Les relations SOL-VEGETATION dans les steppes sud-algéroises

Marcel Pouget

TRAVAUX
ET DOCUMENTS
DE L'O.R.S.T.O.M.

LES RELATIONS SOL-VÉGÉTATION DANS LES STEPPES SUD-ALGÉROISES

Marcel POUGET

ÉDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser au :

SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'O.R.S.T.O.M.
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY (France)

Les paiements sont à effectuer par virement postal au nom de *Service des Publications ORSTOM, C.C.P. 22.272.21 Y PARIS;* **(à défaut par chèque bancaire barré à ce même libellé).**

Nous vous signalons, dans la collection «Mémoires de l'ORSTOM»,

n° 88 – UNE ÉPISTÉMOLOGIE DES SCIENCES DU SOL
Yvon Chatelin
151 p., 21x27,
I.S.B.N. : 2-7099-0507-8 ..... F h.t.

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M.
N° 116

LES RELATIONS SOL-VÉGÉTATION

DANS LES STEPPES SUD-ALGÉROISES

Marcel POUGET

O.R.S.T.O.M. – PARIS – 1980

-4 SEP. 1992

CB 12

CB 12 ex 2

Cet ouvrage a fait l'objet d'une Thèse de Doctorat d'État ès Sciences, présentée à l'Université d'Aix-Marseille III, Marseille le 12 juillet 1979.

.....

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, « que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées « à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but « d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite « sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1er de « l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une « contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.»

I.S.B.N. : 2-7099-0564-7

© ORSTOM, Paris, 1980

Table des Matières

AVANT PROPOS 1

INTRODUCTION 5

CHAPITRE I - LE CADRE PHYSIQUE

I. Le cadre physiographique 15

II. Le cadre climatique 21
A. Données climatologiques 21
1. Pluviosité 22
2. Températures 26
3. Données complémentaires 30

B. Les bioclimats 31
1. Indices climatiques et classification des bioclimats 31
2. Carte des bioclimats 35

C. Conclusions 37

III. Le cadre géologique 39

A. Principales unités stratigraphiques et lithologiques 39
1. Trias 39
2. Jurassique 41
3. Crétacé 43
4. Nummulitique 45
5. Néogène 46
6. Quaternaire 46
7. Conclusions 47

B. Les principaux ensembles géologiques et hydrogéologiques 47
1. Eléments de tectonique générale 47
2. Les chaînes sud-telliennes et bordure septentrionale des Hautes-Plaines sud-algéroises 48
3. Les Hautes-Plaines sud-algéroises 48
4. L'Atlas saharien 49
5. Le domaine saharien 49

IV. Le cadre géomorphologique et les formations quaternaires 50

A. Les reliefs 52
1. Dominance de roches dures 52
2. Dominance de roches tendres 54
3. Alternance de roches dures et de roches tendres 54

B. Les surfaces plus ou moins planes (glacis et terrasses) 60
1. Les formations encroûtées du Quaternaire ancien *(sl)* 61
2. Les formations plus ou moins encroûtées du Quaternaire moyen *(sl)* 63
3. Les formations du Quaternaire récent et actuel 66

C. Les dépressions 69
1. Les chotts et les sebkhas 70
2. Les dayas 71

D. Les formations éoliennes 72
1. Les bourrelets éoliens de bordure de sebkhas ou de chotts 72
2. Les formations éoliennes anciennes et fixées 74
3. Le cordon dunaire du bassin des Zahrez 77

E. Conclusions 78

CHAPITRE II - LES SOLS ET LA VEGETATION

I. Les sols 81

A. Les principaux types de sols 81
1. Les sols formés sur le substratum géologique 81
2. Les sols à accumulation calcaire des glacis et terrasses quaternaires 93
3. Les sols des formations alluviales récentes et actuelles 105
4. Les sols des dayas 106
5. Les sols des formations éoliennes 108
6. Les sols gypseux 110
7. Les sols halomorphes 112
8. Les sols hydromorphes 116

B. Les facteurs de formation et d'évolution des sols 117
1. Le climat 117
2. La roche-mère 119
3. La topographie 120
4. La végétation 120
5. L'action de l'homme 122

C. Conclusions 123

II. La végétation 125

A. Les principaux types de formations végétales 125
1. Les formations forestières et de dégradation forestière 125
2. Les formations steppiques 125
3. Les jachères et les cultures 127

B. Les principaux groupements végétaux 130
1. Quelques définitions 130
2. Les principaux groupements végétaux 131

C. Caractéristiques générales des espèces végétales 134
1. Les adaptations 134
2. Les systèmes racinaires 135

D. Action de l'homme 139
1. Les cultures 140
2. Le surpâturage 142

E. Conclusions 143

III. Les relations sol-végétation 146

A. Le relevé PR 1 146
1. Le cadre physique 146
2. Le sol 147
3. La végétation 149
4. Variations autour de PR 1 150
5. Conclusions 151

B. La démarche phytoécologique 152

C. La démarche pédogénétique 156

CHAPITRE III - LE SOL, FACTEUR EDAPHIQUE

I. Les données végétation-milieu 159
A. Collecte des données 159
1. Choix de l'emplacement du profil-relevé 159
2. Les données brutes 162
3. Sélection des données 163

B. Le fichier végétation-milieu 164
1. Organigramme général du fichier 164
2. Niveau du relevé 165
3. Niveau des horizons 176

C. Conclusions 184
1. Nature des variables 184
2. Intégration des données édaphiques 185

II. Le traitement des données 188

A. Les méthodes d'analyses fragmentaires 190
1. Histogramme des fréquences absolues 190
2. Histogramme des fréquences relatives (FR) 191
3. Histogramme des taux de fréquence relative (TFR) 191
4. Cas particulier des formations végétales 196
5. Conclusions 199

B. Les méthodes d'analyses multidimensionnelles 200
1. Principes de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) 200
2. Méthodes d'utilisation de l'AFC 202

C. Analyse globale ESP-REL (ESPECES-RELEVES) 205
1. ESP-REL 1 205
2. ESP-REL 2 212
3. ESP-REL 21 : Forêts aride supérieur 221
4. ESP-REL 22 : Cultures 223
5. ESP-REL 23 : Psammophiles 225
6. ESP-REL 24 : Aride inférieur-M'4 227
7. ESP-REL 25 : Salure 229
8. ESP-REL 3 : Noyau 232
9. Synthèse des résultats et discussion 234

D. Analyse globale ESP-ECO (ESPECES-ECOLOGIE) 240
1. ESP-SOL (ESPECES-SOLS) 240
2. ESP-ECO (ESPECES-ECOLOGIE) 246

E. Analyses partielles ESP-REL (ESPECES-RELEVES) 253
1. Les milieux hydromorphes et halomorphes 253
2. Les unités géomorphologiques : exemple des dayas 259
3. Les formations végétales 261
4. Les séquences sur un même substratum géologique 264
5. Les grandes unités pédologiques 270
6. Ecologie des espèces végétales 278

III. Les facteurs édaphiques 283

A. Les tableaux des facteurs édaphiques 283
1. Principe des tableaux 283
2. Exemple des steppes climatiques 285

B. Les facteurs édaphiques dans les principaux milieux écologiques 287
1. Les milieux forestiers 287
2. Les milieux steppiques 288
3. Les milieux cultivés 294
4. Les milieux hydromorphes et halomorphes 295
5. Conclusions : "Panorama synthétique" des milieux écologiques 300

C. Essai de synthèse sur les facteurs édaphiques 302
1. Classification des facteurs édaphiques 302
2. Les facteurs du bilan hydrique 303
3. Les facteurs chimiques 309
4. Le gypse 311

CHAPITRE IV - LA VEGETATION, FACTEUR DE PEDOGENESE

I. Végétation et matière organique dans les sols 323

A. Répartition de la matière organique 324
1. La matière organique dans les horizons de surface 325
2. Le profil organique 328
3. Conclusions 338

B. Nature de la matière organique 340
1. Rapport C/N 340
2. Les matières humiques 341
3. Le mull calcaire de steppe 356

C. Conclusions : influence de la végétation 359

II. Végétation et morphologie des sols à croûte calcaire 363

A. Les deux principaux types de sols à croûte calcaire 363
1. Etude du profil PR 2 : profil de type II à horizon laminaire K1 364
2. Etude du profil PR 3 : profil de type I (sans horizon laminaire) 380
3. Dynamique des sols à croûte calcaire (horizons supérieurs) 385

B. Formation et évolution de l'horizon laminaire 386
1. Distribution des profils à horizon laminaire dans l'espace 386
2. Formation de l'horizon laminaire 389
3. Evolution de l'horizon laminaire 390

C. Conclusions : influence de la végétation 394

III. Végétation et plages de salure dans les sols à croûte calcaire 396

A. Description des plages de salure 396
1. Aspects morphologiques 396
2. Données analytiques 397

B. Distribution des plages de salure dans l'espace 399
1. Bioclimats 400
2. Géomorphologie et sols 400
3. Topographie 401
4. Végétation 401

C. Hypothèses sur la formation des plages de salure 403
1. Dynamique des sels et formation des plages de salure 403
2. Discussion 407

D. Conclusions 410
1. Formation des plages de salure 410
2. Conséquences sur les sols et la végétation 411

CHAPITRE V - RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

Résumé 415
Conclusions générales 425

BIBLIOGRAPHIE 439

INDEX DES FIGURES 459

INDEX DES PLANCHES 464

INDEX DES TABLEAUX 465

ANNEXES 467

à mes parents,

à Marie-Jeanne

Au moment de mettre sous presse , j'apprends avec consternation la brutale disparition du Professeur D. BOUNAGA. C'était un ami.Puisse cet ouvrage garder son souvenir et le signe de ma reconnaissance.

AVANT-PROPOS

Ce travail complète les études cartographiques effectuées au cours d'un long séjour en Algérie (1968-1975) dans le cadre de la Convention ORSTOM-DEMRH.

J'adresse mes plus vifs remerciements à mes collègues et amis algériens qui, dans des moments parfois difficiles, m'ont témoigné une grande confiance et m'ont permis d'apprécier l'hospitalité de ce pays si attachant. Je ne saurais oublier également tous ceux qui m'ont aidé et accueilli sur le terrain, je leur exprime mon amicale et profonde reconnaissance.

Je remercie Monsieur le Professeur G. CAMUS, Directeur Général de l'ORSTOM, et Monsieur N. LENEUF Président du Comité Technique de Pédologie pour les facilités qu'ils m'ont accordées pour terminer ce travail.

A mon maître Georges AUBERT, Professeur de Science du Sol à l'ORSTOM, je dois ma formation de pédologue. Je ne sais comment exprimer la grande chance d'avoir pu bénéficier de son immense expérience et de son enthousiasme pour la Pédologie qu'il a largement contribué à créer et à développer à travers le monde. Sur le terrain, dans ce pays qu'il connait si bien et qu'il affectionne particulièrement, et tout au long de la rédaction de ce texte il ne m'a pas ménagé son aide. Je lui en suis profondément reconnaissant.

Je suis particulièrement sensible à la confiance que Mr. le Professeur Pierre QUEZEL m'a accordé depuis de nombreuses années en acceptant de suivre mon travail. Son accueil toujours attentif et bienveillant, ses conseils judicieux et son appui sans faille ont été des encouragements décisifs pour mener à bien cette étude des relations sol-végétation. Je lui exprime ma très vive et respectueuse gratitude.

J'adresse ma plus chaleureuse et amicale reconnaissance à Henri-Noël LE HOUEROU. Je lui dois mon initiation à la Phytoécologie et j'ai encore en mémoire ces premiers relevés que nous avons effectués ensemble au cours d'une tournée dans la région de Djelfa en juin 1968. Il est sans aucun doute à l'origine de ce travail qui lui doit énormément car il m'a fait bénéficier sans compter de sa très grande expérience.

Je remercie Mr. le Professeur M. GOUNOT d'avoir accepté de siéger à ce jury. Ses critiques judicieuses m'ont permis de préciser plusieurs points importants de ce mémoire.

Je remercie Alain RUELLAN, Professeur de Science du Sol à l'ENSA de Rennes, qui a bien voulu examiner ce travail.

Je remercie Mr. le Professeur R. NEGRE qui a spontanément accepté de participer à ce jury.

Ma gratitude s'adresse à Mr. D. BOUNAGA, Professeur de Botanique à la Faculté des Sciences d'Alger. Je suis très sensible à l'honneur et à l'amitié qu'il me témoigne en étant membre de ce jury.

Une part importante de ce travail résulte d'une étroite collaboration avec Raymond BAUDOIN du Laboratoire de Cryptogamie du Museum d'Histoire Naturelle. Sa compétence souriante et efficace a été décisive pour mener à bien l'ensemble des traitements informatiques. Qu'il trouve ici le témoignage de ma très vive et amicale gratitude.

C'est à mon ami Jacques CLAUDIN que je voudrais dire tous mes remerciements. Je ne saurais oublier qu'un grand nombre de relevés du fichier végétation-milieu ont été effectués ensemble au cours de sympathiques et fructueuses tournées dans les steppes sud-oranaises en particulier.

J'ai aussi largement profité de l'expérience de Françoise BERAUD-FAVEDE pour la connaissance du milieu géomorphologique.

J'exprime ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont apporté leur aide sous une forme diverse aux Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy :

- Mr. M. LAMOUROUX, Directeur du Centre

- au laboratoire de Chimie des Sols : Mrs. B. DABIN, P. PELLOUX, J.C. BRION et Mme GAVINELLI qui a effectué la totalité des analyses des matières humiques.

- Mr. A. COMBEAU et Mme E. DRIFFORT du laboratoire de Physique des sols.

- Mr. D. RAMBAUD pour les observations au microscope électronique.

- Mr. J.C. PLOTTE pour la fabrication des lames minces.

- Mr. VAN DEN DRIESSCH et Mlle A.M. AUBRY pour la constitution du fichier végétation-milieu.

- à la bibliothèque, Mme C. MASSONI, Mlles M.H. PERROT et E. PELLEGRIN.

- Mrs. J. COMBROUX et M. DANARD du service de cartographie.

- Mr. C.R. HIERNAUX responsable du Service Central de Documentation.

- Mr. J. QUINET qui a assuré avec beaucoup de gentillesse et d'efficacité la préparation et la réalisation de l'impression de ce mémoire.

- Mr. C. CHAPPET pour les travaux photographiques

- Mr. J. BERTHE pour le tirage offset des planches couleurs et noir et blanc.

- Mmes H. REGAZZI et GARCIA, Mlle A. GAUDRY pour la tâche ingrate de dactylographie.

- Mmes N. DELARBRE, H. VIEILLARD, M. HETUIN, S. LATOUCHE et Mr. GRANDJEAN pour la préparation et le tirage de ce mémoire.

Je remercie Mr. J. SUSINI et les techniciens du laboratoire de la DEMRH pour les analyses de sols.

Mes remerciements s'adressent à l'équipe du Laboratoire de Botanique et d'Ecologie Méditerranéenne de St Jérome et tout particulièrement à Gilles BONIN et Mme DOUGNY.

Introduction

Entre les paysages méditerranéens typiques du Tell et le désert saharien, les steppes algériennes occupent une position charnière bien particulière. Dans ce pays aux vastes horizons, le climat est rude, très chaud en été, souvent très froid en hiver. La sècheresse chronique devient périodiquement catastrophique. Néanmoins, ces immenses étendues de steppes d'alfa ou d'armoise restent le domaine privilégié du mouton et des pasteurs nomades.

Aussi, lorsqu'en 1968 et dans le cadre de la Convention ORSTOM-HYDRAULIQUE (D.E.M.R.H.) j'ai été chargé d'entreprendre une cartographie pédologique régulière à 1/100.000 dans les zones steppiques, une certitude s'est imposée dès le départ : la nécessité de prendre en compte la végétation. Le pédologue ne peut ignorer une composante majeure du milieu steppique, un patrimoine combien précieux mais fragile sur lequel repose l'essentiel de l'activité humaine centrée sur l'élevage.

Cette prise en compte de la végétation permet :

- une meilleure connaissance du milieu et des sols dont elle doit faciliter, sinon accélérer la cartographie.
- une meilleure réponse à l'objectif prioritaire qui m'est demandé, l'aptitude des sols à leur mise en valeur.

C'est ainsi que j'ai effectué une série d'études cartographiques à 1/100.000 : pédologie, géomorphologie, groupements végétaux, aptitudes du milieu à la mise en valeur (POUGET, 1971, 1972, 1973-1977).

Pratiquement sur le terrain, cela s'est traduit par une observation conjointe de la végétation et des sols (en fait, plus généralement du milieu) selon deux principes de base que je me suis attaché à respecter tout au long de l'ensemble de la prospection :

- à chaque profil pédologique est associé systèmatiquement un relevé de végétation et une description du milieu : l'ensemble constituant un relevé (ou profil-relevé).
- le choix de l'emplacement du relevé procède d'un triple accord d'homogénéité et de représentativité concernant la situation géomorphologique, le sol et la végétation (communauté végétale). En cela, ce relevé diffère du type phytosociologique classique où la priorité est donnée à la notion de surface floristiquement homogène : il s'inspire d'une approche qualifiée d'intégration "a priori" par JURDANT *et al* (1972).

Au terme de plusieurs années de terrain et avant toutes choses, il est nécessaire de faire ressortir deux aspects majeurs relatifs respectivement, aux zones cartographiées et à la méthode utilisée :

- les zones étudiées se localisent essentiellement dans les steppes sud-algéroises (Plateau du Sersou, Bassin du Zahrez Gharbi, Région de Messaad-Aïn el Ibel, etc.). Elles s'inscrivent selon un transect Nord-Sud d'aridité globalement croissante : la pluviosité annuelle moyenne étant comprise entre 400 et 100 mm environ.

D'autres études et observations effectuées dans les zones telliennes sud-algéroises (POUGET, 1969; 1973) permettent de situer les steppes dans une séquence bioclimatique encore plus vaste : des régions méditerranéennes subhumides (P < 800 mm) aux régions sahariennes. En outre, des recherches réalisées dans les steppes sud-oranaises (BERAUD *et al*, 1975) apportent une référence comparative intéressante pour les steppes algériennes en général.

L'ensemble des observations de terrain représente plus de 2000 relevés.

- la démarche phytoécologique, utilisée au départ par nécessité, a conduit tout naturellement le pédologue à envisager le sol sous une double optique :

. optique édaphique : en tant que facteur de la végétation actuelle; le sol est alors un élément quasi permanent du milieu au même titre que le climat.

. optique pédogénétique : le sol est en lui-même un ensemble dynamique dans lequel la végétation devient à son tour un facteur de pédogénèse parmi d'autres, dont le climat.

Cette double optique correspond en fait aux deux volets classiques de la problématique des relations sol-végétation : le sol exerce une influence sélective sur la végétation et inversement, la végétation influence le sol.

Qu'en est-il dans les steppes sud-algéroises ? Autrement dit, quels sont, dans un milieu steppique de plus en plus aride, les déterminismes actuels qui régissent les relations sol-végétation ?

Si l'on considère par exemple une steppe à alfa sur un sol à croûte calcaire dans l'Atlas saharien, ceci revient à se poser les deux séries de questions suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques du sol et de son environnement immédiat (topographie en particulier) dont l'action est déterminante sur la répartition des espèces dans cette communauté végétale ? Existe-t-il des plantes liées à la présence de la croûte calcaire et quelles sont-elles ? Comment diagnostiquer, hiérarchiser et classer les principales variables "actives" du sol exerçant une action sélective sur la végétation qui, par ailleurs, reste soumise à l'ensemble des autres facteurs du milieu (climat, action de l'homme) ?.
- En quoi la présence de cette communauté végétale, la steppe à alfa, influence-t-elle le sol ? Outre son action bien connue de protection contre l'érosion éolienne et hydrique, la végétation de steppe est-elle réellement un facteur de pédogénèse ? Encore faudrait-il mettre en évidence des processus actuels de pédogénèse dans un milieu aussi aride ?.

Il est évident que les phytosociologues et surtout les phytoécologistes apportent des éléments de réponse à la première série de questions, les pédologues se préoccupant davantage de la seconde.

+ + + + + +

Ainsi depuis une trentaine d'années, relayant une phase d'inventaire floristique commencée au siècle dernier, les travaux des botanistes, phytosociologues et phytoécologistes, se sont développés dans les steppes algériennes à la suite de MAIRE (1926) : KILLIAN (1936, 1948, 1950, 1953) OZENDA (1954), DUBUIS et SIMMONEAU (1954), MONJAUZE *et al* (1955), OZENDA et KERAUDREN (1960), BARRY et FAUREL (1968, 1973), QUEZEL *et al* (1969), RODIN *et al* (1970), DJEBAILI (1970, 1978), CLAUDIN et LE HOUEROU (1975), CELLES (1975). Parallèlement, les études se poursuivent dans les régions telliennes avec QUEZEL (1957), ALCARAZ (1969), etc. Au Maroc et en Tunisie sous l'impulsion de GAUSSEN (1949, *et al* 1958) et surtout EMBERGER (1930, 1951, 1955, 1957, 1958, 1971) les études sur la végétation et le milieu se multiplient : GUINOCHET (1951), LONG (1954), LE HOUEROU (1955, 1959, 1960, 1969), GOUNOT (1958), NEGRE (1959), SAUVAGE (1960, 1963), NOVIKOFF (1961), IONESCO (1960, 1965), C.E.P.E. (1966, 1968), FLORET *et al* (1973, 1975, 1977), LE FLOC'H (1973), etc. Si les objectifs et les méthodes peuvent être différents selon les auteurs, chacun s'accorde tout naturellement à souligner les relations fort étroites entre végétation et milieu. En zone aride, les facteurs écologiques climatiques et édaphiques jouent un rôle essentiel dans la mesure où ils conditionnent l'alimentation en eau des végétaux. Cependant, tout en reconnaissant l'importance du sol, la plupart de ces auteurs éprouvent des difficultés pour exprimer et prendre en compte d'une façon précise ces variables actives. Les raisons en restent fort diverses : absence de données complètes ou relatives seulement à l'horizon de surface, carte pédologique difficile à interpréter du fait de l'échelle souvent inadaptée ou du système de classification des sols, complexité réelle du profil pédologique avec sa succession d'horizons de nature et profondeur différentes, etc.

Devant cette complexité et le nombre théoriquement illimité de variables écologiques et édaphiques envisageables, certains comme GUINOCHET (1973) privilégient l'analyse floristique qui "est bien le reflet le plus fidèle des conditions édaphiques qui lui correspondent". D'autres en arrivent à une codification très détaillée des variables écologiques (C.E.P.E., 1968) pour compléter les données floristiques.

Néanmoins, soit par la classique méthode des tableaux phytosociologiques, soit de plus en plus maintenant, en faisant appel aux traitements numériques utilisant l'ordinateur, les travaux des uns et des autres ont mis en évidence l'existence de caractéristiques ou de groupes d'espèces (groupes écologiques) liées plus particulièrement à de multiples facteurs édaphiques souvent mal définis : psammophiles, pélophiles, gypsophiles, halophiles, etc.

L'important est donc de préciser, ce que signifie réellement la présence de tel ou tel ensemble d'espèces vis à vis des divers critères édaphiques : texture, teneur en gypse ou éventuellement morphologie des horizons gypseux, salure, etc.

Pour atteindre cet objectif, il est possible d'envisager la méthode suivante :

- dans un premier temps, on définit et on réalise l'inventaire des critères édaphiques susceptibles d'intervenir. Ceci constitue en fait la principale difficulté mais le pédologue est en mesure d'y apporter une contribution efficace.
- dans un second temps, l'application des méthodes précédentes, en particulier les traitements numériques, doit permettre d'établir les liaisons entre les espèces et ces critères pour mettre en évidence l'action des principaux facteurs édaphiques.

Ce travail représente pratiquement une étude préliminaire en vue d'une description plus détaillée de la végétation par les phytosociologues et les phytoécologistes.

+ + + + + +

Les sols des steppes sud-algéroises et algériennes dans leur ensemble restent insuffisamment connus des pédologues. En dehors des études très générales (DURAND, 1953, 1954, 1959) et de la carte pédologique à 1/500.000 de DURAND *et al*, on ne peut citer que des études très localisées de petits périmètres d'épandage de crues (EHRWEIN, 1956), d'aires d'irrigation autour de forages (environs d'Aïn Skhouna) parfois de zones plus vastes (SOGREAH, 1961).

GUERASSIMOV en 1956 écrivait à leur propos que "les paysages typiques du Tell nord-africain se transforment en déserts non en passant par une bande de steppe vraie mais sont remplacés rapidement et brusquement par un avant désert sub-tropical à croûtes de sols particuliers". Il ajoute que ces sols de steppe sont des "croûtes carbonatées privées de profil génétique" avec une faible tendance au gris, par référence aux sols gris sub-désertiques .

