semelle de labour ; binages très fréquents, si possible, tant que l'on peut entrer dans les cultures, après chaque irrigation, une fois le sol ressuyé mais non encore complètement sec et durci.

- Des apports importants de matière organique, plutôt sous forme de fumier que sous forme d'engrais verts. Pour maintenir la stabilité structurale des sols et la perméabilité, pour améliorer l'alimentation des plantes, pour augmenter la capacité de rétention des sols, ces apports sont indispensables.

- Le développement des cultures fourragères, qui apportent elles-mêmes de la matière organique, qui contribuent à l'amélioration de la structure et surtout qui permettent le développement d'un élevage producteur de fumier. Ces cultures fourragères devront être, de préférence à la luzerne seule dont l'enracinement est trop pivotant, des mélanges de graminées et de légumineuses à enracinement fasciculé abondant et profond.

- Des apports importants d'azote et de phosphore, la fumure potassique pouvant être plus limitée.

.../...

- Une étude détaillée des problèmes d'alimentation en oligo-éléments qui risquent de se poser à brève échéance.

5º) Mises à part les cultures fourragères indispensables, les cultures possibles sur tous les types de sols en dehors de ceux sur croûte dure très épaisse, cultures qui doivent être résistantes à la fois au calcaire actif, à une certaine salure, à des pH élevés et à un climat très dur, sont :

- Le coton.

- Les cultures maraîchères.

- Les cultures céréalières, qui sont d'ailleurs indispensables pour fournir la paille nécessaire à la production de fumier.

- Des arbres et arbustes comme l'olivier, l'abricotier, et la vigne.

Par contre, bien peu de sols semblent pouvoir convenir à la betterave, et les agrumes sont à proscrire presque partout.

D'autres cultures peuvent être tentées : ricin, tournesol, carthame, canne à sucre, pommier, prunier (pruneaux) sur les sols profonds. Amandier, caroubier, eucalyptus, pin d'Alep sur les sols peu profonds : ces arbres, peu exigeants en eau, mais qu'il faudra quand même irriguer un peu, peuvent être plantés dans des sols peu profonds sur croûte calcaire dure épaisse, à condition cependant de prendre la précaution de défoncer la croûte à la dynamite. Les sols peu profonds sur croûte dure très épaisse peuvent également recevoir des prairies permanentes peu exigeantes en eau.

*

* *

.../...

L'étude pédologique de la plaine du Zebra, étude qui a tenu compte de tous les autres éléments du milieu naturel, ne peut donc permettre d'envisager la mise en place d'une agriculture irriguée intensive très brillante. En supposant même, ce qui est encore bien incertain, que les problèmes posés par la salure et l'alcalisation des sous-sols puissent se résoudre assez facilement, d'autres facteurs comme la topographie difficile, la répartition hétérogène des sols, les taux de calcaires presque toujours très élevés, la stabilité structurale toujours très faible., l'importance des surfaces couvertes par les sols peu profonds, compliquent la mise en place d'une agriculture irriguée, diminuent les bénéfices que l'on peut espérer en retirer. C'est ce qui ressort d'une façon évidente de la carte de classement des sols : l'observation de cette carte conduit, si l'on désire rester raisonnable, à limiter à 5.400 hectares la surface des zones méritant l'équipement nécessaire à la mise en place d'une agriculture irriguée intensive. Il est par contre possible que certaines zones situées en haut-service soient intéressantes.

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE
DE LA BASSE MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

PIECES HORS - TEXTE

Septembre 1963

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

ESQUISSE GEOMORPHOLOGIQUE ET REPARTITION DES FORMATIONS QUATERNAIRES

ECHELLE : 1/50.000

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

Septembre 1963

Pièce n° 1

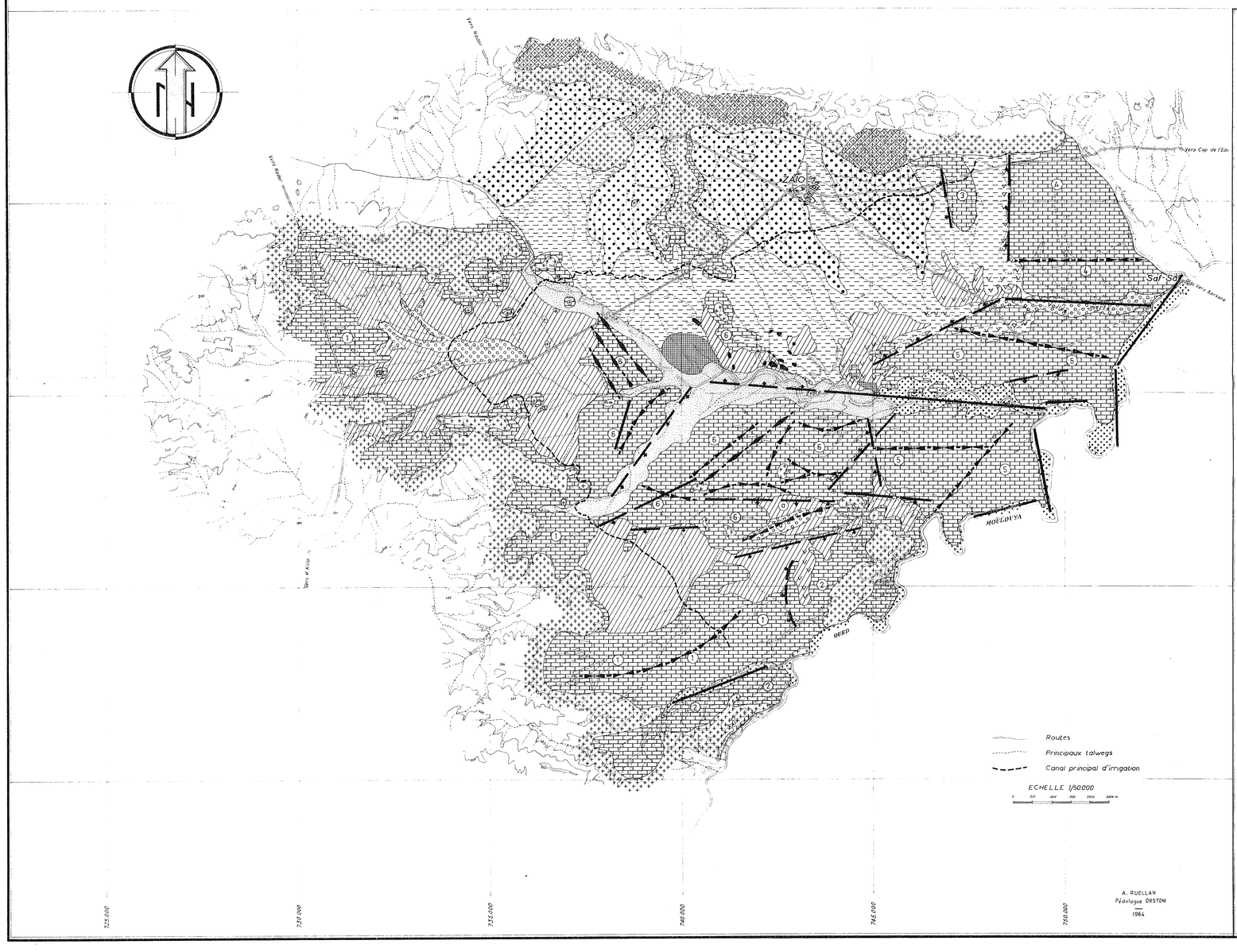
ROYAUME DU MAROC

OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

PLAINE DU ZEBRA

ESQUISSE GEOMORPHOLOGIQUE ET REPARTITION DES FORMATIONS QUATERNAIRES

PERIMETRE DE LA BASSE MOULOUYA



A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM
1964

LEGENDE

FORMES ET DEPOTS DU QUATERNAIRE

I.- Dépôts du Moulouyen inférieur, terminés par une croûte calcaire très épaisse (60 à 100 cm de croûte et 50 à 100 cm d'encroûtement) avec dalle compacte épaisse (5 à 20 cm); généralement faiblement enterrés sous les dépôts postérieurs (30 à 50 cm)

Glacis généralement faiblement disséqués, talwegs étroits et peu profonds, avec croûte calcaire tensiftienne(1) sur les versants(2)(3)(4) et comblement saltano-rharbien dans les fonds(4).