DURAND (1954) pour sa part fait débuter la zone saharienne avec l'isohyète 200 mm "où les sols constamment remaniés par le vent ne présentent pas de profil pédologique". Pour les zones semi-arides (P compris entre 200 et 400 mm) il définit essentiellement les sols calciques présentant un seul horizon différencié peu épais, riche en calcaire, saturé en calcium, pH entre 7 et 8, ne contenant pas de sels solubles et à taux de matière organique compris entre 0,3 et 1 %. Cet horizon repose sur un calcaire pulvérulent blanchâtre ou du gypse. Des études plus récentes, dans le Bassin du Hodna (BELLOUAM, 1971; DEKKICHE, 1974; BOYADGIEV, 1975), dans les steppes sud-oranaises (BELLOUAM *et al*, 1974, 1975; BERAUD *et al*, 1975) et évidemment dans les steppes sud-algéroises (POUGET, op.cité), montrent effectivement une très grande extension des sols à croûte calcaire auxquels s'ajoutent d'autres types de sols : siérozems, sols gypseux et halomorphes, etc.

Aucun de ces travaux, à notre avis, ne précise suffisamment le rôle de la végétation actuelle en tant que facteur de pédogénèse;

certains de ces auteurs en arrivant même à mettre en doute la réalité d'un véritable "profil pédologique". En fait des études approfondies et délicates seraient nécessaires pour mettre directement en évidence des processus pédogénétiques.

D'autre part, les paysages et les sols des régions méditerranéennes restent profondément marqués par toute l'histoire des cycles climatiques du Quaternaire; l'héritage du passé est si important qu'il n'en est que plus difficile de saisir les processus actuels de pédogénèse. A toutes ces difficultés, s'ajoute l'aridité du climat qui réduit le degré actuel d'évolution des sols.

Cependant en milieu méditerranéen, depuis le semi-aride jusqu'à l'humide (1), des travaux récents ont montré une évolution actuelle des sols sur roches carbonatées : front de décarbonatation, évolution de la matière organique, individualisation des hydroxydes de fer, etc., (BOTTNER, 1972; LAMOUROUX, 1972; GRAS, 1975). Le rôle de la végétation, actuelle et ancienne, dans la genèse des sols à accumulation calcaire est soulignée par de nombreux auteurs (AUBERT, 1960; BOULAINE, 1961; BEAUDET, 1968; RUELLAN, 1970).

A l'opposé, en milieu hyperaride désertique, le climat devient le principal facteur d'une pédogénèse extrêmement réduite et limitée à des actions mécaniques d'apport et d'ablation. Localement ce sont des actions physico-chimiques concernant les phénomènes de salinisation résultant d'une très forte évaporation (DUTIL, 1971).

Il serait important de connaître comment s'établit la transition entre ces milieux. L'action de la végétation de steppe, sur la matière organique des sols (taux, répartition dans le profil, nature), sur la dynamique du calcaire et des sels solubles, y est-elle comparable à celle observée dans les autres régions steppiques du monde, U.R.S.S. notamment ?.

Si effectivement, comme il y a tout lieu de le penser, la végétation exerce une influence sur le sol on devrait pouvoir mettre en évidence des processus pédogénétiques actuellement en cours. Il est exclus de pouvoir suivre, dans le temps, l'évolution précise des solutions et de l'atmosphère du sol qui montrerait cette dynamique comme DURAND R. (1978) vient de le faire d'une façon remarquable pour une rendzine champenoise.

A défaut de pouvoir cerner directement dans le temps les processus pédogénétiques, l'observation du milieu naturel permet d'enregistrer, dans l'espace, les variations des caractéristiques morphologiques et analytiques des sols (matière organique, calcaire, sels). Ces variations peuvent mettre en évidence l'action de tel ou tel facteur du milieu, à condition que les autres restent sensiblement constants.

Ainsi pour établir le rôle de la végétation, il convient d'observer ces variations morphologiques et analytiques, introduites par différents types de végétation, dans une même zone bioclimatique, sur des sols identiques quant à leur âge, roche-mère, et situation géomorphologique.

---

(1) Nomenclature EMBERGER.

De même, pour établir le rôle du climat, il convient d'observer ces variations morphologiques et analytiques, sous différents bioclimats, pour un même type de végétation, steppe à alfa par exemple, et sur des sols comparables.

Certes, la méthode présente bien des difficultés. Elle nécessite de toute façon une très bonne connaissance du milieu. On entrevoit tout l'apport susceptible d'être fourni par la démarche phytoécologique en particulier dans la connaissance des bioclimats et des types de végétation que l'on est conduit à comparer.

+ + + + + +

Je me propose dans ce mémoire :

- de préciser les caractéristiques du sol et de son environnement immédiat (topographie en particulier) qui exercent une influence déterminante sur la répartition des espèces dans les communautés végétales.
- et de montrer l'influence exercée par la végétation sur les processus actuels de pédogénèse en milieu steppique de plus en plus aride.

PLAN DU MEMOIRE.

Il comprend 5 chapitres :

I - LE CADRE PHYSIQUE. La présentation du milieu steppique sud-algérois fait l'objet du premier chapitre; elle situe plus particulièrement le cadre physique dans lequel évoluent les sols et la végétation. Après une esquisse physiographique , les facteurs essentiels en présence sont étudiés successivement à savoir : climat, géologie et géomorphologie.

II - LES SOLS ET LA VÉGÉTATION. Le second chapitre complète l'étude générale du milieu steppique en présentant les sols et la végétation, sans oublier une composante majeure, de plus en plus déterminante : l'action de l'homme.

La problématique des relations sol-végétation est posée par l'exemple concret d'un relevé arbitrairement choisi; il introduit les deux démarches utilisées : phytoécologique et pédogénétique.

III - LE SOL, FACTEUR ÉDAPHIQUE. Le traitement numérique des données végétation-milieu (fichier de 1210 relevés) constitue l'essentiel du troisième chapitre. La mise en évidence des relations espèces-sol permet de réaliser un inventaire des principaux facteurs édaphiques qui marquent l'influence du sol sur la végétation.

IV - LA VÉGÉTATION, FACTEUR DE PÉDOGÉNÈSE. Le quatrième chapitre, plus pédologique, s'attache à montrer l'influence de la végétation comme facteur de pédogénèse :

- sur la répartition et la nature de la matière organique dans les principaux types de sols.
- sur la morphologie des horizons d'accumulation calcaire et sur la dynamique des sels solubles dans les sols à croûte calcaire.

V - RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Chapitre I

LE CADRE PHYSIQUE

I – LE CADRE PHYSIOGRAPHIQUE

Les steppes sud-algéroises appartiennent à l'ensemble de l'Algérie steppique dont l'extension est limitée au Nord par les Chaînes telliennes et au Sud par les vastes espaces sahariens.

Dans le Sud-algérois, les steppes s'étendent schématiquement de part et d'autre de la RN 1 depuis Ksar el Boukhari jusqu'au delà de Laghouat, soit entre:(fig 1)

- 2° et 4° de longitude Est
- et 36° 30' - 36° et 34° 30' - 34' de latitude Nord

Latéralement, le domaine steppique se continue avec les steppes sud-oranaises à l'Ouest (Chott ech.Chergui) et le Bassin du Hodna à l'Est.

L'image Landsat (planche I) et la figure 2 montrent très clairement les deux principales régions naturelles qui composent les steppes sud-algéroises :

- Hautes plaines au Nord
- Atlas saharien au Sud

LES CHAINES TELLIENNES.

En limite Nord, elles forment une succession de massifs allongés (altitude comprise entre 1000 et 2000 mètres environ) extrêmement complexes de l'Ouarsenis aux Bibans. La bordure méridionale ou "Chaînes sud-telliennes" présente un substratum de marnes miocène sur lequel reposent des massifs de grès associés à des marnes du Crétacé et du Tertiaire (lambeaux d'une vaste nappe de charriage). Ces massifs apparaissent en fait comme des "radeaux"posés sur les marnes (KIEKEN, 1962). Ils forment les "kefs", plis assymétriques, de type monoclinal, allongés Est-Ouest; leur altitude relative reste modeste : ils dominent de moins de 200m les plaines environnantes.

Quoiqu'il en soit les Chaînes telliennes constituent un écran plus ou moins continu vis à vis des influences marines de la Méditerranée.

LES HAUTES PLAINES SUD ALGEROISES

Quelques kilomètres après Ksar el Boukhari, une fois franchis les derniers alignements gréseux marquant, à la fois, la limite méridionale des Chaînes Sud-telliennes et la limite de la céréaliculture, l'horizon se dégage soudainement : le paysage typique des Hautes Plaines et de la steppe apparaît à perte de vue.

Ces immenses étendues sensiblement planes s'abaissent régulièrement de l'Ouest (1000m) vers l'Est (600m) assurant ainsi la transition entre les Hauts-Plateaux Sud-oranais (1200m) et le Bassin du Hodna (400m).

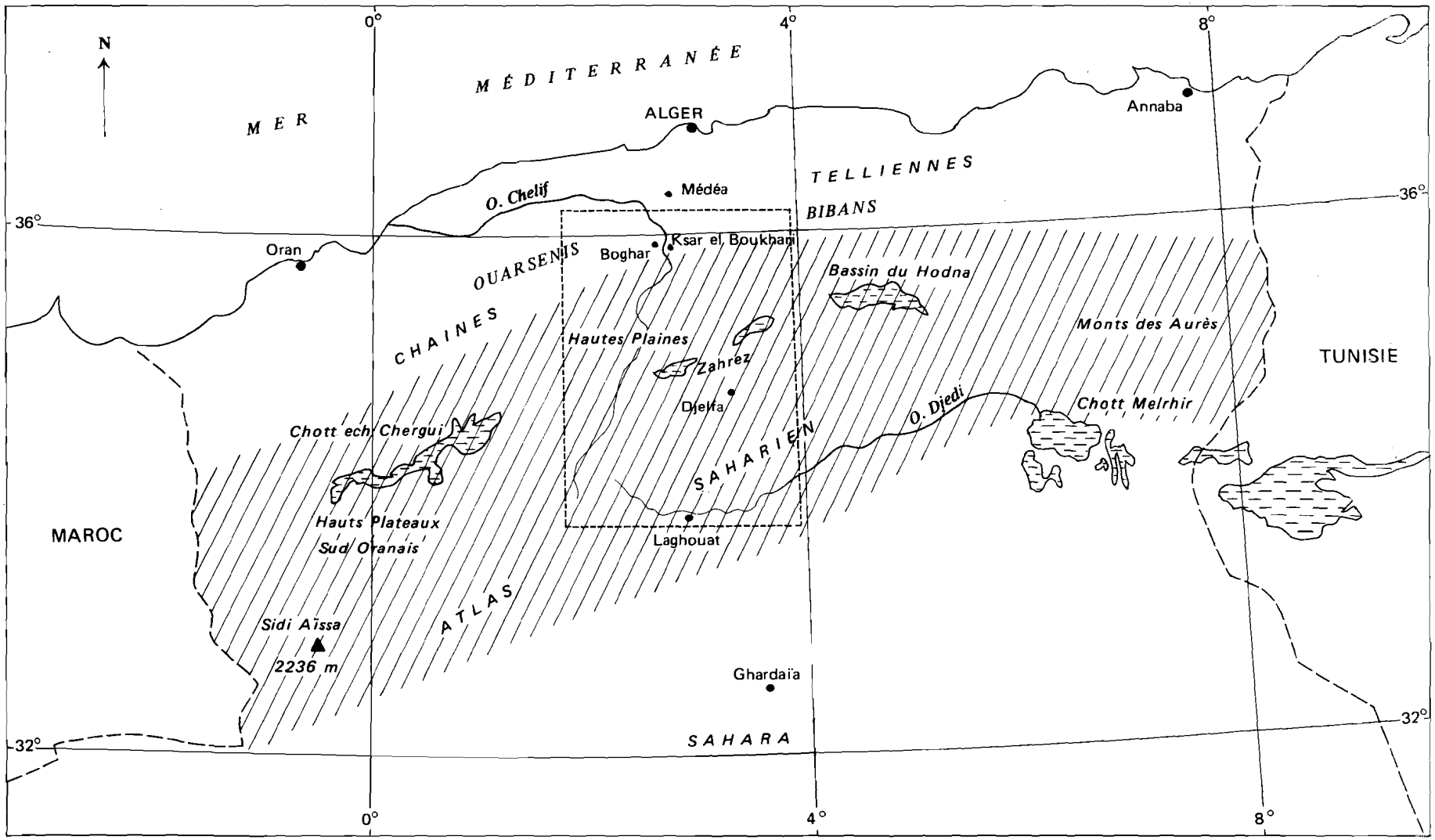
En réalité, les Hautes Plaines sud-algéroises occupent l'emplacement d'un domaine plissé établissant la jonction des Chaînes du Tell à l'Atlas saharien. C'est la raison pour laquelle une série de bombements et plis longitudinaux allongés SO-NE (Djebel Nador, Djebel Bou Hammad, Seba Rous, etc.) viennent rompre la monotonie du paysage bien avant les premiers reliefs de l'Atlas saharien qui, remontant peu à peu vers le Nord-Est, réduit la largeur des Hautes-Plaines. Ces alignements de reliefs, dont l'altitude relative n'excède pas quelques centaines de mètres au maximum, individualisent des ensembles de plaines souvent amplement vallonnées et associées à de vastes dépressions.

Le Bassin des Zahrez, souligné par un remarquable cordon dunaire, illustre la plus typique de ces dépressions le long de la bordure septentrionale de l'Atlas saharien. En s'intercalant entre le Chott ech Chergui à l'Ouest et le Chott el Hodna à l'Est, elle s'inscrit dans le système des grands chotts des Hauts-Plateaux algériens.

Le réseau hydrographique de faible vitalité s'organise en système endoréique. En fait, les Hautes Plaines sont drainées en grande partie par l'oued Touil qui les traverse, non sans difficultés; prenant naissance dans le Djebel Amour près d'Aflou, il arrive à franchir les chaînes telliennes pour devenir l'oued Chélif.

L'ATLAS SAHARIEN

Seconde chaîne atlasique méridionale de l'Algérie, l'Atlas saharien marque la fin des structures géologiques du domaine tellien et assure la transition avec les structures beaucoup plus simples et calmes du domaine saharien.



Échelle : 1/5 000 000

0 100 200 Km

//// L'Algérie steppique

Les steppes sud-algéroises (cf. Planche I et fig. 1)

Figure 1 Carte de situation

Planche I

LES STEPPES SUD-ALGÉROISES :

Vue d'ensemble prise par le satellite LANDSAT (nov. 1972). Échelle à 1/1 000 000 environ (d'après assemblage de 4 scènes dans le canal 7).

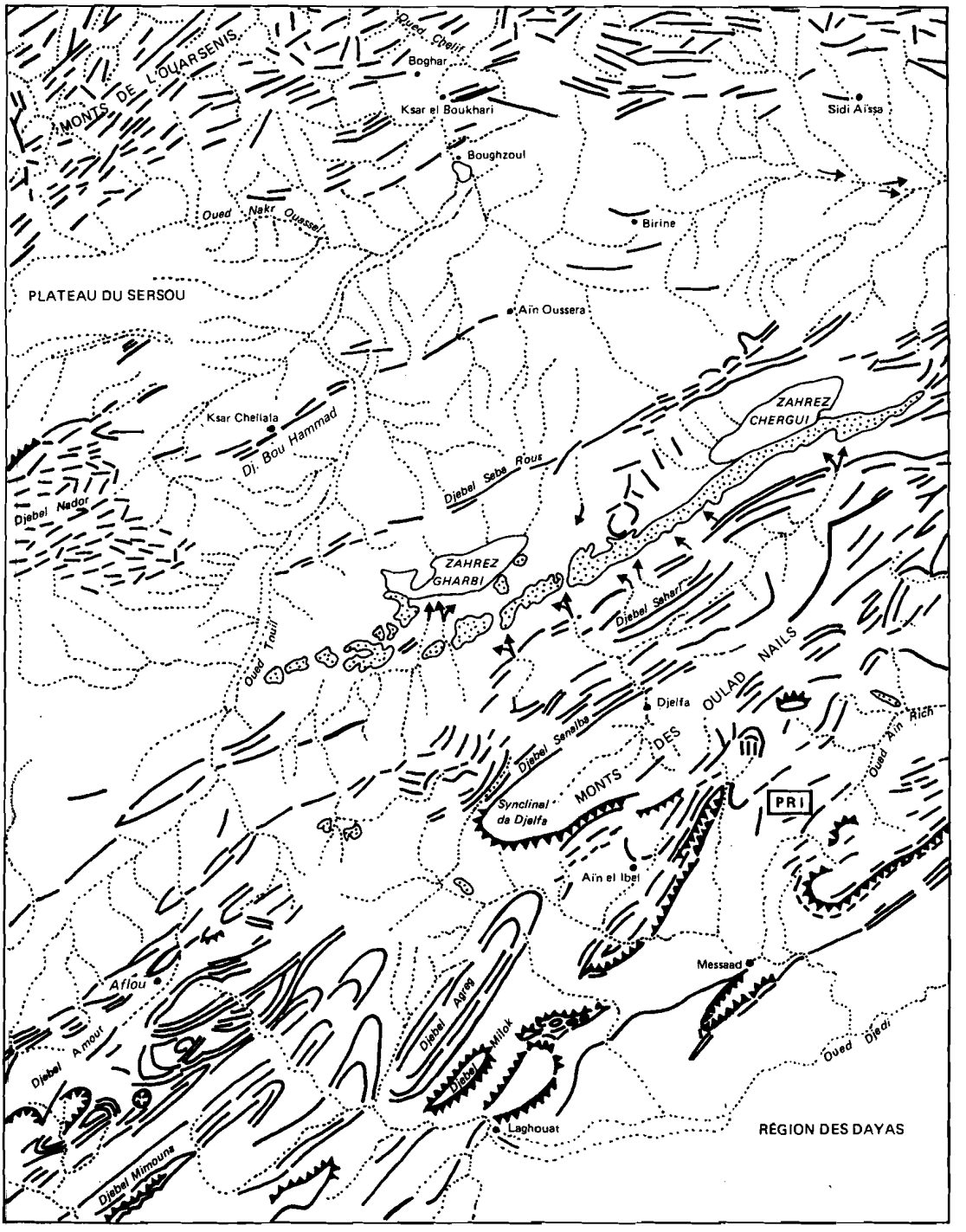


Figure 2 - Les steppes sud-algéroises : principales unités physiographiques et hydrographiques (d'après cliché LANDSAT et cartes topographiques)

"L'aspect montagneux est dû essentiellement à des mouvements à grand rayon de courbure post-miocène qui ont soulevé des faisceaux de formes structurales au-dessus des Hauts-Plateaux et du Sahara. (BIROT,1970). Il en résulte deux traits caractéristiques :

- l'Atlas saharien est toujours plus élevé (de 1800 à 1000 m environ) que les Hautes Plaines sud-algéroises avec le même gradient d'abaissement général du relief vers l'Est.

- les éléments du relief sont composés par un ensemble de formes structurales plissées plus ou moins parallèles entre elles et étirées dans la direction SO-NE. Très largement "aérées" et séparées les unes des autres par de vastes dépressions prenant l'allure de plaines(cf cliché Landsat) elles ne rappellent en rien un important massif monolithique comme les Aurès. Et ceci d'autant plus que l'altitude relative des éléments structuraux ne dépasse pas non plus quelques centaines de mètres au maximum. Par contre, dans sa partie occidentale(Sud-oranais) l'Atlas saharien apparaît sous forme de massifs toujours allongés SO-NE mais nettement plus importants et élevés, tel le Djebel Sidi Aïssa, point culminant de l'Atlas avec 2236 mètres.

Le cliché Landsat montre clairement le style jurassien typique des formes structurales en relation avec l'alternance de roches dures et de roches tendres dégagées par l'érosion : crêts, combes, anticlinaux, synclinaux perchés, etc.

Le réseau hydrographique, bien individualisé, se partage entre le piedmont Nord (oued Touil, Bassin des Zahrez) et le piedmont Sud dont la quasi totalité est drainée par une série d'oueds affluents de l'oued Djedi qui, longeant la bordure sud-atlasique, va déverser ses eaux de crue au Sud de Biskra dans le Chott Melrhir.(fig 1).

LE DOMAINE SAHARIEN

En l'absence de tout relief important la topographie générale, sensiblement plane, reste d'une grande monotonie. L'altitude s'abaisse plus ou moins régulièrement vers l'Est, de 900 à moins de 100 mètres dans la dépression de l'oued Rhir et vers le Sud en direction de Ghardaïa.

II – LE CADRE CLIMATOLOGIQUE

Comme l'Algérie tellienne, les steppes sud-algéroises se caractérisent par un climat de type méditerranéen contrasté avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse, fraîche sinon froide.Il s'agit cependant d'une forme particulière de ce climat:

- les précipitations, plus faibles, présentent une grande variabilité intermensuelle et interannuelle.
- les régimes thermiques, relativement homogènes sont très contrastés de type continental.

Du Nord au Sud, le climat méditerranéen se dégrade en effet peu à peu dans le sens d'une aridité croissante, passant des régions subhumides et semi-arides du Tell aux vastes espaces désertiques sahariens. Diminution et irrégularité accrue de la pluviosité, augmentation des températures et de la longueur des périodes de sècheresse estivale rendent encore plus difficiles les conditions de vie, et de survie, des plantes avec un bilan hydrique devenant de plus en plus déficitaire.

Depuis le remarquable travail de SELTZER(I946), sur le climat de l'Algérie, plusieurs études et cartes climatiques ont été réalisées: GAUSSEN et BAGNOULS (1958), CHAUMONT et PAQUIN (1968) et pour le Sahara, DUBIEF (I959, 1963).

Dans une publication en cours d'édition, nous avons effectué, avec J.CLAUDIN et H.N. LE HOUEROU, une étude et une carte bioclimatique pour l'ensemble de l'Algérie steppique à l'échelle du 1/1 000 000 (CLAUDIN et *al*, 1979). C'est la raison pour laquelle je m'attacherai ici à en reprendre simplement les principales données climatologiques concernant les steppes sud-algéroises. J'insisterai par contre davantage sur le gradient d'aridité et les différents bioclimats.

A - DONNEES CLIMATOLOGIQUES (SELTZER, 1946).

Malgré une très faible densité du réseau météorologique, il est possible d'illustrer schématiquement les principales caractéristiques climatiques des steppes sud-algéroises en prenant trois stations de référence et d'aridité croissante : Djelfa, Ksar Chellala, Laghouat. En y ajoutant deux stations des régions telliennes plus humides (Médéa et Boghar), et une station saharienne(Ghardaïa), on illustre ainsi un

transect bioclimatique Nord-Sud dont la pluviosité annuelle moyenne passe de 800 mm à moins de 100 mm.

1 - PLUVIOSITE

a - Pluviosité annuelle moyenne.

Le tableau 1 indique les valeurs de la pluviosité annuelle moyenne P, comprise entre 400 et 100 mm pour les stations des régions steppiques.

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année Pmm
Medea	119	94	85	55	61	26	2	5	27	70	113	143	800
Boghar	57	46	39	29	39	21	5	9	22	34	49	58	408
Djelfa	34	28	29	21	35	22	6	10	31	23	34	35	308
Ksar Chellala(I)	33	24	27	30	36	21	5	8	21	22	33	31	291
Laghouat	12	12	16	12	19	12	5	7	23	17	18	14	167
Ghardaïa	9	4	7	4	5	4	1	2	5	7	13	7	68

Tableau 1 - Pluviosités moyennes mensuelles et annuelles (en mm).

Certes, la notion de moyenne en domaine méditerranéen aride paraît bien aléatoire, les moyennes n'étant que très rarement enregistrées. Les années sèches, et même très sèches, succèdent à des années pluvieuses selon un rythme de plus en plus irrégulier au fur et à mesure que la valeur de P.diminue. L'augmentation de la variabilité interannuelle accentue l'aridité du climat avec des années sèches de plus en plus nombreuses et longues (LE HOUEROU,1969).

La relation directement proportionnelle entre le nombre de jours de pluie et la pluviosité annuelle, mise en évidence par LE HOUEROU et HOSTE(1977) à l'échelle de l'Afrique du Nord, ne se vérifie pas exactement à l'échelle des steppes sud-algéroises (tableau 2.)

(I) Les données de Ksar Chellala seront complétées par la station voisine d'Aïn Oussera (P = 250 mm).

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Medea	13	11	12	8	8	5	1	1	5	9	12	12	97
Boghar	10	10	10	8	8	5	2	3	6	5	9	10	86
Djelfa	7	6	7	5	6	5	2	3	5	5	6	6	63
Ksar Chellala	9	8	9	8	8	5	3	4	9	8	9	10	90
Laghouat	3	3	3	3	4	2	2	2	4	3	4	3	36
Ghardaïa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	15

Tableau 2 - Nombre de jours de pluies(moyennes mensuelles et annuelles)

Ces mêmes auteurs ont montré, toujours sur l'ensemble des stations nord-africaines, que lorsque P diminue, l'E.T.P.(calculée par la formule de TURC) et la longueur de la saison sèche augmentent. La pluviosité annuelle moyenne est donc une donnée fondamentale à prendre en compte: la quantité d'eau reçue annuellement restant un facteur essentiel pour la vie végétale en zone aride. Pour les sols, les valeurs maximums de P ont une grande importance. Elles accentuent les processus d'érosion hydrique (érosion linéaire) et favorisent les migrations des éléments les plus solubles (sels, gypse, calcaire).

b - Origine des pluies.