Glacis, profondement disséqués : talwegs étroits et profonds, avec croûte calcaire tensiftienne(1) sur les versants(2)(3)(4) et comblement saltano-rharbien dans les fonds(4).

Glacis, profondement disséqué: talwegs étroits et profonds, avec croûte calcaire tensiftienne(1) sur les versants(2)(3)(4) et comblement saltano-rharbien dans les fonds(4). Sur le pourtour, epsrons de dépôts du Moulouyen supérieur, terminés par une croûte calcaire(5)(6).

Glacis, légèrement ondulé par la tectonique, redressé au Sud, avec blocs faillés en bordure de la "vallée morte". Profondement disséqué: talwegs étroits et profonds, avec croûte calcaire tensiftienne(1) sur les versants(2)(3)(4) et comblement saltano-rharbien dans les fonds(4). Sur la bordure Ouest, et le long de la "vallée morte" présence de terrasses du Moulouyen supérieur terminées par une croûte calcaire(5)(6).

Plateaux, légèrement déformés en synclinaux, bordés de blocs faillés. Disséqués uniquement sur le pourtour : talwegs courts, étroits et profonds, avec croûte calcaire tensiftienne(1) sur les versants(2)(3)(4) et comblement saltano-rharbien dans les fonds(4). Présence de nombreuses pellées dégué dans lesquelles se sont accumulés des dépôts du quaternaire moyen et récent. Sur les pourtours, présence de terrasses du Moulouyen supérieur terminées par une croûte calcaire(5)(6).

Glacis et plateaux
Très déformés par la tectonique synclinaux et anticlinaux, blocs faillés et basculés. Profondement disséqués talwegs généralement longs et assez profonds, comblés par des dépôts du quaternaire moyen (Amirien assez épais, quelques mètres, Tensiftien souvent absent, la croûte calcaire tensiftienne(1) se développant souvent directement sur des dépôts villafranchiens, moulouyens ou amiriens); ces dépôts du quaternaire moyen sont faiblement enterrés (30 à 50 cm de dépôts postérieurs) sauf dans certaines bas-fonds ou le comblement saltano-rharbien peut atteindre, sur une largeur de quelques mètres, une épaisseur de 1 à 2 mètres. Présence d'assez nombreux epsrons de dépôts du Moulouyen supérieur, terminés par une croûte calcaire.

II.- Dépôts du Moulouyen supérieur, terminés par une croûte calcaire assez épaisse (30 à 60 cm de croûte et 20 à 30 cm d'encroûtement), avec dalle rubannée épaisse en surface (3 à 5 cm); faiblement enterrés sous les dépôts postérieurs (30 à 50 cm).

Glacis, assez faiblement disséqué, quelques talwegs étroits et assez peu profonds, avec croûte calcaire tensiftienne(1) sur les versants(2)(3)(4) et comblement amirien et saltano-rharbien dans les fonds(4).

Buttes isolées.

III.- Formes du Tensiftien.

A.- Dépôts tensiftiens généralement assez épais (glacis d'accumulation ou remblaiement) (Tensiftien majeur et Tensiftien mineur), souvent terminés par une croûte calcaire peu épaisse (10 à 40 cm de croûte et 10 à 30 cm d'encroûtement), avec ou sans dalle rubannée fine en surface (1 à 2 cm); ou par un encroûtement calcaire peu épais (20 à 50 cm); faiblement enterrés sous les dépôts postérieurs (30 à 80 cm), sauf le long des axes de drainage ou les dépôts saltano-rharbiens peuvent atteindre 1 à 3 mètres d'épaisseur, mais sur une largeur généralement assez faible (quelques mètres).

Recouvrement saltano-rharbien calcaire et assez peu argileux.

Recouvrement saltano-rharbien non ou peu calcaire (< 10 %) et très argileux, provenant de l'altération des schistes et quartzites de la nappe des Senhadja.

B.- Dépôts tensiftiens peu épais ou inexistants : formes d'érosion.

Apparition fréquente, dans les talwegs, de dépôts amiriens faiblement enterrés par les dépôts saltano-rharbiens (30 à 100 cm), les dépôts tensiftiens ayant été érodés localement. L'Amirien apparaît également à faible profondeur en déblais des talwegs, directement sous la croûte tensiftienne. En (a) (au Sud de l'Oued Zebra) les dépôts amiriens et tensiftiens emballent des buttes encroûtées du Moulouyen inférieur et supérieur.

Apparition de dépôts du Villafranchien inférieur à faible profondeur (à partir de 50-100 cm).

IV.- Dépôts du Saltano-rharbien.

Comblement saltano-rharbien assez épais. Dans la "vallée morte" près, que tous les versants sont tapissés par une croûte calcaire tensiftienne(1) (Tensiftien majeur et Tensiftien mineur) se développant directement sur des dépôts villafranchiens, pliocènes ou mocènes. En (a) (au Sud de l'Oued Zebra), les dépôts du Saltano-Rharbien, emballent des buttes encroûtées du Moulouyen inférieur et supérieur.

V.- Terrasses quaternaires emboitées

Zones où l'érosion a toujours dominé sur l'accumulation. Le long de la Moulouya seule la terrasse flandrharbienne et les versants encroûtés de la terrasse tensiftienne, sont bien développés. Le long de l'Oued Zebra et de l'Oued Melik, on ne retrouve le plus souvent que les versants des terrasses tensiftiennes et saltaniennes, et quelques terrasses rharbiennes (banquettes).

Zones d'accumulation, très grand développement des terrasses saltaniennes. Terrasses rharbiennes assez nombreuses (banquettes). Les terrasses tensiftiennes (Tensiftien majeur et Tensiftien mineur) ne sont pas incluses dans cette zone, elles ne sont bien développées que lorsqu'elles constituent les rebords des glacis tensiftiens avec lesquels elles ont été cartographiées; le long des glacis et plateaux moulouyens on ne retrouve le plus souvent que des formes et des dépôts de versants. Les terrasses amiriennes et soltaniennes sont absentes.

PRINCIPAUX ACCIDENTS TECTONIQUES AYANT AFFECTE LE MOULOUYEN INFERIEUR

Fracture

Faille

Synclinal

Anticlinal

TERRAINS ANTE-QUATERNAIRES

Jurassique et Miocène

Délimitation approximative des zones où les schistes et quartzites de la nappe des Senhadja, d'où proviennent les dépôts quaternaires non calcaires (Soltanien et Rharbien) et très argileux (Tensiftien et Soltanien), apparaissent en surface.

(1) Croûte calcaire tensiftienne : croûte peu épaisse (10 à 40 cm de croûte et 10 à 30 cm d'encroûtement), avec ou sans dalle rubannée fine en surface (1 à 2 cm), ou encroûtement peu épais (20 à 50 cm).

(2) La croûte calcaire tensiftienne est formée sur les dépôts postérieurs : 20 à 40 cm.

(3) Les dépôts tensiftiens (Tensiftien majeur et Tensiftien mineur) situés sous la croûte sont souvent très peu épais, voir même inexistants.

(4) Le comblement saltano-rharbien est peu épais (1 à 2 mètres) et occupe une faible largeur (quelques mètres).

(5) Croûte calcaire du Moulouyen supérieur : croûte assez épaisse (20 à 80 cm de croûte et 20 à 50 cm d'encroûtement), avec dalle rubannée épaisse en surface (3 à 5 cm).

(6) La croûte calcaire du Moulouyen supérieur est faiblement enterrée par les dépôts postérieurs (30 à 50 cm).