Elle est double et l'on distingue :

- d'une part, les pluies dues aux vents pluvieux de secteurs Ouest et Nord-Ouest qui abordent le Maghreb par le littoral durant la saison froide (SELTZER, op.cité). Leur influence diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer: l'Atlas saharien en bénéficie cependant davantage que les Hautes Plaines en raison de son altitude plus élevée.
- d'autre part, les précipitations orageuses dues aux perturbations atmosphériques engendrées par les dépressions en provenance des régions sahariennes (DUBIEF,op.cité) surtout à la fin du printemps et même en période estivale dans l'Atlas saharien notamment (cf.pluviosité mensuelle de Djelfa).

c - Principaux facteurs de variations de P.

Le gradient de pluviosité croissante d'Ouest en Est,classique pour l'ensemble de l'Algérie, ne peut s'appliquer dans le cadre plus restreint des seules steppes sud-algéroises.Par contre, le gradient Nord-Sud de pluviosité décroissante apparaît plus nettement, modifié cependant par l'influence orographique de l'Atlas saharien (fig.6).

Le gradient altitudinal devient un facteur substantiel et appréciable. Dans le Bassin du Hodna, LUCIDO (in CLAUDIN et *al*, 1975) étudiant ce gradient de P en fonction de l'altitude note des valeurs allant de 20 à 40 mm/100m et parfois plus. BALDY (1965) trouve un gradient de 20 mm/100 m en moyenne pour la Tunisie centrale; LE HOUEROU (1959) indique 25 mm/100 pour la Tunisie du Sud et CELLES (1975), 10 mm/100 m pour les confins saharo-constantinois. Dans l'Atlas saharien, la valeur moyenne serait de l'ordre de 20 à 30 mm/100 m, avec P compris entre 300 et 400 mm. En fait, il semble bien que l'influence de l'altitude varie en fonction de P comme le souligne très justement DUBIEF : le gradient altitudinal est d'autant plus faible que la pluviosité annuelle diminue.

L'exposition entre en jeu, augmentant de 10 à 20% les hauteurs des précipitations sur les versants exposés à la pluie (Ouest- Nord-Ouest ou Nord) par rapport aux versants situés en ombre pluviale.

Enfin, il ne semble pas y avoir d'évolution particulière de P en fonction du temps, au moins depuis les premières observations météorologiques au début de ce siècle (LE HOUEROU, 1969). On enregistre de grandes périodes de quelques dizaines d'années anormalement pluvieuses ou sèches et surtout un rythme, certes très irrégulier, portant sur 5 - 6 ans : 1 à 2 années sèches, 1 à 2 années humides et le reste en années "moyennes".

d - Pluviosités mensuelles moyennes.

Le tableau 2 précise le régime saisonnier marqué par la prédominance des pluies d'automne, de début d'hiver et de printemps avec un minimum assez sensible en Février. Durant la saison estivale chaude et sèche, une certaine quantité d'eau est apportée par les orages(Atlas saharien).

A l'image de la pluviosité annuelle, la variabilité mensuelle n'est pas moins grande: les mois météorologiquement les plus favorables, quant à leur moyenne, peuvent être parfaitement secs, et cela, durant plusieurs années consécutives. Ainsi pour la station de Djelfa, la pluviosité parfois nulle en Mai, dépasse, certaines années, 100 mm pour une moyenne mensuelle d'environ 35 mm.

Pour la végétation, l'efficacité des pluies hivernales se trouve limitée par le froid, surtout en altitude ou l'activité végétale est très ralentie, sinon arrêtée, pendant une période plus ou moins longue (dormance hivernale, cf infra).

e - Régimes journaliers des pluies : averses.

Outre le régime annuel et saisonnier qui conserve, malgré son irrégularité, un certain rythme permettant le développement des plantes en dehors des deux périodes estivales et hivernales, il importe de considérer avec attention le régime journalier : intensité et durée des averses. Si, comme le souligne DUBIEF, les pluies sahariennes sont rarement intenses, à Biskra l'intensité des pluies ne dépasse que très peu souvent 5 mm/heure , il n'en est pas de même en zones steppiques et telliennes avec des pluviosités annuelles plus importantes. Ainsi le tableau 3 montre une augmentation du nombre des "pluies torrentielles" (I) avec les valeurs croissantes de P.

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	en m m			Total
													30-50	50-70	70-100	Année
Djelfa	2	1	0	2	5	1	0	1	2	3	1	5	20	3	—	23
Aïn Oussera	0	0	0	3	6	1	0	1	1	3	1	4	19	—	1	20
Laghouat	1	2	1	1	1	1	0	0	3	2	1	2	15	—	—	15
Ghardaïa	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	6	—	--	6

Tableau 3 - Nombre de "pluies torrentielles" observées de 1913 à 1938

Une telle fréquence des averses n'est pas sans effet sur les phénomènes de ruissellement et d'érosion.

L'intensité de la pluie n'apparaît pas sur ce tableau. Or, elle constitue un des principaux facteurs de l'action des averses sur ces phénomènes : destruction de la structure en surface (battance) et saturation momentanée des premiers centimètres du sol. Comme le soulignent FOURNIER (1969) et surtout ROOSE (1977), l'intensité maximale devient très importante à considérer pour les sols nus ou peu couverts; en effet, la conjonction des deux phénomènes de battance et d'engorgement entraîne alors un abaissement du seuil de déclenchement du ruissellement et la destruction très rapide de la structure en surface. Dans le Sud-tunisien, (P ≠ 160mm) BOURGES *et al* (1977) ont mesuré des intensités maximales allant jusqu'à 144 mm/heure (intensités calculées sur un pas de temps de 5 minutes); sur un sol alluvial de texture moyenne à fine (pente voisine de 1%) ils ont encore observé une précipitation limite de ruissellement voisine de 8 mm après 5 à 6 jours sans pluie. Dans le Hodna, DESPOIS (1963) constate un ruissellement diffus qui commence avec une pluie de 5 mm sur un terrain accidenté.

(I) pour SELTZER, les pluies torrentielles sont des pluies qui donnent une tranche d'eau de 30 mm, ou plus, en 24 heures.

Enfin, la pluie ni trop abondante, ni trop intense, peut être trop faible (quelques millimètres) et s'évaporer rapidement sans avoir été utilisée par les plantes.

f- Phénomènes secondaires. (tableau 4)

- Neige: dans l'Atlas saharien la durée d'enneigement est de l'ordre de 5 à 10 jours par an, nettement moins dans les Hautes Plaines sud-algéroises contrairement aux Hauts Plateaux sud-oranais beaucoup plus froids.

- Orages: surtout dans l'Atlas saharien pendant la saison chaude (90% des orages entre Mai et Septembre à Djelfa).

- Grêle : quelques jours par an en moyenne, donc assez négligeable d'autant que les grêlons, de taille réduite, n'occasionnent pas de dégâts sérieux aux cultures.

Nb.moyen de jours/an Stations	Neige où il a neigé	Neige Enneigement	Orages	Grêle	Gelées blanches	Brouillard
Medea	14,1	18.1	*	*	13,4	*
Boghar	*	*	18,1	6,2	15,2	*
Djelfa	8,3	7,9	15,8	2,9	31,2	6,0
Aïn Oussera	*	*	28,9	0,3	66,2	5,9
Laghouat	*	*	7,9	1,1	3,2	0,5
Ghardaïa	*	*	2,5	0,2	0,4	0,3

Tableau 4
Phénomènes secondaires.
*Pas d'observation

2 - TEMPERATURES

a - Température annuelle moyenne : T en ° C (tableau 5)

Globalement les steppes sud-algéroises sont comprises entre les isothermes 13 et 17°C de température annuelle moyenne; l'Atlas saharien étant plus froid (13 à 14°C), les régions sahariennes nettement plus chaudes (T > 20° C). Pour la végétation, plus importantes sont les températures extrêmes, particulièrement les températures moyennes hivernales dont la rigueur caractérise ce type de climat continental très contrasté à étés chauds.

Les deux facteurs essentiels à considérer pour la croissance et le développement végétal se rapportent :

- à l'intensité et à la durée du froid hivernal (dormance hivernale),
- à la sècheresse estivale, d'autant plus longue et chaude que la pluviosité moyenne annuelle est faible (dormance estivale).

Stations	T
Médéa	14,5
Boghar	15,1
Djelfa	13,4
Ksar Chellala	16,2
Laghouat	17,3
Ghardaïa	21,8

Tableau 5

Températures annuelles moyennes T° C

b - Moyenne des minimums du mois le plus froid: m en ° C.(tableau 6).

Depuis longtemps EMBERGER a montré l'importance de m. Cette donnée représente les conditions thermiques limites survenant régulièrement pour le froid hivernal. On peut la relier au nombre de jours de gel sous abri et par an. Dans les steppes sud-algéroises, les valeurs de m restent relativement basses, entre - 1°C et + 3°C

	m												
Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Médéa	3,2	2,7	5,2	6,9	9,4	13,7	17,0	17,0	14,6	9,8	7,3	3,2	9,2
Boghar	2,1	3,1	5,5	8,0	11,6	15,6	19,6	20,1	15,5	10,7	5,8	3,0	10,1
Djelfa	-0,8	-0,1	2,1	4,1	7,8	12,1	15,1	15,0	12,1	7,2	3,5	-0,1	6,5
Ksar Chellala	1,6	2,3	4,3	6,4	10,2	14,2	17,6	18,1	15,8	9,9	5,5	2,4	9,0
Laghouat	2,3	3,6	6,5	9,4	13,2	18,1	21,2	20,4	16,8	11,6	5,9	3,1	11,0
Ghardaïa	4,6	6,3	8,8	12,8	16,6	21,9	25,2	24,4	21,1	14,2	8,7	4,9	14,1

Tableau 6 - Moyennes mensuelles des minimums en ° C : m correspond à la moyenne de Janvier (sauf pour la station de Médéa).

Les variations de m se font en fonction de l'altitude : gradient moyen de 0,5°C/100m (0,4°C pour SELTZER; 0,5°C pour BALDY, 1965). La situation locale intervient: bas-fonds plus gélifs, ceintures chaudes des piedmonts en exposition Sud, etc..

On considère, pour la végétation, une dormance hivernale:

- de quatre mois lorsque les valeurs de m sont comprises entre -2°C et + 1°C, soit de Décembre à Mars.
- de trois mois pour m compris entre + 1°C et + 3°C (Décembre à Février).

Ces estimations, valables pour le Bassin du Hodna (CLAUDIN *et al*, 1975), s'appliquent en partie dans les steppes sud-algéroises. Une modulation intervient vraisemblablement en tenant compte de M', moyenne des maximums du mois le plus froid (cf infra).

c- Moyennes des maximums du mois le plus chaud: M en ° C.(tableau 7)

Pour toutes les stations, M dépasse 30° C en Juillet. Cette valeur montre l'importance de la chaleur estivale, atténuée par l'altitude dans l'Atlas saharien.

	M'						M						
Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Q	N	D	Année
Médéa	10,3	10,7	14,3	17,7	21,4	27,1	32,2	31,8	27,0	21,1	14,1	9,7	19,8
Boghar	9,2	11,0	14,2	18,1	22,4	27,3	33,0	32,5	27,4	21,3	14,9	9,4	20,1
Djelfa	9,3	11,0	14,3	18,7	23,4	28,5	33,5	32,9	27,5	20,1	13,8	9,8	20,2
Ksar Chellala	12,2	14,2	17,6	21,6	26,6	31,7	36,7	36,7	30,8	23,4	16,6	12,4	23,4
Laghouat	12,5	15,1	18,4	22,8	26,2	31,8	36,0	35,2	30,0	24,0	16,9	13,0	23,5
Ghardaïa	16,5	19,2	22,9	28,6	32,8	38,2	42,6	41,5	35,2	27,8	20,7	17,2	28,6

Tableau 7 - Moyennes mensuelles des maximums en ° C : M pour Juillet et M' pour Janvier.

d - Amplitude annuelle moyenne : M - m en ° C .

Toujours supérieure à 30° C, elle exprime le caractère continental du climat. Il paraît plus intéressant de souligner sa valeur sensiblement constante, entre 33 et 35° C, pour les stations steppiques algériennes. Il n'est donc pas surprenant de constater que, pour ces régions, le Quotient Q_2 d'EMBERGER reste pratiquement égal à P/10(STEWART,1968)

e - Moyenne des maximums du mois le plus froid : M' en ° C.

Le tableau 7 indique les différentes valeurs de M' : de 9° C environ à Djelfa à plus de 16° C à Ghardaïa. En Tunisie, plusieurs auteurs (BORTOLI *et al*, 1969; LE HOUEROU, 1969) ont noté l'importance de M' qui intervient :

- soit dans l'expression de l'amplitude thermique de Janvier (M'-m)
- soit dans la définition d'une sous-variante d'altitude (M' $\leq$ 10 ° C).

En Algérie, l'étude de la végétation dans les zones steppiques nous a conduit à tenir compte de M' (CLAUDIN *et al*,1979). On met d'ailleurs en évidence une bonne corrélation entre cette valeur M' et ETP de Janvier, calculée par la formule de TURC . L'augmentation de M' correspondrait à une nébulosité faible permettant le réchauffement de l'atmosphère pendant les journées d'hiver et à fortiori de printemps. Le départ de la végétation, effectivement plus précoce, la durée de la dormance hivernale diminue (piedmont Sud de l'Atlas saharien).

f - Température du sol.

La surface du sol, mal protégée par un couvert végétal d'autant plus lâche que l'aridité augmente, se trouve largement soumise aux grandes variations de températures saisonnières et surtout nycthémérales. Malgré l'absence de mesures dans les steppes sud-algéroises, les données bibliographiques, relatives surtout à la Tunisie (QUEZEL, 1951; BOURGES *et al*, op.cité) permettent de préciser les points suivants:

- en surface, le sol peut atteindre pendant la journée des températures extrêmement élevées. MONOD(1973) a mesuré des maximums absolus dépassant 70° C dans les zones désertiques de l'Adrar de Mauritanie, les minimums absolus atteignant - 15 à - 20° C. Il est probable que dans les steppes, de telles températures ne soient guère possibles, les températures extrêmes de l'air étant différentes. Cependant, il n'est pas aberrant d'envisager des valeurs de l'ordre de 50 à 60° C certaines journées d'été particulièrement chaudes.
- en profondeur, sous les 10-20 premiers centimètres, les amplitudes thermiques journalières se trouvent considérablement tamponnées. En effet, "l'amplitude des oscillations thermiques décroît en progression géométrique quand la profondeur croît en progression arithmétique" (DEMOLON, 1952). BOURGES *et al*(op.cité), par une série de mesures dans le Sud-tunisien (P ≠ 160 mm et T ≠ 19° C), ont constaté effectivement qu'à l'échelle de la journée, et en se basant sur les moyennes annuelles (fig.3), la courbe de variation de la température du sol s'amortit assez rapidement avec la profondeur en raison de la mauvaise conductibilité thermique du sol. L'amplitude diurne moyenne annuelle est de :

16° C à une profondeur de 10 cm,

6,5° C à une profondeur de 20 cm,

2,4° C à une profondeur de 30 cm,

0,5° C seulement à 60 cm de profondeur.

En outre, si pendant l'été les horizons de surface restent plus chauds que ceux de profondeur, le gradient thermique s'inverse pendant l'hiver.

En définitive, avec une aridité croissante, les horizons de surface seront d'autant plus soumis aux fluctuations thermiques qu'ils sont mal protégés par la végétation (augmentation du rayonnement), plus secs (chaleur spécifique élevée de l'eau) et aussi plus sableux. Ceci a pour conséquence d'accentuer les difficultés pour la vie végétale surtout la germination des graines et le développement des plantules. Ces fluctuations thermiques jouent un rôle important sur l'évolution de la matière organique particulièrement dans les horizons de surface(cf chapitre IV).

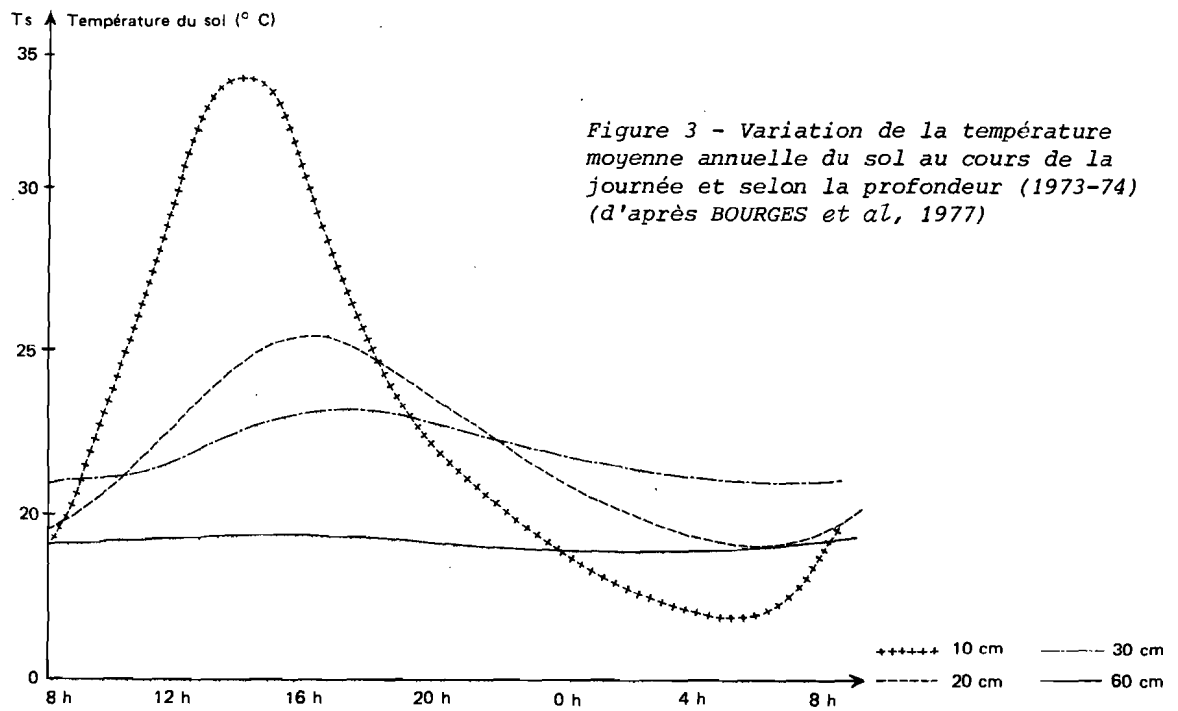


Figure 3 - Variation de la température moyenne annuelle du sol au cours de la journée et selon la profondeur (1973-74) (d'après BOURGES et al, 1977)

3 - DONNEES COMPLEMENTAIRES.

a - Le vent.

Pour celui qui connaît un tant soit peu la steppe et tout naturellement pour le pasteur qui y vit constamment, le vent est le compagnon quasi journalier .Tour à tour agréable et bienfaisant pour supporter les fortes chaleurs de l'été ou apporter la pluie tant attendue, il se montre aussi suffocant (sirocco) ou glacial, voire aveuglant(sable).

En hiver, la fréquence des vents dominants se regroupe dans les directions O - NO. Ils entraînent les nuages ayant franchi les Chaînes telliennes et apportent la pluie sur les Hautes Plaines et surtout sur les reliefs de l'Atlas saharien.

Les vents du Nord sont généralement secs alors que les vents du Sud amènent les pluies orageuses et le sirocco.

Dans le Bassin des Zahrez, l'orientation des "flèches" des nebkas matérialise les deux directions privilégiées des vents de sable, NO-SE et SO-NE .

b - Humidité relative.

L'humidité relative moyenne annuelle est de 56% à Djelfa. De Mai à Août, elle reste inférieure à 50% et souligne une double influence de la sècheresse estivale et de la continentalité; par temps de sirocco, elle descend à moins de 20%.

c - Evapotranspiration potentielle ETP.

En l'absence de mesures directes, seul le calcul permet une estimation. La formule de TURC, appliquée à la station de Djelfa, fournit les résultats suivants : (tableau 8).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ETP calculée en mm	26	40	64	100	133	172	221	197	122	80	46	27	1228
ETP - P. en mm.	- 3	15	40	77	106	155	215	187	91	59	19	- 1	960

Tableau 8 - Station de Djelfa :Valeurs moyennes mensuelles et annuelles de l'ETP (TURC) et déficit ETP-P.

Le déficit annuel apparaît très important. Seuls les deux mois les plus froids de l'année, Janvier et Décembre, permettent un bilan hydrique théoriquement satisfaisant. En réalité, ces valeurs moyennes sont peu significatives pour la végétation .Elles soulignent simplement les difficultés rencontrées par la vie végétale et la nécessité qu'elle a de devoir s'adapter à un milieu peu favorable.

Le calcul de l'ETP par la méthode de THORNTHWAITE donne des valeurs moins élevées, aussi bien en Tunisie (LE HOUEROU, 1969) que dans le Bassin du Hodna (BELLOUAM, 1971); ainsi pour la station de Sidi Aïssa (P=309 mm et T = 16,60°C) et pour une capacité de rétention d'eau dans le sol supposée de 150 mm, l'ETP annuelle calculée n'est que de 900,1 mm; elle est de 1284 mm pour l'ETP TURC.

B - LES BIOCLIMATS

1 - INDICES CLIMATIQUES ET CLASSIFICATION DES BIOCLIMATS.

Depuis fort longtemps de nombreux auteurs se sont sont préoccupés de synthétiser les données climatiques en recherchant une classification des types de climats qui puisse rendre compte au mieux du comportement de la végétation, particulièrement dans les zones arides; le problème étant de"mettre en évidence les zones homoclimatiques où les conditions climatiques de la croissance et de la production végétale soient sensiblement identiques",

(LE HOUEROU, 1975). Les nombreuses classifications proposées se basent le plus souvent sur le calcul d'un indice climatique tenant compte de la pluviosité, des températures, de l'ETP, etc.

A titre de référence, le tableau 9 indique, pour les 6 stations retenues, la valeur de trois indices climatiques très classiques :

- A a = Indice annuel d'aridité de DE MARTONNE.

$$A\ a = \frac{P}{T + 10}$$

P = Pluviosité annuelle moyenne

T = Température annuelle moyenne

- I x = Indice xérothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1957).

En fait, cet indice complète les diagrammes ombrothermiques (fig.4) qui montrent l'importance de la période sèche; un mois est considéré comme "sec" si la pluviosité P mm est égale ou inférieure au double de la température T ° C ($P \leqslant 2\ T$).

L'indice Ix, tenant compte de l'humidité atmosphérique, module la durée de la saison sèche en donnant le nombre de jours "biologiquement secs" au cours de la période sèche.

Stations	A a DE MARTONNE	Ix de BAGNOULS et GAUSSEN	Q 2 EMBERGER
Medea	28	100	94,6
Boghar	14	105	45,2
Djelfa	12	125	30,8
Ksar Chellala	9	120	28,4
Laghouat	5	270	16,9
Ghardaïa	2	350	6,1

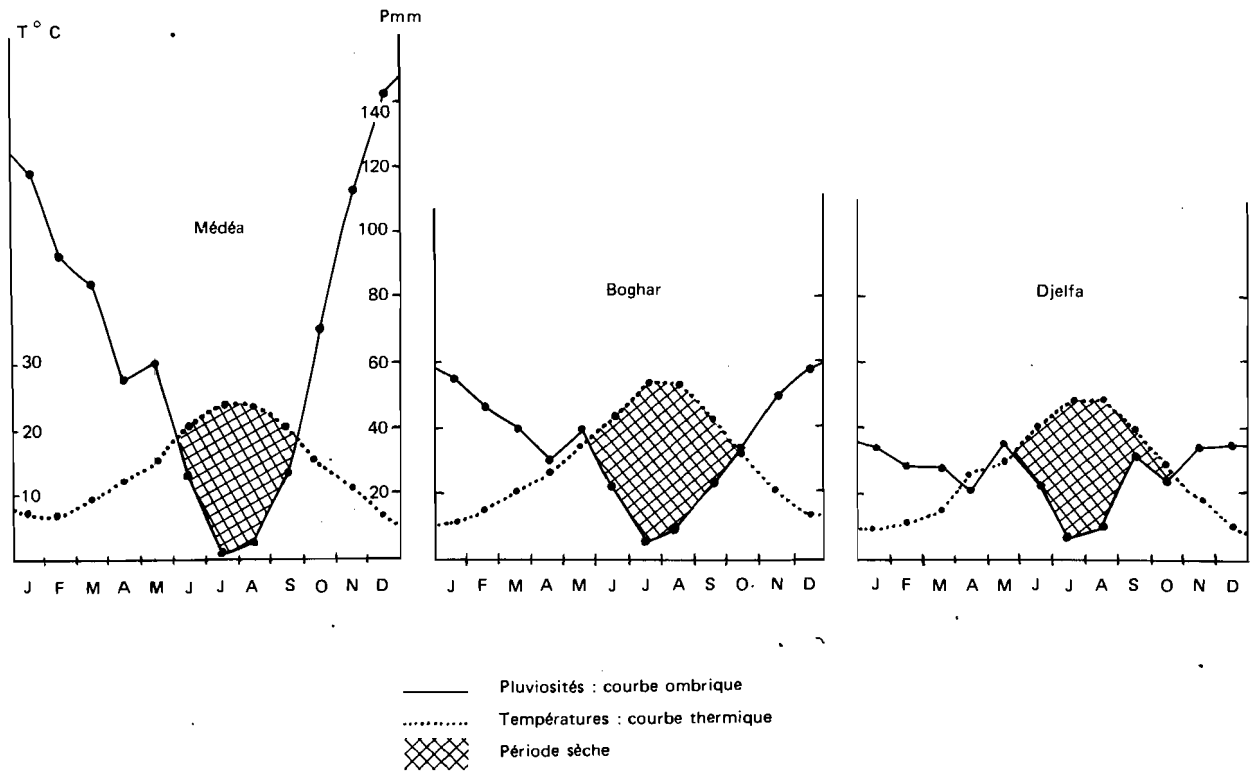
Tableau 9 - Valeurs des principaux indices climatiques

- Q_2 = Quotient pluviométrique d'EMBERGER (1955)

$$Q_2 = \frac{2000\ P}{M^2 - m^2}$$

P est exprimé en mm; M et m en degrés KELVIN.

Les valeurs de Q_2 sont reportées sur un climagramme pluviothermique avec : m en abscisse et Q_2 en ordonnée. Sur ce graphique, EMBERGER trace les limites des différents étages bioclimatiques tels que l'indique l'étude de la végétation. L'usage a très largement consacré cette caractérisation des bioclimats méditerranéens comme le montre la récente et très intéressante mise au point de DAGET(1977).



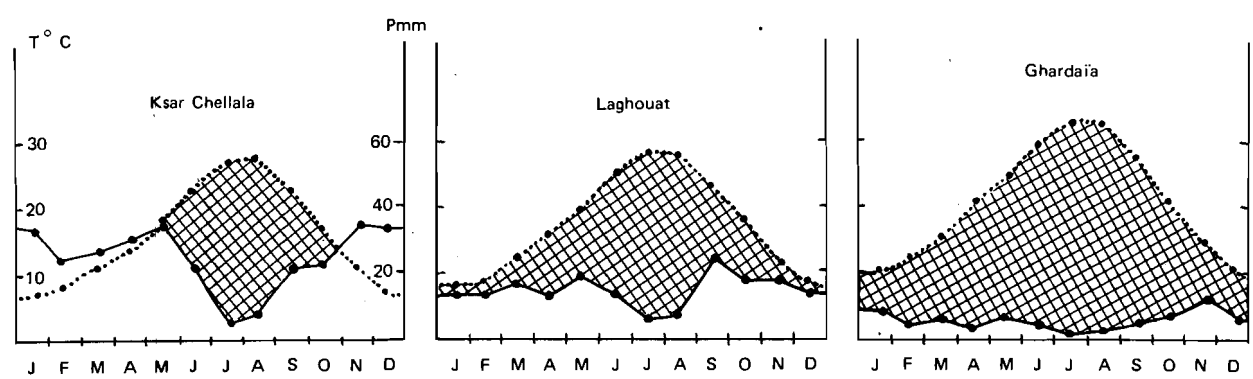


Figure 4 - Diagrammes ombrothermiques

Cependant, à la suite de LE HOUEROU(1969) et compte-tenu des observations et études de végétation réalisées dans les steppes algériennes (CLAUDIN *et al* ,1979) j'utiliserai pour définir les bioclimats, non plus l'indice Q_2 (I) mais les critères climatiques simples tels que :P,m et M'.

- Les étages bioclimatiques sont caractérisés par les valeurs de P.(tableau 10)

ETAGES BIOCLIMATIQUES		P mm
Subhumide	SH	800-600
Semi-aride	SA	600-400
Aride (supérieur	AS	400-300
)moyen	AM	300-200
(inférieur	AI	200-100
Saharien	Sah.	< 100

Tableau 10 - Les étages bioclimatiques.

- Les variantes et sous-variantes thermiques sont distinguées, respectivement, par les valeurs de m et de M'(tableau 11).

VARIANTES THERMIQUES	m en ° C	SOUS-VARIANTES THERMIQUES	M' en ° C
Hivers froids	- 2 à 1	Température diurne basse	<10
Hivers frais	1 à 3	température diurne moyenne	10 à 12
Hivers tempérés	3 à 5	Température diurne élevée	12 à 15
Hivers doux	5 à 7	Température diurne très élevée	> 15

Tableau 11 - Les variantes et sous-variantes thermiques.

Il est possible de construire un diagramme pluvio-thermique analogue à celui d'EMBERGER avec m en abscisse et P en ordonnée. Les stations reportées sur ce graphique (fig.5) se situent donc dans leurs bioclimats respectifs : ainsi les 6 stations de référence se trouvent dans des étages bioclimatiques différents, du subhumide au saharien.

Ces étages et sous-étages bioclimatiques correspondent à ceux de la nomenclature EMBERGER avec un décalage quant à la limite de l'étage aride :

Semi-aride = Semi-aride supérieur (EMBERGER).
Aride supérieur = Semi-aride inférieur.
Aride moyen = Aride supérieur.
Aride inférieur = Aride inférieur.

(I) En fait, Q_2 étant pratiquement égal à P/10, cela revient sensiblement au même.

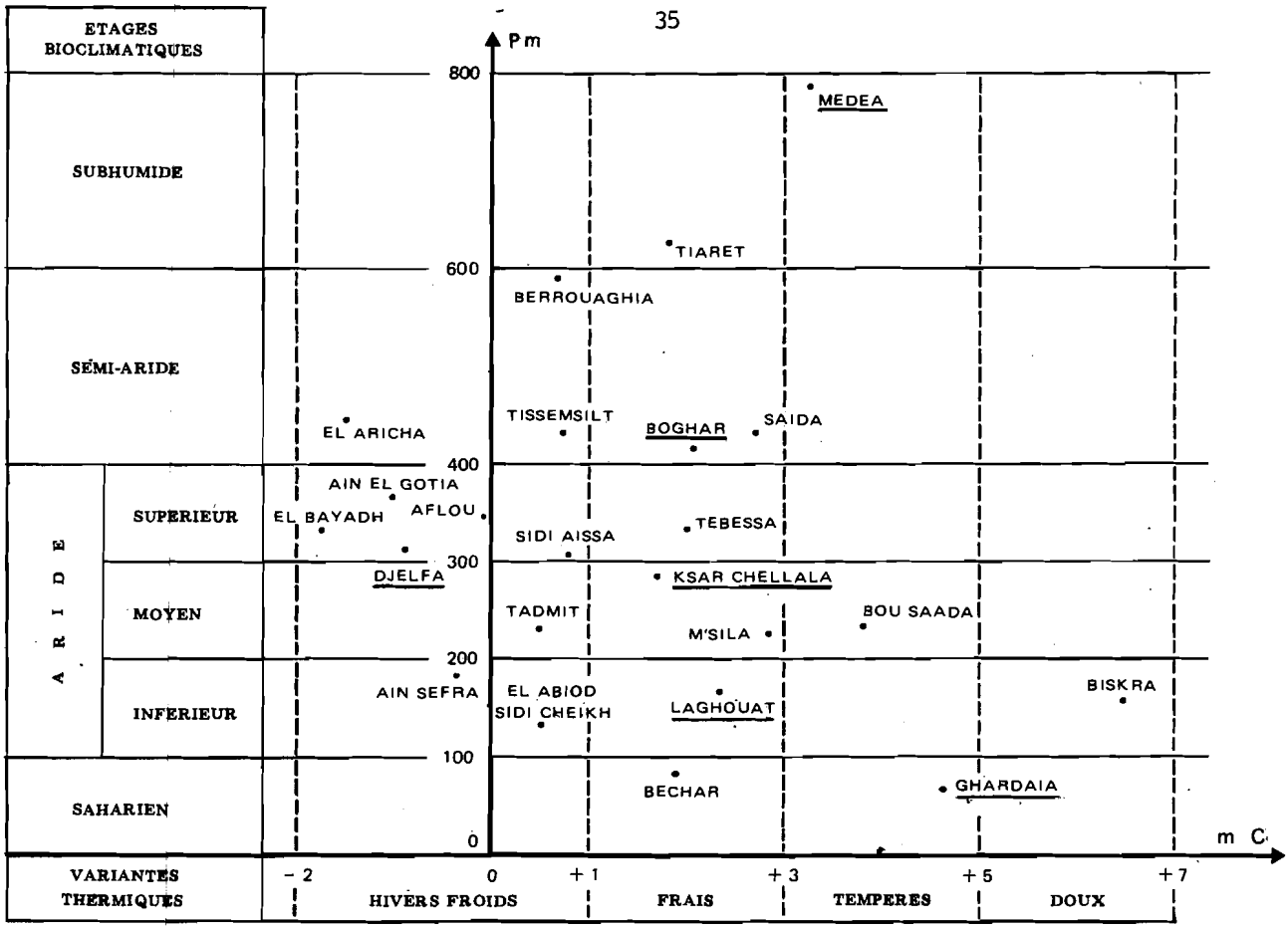


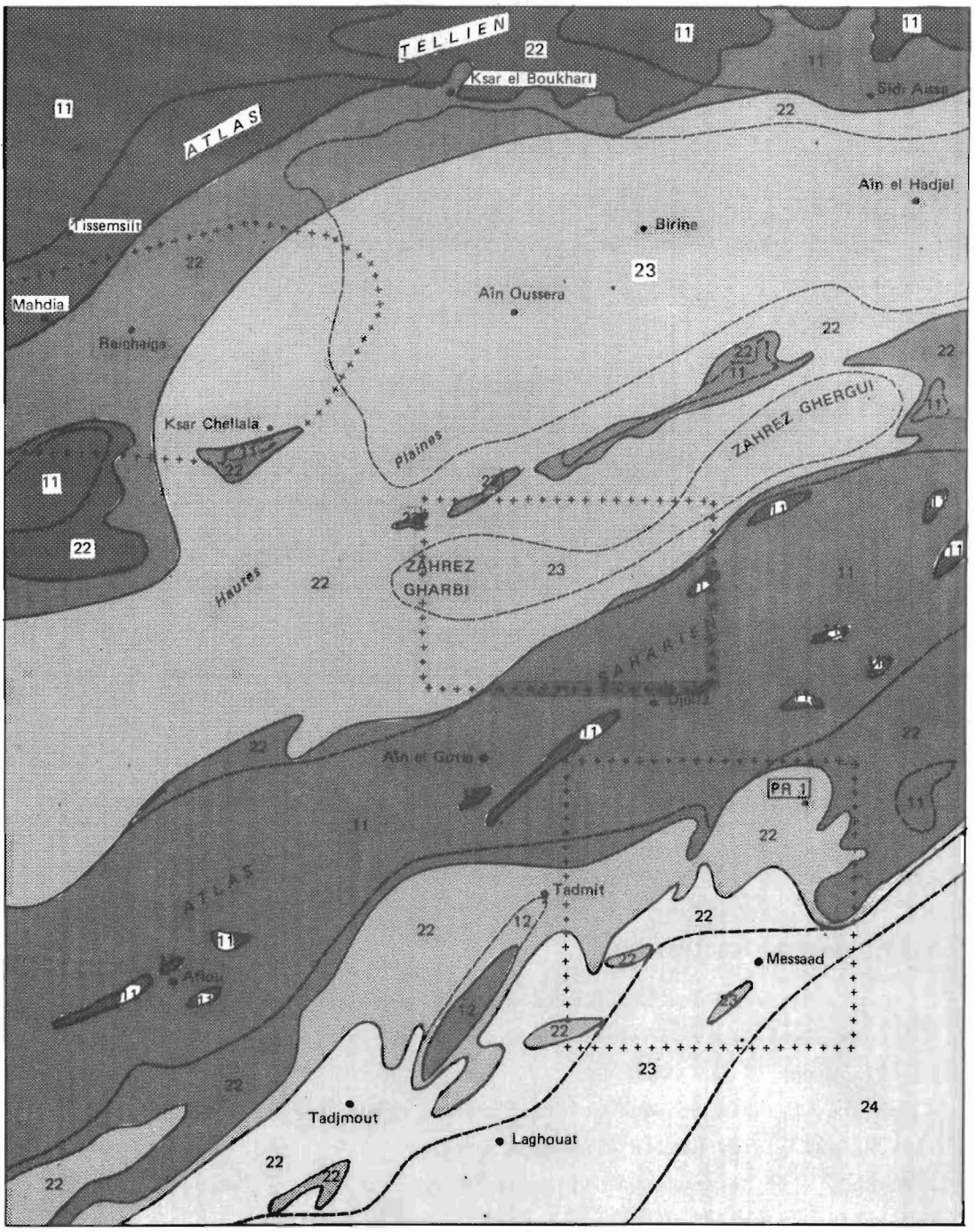
Figure 5 - Diagramme pluvio-thermique et bioclimats

2 - CARTE DES BIOCLIMATS.

La carte des bioclimats (fig.6) visualise le gradient Nord-Sud d'aridité croissante .En fait, deux ensembles apparaissent dans la séquence bioclimatique :

- au Nord, les régions sud-telliennes semi-arides, subhumides plus au Nord vers Médéa, et les Hautes Plaines arides.
- au Sud, l'Atlas saharien. Il présente à lui seul une gamme variée : du semi-aride, pour les plus hauts sommets, à l'aride inférieur sur sa bordure méridionale.

L'étage saharien commence nettement au Sud de Laghouat.



Zones prospectées à 1/100 000

0 30 km

ÉTAGES et S/ÉTAGES \ Variantes à hivers / s/variantes		Froids (−2° < m < +1°)		Frais (+1° < m < +3°)		
		M′ < 10°	10° < M′ < 12°	10° < M′ < 12°	12° < M′ < 15°	M′ > 15°
SEMI - ARIDE		11		22		
ARIDE	SUPÉRIEUR	11	12	22	23	
	MOYEN		12	22	23	
	INFÉRIEUR			22	23	24

Figure 6 - Les bioclimats (d'après CLAUDIN et al, 1979

Avec le premier ensemble, il convient de noter l'extension réduite de la frange d'aride supérieur assurant la transition entre l'Atlas tellien et les Hautes Plaines; l'abaissement du relief et la platitude des zones steppiques expliquent une chute aussi rapide de la pluviosité. Par contre, les rides montagneuses se trouvent plus favorisées, particulièrement les djebels semi-arides (Dj.Nador) au Sud du Plateau du Sersou occidental. L'augmentation de la pluviosité avec l'altitude, s'accompagne d'une diminution des températures hivernales : variantes à hivers froids sur les djebels, variantes à hivers frais dans les Hautes Plaines, valeurs de M' supérieures à 12° C dans les régions orientales (altitude inférieure à 800 m) et la partie centrale du Bassin des Zahrez.

L'Atlas saharien présente une large ossature privilégiée (aride supérieur) correspondant aux régions septentrionales généralement les plus élevées, mais aussi les plus froides. Vers le Sud, la frange d'aride moyen est d'autant plus étroitequ'elle se situe en ombre pluvialeà l'arrière d'ensembles montagneux élevés et massifs (Djebel Amour, Djebel Bou Kahil). Corrélativement, l'aride inférieur s'infiltre plus ou moins dans l'Atlas, surtout dans les vastes zones déprimées au Nord de Laghouat et Messaad. Du Nord au Sud, les températures hivernales diminuent en fonction de l'altitude, les hivers restant cependant frais sur l'ensemble de la bordure Sud de l'Atlas et même sur les glacis encroûtés du piedmont saharien. Par contre, les valeurs des maximums des températures diurnes M' offrent une gamme nettement plus variée, qui est soulignée par la végétation.

C - CONCLUSIONS.

Les steppes sud-algéroises offrent un bel exemple de la"dégradation"du climat méditerranéen et de son passage progressif à un climat franchement désertique, quoique encore de type méditerranéen.

Cette dégradation correspond à une aridité croissante :

- la pluviosité annuelle diminue progressivement et devient de plus en plus irrégulière.
- les températures augmentent et soulignent une sècheresse estivale toujours plus longue, accentuée encore par les caractères de continentalité.

Pour la végétation, l'aridité croissante se traduit par un bilan hydrique des sols de plus en plus déficitaire et une réduction de l'activité végétale en intensité et en durée. L'illustration en est fournie par l'augmentation de la durée de la saison sèche telle qu'elle est exprimée sur les diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (fig.4).

En définitive, les steppes sud-algéroises s'intègrent dans une séquence bioclimatique dont l'aridité augmente globalement du Nord au Sud. On distingue ainsi :

- les régions telliennes et sud-telliennes subhumides et semi-arides ($P > 400$ mm environ).
- les steppes sud-algéroises arides (I) ($400 > P_{mm} > 100$) avec les trois principales subdivisions : aride supérieur, aride moyen, aride inférieur.
- les régions sahariennes ($P < 100$ mm) nettement plus au Sud de Laghouat.

(I) Certains auteurs, surtout parmi les géographes, utiliseraient plus volontiers le terme de subaride; l'aride devenant pratiquement synonyme de désertique.

III – LE CADRE GÉOLOGIQUE

Les travaux suivants ont été consultés : RITTER(1901),Notice explicative et carte géologique à 1/500.000, feuilles Alger-Nord et Alger-Sud (1939-1952) ainsi que les feuilles d'Oran et Constantine, S.N.REPAL (1952), FLANDRIN (1948,1952), CORNET(1952), GUILLEMOT(1952), ESTORGES (1959, 1961, 1965), KIEKEN (1962), MAHROUR(1965), BASSETO et COUMES(1967), CARATINI (1967,1970) REY (1971), SOLAGES et REY (1971), BASSETOT et GUILLEMOT(1971), ESTORGES et GUILLEMOT(1973).

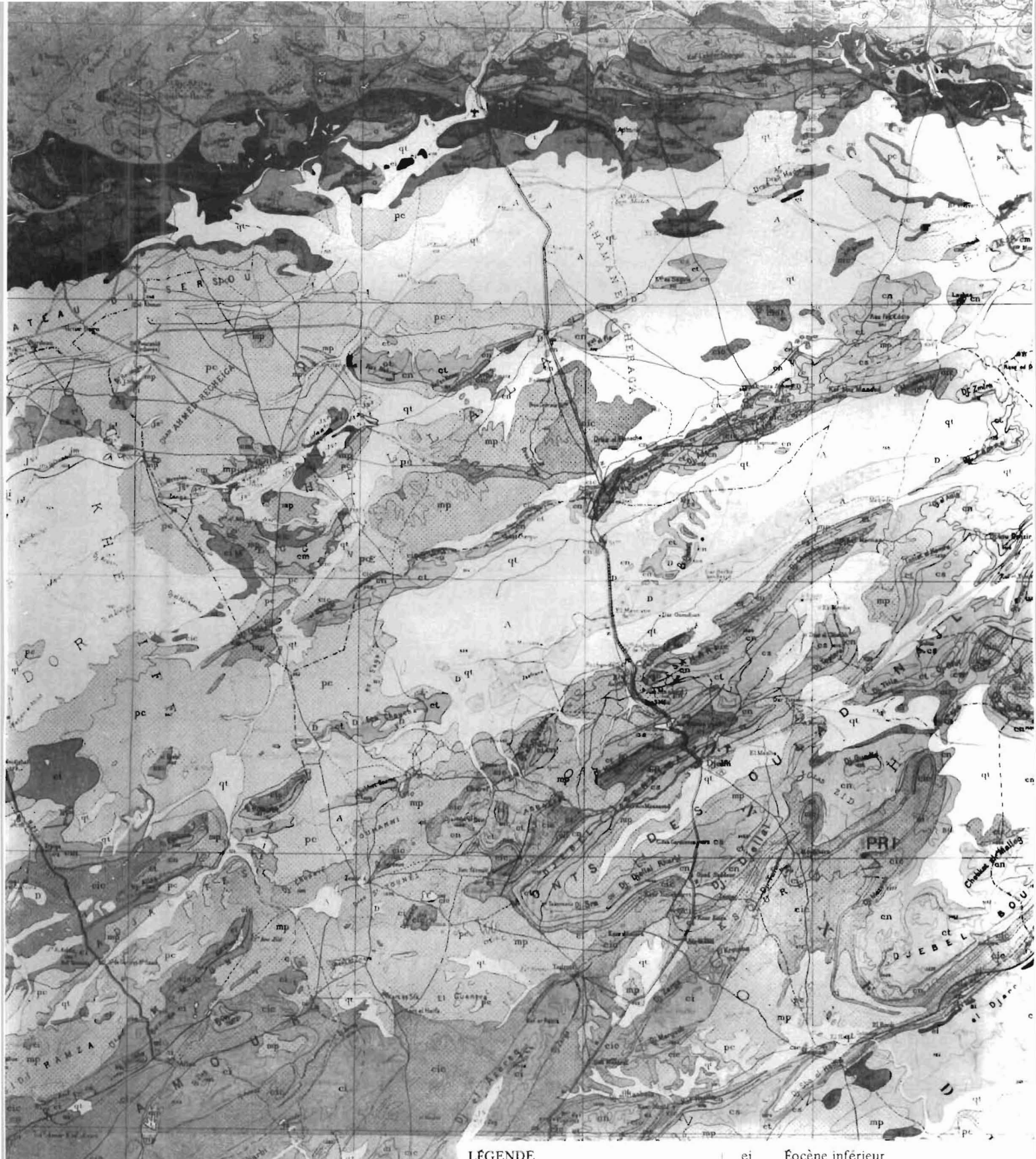
La totalité de la zone concernée est constituée de roches sédimentaires du Secondaire, du Tertiaire et du Quaternaire à l'exclusion de tout affleurement de roches éruptives ou métamorphiques. Quoiqu'il en soit, le substratum géologique, outre son importance comme matériau originel des sols (roche-mère),joue un rôle déterminant dans le façonnement des paysages (géomorphologie). Il est donc essentiel de préciser dans un premier temps les principales unités stratigraphiques et surtout lithologiques.

A - PRINCIPALES UNITES STRATIGRAPHIQUES ET LITHOLOGIQUES (fig.7)

Depuis le Trias au début de Secondaire, jusqu'aux formations continentales du Pliocène, on retrouve les grands ensembles stratigraphiques classiques: Trias, Jurassique, Crétacé, etc.

1 - TRIAS : (t)

Il apparaît toujours en pointements diapyriques ou en injection dans les cassures. Le Rocher de Sel au Nord de Djelfa, le plus célèbre de ces diapyrs, n'est autre qu'une masse de sel gemme d'une centaine de mètres de hauteur et de forme grossièrement circulaire (un kilomètre de diamètre environ). Dans les Hautes Plaines, ce sont de petits massifs très érodés "coincés" dans les séries jurassiques (Djebel Nador) ou le plus souvent isolés (Draa ez Zoubiat, Koudiat Fedoul, Kef ez Zerga, etc.): argiles rouges vivement colorées, plus ou moins gypseuses, associées à du gypse massif et emballant des blocs de dolomies noirâtres, cargneules, roches "vertes" etc. Sel et gypse, telles sont les caractéristiques majeures du Trias; la modestie de ses affleurements ne doit pas laisser sous-estimer son importance, précisément comme source de sels solubles que les eaux de ruissellement et les oueds se chargent de véhiculer. On les retrouve dans les sols et les nappes phréatiques d'aval.



LÉGENDE

t	Trias
ji	Jurassique inférieur
js	Jurassique moyen et supérieur
ci	Crétacé inférieur
cic	Crétacé inférieur continental
cn	Cénomanien
ct	Turonien
cs	Sénonien
ei	Éocène inférieur
em	Éocène moyen
o	Oligocène
mi	Miocène inférieur marin
mp	Miocène-pliocène (Tertiaire continental)
pc	Pliocène continental (calc. lacustre, etc..)
qt	Quaternaire continental
D	Dunes récentes
A	Alluvions actuelles

Figure 7 - Carte géologique à 1/500 000, réduite à 1/1 000 000 (feuilles Alger-Nord et Alger-Sud, 1952)

2 - JURASSIQUE.

a - Jurassique inférieur: (ji)

Epaisse série de dolomies et calcaires dolomitiques formant les massifs montagneux au SE de Tiaret (Djebel Nador).

b - Jurassique moyen et supérieur: (js)

En fait, seul le Jurassique supérieur présente des affleurements nombreux et importants avec des faciès variés: formations d'origines récifales dans les Hautes-Plaines, récifales et néritiques ou détritiques dans l'Atlas saharien.