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CARTE PHYTOSOCIOLOGIQUE ET BIOCLIMATIQUE DES PLAINES DU ZEBRA, BOU AREG ET GAREB

ECHELLE : 1/100.000

I. PERSOGLIO
Phytosociologue
Septembre 1963

Pièce n° II

Office National des Irrigations
Périmètre de la Basse Moulouya

PLAINES DU ZEBRA, BOU AREG et GAREB

CARTE PHYTOSOCIOLOGIQUE et BIOCLIMATIQUE

MELILLA
Nador
Sebkha Bou Areg
MER MEDITERRANEE
CAP TRES FORCHUS
Bi BOU IFROUR
Bou Areg
Zeluan
Monte Arruit
Tistoutine
Garet
KERKER
Karia té Arkmian
Oued Zebra
Oued
Vers Berkane
BENI-SNASSEN

LEGENDE

Bioclimats Arides :

1 — Type du climat local : Artemisia Herba alba, Anabasis aphylla etc...
2 — Type du climat local : Artemisia Herba alba, Ziziphus Lotus, Nosea mucronata, Asphodelus microcarpus etc...
3 — Type du climat local : Pistacia atlantica, Rhus pentaphyllum, Launaea arborescens etc...
4 — Type du climat local : Launaea arborescens, Argania spinosa, Rhus pentaphyllum, Ziziphus lotus etc...
5 — Type du climat local : Ziziphus lotus, Lycium intricatum ssp. typicum, Asparagus stipularis, Eryngium campestre etc...
6 — Type du climat local : Nosea mucronata, Ziziphus lotus, Lycium intricatum etc...
7 — Type du climat local : Pennisetum setaceum, Tricholaena teneriffae, Periploca laevigata, Aristida coerulescens, Rhus pentaphyllum etc...

Bioclimats Arides à Semi-Arides :

8 — Type du climat local : Pistacia atlantica, Olea europaea, Polycarpaea scaparia, Capparis spinosa, Jasonia rupestris, Lavandula multifida etc...
9 — Type du climat local : Olea europaea, Nosea mucronata, Artemisia Herba alba etc...

Bioclimats Semi-Arides :

10 — Type du climat local "humide" : Chamaerops humilis, Pistacia lentiscus, Olea europaea etc...
11 — Type du climat local "humide" : Erica multiflora, Chamaerops humilis, Pistacia lentiscus, Callitris articulata etc...
12 — Type du climat local "humide" : Chamaerops humilis, Olea europaea, Psoralea bituminosa, Cenhrus ciliaris etc...
13 — Type du climat local "humide" : Ceratonia siliqua, Pistacia lentiscus, Ephedra altissima etc...
14 — Type du climat local "assez humide" : Ceratonia siliqua, Olea europaea, Ballota hirsuta, Ferula communis, Ziziphus lotus, Lavandula multifida etc...
15 — Type du climat local "assez humide" : Olea europaea, Ballota hirsuta, Orygaspis coerulescens, Dactylis glomerata, Ziziphus Lotus, Lycium intricatum, Lavandula multifida etc...
16 — Type du climat local "assez sec" : Olea europaea, Ballota hirsuta, Rhus pentaphyllum, Lavandula multifida, Ziziphus lotus, Lycium intricatum etc...
17 — Terrain occupé par Stipa tenacissima et Artemisia Herba alba.

Influence marine

Echelle 1/100.000

Par PERSOGLIO
Phytosociologue

Novembre 1962

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CARTE DE SITUATION
DES
PROFILS PEDOLOGIQUES

ECHELLE : 1/20.000

Septembre 1963

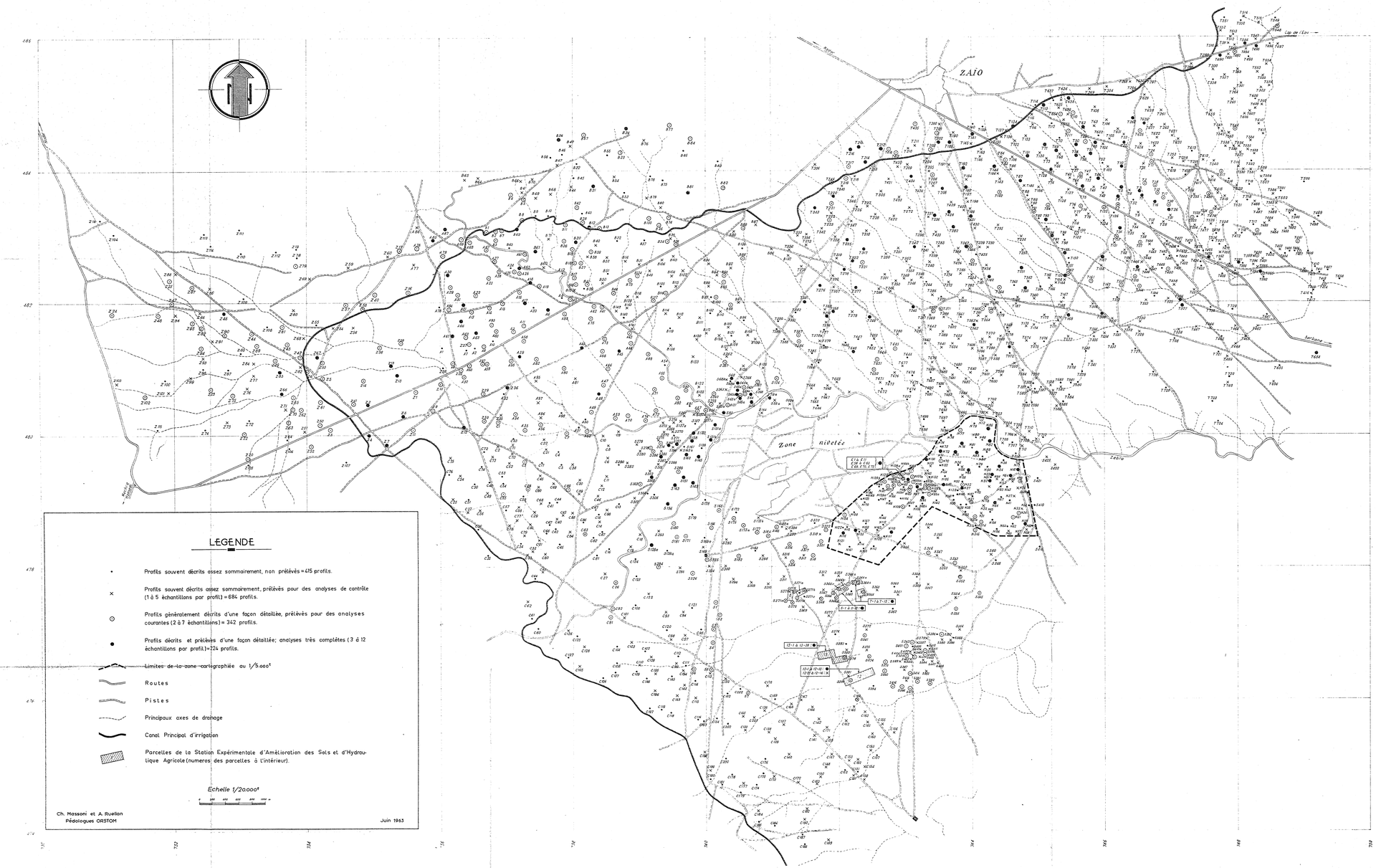
Pièce n° III

ROYAUME DU MAROC
OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

PLAINE DU ZEBRA

CARTE DE SITUATION DES PROFILS PEDOLOGIQUES

PERIMETRE DE LA BASSE MOULOUYA



LEGENDE

- Profils souvent décrits assez sommairement, non prélevés = 415 profils.
- Profils souvent décrits assez sommairement, prélevés pour des analyses de contrôle (1 à 5 échantillons par profil) = 684 profils.
- Profils généralement décrits d'une façon détaillée, prélevés pour des analyses courantes (2 à 7 échantillons) = 342 profils.
- Profils décrits et prélevés d'une façon détaillée; analyses très complètes (3 à 12 échantillons par profil) = 224 profils.
- Limites de la zone cartographiée au 1/5.000e
- Routes
- Pistes
- Principaux axes de drainage
- Canal Principal d'irrigation
- Parcelles de la Station Expérimentale d'Amélioration des Sols et d'Hydraulique Agricole (numéros des parcelles à l'intérieur).

Echelle 1/20000e

0 500 1000 1500 2000 m

Ch. Massoni et A. Ruellan
Pédologues ORSTOM

Juin 1963

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CLASSIFICATION DES SOLS

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM
Septembre 1963

Pièce n° IV

CLASSES	SOUS-CLASSES	GROUPES	SOUS-GROUPES	FAMILLES	SERIES	TYPES	Dénominations adoptées dans le rapport et dans la légende de la carte pédologique.	Type de sol n°	Voir Rapport p. Fig. n°	Couleur sur la carte	Observations
N° II SOLS PEU EVOLUES	N° 2 SOLS PEU EVOLUES D'ORIGINE NON CLIMATIQUE	b Sols peu évolués d'apport	Non Hydromorphes	Roche-mère non ou peu caillouteuse	Profonds; calcaires	Non salés, non alcalisés	SOLS PROFONDS Sols peu évolués d'apport; non salés, non alcalisés. Non ou peu caillouteux.	1	194 / 63	Rouge	Cartographié avec le sol n° 7
				Roche-mère caillouteuse			SOLS PROFONDS Sols peu évolués d'apport; non salés, non alcalisés. Caillouteux.	2	194 / 64	Rouge surcharge noire; 00	Cartographié avec le sol n° 8
N° III SOLS CALCO-MAGNESI-MORPHES	N° 1 SOLS HUMIFERES A CARBONATES DE CALCIUM OU A DOLOMIE	b Rendzines à horizons	Sols brun-calcaires	Roche-mère	Peu profonds (<50 cm); sur croûte calcaire tendre peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface.	Salure généralement forte dans et sous l'encroûtement	SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols brun-calcaires. Sur croûte calcaire tendre peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.	3	241 / 70	Brun clair	Cartographié avec le sol n° 12
					Peu profonds (<50 cm); sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux.		SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols brun-calcaires. Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.	4	241 / 68	Brun clair; surcharge de ronds verts	Cartographié avec le sol n° 13
				variable	Peu profonds (<50 cm); sur croûte calcaire dure épaisse; avec dalle épaisse en surface.	Salure forte dans et sous l'encroûtement	SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols brun-calcaires. Sur croûte calcaire dure épaisse; avec dalle épaisse en surface; salure forte dans et sous l'encroûtement.	5	241 / 72	Brun foncé	Cartographié avec le sol n° 14
N° V SOLS STEPPIQUES	N° 3 SOLS ISOHUMIQUES A COMPLEXE SATURE DES REGIONS SUB-TROPICALES	a Sols châtains subtropicaux	Accumulation du calcaire sous forme de taches granules nodules	Roche-mère complexe très argileuse (>40 %)	Profonds	Non salés, non alcalisés	SOLS PROFONDS Sols châtains steppiques subtropicaux, à taches, granules et nodules calcaires. Sur roche-mère complexe très argileuse (>40 %); non salés, non alcalisés.	6	169 / 44 45	Orange barré rouge	
		b Sols bruns subtropicaux	Accumulation du calcaire, sans apparition de taches, granules ou nodules	Roche-mère non ou peu caillouteuse	Profonds; calcaires dès la surface	Non salés, non alcalisés	SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, sans taches calcaires; non salés, non alcalisés. Non ou peu caillouteux.	7	194 / 62	Rouge	Cartographié avec le sol n° 1
				Roche-mère caillouteuse			SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, sans taches calcaires; non salés, non alcalisés. Caillouteux.	8	194	Rouge surcharge noire; 00	Cartographié avec le sol n° 2
			Accumulation du calcaire sous forme de taches granules nodules	Roche-mère assez argileuse (25 à 30 %)		Non ou peu salés; alcalisation variable	SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires. Calcaires en surface (>10 %); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %); non ou peu salés; alcalisation variable.	9	190 / 60 61	Jaune	
					dès la surface	Salés (>3‰) et alcalisés (pH eau >9) en profondeur	SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires. Calcaires en surface (>10 %); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30 %); salés (>3‰) et alcalisés (pH eau >9) en profondeur.	10	187 / 58 59	Jaune barré vert	
				Roche-mère complexe très argileuse en profondeur (>40 %)		Généralement salés (>3‰) et alcalisés (pH eau >9) en profondeur	SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires. Calcaires en surface (>10 %); sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur (>40 %); généralement salés (>3‰) et alcalisés (pH eau >9) en profondeur.	11	183 / 54 55 56 57	Vert foncé	
			Accumulation du calcaire sous forme de taches	Roche-mère	Peu profonds (<50 cm); calcaires dès la surface; sur croûte calcaire tendre peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface.	Salure généralement forte dans et sous l'encroûtement	SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface (>10 %). Sur croûte calcaire tendre peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.	12	241 / 69	Brun clair	Cartographié avec le sol n° 3
					Peu profonds (<50 cm); calcaires des la surface; sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux.		SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface (>10 %). Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.	13	241 / 66 67	Brun clair, surcharge de ronds verts	Cartographié avec le sol n° 4
					Peu profonds (<50 cm); calcaires dès la surface; sur croûte calcaire dure épaisse; avec dalle épaisse en surface.	Salure forte dans et sous l'encroûtement	SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, calcaires en surface (>10 %). Sur croûte calcaire dure épaisse; avec dalle épaisse en surface; salure forte dans et sous l'encroûtement.	14	241 / 71 73	Brun foncé	Cartographié avec le sol n° 5
N° IV SOLS ISOHUMIQUES SUBTROPICAUX ET TROPICAUX				variable	Peu profonds (<50 cm); peu calcaires en surface (<10 %); sur croûte calcaire tendre peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface	Salure variable dans et sous l'encroûtement	SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, peu calcaires en surface (<10 %). Sur croûte calcaire tendre peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface; salure variable dans et sous l'encroûtement	15	241 / 65	Orange barré marron	Cartographié avec le sol n° 16
					Peu profonds (<50 cm); peu calcaires en surface (<10 %); sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux		SOLS PEU PROFONDS (<50 cm) Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches calcaires, peu calcaires en surface (<10 %). Sur encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux; salure variable dans et sous l'encroûtement.	16	241 /	Orange barré marron	Cartographié avec le sol n° 15
			Accumulation du calcaire sous forme de taches granules nodules	Roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %)	Profonds; calcaires dès la surface	Salure et alcalisation en profondeur, variables	SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches, granules et nodules calcaires. Calcaires en surface (>10 %); sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %); salure et alcalisation, en profondeur, variables.	17	178 / 49 50 51 52 53	Vert clair	
					Profondeur variable; calcaires dès la surface; localement fortement encroûté en profondeur.		SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches, granules et nodules calcaires. Calcaires en surface (>10 %); localement fortement encroûtés en profondeur; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %); salure et alcalisation, en profondeur, variables.	18	178 / 244	Vert clair barré marron	
					Profonds; peu calcaires en surface (<10 %)	Généralement non salés et non alcalisés	SOLS PROFONDS Sols bruns steppiques subtropicaux, à taches, granules et nodules calcaires. Peu calcaires en surface (<10 %); sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 35 %); généralement non salés et non alcalisés.	19	174 / 46 47 48	Orange	

Pièce hors-texte n° IV

PLAINE DU ZEBRA

CLASSIFICATION DES SOLS

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للسري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CARTE PEDOLOGIQUE