+ dans les Hautes Plaines : dominance de calcaires durs et dolomies alternant avec de minces bancs de marnes diversement colorées et localement des grès quartzeux (Djebel Nador, Djebel Recheiga et Djebels au Sud de Ksar Chellala). Les affleurements prennent l'allure de plis monoclinaux plus ou moins complexes.

+ dans l'Atlas saharien, deux séries lithologiques d'origines différentes affleurent dans le coeur des principales rides anticlinales ou des monoclinaux faillés, de part et d'autre d'une ligne Djelfa-Laghouat:

- à l'Est de cette ligne, on observe une alternance de bancs métriques de calcaires variés (oolithiques, lithographiques, gréseux, etc.) et de strates décamétriques de marnes bariolées (jaunâtres, verdâtres, bleues,etc.) : Djebel ez Zerga, Djebel Mergueb.

- à l'Ouest (Djebel Azreg et Atlas saharien occidental) de puissantes strates gréseuses alternent avec des strates marneuses versicolores.

De la base au sommet, la coupe est la suivante :

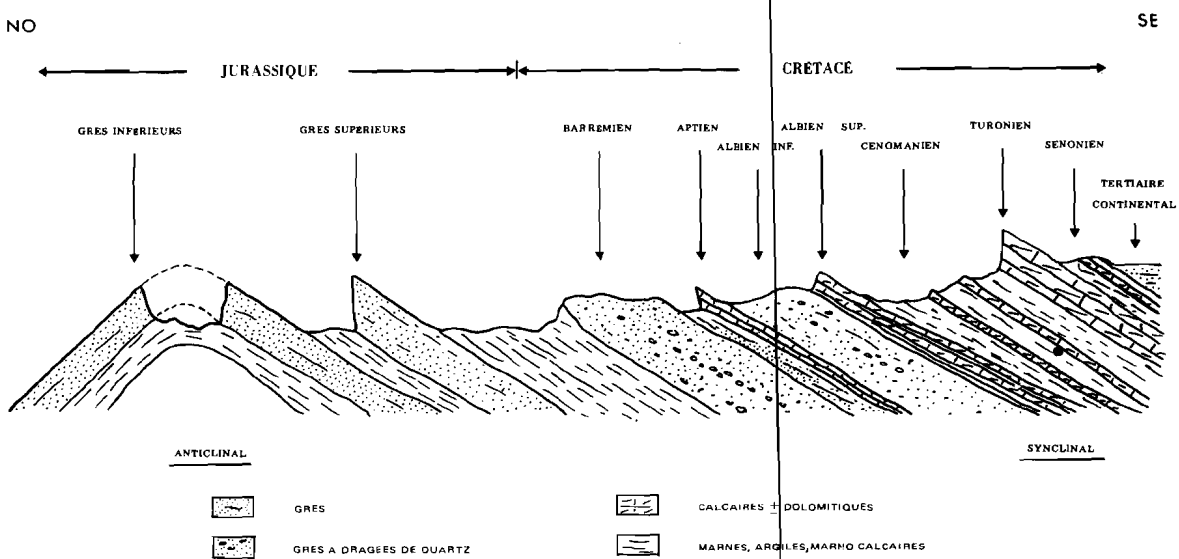


Figure 8 - Schéma théorique des principales unités stratigraphiques et lithologiques (Jurassique et Crétacé) dans l'Atlas saharien

. série argileuse formant le coeur des anticlinaux : argiles vert-olive avec intercalations de minces bancs de grès quartzitiques.

."grès inférieurs"en bancs décamétriques constituant les corniches dominant le coeur des anticlinaux; ce sont des grès à grains fins à moyens, à ciment le plus souvent calcaire, parfois argileux.

. série intermédiaire carbonatée et argileuse (combe)

. grès supérieurs", série très épaisse formant les contreforts externes des anticlinaux.Vers le sommet, intercalations de minces strates argileuses. Les grès de teinte blanche ou faiblement rosée ne sont généralement pas calcaires.

. série supérieure à dominance de roches tendres (argiles et marnes, bariolées plus ou moins gypseuses) très sensibles à l'érosion; toujours dégagée en dépression la série est souvent recouverte par des dépôts quaternaires.

3 - CRETACE

a - Crétacé inférieur : (ci, cic)

+ Dans les Hautes-Plaines (région de Ksar Chellala et Aïn Oussera), il présente des faciès très variés à dominance de roches calcaires tendres surtout au sommet :

- série gréseuse en gros bancs avec, à la base, dolomies plus ou moins gréseuses et argiles vertes à cristaux de gypse, localement calcaires coquilliers, lumachelles (Néocomien à Barrémien).

- série calcaire (calcaires à orbitolines de l'Aptien)

- série gréseuse (Albien): grès calcaires ocres, argiles gréseuses vertes à rougeâtres, dolomies gréseuses, etc.

Fréquemment encroûtées, les séries de roches calcaires tendres forment les collines si typiques de la région au Sud d'Aïn Oussera.

+ Dans l'Atlas saharien, les formations deviennent plus nettement d'origine détritique et continentale : grès du Crétacé inférieur continental (cic).

- à la base, série peu épaisse argilo-gréseuse tendre analogue à celle du Jurassique supérieur.

- très épaisse série gréseuse (Barrémien) avec :
. grès fins à moyens à ciment argileux ou calcaire et intercalations d'argiles plus ou moins gréseuses, versicolores, vertes et "lie de vin", plus importantes au sommet de la série.

. localement sables roux mal consolidés.
. grès à dragées de quartz arrondi de 1 à 3 cm de diamètre.
- "Barre aptienne" très résistante à l'érosion, elle se repère aisément dans le paysage entre les 2 séries gréseuses plus tendres: banc de calcaire lithographique ou dolomitique (parfois siliceux à rognons de silex) avec localement des passages de marno-calcaire et calcaire tendre à orbitolines.

Malgré des variations de faciès et une épaisseur ne dépassant jamais quelques dizaines de mètres, la "barre aptienne" reste un élément caractéristique des paysages de l'Atlas saharien sud-algérois.
- très épaisse série gréseuse (Albien inférieur) de grès fins à ciment argileux ou calcaire, plus ou moins durs, alternant avec des strates d'argiles versicolores vertes et "lie de vin", localement salées et gypseuses. Passages de grès à dragées ovoïdes de quartz blanc.

- Série carbonatée avec des calcaires variés et marnes en bancs métriques ou décamétriques (Albien supérieur): calcaires gréseux, dolomitiques, crayeux à silex, etc; marnes vertes généralement salées et gypseuses. Avec cette série s'annonce la grande transgression cénomanienne.

b - Cénomanien : (cn)

Il se caractérise par des dépôts franchement marins sur l'ensemble des Hautes Plaines et de l'Atlas saharien y compris le Sahara. Les marnes et marno-calcaires dominent avec des alternances de bancs décimétriques et métriques de calcaires plus durs (dolomitiques, coquilliers, marneux,etc).

Grises, noires ou vertes, les marnes sont presque toujours salées et gypseuses avec des intercalations de gypse massif de plusieurs mètres d'épaisseur (Djebel Bou Kahil). Au pied de la falaise turonienne, un tel ensemble de roches tendres, bien dégagé par l'érosion se trouve souvent recouvert d'un manteau d'éboulis et de colluvions plus ou moins encroûtés.

c - Turonien : (ct)

Dans l'Atlas saharien, le Turonien constitue un élément important et très caractéristique du relief en raison de la dureté et de la constance d'une assise rocheuse de calcaire compact formant falaise et bordant les synclinaux perchés (Djebel Milok, Djebel Bou Kahil, etc.).Les calcaires de couleur claire, souvent dolomitiques, à grain fin, peuvent présenter cependant des variations de faciès (calcaires en plaquettes) et des alternances de bancs marneux.

Dans les Hautes Plaines, le Turonien, plus discret, forme le vaste plateau sub-horizontal de Rass Nokhra à l'ouest d'Aïn Oussera : à la base marnes et calcaires lumachelliques, au sommet, calcaires poreux plus ou moins dolomitiques, bien lités, de couleur jaune à gris.

d - Crétacé supérieur (Sénonien): (Cs)

Comme le Cénomanien, il s'agit d'une série à dominance de marnes et marno-calcaires avec des intercalations de bancs décimétriques à métriques de calcaire dur :

- marnes et marno-calcaires jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées et gypseuses.
- calcaires jaunâtres ou ocres, gréseux ou marneux. Le Sénonien se localise dans l'Atlas saharien à l'Est d'une ligne Djelfa-Laghouat, en particulier dans le synclinal de Djelfa, et au Sud de Tiaret dans la partie occidentale du Plateau du Sersou (marnes et marno-calcaires avec alternance de barres de

calcaire clair). Au Sud de l'Atlas, ce sont essentiellement des calcaires très divers (zoogènes, oolithiques, crayeux, etc.) et de rares strates marneuses.

4 - NUMMULITIQUE

a - Eocène

En relation avec l'histoire paléogéographique au Nummulitique, l'Eocène ne se retrouve que :

- au Nord, Chaînes sud-telliennes et frange septentrionale des Hautes-Plaines.
- au Sud de l'Atlas saharien

+ Eocène inférieur : (ei)

. série à dominance de marnes noires et verdâtres souvent salées et gypseuses, marno-calcaires à patine blanche avec rognons de silex (Bordure Sud-tellienne).

. calcaires divers sur la plateforme saharienne : calcaires en plaquettes, à silex, crayeux,etc; rares passées conglomératiques.

+ Eocène moyen marin (Lutétien): (em) dans les régions septentrionales avec:

- calcaires cristallins blancs (région de Birine)
- marnes gypseuses et grès tendres (région de Ksar el Boukhari)
- marnes brunes très épaisses intercalées de lumachelles à huîtres.

En bordure Sud de l'Atlas saharien, on trouve un ensemble beaucoup plus hétérogène de marnes blanches, grès à ciment calcaire, grès rouges argileux, calcaires marneux et gréseux, conglomérats, etc.

b - Oligocène: (o)

La bordure Sud-tellienne présente une alternance très caractéristique de bancs de grès fins à ciment calcaire (grès de Ksar el Boukhari)et marnes verdâtres salées et gypseuses.

Dans l'Atlas, on rattache à l'Oligocène continental des formations détritiques diverses: grès grossiers conglomératiques, conglomérats, argiles rougeâtres.

5 - NEOGENE

a - Miocène inférieur et moyen marin : (mi)

Elément absolument typique des Chaînes sud-telliennes et de la bordure septentrionale des Hautes Plaines, le Miocène comprend en alternance:

- de très importantes séries de marnes grises verdâtres ou jaunâtres, gypseuses et salées,
- des bancs de grès calcaires plus ou moins épais.

b - "Tertiaire continental" (Miocène supérieur et Pliocène): (mp)

Non moins typique que le précédent, il s'agit d'un manteau de terrains continentaux venu combler les dépressions dans les Hautes Plaines et l'Atlas saharien, après les grands mouvements orogéniques du milieu du Tertiaire et la surrection de l'Atlas :

- argiles sableuses rouges à ocres, plus ou moins salées et gypseuses, provenant d'altérations superficielles d'origine continentale.
- intercalations de grès, de sables et de conglomérats hétérométriques.
- niveaux discontinus de calcaires lacustres vers le sommet (Plateau du Sersou oriental, environs de Rocher de Sel, etc.)

En bordure des principaux reliefs, la série se termine généralement par un solide conglomérat de 1 mètre d'épaisseur environ.

Dans son ensemble le Tertiaire continental apparaît donc comme une série subhorizontale parfois très épaisse composée de matériaux meubles surmontés et protégés par des niveaux fortement consolidés:calcaires lacustres, conglomérats et aussi croûtes calcaires.

Dernier dépôt important mis en place à l'aube du Quaternaire, le Tertiaire continental va être largement soumis aux processus de morphogénèse et pédogenèse qui vont se succéder ultérieurement.

6 - QUATERNAIRE.

Les principaux dépôts quaternaires, d'origine alluviale, colluviale ou éolienne seront étudiés au prochain chapître concernant la géomorphologie.

7 - CONCLUSIONS

En définitive, la quasi totalité des roches sont des roches carbonatées souvent gypseuses et salées. Malgré une grande diversité, comme le montre la revue détaillée des principales unités stratigraphiques et lithologiques, on retrouve les deux grandes catégories de roches carbonatées (LAMOUROUX, 1972; PEDRO, 1972):
- d'une part les roches calcaires dures mais aussi compactes (calcaires plus ou moins dolomitiques, grès divers, etc).
- d'autre part les roches calcaires tendres parmi lesquelles s'individualisent deux ensembles: les marno-calcaires et les marnes (*sl*):

. les marnocalcaires (grès marneux, argiles gréseuses, calcaires tendres, etc) assurent la transition avec les calcaires compacts et durs. Ils sont très souvent encroûtés.

. Les marnes (*sl*) regroupent non seulement les marnes (*s.s.*) mais aussi les argiles faiblement calcaires, plus ou moins sableuses. Toutes ces roches très diversement colorées sont souvent gypseuses et salées.

B - LES PRINCIPAUX ENSEMBLES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES.

1 - ELEMENTS DE TECTONIQUE GENERALE.

Le rappel des principales unités stratigraphiques, de l'Atlas saharien notamment, montre une sédimentation variée (continentale, lagunaire et marine), régulière et sans discordance entre le Jurassique et le Crétacé, pendant tout le Secondaire. Au milieu du Tertiaire, soit vers la fin de l'Oligocène-début Miocène, une phase d'orogénèse extrêmement active (plissement alpin) entraîne la surrection de l'Atlas saharien et l'apparition d'un ensemble de plis réguliers, parallèles entre eux, de direction SO-NE parfois E-O ou SE-NO.

Dès lors se trouve déclenchée une phase d'érosion intense durant la fin du Tertiaire :
- le façonnement très évolué des formes jurassiennes typiques va jusqu'à des inversions de relief (synclinaux perchés),
- les dépressions sont comblées par des dépôts continentaux(argiles sableuses rouges du Tertiaire continental) aussi bien sur place dans l'Atlas que vers le Sud le long du piédmont saharien et vers le Nord dans les Hautes-Plaines.

C'est d'ailleurs dans cet ensemble à allure de pénéplaine que s'incrit l'histoire du Quaternaire. De nouveaux cycles d'érosion, déclenchés par l'action conjuguée des variations climatiques et des mouvements tectoniques, vont se poursuivre tout au long de cette période.

2 - LES CHAINES SUD-TELLIENNES ET BORDURE SEPTENTRIONALE DES HAUTES-PLAINES SUD-ALGEROISES

Ce versant méridional de l'Atlas tellien se caractérise par une structure extrêmement complexe(nappes de charriages, etc.) avec une forte prédominance de séries marneuses, plus ou moins déclives, en alternance avec de minces bancs de grès formant souvent les "kefs", petites hauteurs d'altitude relative fort modeste.

Avec les marnes miocène, la bordure septentrionale des Hautes Plaines marque la limite Sud de l'extension marine au Tertiaire; en fait ce détail paléogéographique souligne une limite majeure entre les zones telliennes très complexes et l'ensemble atlasique au Sud ,Hautes Plaines et Atlas saharien .

Du point de vue hydrogéologique, il ne peut y avoir constitution de réserves profondes importantes dans des ensembles aussi marneux. Les eaux souterraines sont d'autre part plus ou moins salées.

3 - LES HAUTES PLAINES SUD-ALGEROISES.

Elles correspondent aux premières"rides" d'un domaine plissé, dont l'Atlas saharien représente toute l'ampleur, avant les grandes structures tabulaires sahariennes.

Au niveau des bombements et des plis longitudinaux, les roches dures affleurent : calcaires souvent dolomitiques, grès, etc. Localement, sur les roches plus tendres (marno-calcaires, calcaires gréseux,etc), les affleurements sont masqués par une croûte calcaire qui fossilise un relief de collines amplement vallonnées.

Entre les reliefs, la majeure partie de la région est recouverte par les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental; relativement perméables, ces formations permettent la constitution de nappes souterraines peu profondes (nappe du Sersou) qui peuvent se décharger au niveau des entailles d'oueds et être, pour une part, à l'origine de phénomènes d'hydromorphie et de salure: observés à l'aval dans les alluvions de l'oued Touil.

Le Bassin des Zahrez marque l'emplacement d'un synclinal et surtout le prolongement vers l'Ouest de la grande faille de Bou Saada. Il représente un vaste système subsident dont l'importance augmente vers l'Est avec le Bassin du Hodna; son comblement se poursuit depuis le début du Quaternaire. Du point de vue hydrogéologique, le Bassin des Zahrez offre vraisemblablement des ressources intéressantes.Localement des arrivées d'eaux souterraines sont " révélées" par des nappes phréatiques superficielles prenant naissance à plus de 30 m au-dessus du niveau de la Sebkha (nappe des Terres Blanches au Sud d'Hassi Bahbah, bordure Nord-Ouest du Zahrez Chergui).

4 - L'ATLAS SAHARIEN.

L'alternance de roches dures et de roches tendres et la structure plissée relativement simple de style jurassien constituent les deux traits majeurs de l'Atlas saharien.

Les plis, plus ou moins parallèles et assez courts sont disposés "en coulisse". Comme le fait remarquer SAVORNIN dans la notice de la carte à 1/500 000 (1952) les surélévations anticlinales, insuffisamment prononcées, ne font apparaître que rarement les noyaux Jurassiques. La majeure partie des affleurements se rattache aux formations du Crétacé inférieur et moyen avec de magnifiques inversions de relief (synclinaux perchés).

Les épaisses séries de roches dures, calcaires plus ou moins fissurés et de grès, forment l'ossature des plus hauts reliefs, les plus arrosés. En y ajoutant les autres affleurements de roches perméables, il est possible d'envisager dans cet ensemble lithologique la constitution de réserves relativement importantes. Une partie des eaux souterraines se recycle en surface. En effet, l'Atlas saharien présente un réseau très dense d'accidents et de failles donnant naissance à une multitude de sources et de suintements qui apparaissent çà et là dans les oueds les plus encaissés ou même sur les versants (région d'El Bordj près de Messaad).

5 - LE DOMAINE SAHARIEN.

Les dernières rides méridionales de l'Atlas saharien soulignent la grande faille Sud-atlasique. Elles marquent le début du domaine saharien caractérisé dans cette région par l'extension considérable des séries subhorizontales du Crétacé et du Tertiaire.

IV – LE CADRE GÉOMORPHOLOGIQUE ET LES FORMATIONS QUATERNAIRES

Incontestablement les paysages des steppes sud-algéroises présentent la topographie contrastée caractéristique des régions sèches. Les reliefs plus ou moins abrupts, surtout dans l'Atlas saharien, s'opposent aux vastes surfaces subhorizontales.

Non moins incontestable apparaît l'empreinte du passé; particulièrement depuis le début du Quaternaire au cours duquel se sont façonnés les paysages si typiques avec leurs successions de surfaces étagées témoins des variations climatiques et des mouvements tectoniques.

Les surfaces anciennes fossilisées par une croûte calcaire (Quarternaire ancien et Quaternaire moyen) sont recoupées et parfois recouvertes par les formations plus récentes: alluvions, colluvions, dépôts éoliens. L'héritage du passé est tel,que les formes et les dépôts Quaternaires ne pouvant échapper aux observateurs, ont fait l'objet, surtout depuis une trentaine d'années, de nombreux travaux. Le résultat en est, pour l'Afrique du Nord, une abondante bibliographie parfois contradictoire. Sans prétendre être exhaustif, il est indispensable de rappeler ici les principales études géographiques, géomorphologiques, géologiques, pédologiques, etc.

- au Maroc : PUJOS et RAYNAL (1961); JOLY(1962), RAYNAL (1961,1966), BEAUDET *et al* (1967), RUELLAN (1967,1969,1970), BEAUDET (1971,1972), etc.
- en Tunisie : COQUE (1962), COQUE et JAUZEIN(1965), BELAID(1967), FOURNET (1969), etc.
- en Algérie : CAPOT-REY (1939), BOULAINE(1957), DURAND(1959), ESTORGES (1959,1961), CHAVAILLON(1964), MAHROUR(1965), CONRAD *et al* (1967), CAPOLINI et SARY (I969),etc.
- en Afrique du Nord: DRESCH (1949,1954, 1957), DESPOIS (1964), RAYNAL *et al*(1975).
- et plus généralement en régions sèches : TRICART(1969).

Au delà des différences de méthodes, sinon de résultats, un certain nombre de points importants et généraux se dégagent de cette bibliographie et se retrouvent dans les steppes sud-algéroises :

- le paysage a été modelé (façonné) par la succession de plusieurs séquences d'érosion principales dont la plus ancienne correspond à la fin du Tertiaire et marque le début du Quaternaire. Sans entrer dans le détail d'une

chronologie complexe, toujours à préciser, on peut globablement distinguer 4 phases principales pour le Quaternaire d'Afrique du Nord :

. Quaternaire ancien
. Quaternaire moyen
. Quaternaire récent
. Période actuelle.

- les surfaces plus ou moins encroûtées et façonnées en glacis occupent des étendues considérables; l'accumulation calcaire étant généralement d'autant plus importante que le niveau est plus ancien.
- les relations sont nombreuses et souvent évidentes entre les types de sols, les formes et les dépôts Quaternaires.
- les relations sont nombreuses entre les formes générales du relief et les grandes divisions climatiques. Ainsi les steppes sud-algéroises se rattachent au modelé des régions sèches bien différent des régions telliennes plus humides.

Cependant, malgré l'apport de travaux aussi importants et peut-être à cause de cela, la présentation des paysages steppiques sud-algérois reste difficile. En effet, outre l'étendue et la variété de la zone considérée, en particulier l'opposition plus ou moins marquée entre Hautes Plaines et Atlas saharien, on est confronté :

- à la complexité de la chronologie,
- à l'abondance d'un vocabulaire géomorphologique délicat à manier,
- et à une multitude d'hypothèses et interprétations morphogénétiques.

Chaque terme utilisé présente le risque de prêter à confusion et en tout cas de sous-entendre une interprétation morphogénétique, sinon chronologique, que des études plus détaillées et une compétence suffisante auraient seules permis d'employer.

De toute façon , l'objectif n'est pas une étude géomorphologique puisqu'il s'agit de présenter, dans un premier temps, les traits essentiels et spécifiques des paysages steppiques. En second lieu, et surtout, il faut définir, à une échelle de perception donnée, des unités de paysages (de milieu ou de territoire) homogènes permettant de situer le cadre dans lequel évolue actuellement le complexe sol-végétation.

Toutes ces remarques préliminaires étant faites, je distinguerai d'une façon plus directement visuelle :

- les reliefs et par extension les formes liées aux affleurements du substratum géologique.

- les surfaces plus ou moins planes, au pied des reliefs :glacis d'âge et d'origines diverses se raccordant à des terrasses fluviatiles, parfois lacustres, témoignant de niveaux anciens successifs atteints par les eaux courantes ou stagnantes, épandages alluviaux actuels, etc..
- les dépressions où se concentrent les eaux de ruissellement : chotts, sekhas, dayas.
- et enfin les formations éoliennes: dunes, placages éoliens, lunettes en bordure de sebkhas,etc..

A - LES RELIEFS.

Typiques des régions sèches, les versants modelés dans le substratum géologique laissent apparaître très facilement leur structure en raison de la faible épaisseur des sols et de la faible densité du couvert végétal. Ce sont en effet les régions où "la structure se lit le mieux dans les paysages et intervient jusque dans les plus infimes détails du modelé" (TRICART,I969).

La lithologie prend une importance considérable: l'érosion différentielle dégageant les bancs les plus durs et creusant les plus tendres. Il n'est qu'à voir le cliché Landsat (planche I) et tout particulièrement l'Atlas saharien où les formes classiques du relief jurassien apparaissent avec une grande netteté: cuestas, barres, crêtes, combes, etc.

En fonction de la lithologie, dureté et puissance des strates, on peut distinguer trois grands ensembles de modelés selon que l'on a :

- dominance de roches dures, calcaires durs et grès.
- dominance de roches tendres, marnes et marno-calcaires.
- alternance de roches dures et de roches tendres.

La structure de la roche, non moins déterminante, intervient dans le modelé des versants et l'importance du relief.

1 - DOMINANCE DE ROCHES DURES

Les points hauts du relief (djebels), toujours modelés dans les roches dures, calcaires plus ou moins dolomitiques et grès, se présentent sous différentes formes:

- les crêtes étroites dissymétriques ("Kef", "Dalaat") forment une corniche très nette. Rectilignes sur toute leur longueur(crêtes monoclinales), elles peuvent s'infléchir à leur extrêmité pour matérialiser la fermeture d'un anticlinal ou d'un synclinal perché(planches I et II,planche V photos 1 et 2.