ECHELLE : 1/20.000

CH. MASSONI et A. RUELLAN
Pédologues ORSTOM

Septembre 1963

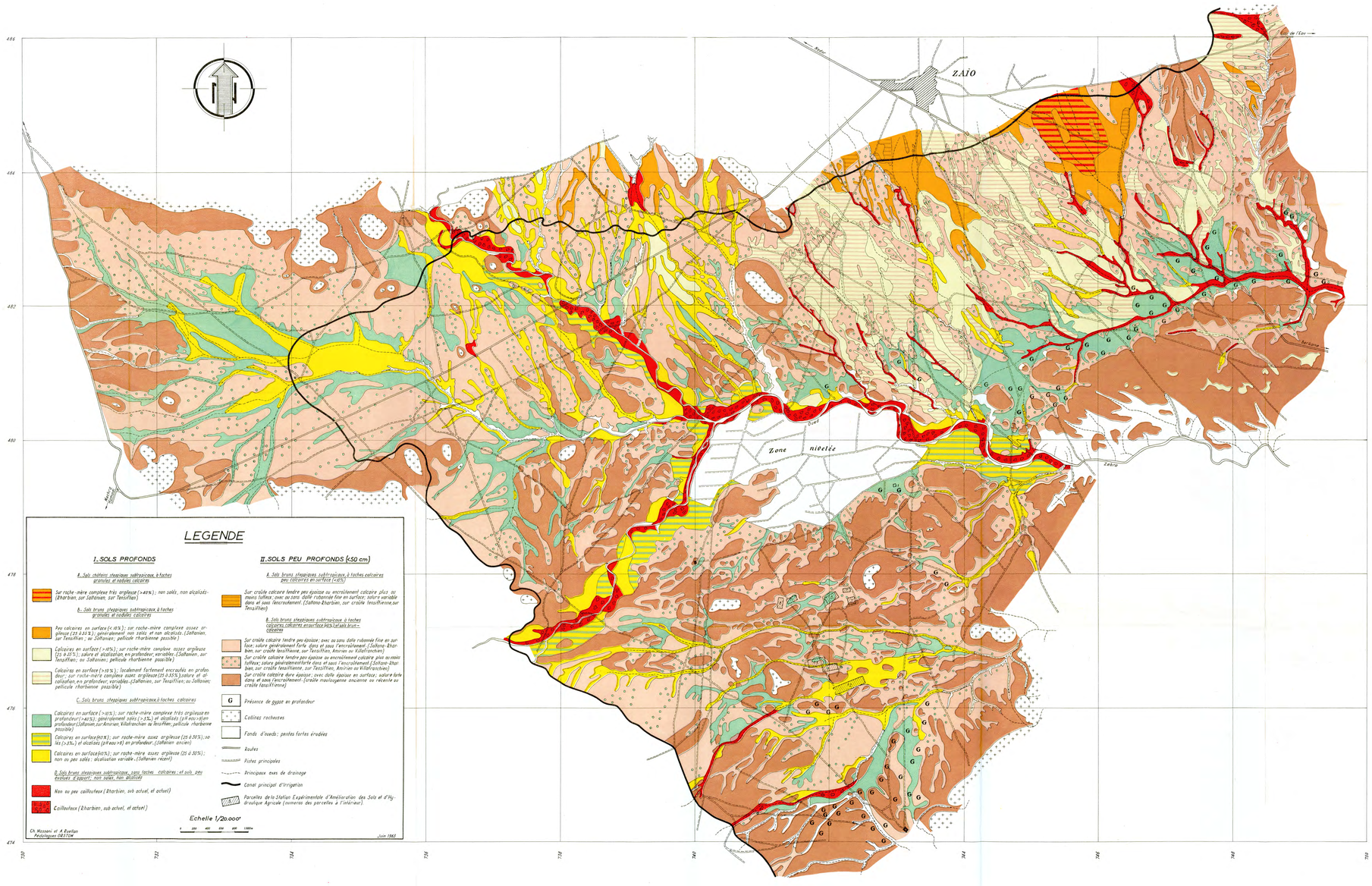
Pièce n° V

ROYAUME DU MAROC
OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

PERIMETRE DE LA BASSE MOULOUYA

PLAINE DU ZEBRA

CARTE PEDOLOGIQUE



LEGENDE

I. SOLS PROFONDS

A. Sols châtains steppiques subtropicaux à taches granulées et nodules calcaires

Sur roche-mère complexe très argileuse (>40%); non salés, non alcalisés (Dharbien, sur Saltanien, sur Tensiftien)

B. Sols bruns steppiques subtropicaux à taches granulées et nodules calcaires

Peu calcaires en surface (<10%); sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 40%); généralement non salés et non alcalisés (Saltanien, sur Tensiftien; ou Soltanien; pellicule rharbienne possible)

Calcaires en surface (>10%); sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 40%); solure et alcalisation, en profondeur, variables (Saltanien, sur Tensiftien; ou Soltanien; pellicule rharbienne possible)

Calcaires en surface (>10%); localement fortement encroutés en profondeur; sur roche-mère complexe assez argileuse (25 à 40%); solure et alcalisation, en profondeur, variables (Saltanien, sur Tensiftien; ou Soltanien; pellicule rharbienne possible)

C. Sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires

Calcaires en surface (>10%); sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur (>40%); généralement salés (>3‰) et alcalisés (pH excès-vérem profondeur (Saltanien, sur Amirien, Villafranchien ou Tensiftien; pellicule rharbienne possible)

Calcaires en surface (10%); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30%); sols (>3‰) et alcalisés (pH excès >9) en profondeur (Saltanien ancien)

Calcaires en surface (<10%); sur roche-mère assez argileuse (25 à 30%); non ou peu salés; alcalisation variable (Saltanien récent)

D. Sols bruns steppiques subtropicaux, sans taches calcaires; et sols peu évolués d'apport; non salés, non alcalisés

Non ou peu caillouteux (Rharbien, sub actuel, et actuel)

Caillouteux (Rharbien, sub actuel, et actuel)

II. SOLS PEU PROFONDS (<50 cm)

A. Sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires peu calcaires en surface (<10%)

Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux; avec ou sans dalle rubanée fine en surface; solure variable dans et sous l'encroûtement. (Saltano-Rharbien, sur croûte tensiftienne ou Tensiftien)

B. Sols bruns steppiques subtropicaux à taches calcaires, calcaires en surface 40% (sols bruns calcaires

Sur croûte calcaire tendre peu épaisse; avec ou sans dalle rubanée fine en surface; solure généralement forte dans et sous l'encroûtement (Saltano-Rharbien, sur croûte tensiftienne, sur Tensiftien, Amirien ou Villafranchien)

Sur croûte calcaire tendre peu épaisse ou encroûtement calcaire plus ou moins tuffeux; solure généralement forte dans et sous l'encroûtement (Saltano-Rharbien, sur croûte tensiftienne, sur Tensiftien, Amirien ou Villafranchien)

Sur croûte calcaire dure épaisse; avec dalle épaisse en surface; solure forte dans et sous l'encroûtement. (croûte mauliogenne ancienne ou récente ou croûte tensiftienne)

G Présence de gypse en profondeur

Collines rocheuses

Fonds d'ouads; pentes fortes érodées

Routes

Pistes principales

Principaux axes de drainage

Canal principal d'irrigation

Parcelles de la Station Expérimentale d'Amélioration des Sols et d'Hydraulique Agricole (numéros des parcelles à l'intérieur).

Echelle 1/20.000

0 200 400 600 800 1000m

Ch. Massoni et A. Ruellan
Pédologues ORSTOM

Juin 1963

Maquettes couleurs : C. Lamoureux — S.R.E.