- les ensembles massifs, à structure complexe, apparaissent généralement plus ou moins allongés et étirés suivant l'axe général des plissements (SO.NE). Ils constituent les alignements des djebels traversant les Hautes Plaines (Djebels de Ksar Chellala, Seba Rous, etc.) ou bordant l'Atlas saharien au Nord, le long de la dépression des Zahrez (Djebel Sahari) et au Sud, au niveau de la flexure sud-atlasique.

Dans le détail, la pente des versants, généralement forte sinon abrupte (falaise avec éboulis) , varie en fonction de la structure. La couverture pédologique, d'autant plus discontinue que la pente est forte, se réduit encore davantage avec la disparition de la végétation forestière et l'aridité croissante du climat; le sol évolué se localise alors dans les endroits priviligiés comme les diaclases ou à l'amont direct de blocs ou d'amas de blocailles.

Localement, certaines surfaces structurales, complètement dégagées par l'érosion, affleurent sur de grandes étendues; le pendage détermine la pente de la surface du sol qui peut être alors horizontale ou subhorizontale: coeur de synclinal perché très évasé (djebel Bou Kahil). Sur les grès, la végétation s'installe préférentiellement dans les diaclases selon un réseau plus ou moins régulier et géométrique: les blocs de grès forment un pavage très caractéristique(planche III). Sur les calcaires, la disposition de la végétation est moins ordonnée. Dans les deux cas le ruissellement n'est pas hiérarchisé.

Par contre, la morphologie change si la strate supérieure n'est pas homogène ou suffisamment épaisse : strates calcaires alternant avec des calcaires moins cohérents (calcaires marneux, marno-calcaires).On observe alors selon le pendage :

- soit une surface en "gradins" (planche IV)
- soit une dissection en "chevrons" du revers structural par érosion différentielle (planche II).

Le ruissellement se hiérarchise rapidement dans les thalwegs.

2 - DOMINANCE DE ROCHES TENDRES.

a - les marnes

Le paysage de "bad-lands" observé dans les chaînes sud-telliennes (marnes du Miocène) est certainement le plus caractéristique. Dans l'Atlas saharien, l'érosion régressive entaille aussi rigoureusement les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental (région d'Aïn Maabed, au Nord de Djelfa). La végétation s'installe difficilement dans ces ravines où le ruissellement est intense. En zones plus arides ($P < 300$ mm), une telle dissection des versants se constate très rarement; l'agressivité et la fréquence des averses restent insuffisantes.

Cependant, même si le régime pluviométrique le permet, tous les versants modelés en roches tendres ne sont pas des "band-lands". En effet, la nature lithologique intervient et certaines marnes se caractérisent par des modelés à pentes beaucoup plus douces et par des sols plus épais et un peu plus évolués (sols régosoliques à caractères vertiques sur les bordures sud-telliennes).

b - les marno-calcaires (*sl*)

Intermédiaires entre les roches calcaires dures et les marnes, les marno-calcaires donnent généralement un modelé de collines plus ou moins pentues. Dans les zones subhumides et semi-arides du Tell, si la végétation forestière est détruite, l'érosion peut devenir aussi intense que dans les marnes. En zones steppiques plus arides la présence d'une croûte calcaire, parfois très indurée, assure une protection efficace du modelé dont l'évolution se rattache à celle d'une surface encroûtée (cf.chap.IV).

Les marno-calcaires offrent d'ailleurs le long de la séquence bioclimatique une diversité intéressante de sols et de végétation.

3 - ALTERNANCE DE ROCHES DURES ET DE ROCHES TENDRES

Le cas le plus typique et le plus fréquent concerne les alternances grès, parfois calcaires,- argiles versicolores du Jurassique et Crétacé inférieur de l'Atlas saharien. Il correspond en général à des zones aplanies à proximité des reliefs avec des alignements rocheux et des lambeaux de niveaux encroûtés du Quaternaire ancien ou plus récent en buttes témoins plus ou moins individualisés. Il s'agit en fait de glacis de dénudation (TRICART, 1969). La structure détermine le modelé des affleurements rocheux: (planche III et fig.9).

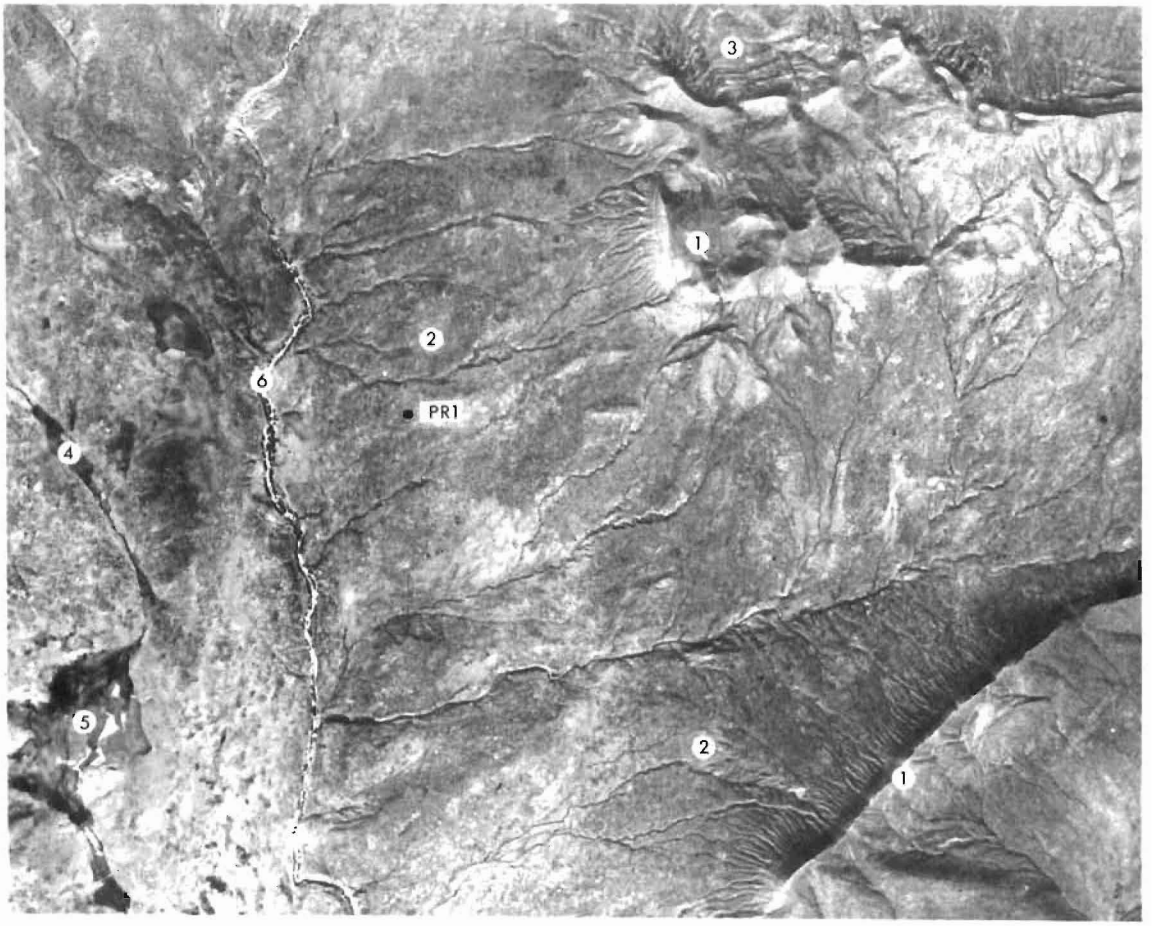


Planche II

VUE AÉRIENNE A 1/25 000 A L'EST DE MOUDJBARA (ATLAS SAHARIEN) : CRÊTE MONOCLINALE ET GLACIS DE PIEDMONT (QUATERNAIRE MOYEN)

1 - **CRÊTE MONOCLINALE** («barre aptienne») avec, localement, dissection en chevrons du revers structural (calcaires durs et marno-calcaires)

2 - **GLACIS ENCROÛTÉ DE PIEDMONT** (quaternaire moyen) disséqué par l'érosion linéaire ; végétation de steppe d'alfa avec clairières à dominance de sparte et d'armoise blanche

3 - **GLACIS DE DÉNUDATION** : alternance grès-argiles versicolores du Crétacé inférieur continental

4 - **CHENAUX D'OUEDS ALLUVIONNÉS** avec cultures de céréales

5 - Petite **ZONE D'ÉPANDAGE**

6 - Lit d'oued sablo-caillouteux, groupement à *Nerium oleander* (laurier-rose)

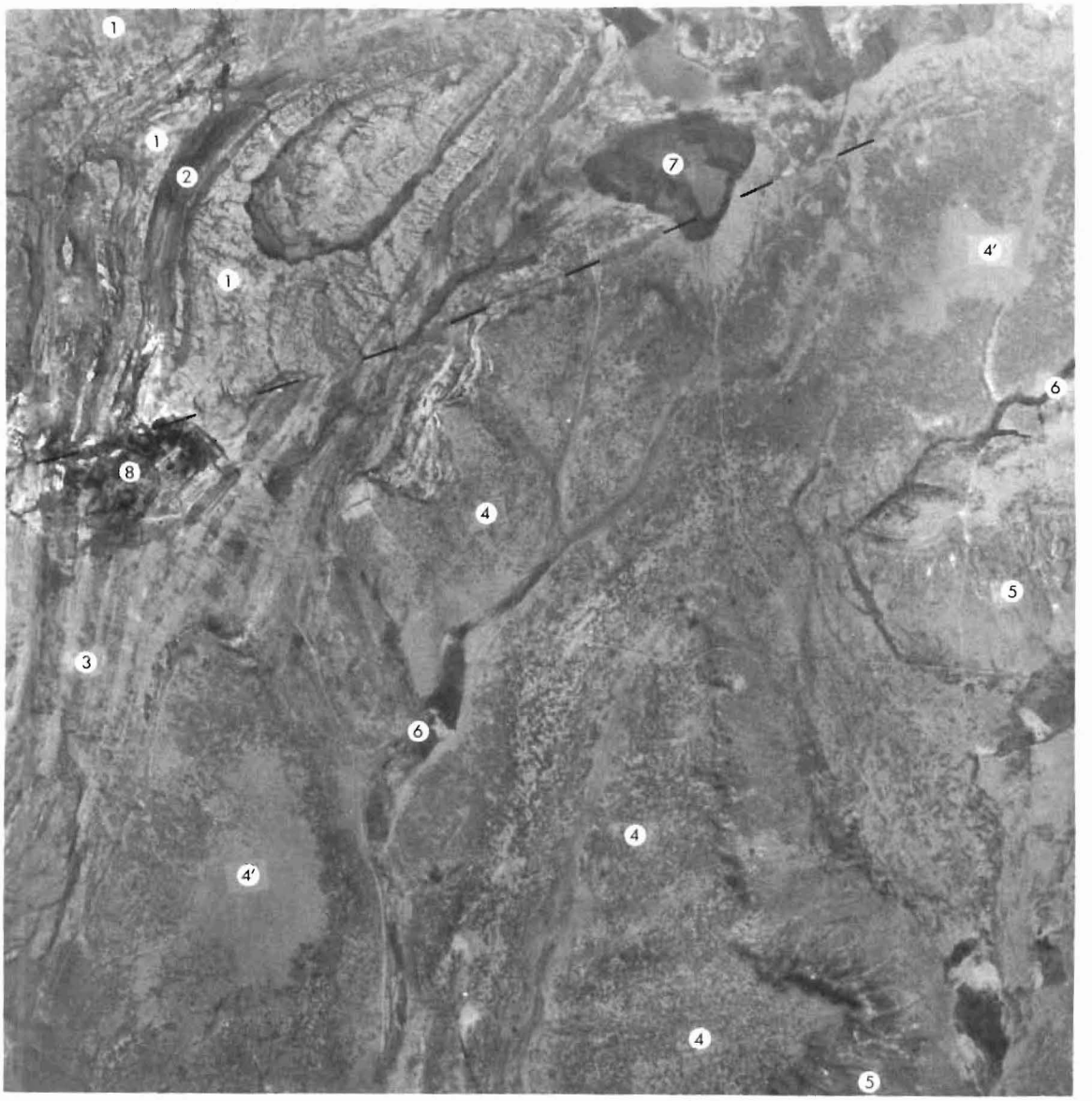


Planche III

VUE AÉRIENNE A 1/25 000 DE LA RÉGION D'AÏN NAGA (ATLAS SAHARIEN) : PAYSAGE DANS LES GRÈS ET LA HAUTE SURFACE MOULOUYENNE

1 - VERSANT STRUCTURAL sur les grès (Crétacé inférieur continental)

2 - COMBE dans les argiles versicolores

3 - GLACIS DE DÉNUDATION : alternance grès-argiles versicolores

4 - HAUTE SURFACE MOULOUYENNE et steppe d'alfa (4' : sans alfa)

5 - GLACIS DE RACCORDEMENT encroûté (Quaternaire moyen)

6 - CHENAUX D'OUEDS ALLUVIONNÉS avec cultures de céréales

7 - DAYA dans les grès

8 - Jardins irrigués d'Aïn Naga

REMARQUE : Noter la faille d'Aïn Naga.

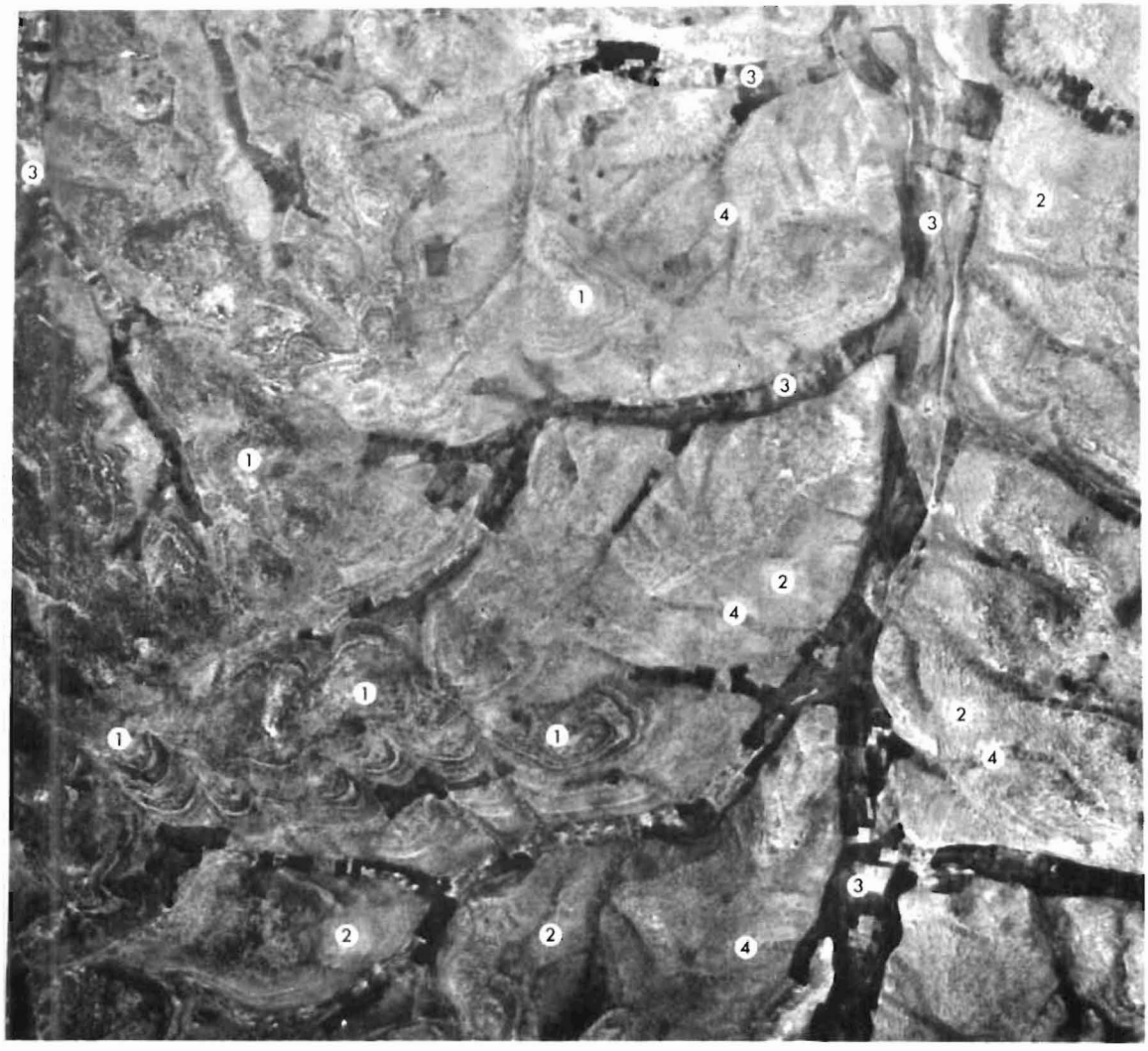


Planche IV

VUE AÉRIENNE A 1/25 000 DE LA RÉGION A L'OUEST D'AÏN OUSSERA (HAUTES PLAINES) : PAYSAGE DE CROUPES EN GRADINS, VERSANTS-GLACIS ENCROÛTÉS ET CHENAUX D'OUEDS ALLUVIONNÉS

1 - **CROUPES EN «GRADINS»** (calcaires marneux subhorizontaux alternant avec strates de calcaires durs, très visibles sur la photo) et steppe d'alfa

2 - **VERSANTS-GLACIS ENCROÛTÉS** (marno-calcaires et marnes) et steppe à armoise blanche Localement, «steppe tigrée»

3 - **CHENAUX D'OUEDS ALLUVIONNÉS** et cultures de céréales

4 - **CHENAUX DE RUISSELLEMENT**

Planche V

LES PRINCIPAUX TYPES DE PAYSAGES ET UNITÉS GÉOMORPHOLOGIQUES

1 - Alternance de crêtes monoclinales (grès du C.I.C.) et de combes (argiles versicolores) ; bordure Ouest de l'anticlinal du Djebel Zerga dans l'Atlas saharien

2 - Synclinal perché (Djebel Khoundjaïa) :
   a - Corniche de calcaire dur (Turonien),
   b - Glacis encroûté de piedmont (Quaternaire moyen) disséqué par l'érosion linéaire,
   c - Haute surface moulouyenne.

3 - Butte témoin de la Haute surface moulouyenne dans l'Atlas saharien (région à l'Est de Moudjbara) :
   a - Haute surface moulouyenne : dépôt alluvial fortement encroûté mais peu épais (dalle),
   b - Grès et argiles versicolores (noter le pendage oblique),
   c - Glacis encroûté du Quaternaire moyen.

4 - Cône de piedmont (Quaternaire moyen) en bordure sud-atlasique : région d'El Bordj.

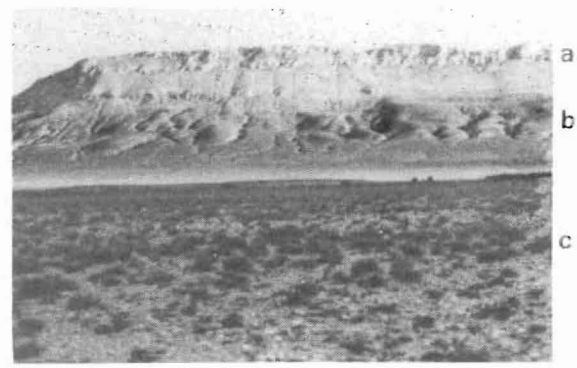
5 - Front de crête monoclinale («barre aptienne») à l'Est de Moudjbara :
   a - Glacis encroûté de piedmont (Quaternaire moyen),
   b - Argiles versicolores alternant avec strates gréseuses (C.I.C.).

6 - Plateau du Sersou oriental (au Nord de Ksar Chellala) :
   a - Chenal d'oued alluvionné avec cultures de céréales,
   b - Glacis de raccordement,
   c - Haute surface moulouyenne et affleurement de dalle calcaire au niveau du talus de raccordement.

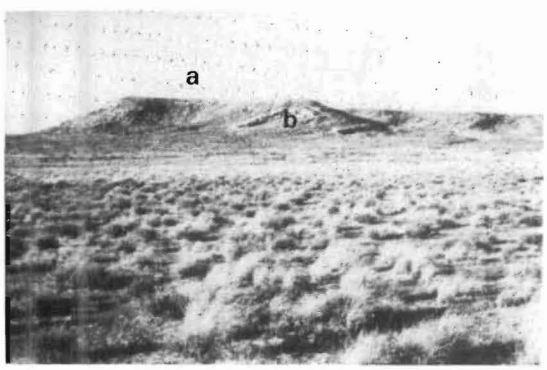
7 - Région des dayas (Sud de Laghouat).
   - Daya de type un peu déprimé à Pistachier *(Pistacia atlantica)*,
   - au premier plan, glacis encroûté du Quaternaire ancien (steppe à «Rmet» : *Arthrophytum scoparium*).

8 - Région de Djelfa (Aïn Maabed) :
   a - Haute surface moulouyenne : dalle calcaire sur les bancs de calcaire lacustre (passant latéralement à des conglomérats) et les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental.
   b - Terrasse ancienne profondément entaillée par un affluent de l'Oued Melah ; à la partie supérieure, niveau de sols hydromorphes plus ou moins noircis.

1

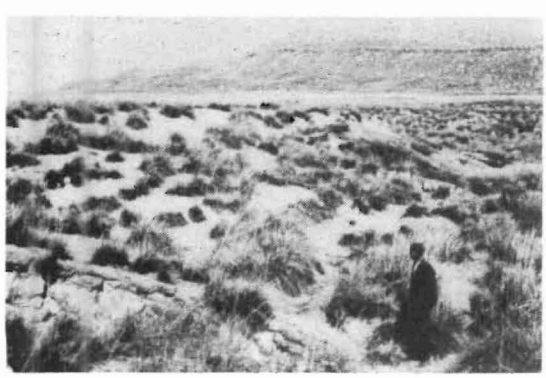


2



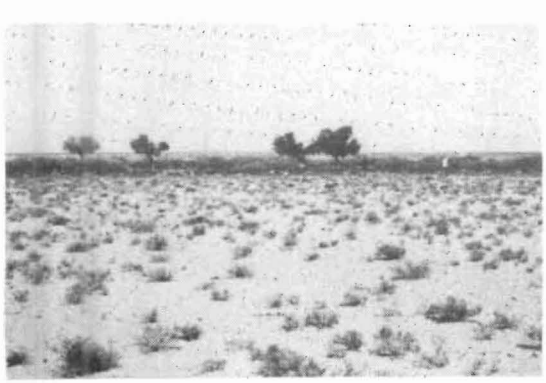
3

4

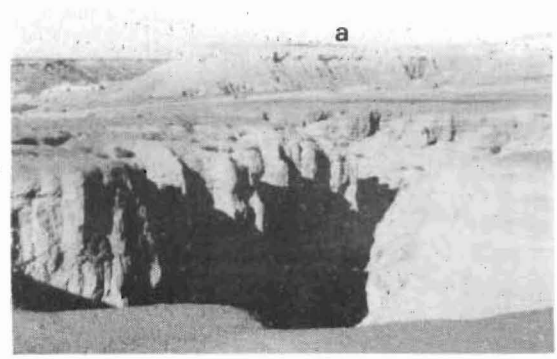


5

6



7



8

- aspect de muraille de quelques mètres de haut lorsque les strates sont redressées à la verticale,
- dalles monoclinales d'inclinaison variable en fonction du pendage avec un revers structural et une corniche abrupte qui, souvent, "piège" le sable mobile.

Entre ces reliefs ou microreliefs, la surface du sol, sensiblement plane est recouverte par un voile discontinu de sables grossiers, graviers et dragées de quartz provenant de la destruction des barres gréseuses. Les sols se développent sur les argiles versicolores ou sur les strates de grès plus friables (sols régosoliques, siérozems). On note localement des alluvionnements récents (sols peu évolués d'apport alluvial).

Le réseau hydrographique, plus ou moins encaissé prend un aspect géométrique particulier avec des sections parallèles longeant les alignements rocheux ou les recoupant à angle droit (cluses).

Dans certains cas, les strates gréseuses plus épaisses et résistantes forment des crêtes monoclinales avec des abrupts de plusieurs dizaines de mètres séparées par de profondes dépressions (combes) correspondant aux affleurements des roches tendres: anticlinal du djebel Zerga (planche V, photo 1) .

B - LES SURFACES PLUS OU MOINS PLANES (GLACIS ET TERRASSES).