Calqué par: M.M.Mimoun

Procédé Ozalid "O.C.A." 34, Bd Mohammed V - CASABLANCA - 724-72

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CARTE DES

SOLS SALES ET ALCALISES

EN PROFONDEUR

ECHELLE : 1/20.000

CH. MASSOUNI et A. BUELLAN
Pédologues ORSTOM

Septembre 1963

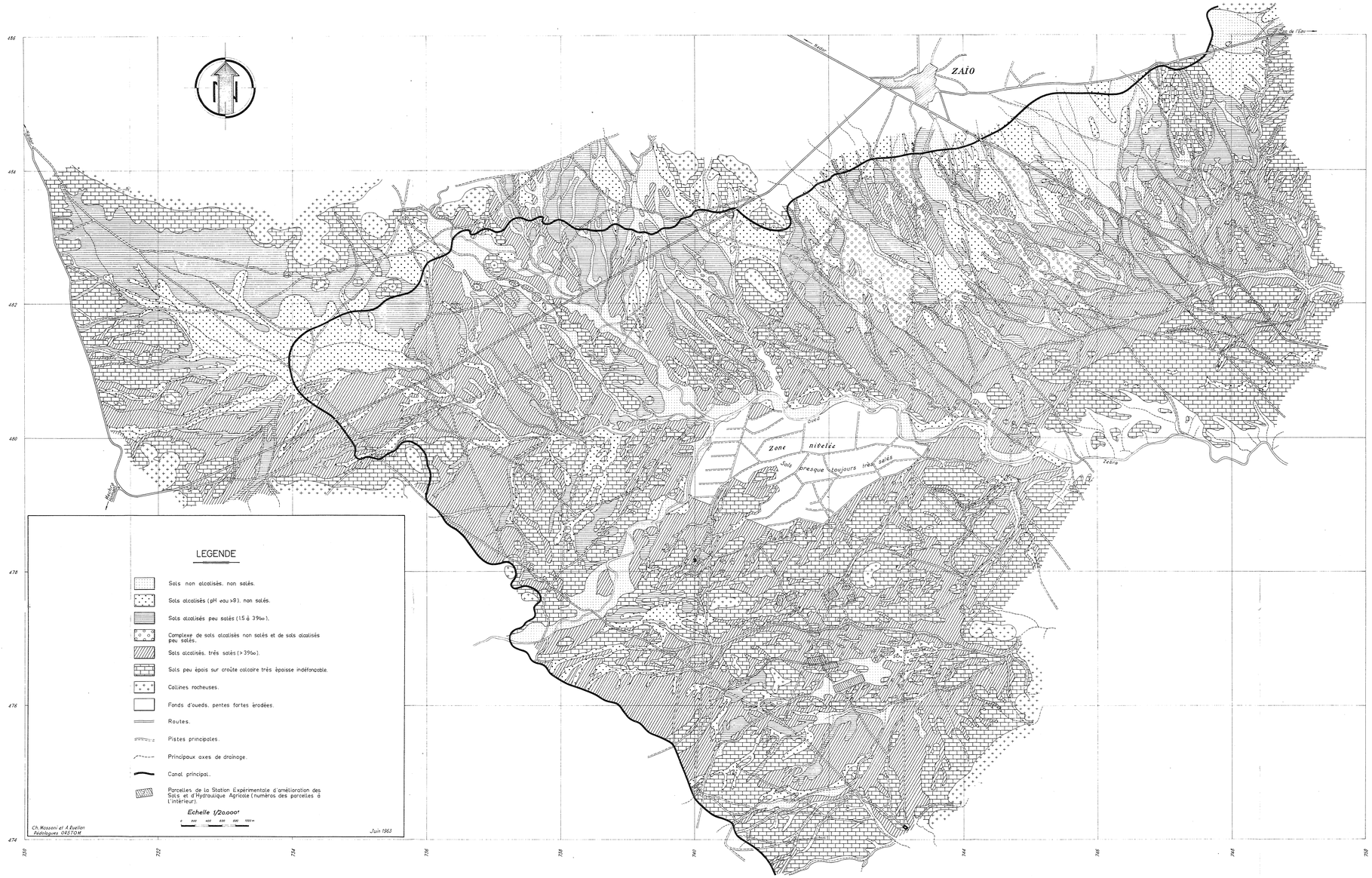
Pièce n° VI

ROYAUME DU MAROC
OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

PERIMETRE DE LA BASSE MOULOUYA

PLAINE DU ZEBRA

CARTE DES SOLS SALES ET ALCALISES EN PROFONDEUR



LEGENDE

- Sols non alcalisés, non salés.
- Sols alcalisés (pH eau >9), non salés.
- Sols alcalisés peu salés (1.5 à 3‰).
- Complexe de sols alcalisés non salés et de sols alcalisés peu salés.
- Sols alcalisés, très salés (> 3‰).
- Sols peu épais sur croûte calcaire très épaisse indéfonçable.
- Collines rocheuses.
- Fonds d'oueds, pentes fortes érodées.
- Routes.
- Pistes principales.
- Principaux axes de drainage.
- Canal principal.
- Parcelles de la Station Expérimentale d'amélioration des Sols et d'Hydraulique Agricole (numéros des parcelles à l'intérieur).

Echelle 1/20.000e

0 500 400 600 800 1000 m

Ch. Massoni et A. Buellan
Pédologues ORSTOM

Juin 1963

Dessiné par: M. H. Mimoun

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CARTE DES

SOLS PROFONDS CAILLOUTEUX

EN SURFACE

ECHELLE : 1/20.000

CH. MASSOUD et A. RUELLAN
Pédologues ORSTOM

Septembre 1963

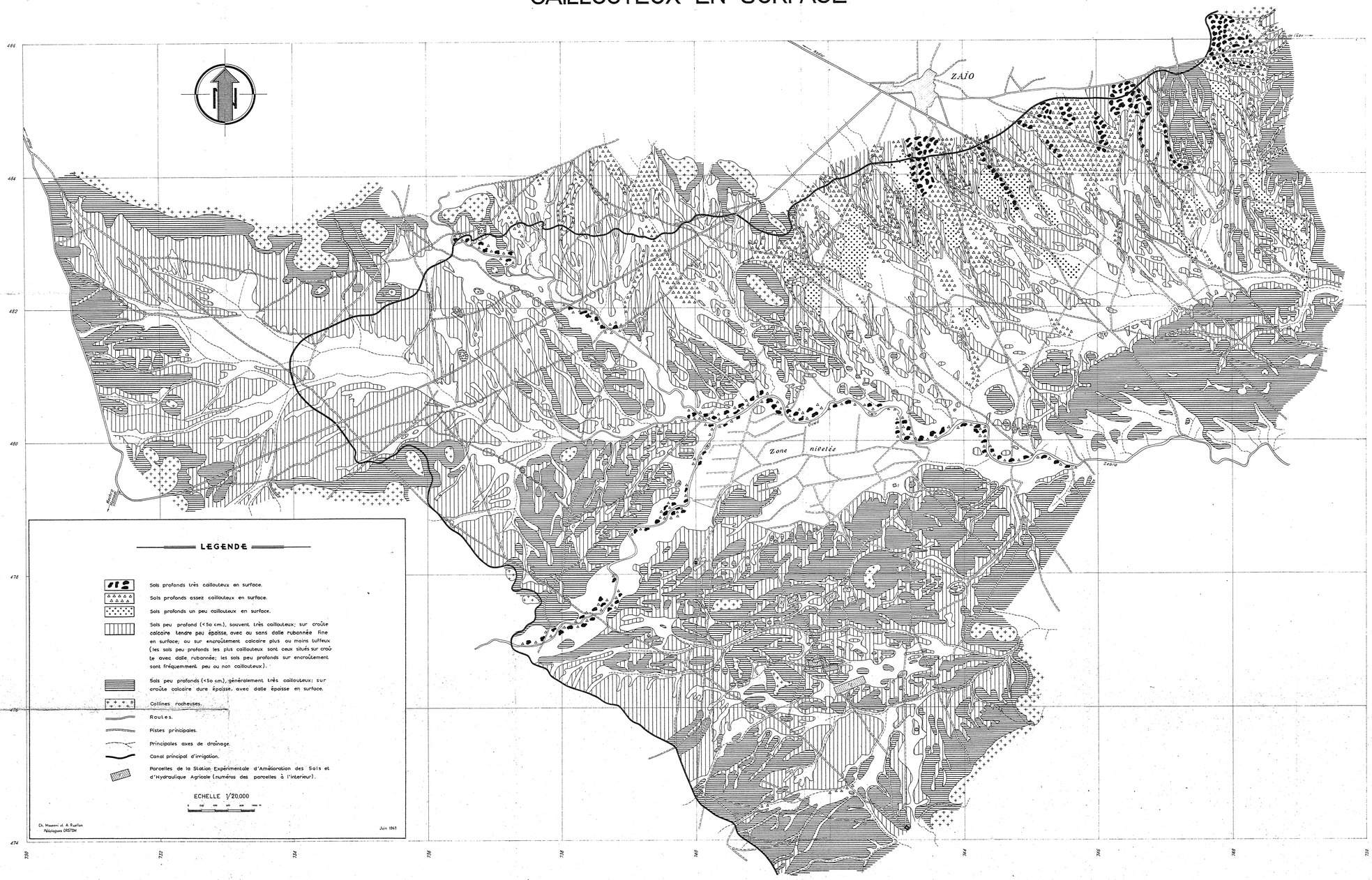
Pièce n° VII

ROYAUME DU MAROC
OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

PLAINE DU ZEBRA

PERIMETRE DE LA BASSE MOULOUYA

CARTE DES SOLS PROFONDS CAILLOUTEUX EN SURFACE


Z.AÏO
Zone nivelée
Zebra
Oued Nekhla
Oued Za
Oued Kerma
Oued Ouerrha
Oued Ouerrha
Oued Ouerrha

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION REGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للسري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CARTE DE

CLASSEMENT DES SOLS
POUR LA MISE EN VALEUR

ECHELLE : 1/20.000

CH. MASSONI et A. RUELLAN
Pédologues ORSTOM

Septembre 1963

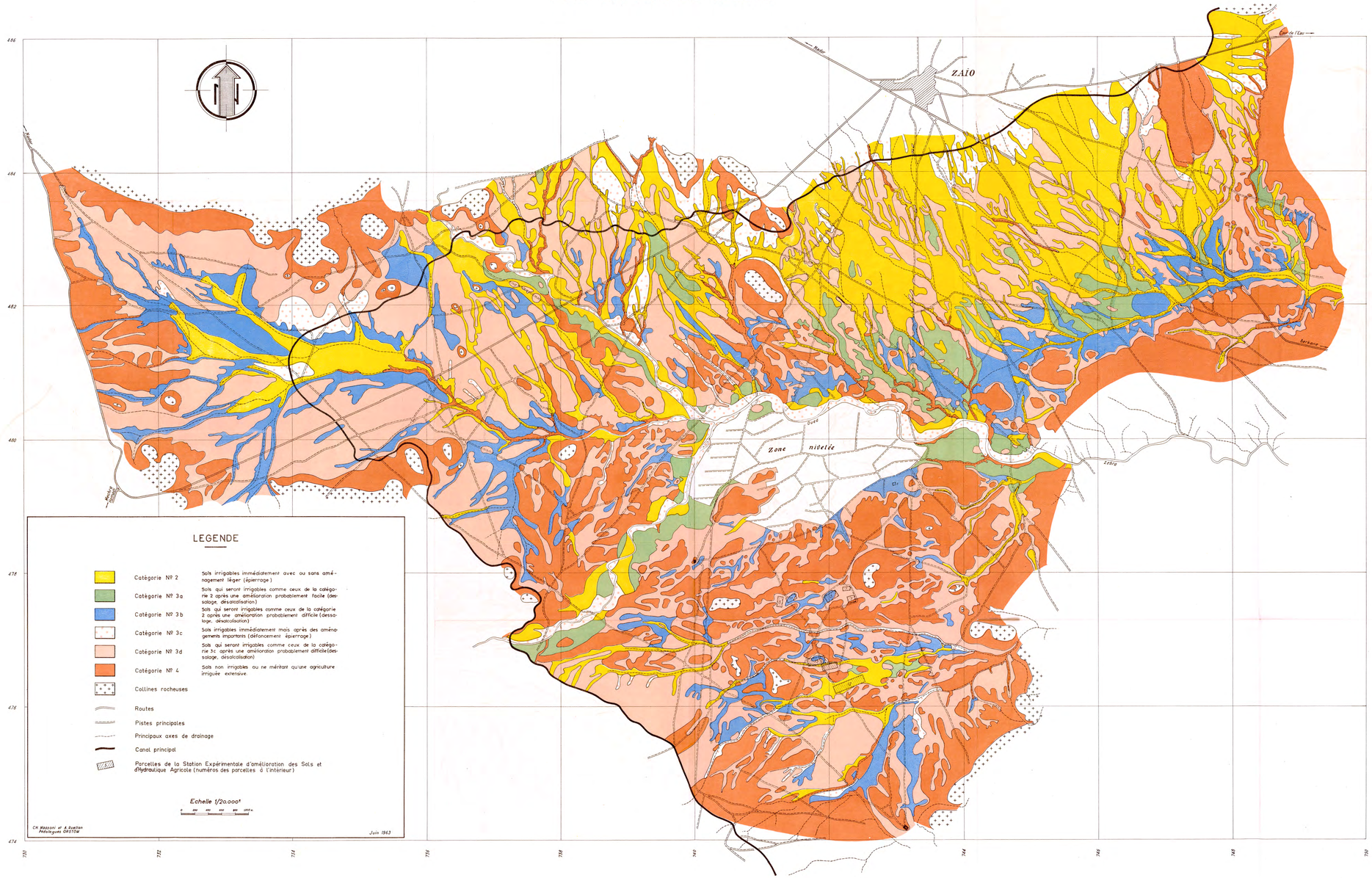
Pièce n° VIII

ROYAUME DU MAROC
OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

PERIMETRE DE LA BASSE MOULOUYA

PLAINE DU ZEBRA

CARTE DE CLASSEMENT DES SOLS
POUR LA MISE EN VALEUR


486
484
482
480
476
476
474
720
722
724
726
728
740
744
746
748
750
ZAIO
Route
Canal de l'Eau
Oued
Zone nivelée
Zebra
Berkane
Ancien Lit
Ancien Lit
Ancien Lit

OFFICE NATIONAL
DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA
BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