Pour bien comprendre la nature et l'agencement des différentes surfaces, il faut essayer de se représenter l'immense pénéplaine en place à la fin du Villafranchien et les alignements de reliefs résiduels. Cet ennoyage quasi général, depuis les hauts sommets des Atlas, a comblé, sur une épaisseur parfois considérable, les anticlinaux évasés des Hautes Plaines et recouvert les vastes piedmonts sahariens. Dans l'Atlas saharien les dépôts continentaux, généralement moins épais et plus grossiers, prennent souvent un faciès conglomératique à proximité des reliefs résiduels. A la fin du Villafranchien, les conditions climatiques (relative aridification du climat) et un certain calme tectonique ont permis la formation d'une croûte calcaire, extrêmement résistante à l'érosion, "fossilisant" ainsi la surface villafranchienne. Par référence à la terminologie établie au Maroc, il est d'usage de l'appeler : Haute surface moulouyenne (le Moulouyen étant le Villafranchien supérieur). En fait, à partir de ce moment toute l'histoire morphogénétique du Quaternaire commence. Les phénomènes tectoniques et les variations climatiques y jouent le premier rôle. C'est cette histoire que je vais essayer de retracer en étudiant successivement :

- les formations encroûtées du Quaternaire ancien *(sl)*
- les formations plus ou moins encroûtées du Quaternaire moyen*(sl)*
- les formations du Quaternaire récent et actuel.

1 - LES FORMATIONS ENCROÛTEES DU QUATERNAIRE ANCIEN *(sl)*

Après la période de calme orogénique marquant la fin du Tertiaire, une série de mouvements tectoniques post-villafranchiens soulèvent l'ensemble de l'Atlas saharien qui se trouve alors en position de dorsale par rapport au compartiment saharien resté stable et aux Hautes Plaines, "coincées" entre les deux Atlas. La Haute surface moulouyenne va donc être :

- soit soulevée dans son ensemble (Atlas saharien) mais soumise à une érosion intense qui va l'attaquer vigoureusement et la déblayer complètement en maints endroits.
- soit plissée ou disloquée dans les zones marginales où la cassure favorise la formation de la fosse de subsidence du Bassin des Zahrez.
- soit maintenue en place (Hautes Plaines et piedmont saharien).

Quoiqu'il en soit, les vestiges de l'ancienne surface demeurent encore très importants, les plus typiques étant certainement les Hamadas du piedmont saharien; ces vastes plateaux encroûtés, bordés par des corniches abruptes, dominent de plusieurs mètres à dizaines de mètres les dépressions alluviales. Généralement la Haute surface conserve une morphologie de plateau, rarement raccordée aux reliefs dont elle a été isolée par la dissection des oueds. Pendant tout le Quaternaire elle a dû résister, non seulement à l'action des variations climatiques, mais aussi aux mouvements tectoniques ultérieurs, d'amplitude moindre et en constante dimininution.

A l'exception des Hauts-Plateaux Sud-oranais et du compartiment saharien (CHADENSON, 1952), la haute surface a donc été plus ou moins déformée avec formation de panneaux étagés ou "gauchis" (fig.9). Dans ces conditions, bien que très vite isolées des reliefs et malgré la présence d'une puissante croûte calcaire, les formes relativement tabulaires au départ, ont évolué en surfaces " polygéniques" faites de retouches successives par déficience de l'érosion linéaire (RAYNAL, 1966).

Les principaux types de modelés qui en résultent sont les suivants:

+ les buttes-témoins (planche V, photo 3), lambeaux subhorizontaux de la Haute surface, dominent les glacis et les formations plus récentes: "gours" au Sud

de l'Atlas, "draa" dans la région d'Aïn el Ibel (Draa el Oust, Draa es Serra, etc..).On observe çà et là quelques petites dayas sur l'une ou l'autre de ces buttes (cf.infra).

+ les glacis résiduels, plus étendus que les buttes témoins, présentent des dayas d'âges et de tailles très variables ainsi qu'un réseau plus ou moins dense de chenaux de ruissellement et de chenaux d'oueds alluvionnés.(planche III).

Ces deux types de modelé se rencontrent essentiellement dans l'Atlas saharien où certaines structures géologiques, synclinaux en particulier, ont permis une protection de la Haute surface(POUGET, 1977).

+ les vastes surfaces polygéniques, dans les Hautes Plaines, conservent une topographie sensiblement plane ou "gauchie" parfois étagée(tectonique post-villafranchienne). L'ensemble de la surface est parcouru par un réseau très ramifié, relativement dense de chenaux de ruissellement et de chenaux d'oueds alluvionnés; les dayas peuvent être nombreuses. En bordure, la surface se termine le plus souvent par une corniche avec des "rentrants" résultant d'une érosion linéaire par les oueds, oued Touil et oued Nahr Ouassel pour le Plateau du Sersou. Localement, la présence de puissants conglomérats à proximité immédiate des reliefs ou la présence de bancs de massifs de calcaire lacustre ont assuré une protection très efficace contre le démantèlement de la Haute surface, aussi bien dans l'Atlas saharien, région d'Aïn Maabed près de Rocher de Sel, que dans les Hautes Plaines, Plateau du Sersou et Hauts-Plateaux sud-oranais.

A cet ensemble de surfaces polygéniques du Quaternaire ancien se rattachent les collines (versants-glacis) encroûtées de la région d'Aïn Oussera. En effet, la croûte calcaire qui recouvre d'une façon continue les formations crétacées(marno-calcaires, $s\ell$) en épousant le modelé du terrain, présente un faciès comparable à celle des glacis polygéniques environnants (planche IV).

En définitive les surfaces du Quaternaire ancien ($s\ell$) se caractérisent par des sols à croûte calcaire. Les sols sont formés sur des matériaux très divers: alluvions-colluvions plus ou moins caillouteuses et parfois à faciès conglomératique, argiles sableuses rouges du Tertiaire continental, marno-calcaires, calcaires lacustres, etc. Les phénomènes de ruissellement

diffus prennent une grande importance en raison de la pente toujours faible (moins de 1-2%), de la surface du sol souvent battante et de la couverture végétale très ouverte; c'est en effet, par excellence, le domaine de la steppe à alfa et des steppes secondaires à "Chih " (*Artemisia herba-alba)*,"Zef-Zef" (*Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum)*, "Remt" (*Arthrophytum scoparium)*, etc. Fréquemment la steppe est dégradée par le surpâturage ou par les labours (céréales).

2 - LES FORMATIONS PLUS OU MOINS ENCROUTEES DU QUATERNAIRE MOYEN *(sl)*

Avec la surrection de l'Atlas saharien, l'enfoncement du réseau hydrographique provoque une reprise intense de l'érosion et une incision très active de la Haute surface moulouyenne. Localement, la formation de fosses de subsidence (Bassins des Zahrez et du Hodna) augmente les différences de niveau de base. De plus, parallèlement aux mouvements tectoniques les conditions climatiques plus agressives (pluviaux) accentuent encore les phénomènes érosifs et le rajeunissement des formes du relief.

Sans entrer dans d'autres détails morphogénétiques ou chronologiques, on distingue un certain nombre de formations détritiques plus ou moins encroûtées et attribuables au Quaternaire moyen (*sl*), la plupart étant d'ailleurs dans l'Atlas saharien.

+ les cônes de piedmont (cônes de déjection) se situent en bordure des reliefs au débouché des oueds importants (planche V, photo 4):

- il s'agit d'un matériau détritique hétérométrique très grossier, graviers, cailloux et blocs subanguleux, dans une matrice limonosableuse à sablo-limoneuse. L'épaisseur du dépôt est variable, de 0,5 à quelques mètres.
- la pente ne dépasse pas 5% environ.
- en surface, le reg fin à moyen, parfois grossier, est plus ou moins entaillé par des ravines ou des chenaux de ruissellement divergents séparés souvent par des lanières conglomératiques(I).
- l'accumulation calcaire se fait en croûte, encroûtement, amas et nodules. Son importance est fonction en particulier de l'éloignement des reliefs et de la nature du matériau: des lanières conglomératiques compactes, dures et continues, aux chenaux avec simplement des amas et nodules.

(I) Les lanières conglomératiques correspondent aux alluvions les plus grossières mises en place suivant des chenaux longitudinaux, étroits et souvent anastomosés.

Vers l'aval la pente diminue et l'on passe à un glacis-terrasse entaillé par des oueds plus importants. Incontestablement les cônes ne sont pas tous contemporains; les plus anciens se rattacheraient au Salétien, pluvial correspondant à la glaciation GUNZ . En effet, outre leur situation géomorphologique, la taille des blocs souvent très gros et l'altération des galets de grès les différencient assez nettement des cônes plus récents du Tensiftien, pluvial correspondant à la glaciation du RISS.

+ les glacis de piedmont (glacis d'érosion couvert à matériau colluvial). Ce sont des surfaces régulièrement inclinées situées au pied de reliefs plus élevés: abrupts de plis monoclinaux, de synclinaux perchés ou d'anticlinaux (planche II, planche V photos 2 et 5). Le matériau détritique assez grossier, peu épais, de 0,5 à 2-3 mètres, est d'origine colluviale et alluviale: système de petits cônes coalescents au niveau des entailles plus importantes du relief contigü plus élevé. La pente, 1 à 3% environ, s'atténue progressivement de l'amont vers l'aval; le glacis se raccorde éventuellement à une terrasse (glacis-terrasse). Très souvent un réseau de dissection linéaire, remontant jusqu'au relief, entaille plus ou moins profondément le glacis et peut même le dégager complètement; l'on a alors un glacis de dénudation.

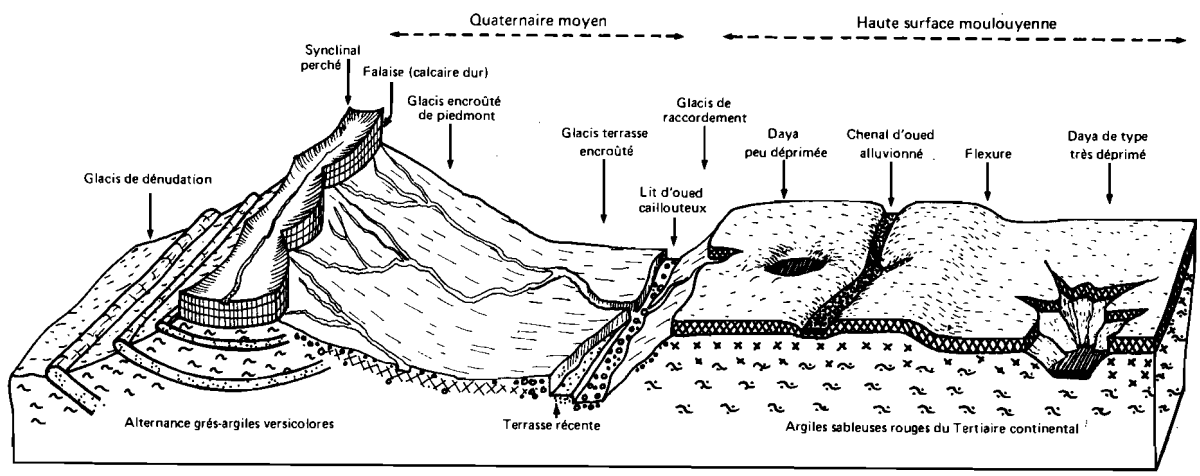


Figure 9 - Schéma théorique montrant quelques unités géomorphologiques

En surface, les graviers, cailloux, quelques blocs et les débris de croûte calcaire forment un reg fin à moyen peu dense. Ce type de glacis est toujours plus ou moins encroûté (croûte, encroûtement et/ou amas et nodules calcaires).

+ les glacis de raccordement(fig.9). Le terme est commode pour désigner un cas particulier de glacis de piedmont où le relief dominant n'est autre que le rebord en corniche de la Haute surface moulouyenne. De largeur réduite pour une pente assez forte, ils assurent la transition avec une dépression alluviale ou le fond d'une daya de type très déprimé. Parfois, il ne s'agit que d'une simple rupture de pente entre la surface ancienne et un glacis plus récent, ou un chenal d'oued alluvionné (planche V, photo 6).

+ les glacis à matériau alluvial grossier (glacis d'érosion couvert à matériau alluvial, glacis d'épandage de TRICART). Ce terme très général désigne une formation provenant de l'étalement à plus ou moins grande distance des reliefs, d'un matériau alluvial souvent assez grossier. L'épaisseur du dépôt augmente en s'éloignant des reliefs, dans certaines conditions elle peut atteindre plusieurs mètres et même dizaines de mètres. Il s'agit alors d'un glacis d'accumulation ou d'ennoyage comblant une zone de subsidence comme la bordure Sud du Bassin des Zahrez par exemple. La nature du matériau, de moins en moins grossier vers l'aval, est fonction de la lithologie des bassins versants alors que la pente décroît dans le même sens, devenant pratiquement nulle, moins de 2%.

En surface, les graviers, cailloux et surtout débris de croûte restent abondants. L'accumulation calcaire reste toujours un encroûtement sinon une croûte. Souvent ensablés, moins disséqués que les glacis de piedmont, ils passent latéralement à des glacis-terrasses avec une croûte à faciès conglomératique.

+ les glacis encroûtés type "calcaire lacustre" occupent d'anciennes dépressions mal drainées où l'accumulation calcaire s'est effectuée en milieu lacustre; les plus typiques dans le Sersou occidental (région de Mahdia) ont été bien étudiés par DURAND(1959).

+ enfin les surfaces polygéniques encroûtées formées sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental. Analogues aux surfaces polygéniques plus anciennes elles s'en distinguent par la position dans le paysage et la morphologie des horizons d'accumulation calcaire (cf.chapître IV).

Les glacis encroûtés du Quaternaire moyen demeurent par excellence le domaine de la steppe : steppes à alfa, steppes à chamaephytes et graminées diverses (*Lygeum spartum*) souvent dégradées par le surpâturage et les cultures de céréales.

3 - LES FORMATIONS DU QUATERNAIRE RECENT ET ACTUEL.

Les formations du Quaternaire récent se rapportent pour l'essentiel à des dépôts colluviaux et alluviaux relativement fins dont la mise en place s'est effectuée lors du dernier pluvial Soltanien (glaciation WURM). Occupant des surfaces nettement plus réduites que les formations précédentes, ils se localisent le plus souvent dans les dépressions alluviales qui aboutissaient aux zones basses marécageuses ou lacustres.

+ En piedmont, on observe des glacis analogues à ceux du Quaternaire moyen qu'ils remanient; ils restent très discrets et l'accumulation calcaire atteint rarement le stade encroûtement.

+ Par contre, les glacis à matériau essentiellement alluvial (texture moyenne à fine), prennent une certaine extension en s'emboîtant dans les formations plus anciennes (Atlas saharien). Dans les Hautes Plaines, ces alluvions, comblant les zones déprimées sur les surfaces encroûtées, s'étalent plus ou moins ou empruntent les chenaux d'oueds alluvionnées pour aller ensuite se déposer et se décanter dans les dépressions marécageuses ou lacustres. L'accumulation calcaire se fait en amas ou nodules, parfois encroûtement (siérozems). Il est intéressant de souligner, qu'encore actuellement, ces zones reçoivent des apports d'eaux de ruissellement; si elles ne sont pas cultivées, elles portent une steppe d'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) très dense comme dans la région à l'Ouest de Ksar Chellala.

+ les terrasses anciennes (Soltano-rharbien). Vers l'aval, dans les dépressions marécageuses ou lacustres mal drainées, les conditions climatiques aidant, il se forme des sols hydromorphes plus ou moins noircis, grisâtres avec localement un encroûtement calcaire ou calcaro-gypseux de nappe surmontant des horizons bariolés de pseudogley et gley.

Par la suite, l'érosion entaille rigoureusement, faisant sauter les seuils rocheux (barres de calcaire dur, grès ou conglomérat) en amont desquels s'étaient crées les zones hydromorphes; les oueds s'enfoncent et actuellement, les sols noircis se repèrent facilement en position de terrasses au sommet des coupes dans les incisions linéaires qui atteignent plusieurs mètres de profondeur. (planche V, photo 8). Manifestement, la situation topographique actuelle ne correspond plus à la genèse de sols hydromorphes.

Des formations analogues se retrouvent dans certaines dépressions fermées (dayas) et dans le Bassin subsident des Zahrez avec des faciès très variés :

- les niveaux de sols noircis et hydromorphes, avec ou sans encroûtement calcaire, calcaro-gypseux ou gypseux de nappe, forment une auréole plus ou moins continue et érodée en "terrasse" autour de la sebkha centrale du Zahrez Gharbi.
- dans les dépressions interdunaires du cordon des Zahrez, les horizons supérieurs ont disparu; l'encroûtement calcaire ou gypseux se consolide et subsiste sous forme de buttes-témoins, conservant ainsi les vestiges de l'ancien sol hydromorphe.

Une datation au carbone 14 effectuée sur les coquilles de petits mollusques (proches des *Melania*), prélevés dans ces niveaux du Zahrez Gharbi, donne 8.595 ± 165 BP.

Sensiblement contemporains des paléosols marécageux si fréquents au Sahara (QUEZEL et MARTINEZ, 1959; CHAVAILLON, 1964; DUTIL, 1971, etc..) ils marqueraient effectivement la grande période lacustre qui a précédé la dernière récurrence humide du Rharbien (Néolithique); on pourrait ainsi parler de Soltano-rharbien.

Outre leurs caractères hérités (couleur, teneur en matière organique, accumulation de calcaire ou de gypse) les sols actuels, évoluant sur ce matériau, restent fréquemment salés en profondeur. Ils sont souvent cultivés en céréales.

+ Les chenaux d'oueds alluvionnés (planches II-III-IV-V).

Ce terme, très discutable, désigne les "gouttières"(couloirs) à fond plat sur les glacis encroûtés où les eaux de ruissellement se concentrent et s'écoulent en nappe éphémère en direction des zones d'épandage ou des dépressions (dayas, sebkhas). L'épaisseur du matériau déposé par alluvionnement ou colluvionnement croît de l'amont vers l'aval, de quelques centimètres, à plus de un mètre: on passe ainsi progressivement d'un chenal de ruissellement à un chenal d'oued alluvionné. La surface du sol peut être unie, glaçage avec phénomènes de "steppe tigrée", ou entaillée par de petites incisions linéaires lorsque le ruissellement se concentre avec une pente plus forte ou des débits plus importants.

Les chenaux forment un véritable réseau dendritoïde soulignant la ligne de plus grande pente des surfaces polygéniques encroûtées du Quaternaire ancien et moyen sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental; de plus, on constate une certaine liaison entre le réseau et la

disposition des dayas (cf infra).

Zones privilégiées pour une éventuelle mise en valeur, autant par la profondeur et la texture des sols, siérozems et sols peu évolués de texture moyenne à fine, que par les apports d'eaux de ruissellement, elles ont joué et jouent encore un rôle important dans la morphogénèse et le façonnement des glacis encroûtés.

+ les terrasses récentes(basses terrasses)se localisent le long des oueds principaux. Leur extension reste limitée. Dans l'Atlas saharien, elles forment un talus de un à trois mètres montrant un matériau alluvial de texture moyenne à grossière; plus ou moins caillouteux, alternativement d'un côté ou l'autre du lit de l'oued en fonction des méandres (terrasses de méandres). Les sols, favorables dans l'ensemble, et une certaine disponibilité en eau par les nappes d'inféro-flux permettent l'installation de petits périmètres d'irrigation permanente.

Dans les Hautes Plaines, seul l'oued Touil possède des terrasses relativement bien individualisées mais la pente est si faible que les eaux de crue stagnent localement dans des mares temporaires, s'évaporent et s'infiltrent en profondeur pour former des nappes phréatiques salées. Plus en aval , avant de traverser l'Atlas tellien, l'oued Touil et son affluent l'oued Nahr Ouassel entaillent assez nettement leur terrasse récente et ancienne ; le matériau, ici de texture fine à très fine, provient essentiellement des marnes salées et gypseuses du Miocène de la bordure sud-tellienne.

+ Les zones d'épandage et de débordement.

L'étalement des eaux de crue à l'occasion des averses brutales et sporadiques permet le dépôt d'un matériau alluvial, de plus en plus fin vers l'aval, dans les zones d'épandage si caractéristiques des régions sèches. La dimension d'une zone est en relation avec l'étendue et la lithologie de son bassin-versant; bien évidemment les plus importantes se situent en bordure de l'Atlas saharien, particulièrement dans la fosse de subsidence du Bassin des Zahrez (oued Korrirech, oued Melah, oued Medjedel, etc.)

Les zones d'épandage se présentent généralement sous la forme de cônes triangulaires. Le matériau est remanié plus ou moins profondément et fréquemment par un réseau hydrographique anastomosé et changeant en fonction de l'importance et de la fréquence des crues. La pente, toujours faible , moins de 1-0,5%, diminue progressivement vers l'aval; les crues se décantent souvent dans des dépressions fermées ou possèdant un exutoire prolongeant ainsi le lit de l'oued.

Un tel apport d'eau sur des sols favorables (profondeur, bonne capacité de rétention) réunit les deux conditions indispensables pour envisager des cultures en zones arides; ce sont d'ailleurs les "greniers" de la steppe.

C - LES DEPRESSIONS

Après leur concentration sur les versants et interfluves, les eaux de ruissellement empruntent les chenaux d'oueds alluvionnés, les lits caillouteux et encaissés, s'étalent parfois dans les zones d'épandage et finalement se rassemblent et s'accumulent dans les dépressions endoréiques. En fait, elles peuvent aller très loin et être évacuées, soit à l'extérieur des zones steppiques, voire vers la Mer Méditerranée avec l'oued Touil, soit surtout, pour le piédmont Sud de l'Atlas saharien, vers les régions désertiques (Chott Melhrir, Grand Erg occidental). Elles peuvent aussi se rassembler dans les vastes systèmes endoréiques des Hautes Plaines (Chott Chergui, Zahrez Gharbi et Chergui, Chott el Hodna) et s'étaler sur plusieurs dizaines de km^2 :

- les particules solides en suspension se décantent et forment un dépôt de matériau fin, parfois plus grossier;
- les sels dissous précipitent par évaporation au cours du transport ou sur place et s'accumulent en surface;
- les solutions salines s'infiltrent en profondeur et alimentent les nappes phréatiques dont l'extension dépasse largement la zone d'immersion.

Les eaux de ruissellement peuvent également parcourir quelques dizaines ou centaines de mètres sur la Haute surface moulouyenne, se concentrer dans les chenaux de ruissellement et se rassembler dans une petite daya avec décantation des particules fines en suspension, évaporation et infiltration en profondeur.

Entre ces deux extrêmes, une multitude de cas demeure possible en fonction:

- des caractéristiques lithologiques, structurales et pédologiques des bassins versants.
- de l'état de la couverture végétale .
- de la tectonique (zones de subsidence).
- du régime des précipitations, etc.

Toujours est-il que l'on distingue, dès l'abord, les dépressions hypersalées (chotts, sebkhas) et les dayas.

1 - LES CHOTTS ET LES SEBKHAS .

Repris par l'usage scientifique, ces termes vernaculaires désignent des dépressions salées dont la différence essentielle réside dans le mode d'alimentation. Les sebkhas restent sous la dépendance d'apports d'eaux de crue; les chotts seraient des"machines évaporatoires" (COQUE, 1962) alimentées non seulement par des apports superficiels de ruissellement, mais aussi des nappes artésiennes profondes arrivant jusqu'en surface par des sources (Chott Chergui) ou des suintements (bordure des Zahrez; POUGET,1971).

En période pluvieuse, il se forme de véritables lacs; l'eau s'évapore peu à peu, la saturation en sels devient excessive (300 à 400 g/l) avec des dépôts de chlorures de sodium très importants, parfois exploitables (salines du Zahrez Gharbi).

Le vent,balayant cette surface desséchée sans végétation,est susceptible d'entraîner dans certaines conditions des particules argileuses et des cristaux de sels (chlorure de sodium, gypse) qui s'accumulent en bordure de la dépression: ce sont les lunettes et bourrelets éoliens de sebkhas (HILLS, 1940; BOULAINE, 1953, 1957; BELKHODJA,1972).

Tout autour de la sekha ou du chott, la présence d'une nappe phréatique salée et inégalement profonde, contribue à la formation de sols halomorphes. Néanmoins, la distribution théorique des sols, souvent avancée par de nombreux auteurs, en auréoles concentriques de moins en moins salées au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la sebkha, est rarement observée; en effet de multiples facteurs locaux, tectoniques, lithologiques, sédimentologiques et pédologiques, nuancent considérablement la profondeur de la nappe phréatique et la salure des sols.

A ces bordures de sebkhas ou de chotts, peuvent être rapprochées les dépressions alluviales mal drainées de l'oued Touil dans sa traversée des Hautes Plaines avec une nappe phréatique salée proche de la surface. S'en rapprochent aussi les zones salées (hypersolonchaks) situées à l'aval des sources et surtout des suintements d'eaux souterraines plus ou moins saumâtres : grès de la région d'El Bordj près de Messad, etc..

2- LES DAYAS.