CARTE DE
CLASSEMENT DES SOLS
POUR LA MISE EN VALEUR
DE LA
ZONE NIVELEE

ECHELLE : 1/5.000

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM
Septembre 1963

Pièce n° IX

ROYAUME DU MAROC
OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

PLAINE DU ZEBRA

ZONE NIVELEE

CARTE DE CLASSEMENT DES SOLS POUR LA MISE EN VALEUR

PERIMETRE DE LA BASSE MOULOUYA



OFFICE NATIONAL DES IRRIGATIONS

MISSION RÉGIONALE DE LA BASSE - MOULOUYA

المكتب الوطني للري

البعثة الجهوية بملوية السفلى

ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DU ZEBRA

TABLEAU DE CLASSEMENT DES SOLS POUR LA MISE EN VALEUR

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

Septembre 1963

Pièce n° X

PROFONDEUR	TYPES DE SOLS	Voir Rapport Page	Voir Rapport Fig. nº	Couleurs sur la carte	Surfaces has. Zone cartographiée	Surfaces has. Zone dominée	Salure de profondeur (*) Topographie	Travaux d'aménagements: Epierrage	Sous-solage	Défoncement	Dessalage-désalcalisation: Probablement faciles	Dessalage-désalcalisation: Probablement difficiles	Classement pour la Mise en Valeur: Catégories avant aménagements	Après aménagements: Catégories	Après aménagements: Ordre (**)
SOLS PROFONDS	CHATAINS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches, granules et nodules calcaires; sur roche-mère complexe très argileuse; non salés, non alcalisés.	169	44 45	Orange barré rouge	82	80		×	×				2	2	5º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches, granules et nodules calcaires; peu calcaires en surface; sur roche-mère complexe assez argileuse; généralement non salés et non alcalisés.	174	46 47 48	Orange	255	186	- non salés, non alcalisés	× (localement)					2	2	4º
							- non salés, alcalisés	× (localement)			×		2	2	4º
							- salés, alcalisés	× (localement)			×		2	2	4º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches, granules et nodules calcaires; calcaires en surface; sur roche-mère complexe assez argileuse; salure et alcalisation, en profondeur, variables.	178	49 50 51 52 53	Vert clair	526	480	- non salés, non alcalisés	× (localement)					2	2	7º
							- non ou peu salés, alcalisés	× (localement)			×		2	2	7º
							- très salés, alcalisés	× (localement)			×		3a	2	7º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches, granules et nodules calcaires; calcaires en surface; localement fortement encroûtés en profondeur; sur roche-mère complexe assez argileuse; salure et alcalisation, en profondeur, variables.	178 244		Vert clair barré marron	508	480	- non salés, non alcalisés	× (localement)	× (localement)				2	2	8º
							- non ou peu salés, alcalisés	× (localement)	× (localement)		×		2	2	8º
							- très salés, alcalisés	× (localement)	× (localement)		×		3a	2	8º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches calcaires; calcaires en surface; sur roche-mère complexe très argileuse en profondeur; généralement salés et alcalisés en profondeur.	183	54 55 56 57	Vert foncé	1080	679	- non salés, non alcalisés						2	2	6º
							- non salés, alcalisés					×	3b	2	6º
							- salés, alcalisés					×	3b	2	6º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches calcaires; calcaires en surface; sur roche-mère assez argileuse; salés et alcalisés en profondeur.	187	58 59	Jaune barré vert	214	200					×		3a	2	3º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches calcaires; calcaires en surface; sur roche-mère assez argileuse; non ou peu salés; alcalisation variable.	190	60 61	Jaune	884	691	- non salés, non alcalisés						2	2	1º
							- non salés, alcalisés				×		2	2	1º
							- salés, alcalisés				×		2	2	1º
							- position topographique difficile	× (localement)			× (localement)		3c	3	1º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX sans taches calcaires et SOLS PEU EVOLUES D'APPORT non ou peu caillouteux ; non salés, non alcalisés.	194	62 63	Rouge	389	325	- position topographique facile	× (localement)					2	2	2º
							- position topographique difficile	× (localement)					3c	3	2º
							- position topographique très difficile	× (localement)					4	4	2º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX sans taches calcaires et SOLS PEU EVOLUES D APPORT caillouteux; non salés, non alcalisés.	194	64	Rouge surcharge noire: 0 0			- position topographique facile	×					2	2	9º
							- position topographique difficile	×					3c	3	3º
							- position topographique très difficile	×					4	4	3º
SOLS PEU PROFONDS	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches calcaires; peu calcaires en surface; sur CROUTE CALCAIRE TENDRE peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface. ou ENCROUTEMENT CALCAIRE plus ou moins tuffeux. Salure variable dans et sous l'encroûtement.	241	65	Orange barré marron	33	19	- non salés	×	×	× (localement)			3c	3	4º
							- salés	×	×	× (localement)		×	3d	3	4º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches calcaires; calcaires en surface; ou BRUN - CALCAIRES sur ENCROUTEMENT CALCAIRE plus ou moins tuffeux; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement	241	66 67 68	Brun clair; surcharge de ronds verts	4382	3073	- non salés, non alcalisés	× (localement)	×				2	2	10º
							- salés, alcalisés, amélioration facile	× (localement)	×		×		3a	2	10º
							- salés, alcalisés, amélioration difficile	× (localement)	×			×	3b	2	10º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches calcaires; calcaires en surface; ou BRUN - CALCAIRES sur CROUTE CALCAIRE TENDRE peu épaisse; avec ou sans dalle rubannée fine en surface; salure généralement forte dans et sous l'encroûtement.	241	69 70	Brun clair			- non salés	×	×	×			3c	3	5º
							- salés	×	×	×		×	3d	3	5º
	BRUNS STEPPIQUES SUBTROPICAUX à taches calcaires; calcaires en surface; ou BRUN - CALCAIRES sur CROUTE CALCAIRE DURE épaisse; avec dalle épaisse en surface; salure forte dans et sous l'encroûtement.	241	71 72 73	Brun foncé	3027	1336		× (de surface)					4	4	1º
	Fonds d'oueds. Pentes fortement érodées.			Blanc	318	215							4	4	4º
	Collines rocheuses.			+ + +	384	3									
Sols profonds et peu profonds	Zone nivelée.	332		Blanc	390 (plus 7 nivelés en 1959) (***)	388 (plus 7 nivelés en 1959) (***)		× (localement)	× (localement)	× (localement)	× (localement)	× (localement)	3a et 3d	2 et 3	11º et 6º

RECAPITULATION

SURFACE TOTALE CARTOGRAPHIE : 12.472 hectares

SURFACE TOTALE DOMINEE : 8.155 hectares

REPARTITION DES SOLS SALES ET ALCALISES EN PROFONDEUR

Catégories (*)	Surfaces has. Zone cartographiée	Surfaces has. Zone dominée
- Sols non alcalisés, non salés	1454	1220
- Sols alcalisés, non salés	1478	982
- Sols alcalisés, peu salés	1584	919
- Sols alcalisés, très salés	3837	3092
- Sols peu profonds sur croûte calcaire dure épaisse, généralement très salés dans et sous la croûte	3027	1336
- Zone nivelée (majorité de sols alcalisés, très salés) (***)	390 (+7)	388 (+7)
- Collines rocheuses, fonds d'oueds, pentes fortes érodées	702	218

TRAVAUX D'AMENAGEMENTS

Catégories	Surfaces has. Zone cartographiée	Surfaces has. Zone dominée
- Epierrage	7000 à 7500	4000 à 4500
- Sous-solage	4700 à 5000	3400 à 3700
- Défoncement	3000 à 3500	2000 à 2500
- Dessalage-désalcalisation	7250	5350

CLASSEMENT DES SOLS POUR LA MISE EN VALEUR

Avant aménagements

Catégories	Surfaces has. Zone cartographiée	Surfaces has. Zone dominée
2	2119	1762
3a	489	457
3b	1039	653
3c	631	438
3d	4019	2886
4	3401	1568
Zone nivelée (3a et 3d) (***)	390 (+7)	388 (+7)
Collines rocheuses	384	3

Après aménagements

Catégories	Surfaces has. Zone cartographiée	Surfaces has. Zone dominée
2	5000 à 5500	4000 à 4500
3	3000 à 3500	2000 à 2500
4	3400	1600
Collines rocheuses	384	3

(*) Sols non salés = < 1,5 ‰ de sels totaux
Sols peu salés = < 3,0 ‰ de sels totaux
Sols très salés = > 3,0 ‰ de sels totaux

(**) Cet ordre de classement des sols à l'intérieur de chacune des catégories 2, 3 et 4, est donné à titre très indicatif (voir rapport page 332)

(***) L'ensemble des travaux de nivellement a été réalisé avant 1959; sauf 7 hectares qui ont été nivelés en 1959 et qui ne sont pas portés sur les cartes pédologiques, de salure, de classement des sols et des sols caillouteux. Ils sont par contre portés sur la carte de classement des sols de la zone nivelée.

Pièce hors-texte nº X

PLAINE DU ZEBRA

TABLEAU DE CLASSEMENT DES SOLS POUR LA MISE EN VALEUR

A. RUELLAN
Pédologue ORSTOM

Septembre 1963