Ce terme vernaculaire caractérise une dépression fermée de l'ordre métrique à kilométrique où s'accumulent les eaux de ruissellement non salées ou peu salées. Les eaux se maintiennent quelques jours ou quelques semaines; une partie s'évapore, une autre partie s'infiltre très lentement à travers un sol de texture moyenne à très fine alors que le reste est utilisé par une végétation variée : arbres (*Pistacia atlantica* ou "botma", ce sont les célèbres "Betoum"), nanérophytes (*Ziziphus lotus)* et plus généralement des espèces végétales adaptées à la texture et au régime de submersion temporaire. Les dayas sont souvent cultivées (céréales).

La plupart des dayas se localisent sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien, moins souvent sur le Quaternaire moyen. D'autres dépressions, analogues aux dayas, existent dans certaines formations du Jurassique et du Crétacé inférieur comme les grès et argiles versicolores(planche III) CONRAD *et al* (I967), étudiant les dayas sur la Hamada du Guir, au Sahara occidental, en distinguent trois types principaux en fonction de leur taille et surtout de leur profondeur :

- type peu déprimé : 15 à 20 mètres de diamètre et quelques centimètres de dénivellation ; le changement de végétation et de la surface du sol permet seul de discerner ce type de daya .
- type un peu déprimé :diamètre de 60 à 150 mètres pour une dénivellation ne dépassant pas un mètre. Leur forme reste grossièrement circulaire avec des évaginations correspondant à des chenaux de ruissellement plus ou moins bien individualisés et profonds. CAPOT-REY(1939) compare ce type de daya le plus fréquent à une "assiette creuse".
- type très déprimé (fig.9): diamètre de l'ordre hectométrique sinon kilométrique pour une dénivellation de plusieurs mètres. Le fond de la daya est plat , les bords se relevant brusquement avec une petite falaise incisée par un réseau rayonnant d'entailles. Les"Mekmene" de la région de Mécheria, dans les Hauts-Plateaux sud-oranais, seraient un type de daya analogue mais encore plus évolué: la dalle de calcaire lacustre forme une corniche dominant les argiles rouges du Tertiaire continental, érodées en véritables "bad-lands".

Entre ces trois types principaux, tous les intermédiaires existent et CONRAD pose la question de savoir si " ces divisions arbitraires ne seraient pas en fait des étapes différentes d'un même processus". CAPOT-REY (I939) a

montré le premier, l'analogie existant entre les dayas et les dolines; ce serait donc une forme karstique. D'autres auteurs insistent sur l'importance de la déflation éolienne et l'action du ruissellement pour élargir la daya. Ainsi, pour ESTORGES (I959,1961), le façonnement des dépressions serait le résultat de la conjugaison variable de trois processus d'érosion:

- dissolution chimique (formation karstique).
- élargissement par ruissellement
- approfondissement par récurrage éolien.

Sans entrer davantage dans le détail de leur formation, il convient de souligner dès à présent leur très grande diversité de formes, de taille, de sols et de régimes hydrologiques. Malgré toutes ces différences elles n'en tranchent pas moins avec les zones avoisinantes et représentent un milieu écologique bien spécifique.

D - LES FORMATIONS EOLIENNES

Le cordon dunaire du Bassin des Zahrez constitue incontestablement, par son étendue et par la masse de sable qu'il représente, la formation la plus typique de l'ensemble des Hautes Plaines (planche I). Très importante au cours du Quaternaire, l'action du vent se manifeste encore actuellement d'une façon certes moins spectaculaire, mais non moins réelle, sinon insidieuse. Outre le cordon dunaire, plusieurs types de formations d'âge et de nature différents peuvent être discernés :

- les bourrelets éoliens de bordure de sebkhas.
- les formations éoliennes anciennes et fixées.
- les formations éoliennes mobiles.
- le cordon dunaire des Zahrez.

1. LES BOURRELETS EOLIENS DE BORDURE DE SEBKHAS OU DE CHOTTS.

A l'opposé des vents dominants du Nord-Ouest - Ouest, on observe sur la bordure Sud Est - Est des principaux chotts (Chott Chergui, Zahrez Gharbi et Chergui, Chott el Hodna) de véritables champs de microdunes de quelques mètres de haut au maximum, ou simplement de petites nebkas (cf infra) de dimension plus réduite. Assez souvent leur forme peut rappeler des barkhanes dont la ligne de crête est fossilisée par un encroûtement gypseux, parfois une croûte gypseuse avec son réseau polygoné typique. En s'éloignant de la sebkha leur taille diminue et des épandages alluviaux ou des dépôts éoliens

plus récents les recouvrent peu à peu. Sous l'influence de la nappe phréatique, proche de la surface, les microdunes peuvent également être, en totalité ou en partie, remaniées et consolidées en encroûtement gypseux de nappe.

En bordure du Zahrez Gharbi, le matériau est un sable très gypseux, 40 à 80% de gypse en cristaux lenticulaires, en mélange avec un sable quartzeux de type fluviatile faiblement éolisé: courbes de fréquence unimodale (mode à 140 µ), dissymétriques avec une forte proportion de sables grossiers (fig.10).

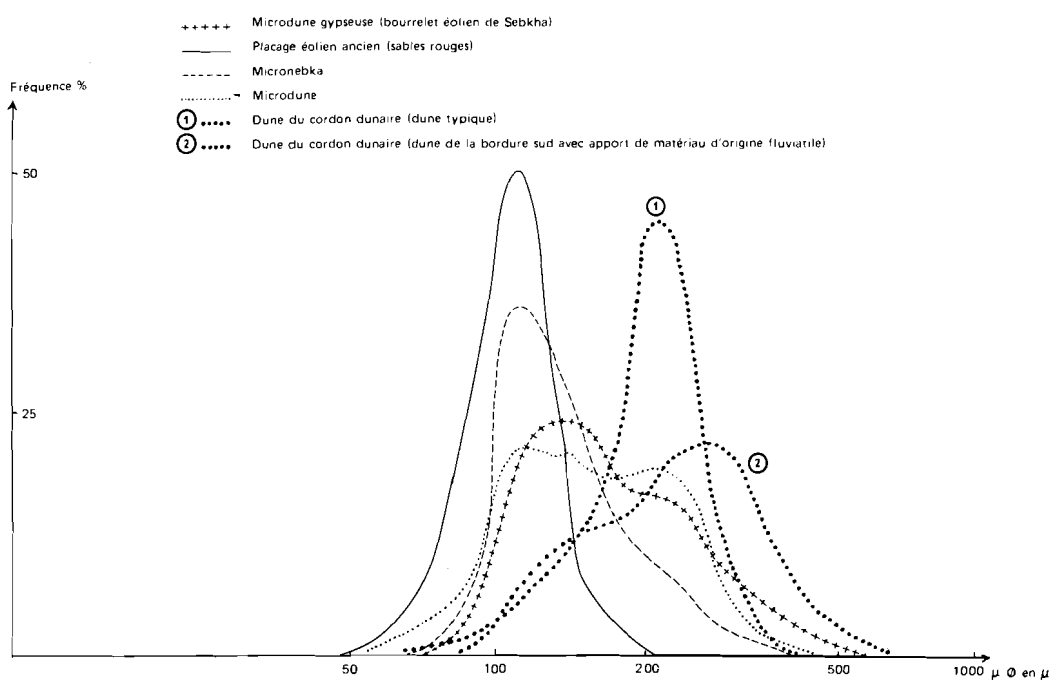


Figure 10 - Granulométrie des sables des principales formations éoliennes: courbes de fréquences des différentes fonctions sableuses

Ce matériau provient de la déflation éolienne à la surface du Zahrez sous l'action des vents dominants à une époque relativement récente(après le dernier pluvial, donc post Wurm). Plus au Nord, en bordure Est de la dépression de Boughzoul, on observe de petites collines plus ou moins applanies et nivelées en glacis. Le matériau, très argileux(pseudosables) et riche en petits cristaux de gypse lenticulaire, apparaît en tout point comparable à celui de la sebkha Ben Ziane près d'Oran (BOULAINE, 1953, 1957).

2 - LES FORMATIONS EOLIENNES ANCIENNES ET FIXEES.

Deux ensembles d'âge différent s'individualisent nettement : les placages de sables rouges encroûtés et les sables jaune-rougeâtres.

+ les placages de sables rouges encroûtés (Quaternaire moyen ?) . Que ce soit par reptation, saltation ou mise en suspension (BAGNOLD, 1953; GUYOT, 1969; YAKUBOV, 1969), le sable transporté par le vent peut remonter le flanc des djebels, franchir les crêtes et se trouver ainsi "piégé" de l'autre côté du versant. Le sable s'accumule peu à peu , il se forme un placage dont la masse devient parfois importante. Les placages les plus anciens sont vraisemblablement les sables rouges piégés dans les petits djebels au centre du Bassin des Zahrez entre les deux dépressions du Gharbi à l'Ouest et du Chergui à l'Est :

- leur couleur est toujours rouge (5 YR 6/8).
- leur granulométrie se caractérise par des sables fins très bien triés et une courbe de fréquence unimodale à mode situé entre 110 et 120 µ; ceci correspond aux sables les plus fins transportés par saltation.
- bien que non calcaires, ces sables siliceux sont fossilisés en surface par une croûte calcaire dont l'origine se rattache manifestement à une migration latérale des carbonates depuis les crêtes des djebels.

+ les sables jaune-rougeâtres (Quaternaire récent).

Toujours dans la même région, mais souvent plus à l'Est et au-delà de Bou Saada, il est impossible de ne pas repérer des placages de sables siliceux jaune-rougeâtres (5 YR 6/6 à 7,5 YR 6/6) et de granulométrie identique aux précédents. Bien plus, ces sables se retrouvent dans tout le Bassin des Zahrez et du Hodna (SARY et CAPOLLINI, 1969) où ils ont conservé une autre morphologie éolienne typique (dunes, microdunes, nebkas) ou au contraire ont été remaniés en "glacis" par ruissellement. Ils forment alors un manteau plus ou moins continu sur les glacis encroûtés ou sur les placages eux-mêmes. Sur ces sables fixés par la végétation on observe des sols évolués sans accumulation calcaire (sierozems modaux).

Toutefois, l'érosion hydrique et surtout éolienne trouve là un matériau de choix auquel s'ajoute une contribution très efficace de l'homme qui détruit les espèces vivaces (labours, surpâturages, etc.).La couverture sableuse peut être ainsi fortement érodée avec remise en mouvement du sable qui s'intègre aux autres matériaux d'origines divers remaniés actuellement par le vent ou les eaux de ruissellement.

3- LES FORMATIONS EOLIENNES MOBILES (non ou peu fixées)

D'importance et de forme très variées et variables, depuis le discret voile sableux jusqu'au cordon dunaire des Zahrez, les formations éoliennes mobiles parmi les plus classiques sont les suivantes : (fig.11).

+ les voiles sableux, recouvrement généralement discontinu peu épais, quelques centimètres, plus ou moins fixé par des psammophytes vivaces ou annuels (*Plantago albicans* par exemple).

+ les nebkas, accumulation de sable éolien arrêté par un obstacle de petite dimension (touffe de végétation, bloc rocheux). Le sable s'accumule "sous le vent" formant un monticule en forme de pointe de flèche dont la hauteur diminue en s'éloignant de l'obstacle. La taille des nebkas varie de quelques centimètres à quelques décimètres de haut pour une longueur d'environ 0,50 à 2 mètres; le terme de micronebkas est parfois utilisé pour désigner les plus petites. Leur direction est théoriquement celle du vent, elles se façonnent et se détruisent très rapidement. Cependant elles restent groupées le plus souvent en champs de nebkas pratiquement permanents et qui investissent les surfaces les plus variées, depuis les glacis du Quaternaire ancien jusqu'aux dépressions salées ou même les dayas.

Le matériau est un sable fin, de mode situé entre 120 et 150 µ , (fig.10), siliceux, très faiblement calcaire (moins de 5% en moyenne). Certaines caractéristiques locales apportent des nuances avec la présence éventuelle de sels ou de gypse.

MONOD (1973) les appelle des nebkas-flèches pour les distinguer des nebkas-pièges (ou buttes plantées); l'exemple le plus typique étant les très classiques buttes de Jujubiers ou de Tamaris. De telles buttes, grossièrement circulaires, peuvent atteindre deux mètres de haut et plusieurs mètres de diamètre. Le sable, piégé dans le massif de Jujubiers (*Ziziphus lotus*) s'accumule peu à peu; il se crée un véritable biotope qui évolue différemment, sinon indépendamment du milieu environnant. Refuge pour une multitude d'animaux (rongeurs, insectes, serpents, etc) et d'espèces végétales, la butte de Jujubiers est un "monde à part" que les observations de LONG(1954) ont permis de mieux connaître. On soulignera ici simplement son rôle dans la régénération du pistachier (*Pistacia atlantica*)dont le jeune individu trouve une protection bien efficace au milieu du massif épineux (MONJAUZE, 1965).

La touffe d'alfa (*Stipa tenacissima*)serait un autre exemple de nebka-piège puisqu'elle "capte" effectivement un matériau éolien, parfois un peu détritique cependant.

+ les microdunes : accumulations de sable éolien, généralement plus importantes que les nebkas. Elles sont plus ou moins fixées par des touffes de psammophytes vivaces spécifiques comme le "Drinn" (*Aristida pungens*).Ceci suppose une certaine épaisseur et stabilité de la masse sableuse.

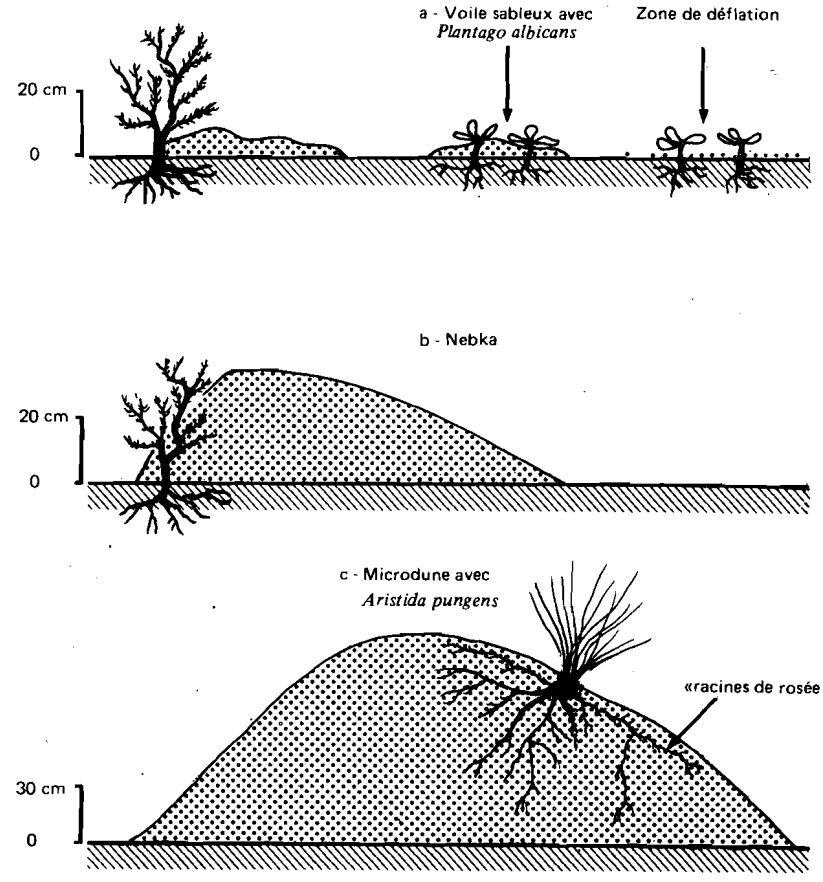


Figure 11 - Schéma des principales formations éoliennes mobiles

A la différence des nebkas-flèches typiques où la plante joue uniquement un rôle mécanique d'obstacle, la plante "vit" sur le sable tout en étant et en devenant un obstacle. Il existe tous les termes de passage entre les deux formations. En effet, les microdunes sont aussi des formes sociales et se regroupent en champs d'étendue variable, en mélange avec des nebkas. Elles s'associent également aux dunes vives du cordon dunaire des Zahrez, particulièrement en bordure, dans la zone de transition avec la steppe environnante.

La granulométrie du matériau, plus grossière que pour les nebkas, se rapproche de celle des dunes tout en restant variable (fig.10).

4 - LE CORDON DUNAIRE DU BASSIN DES ZAHREZ.

Il s'étend dans le sens Sud- Ouest -Nord-Est sur environ I50 km de longueur, depuis l'oued Touil jusqu'aux djebels à l'Est du Zahrez Chergui, et sur 2 à 3 km de largeur en moyenne. D'abord composé de petits massifs dunaires isolés, il devient peu à peu continu et difficilement franchissable. Les dunes vives, de formes assez mal définies, atteignent parfois quelques dizaines de mètres de hauteur. Dans les zones marginales et au niveau des dépressions interdunaires, les dunes relativement moins élevées commencent à être peu à peu colonisées et fixées par une végétation spécialisée de psammophytes vivaces et de phréatophytes (*Tamarix* sp,*Imperata cylindrica*, *Phragmites communis*, etc.) En effet, les eaux de ruissellement venant de l'Atlas saharien sont retenues dans la masse sableuse, créant des nappes phréatiques peu profondes et faiblement salées (POUGET,1971).

La couleur des sables va du rouge (5 YR 5/6-6/6) au blanc(10 YR 8/1) en passant par le jaune-rougeâtre (7,5 YR 6/6 à 6/4). Comme pour la plupart des formations éoliennes de ce type, les fractions granulométriques inférieures à 50 µ(argiles et limons fins) sont pratiquement absentes. Compte-tenu des différences liées à la position sur la dune (sommet, flancs, faces "au vent" ou "sous le vent", etc), on constate deux gradients importants :

- les sables sont d'autant plus fins que l'on va vers le Nord-Est dans le sens de la progression des sables et des vents dominants.
- les sables sont plus grossiers sur la bordure Sud (fig.10) en relation avec les apports d'origine fluviatile provenant de la déflation des lits d'oueds ou épandages alluviaux plus ou moins grossiers.

Une étude systématique du cordon dunaire serait indispensable pour préciser l'origine du sable et sa progression actuelle afin d'envisager sérieusement les méthodes et les moyens à mettre en oeuvre pour assurer sa stabilité et sa fixation. Globalement il semble que les dunes se remodèlent constamment et sont en réalité pratiquement fixes, l'énergie du vent étant en grande partie utilisée à remodeler les formes. C'est tout au moins ce qui apparaît en comparant les photos aériennes prises à une quinzaine d'années d'intervalle (1949 et 1963).

L'abondance des affleurements gréseux dans l'Atlas saharien explique pour une large part l'origine des sables. Non moins certaine est l'action qu'a joué , et que joue encore l'érosion hydrique dans le prélèvement et le transport de ce matériau sableux; il n'est qu'à voir les champs de nebkas et de microdunes bordant les lits caillouteux des oueds le long du piedmont sud de l'Atlas saharien(POUGET,1977).

E - CONCLUSIONS.

Les steppes sud-algéroises se caractérisent par un modelé typique des régions sèches. L'opposition avec les régions telliennes plus humides, souligne la zonalité climatique des formes du relief.

Que se soit dans l'Atlas saharien ou dans les Hautes Plaines, la morphologie conserve l'empreinte de toute l'histoire climatique et tectonique du Quaternaire. Le paysage a été modelé par la succession de plusieurs séquences d'érosion, dont trois principales, avec individualisation pour chacune de dépôts et de formes caractéristiques encore bien conservées. Pour certaines, les plus anciennes, l'action de l'érosion a été freinée par les accumulations calcaires (croûtes et encroûtements) alors qu'actuellement l'aridité du climat ne permet que des ravinements localisés; les oueds travaillent, certes efficacement, mais par intermittence pour entailler les formations meubles (argiles sableuses rouges du Tertiaire continental, marnes et argiles, alluvions et colluvions,etc), pour saper les terrasses récentes et pour épandre des sédiments fins. L'action fondamentale du ruissellement diffus dans la morphogénèse serait à préciser, surtout dans un contexte d'aridité croissante.

Mais la conclusion la plus importante est bien de constater que les unités géomorphologiques apparaissent associées à des sols, à des conditions de drainage et à des types de végétation, semble-t-il, bien définis. Il est essentiel d'en tenir compte pour situer le cadre de l'étude des relations sol-végétation à un niveau de perception très proche du "secteur écologique" de LONG(1974) ou du "système écologique" de JURDANT *et al*(1972).

Chapitre II

LES SOLS ET LA VÉGÉTATION

I – LES SOLS

A - LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS.

Le tableau récapitulatif des 120 familles de sols (annexe 1) concernant les 1210 profils du fichier végétation-milieu (cf.chapître III) témoigne d'une grande diversité des sols dont la répartition se fait, certes inégalement, dans 8 classes de la classification française (C.P.C.S,1967): sols minéraux bruts, sols peu évolués, vertisols, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, sols à sesquioxydes de fer, sols hydromorphes et sols halomorphes.

Les grands ensembles lithologiques et géomorphologiques servent de cadre pour la présentation des principaux types de sols. C'est ainsi que je distinguerai successivement :

- les sols formés sur le substratum géologique.
- les sols à accumulation calcaire des glacis et terrasses quaternaires.
- les sols des formations alluviales récentes et actuelles.
- les sols des dayas.
- les sols des formations éoliennes.

et enfin trois ensembles de sols dominés par des caractéristiques particulières qui déterminent des classes (ou sous-classes)spécifiques:

- les sols gypseux.
- les sols halomorphes.
- les sols hydromorphes.

1 - LES SOLS FORMES SUR LE SUBSTRATUM GEOLOGIQUE.

Les sols se sont formés et évoluent directement sur le substratum géologique (roche en place) et non sur des dépôts secondaires (alluvions, colluvions, dépôts éoliens). La présence des deux grandes catégories de roches carbonatées, roches calcaires dures et roches calcaires tendres, se traduit donc par deux grands types de milieux : (LAMOUROUX,1972; PEDRO,1972)

- les roches calcaires compactes et dures où l'évolution ne se produit qu'aux interfaces roche-atmosphère car la roche se divise difficilement. L'entraînement des carbonates, peu à peu dissous par les eaux (altération pelliculaire de LAMOUROUX) se fait d'autant plus profondément que l'évolution est ancienne et le climat actuel plus humide.

- les roches calcaires tendres. Dans un matériau plus tendre et plus perméable l'évolution est rapide car l'altération pénètre aisément en profondeur. Les roches se fragmentent beaucoup plus, facilitant la progression des racines et la mise en solution d'une grande quantité de carbonates qui restent en partie dans le profil et peuvent s'accumuler. Il en résulte des sols profonds, continus, d'évolution relativement rapide mais susceptibles à l'érosion.

a - Sur roches calcaires compactes et dures.

On distingue deux grands ensembles de sols en fonction de la nature de la roche :

- Sur calcaires durs plus ou moins dolomitiques les sols sont généralement de texture moyenne à fine (résidus argileux insolubles), peu épais, discontinus car localisés dans les poches et les diaclases de la roche.

- Sur grès siliceux faiblement calcaires, l'abondance de quartz résiduels, libérés par l'altération, contribue à la formation d'un sol de texture plus grossière, très perméable, mais toujours discontinu entre les roches.

α - Sur calcaires durs plus ou moins dolomitiques on observe trois types de sols principaux : les sols fersiallitiques, les rendzines et les sols calcimagnésiques xériques (fig.12).

+ Les sols fersiallitiques (Sols rouges méditerranéens): (S 94)

Ils se localisent en zones subhumides et semi-arides dans les djebels de l'Atlas tellien et du djebel Nador, plus particulièrement dans les poches karstiques d'étendue et profondeur variables. Sous végétation forestière (forêt claire de pin d'Alep, chêne vert, etc) ou matorral de dégradation, le profil-type se présente ainsi (fig.12):

En surface, litière de brindilles, feuilles, aiguilles (horizon A_o)

0 -20 cm Horizon humifère Ah; brun rouge foncé, 2,5 YR à 5 YR avec valeur et chroma inférieurs à 4/3; texture moyenne à fine; structure grumeleuse très nette; non calcaire; nombreuses racines.

20 - 50cm Horizon (B); rouge, texture moyenne à fine; structure polyédrique très nette moyenne à fine; agrégats à faces luisantes typiques; non calcaire; nombreuses racines.

Au-dessous, roche calcaire dure avec parfois un horizon d'accumulation calcaire (amas et nodules) et des pellicules rubannées tapissant les parois des diaclases.

Les sols fersiallitiques sont donc des sols non calcaires qui peuvent présenter un profil organique de type isohumique dans certaines conditions (cf.chapître IV).

+ Les rendzines : (S 35)

Dans l'Atlas tellien et saharien (aride supérieur) sous végétation forestière ou matorral, il s'agit d'une rendzine humifère typique avec un horizon Ah de couleur brun-rougeâtre foncé à très foncé (5 YR à 7,5 YR avec valeur et chroma inférieurs à 4/3), texture moyenne à fine, structure grumeleuse, nombreuses racines et débris de calcaire dur.

La teneur en calcaire total, toujours faible (< 10%) peut devenir quasi nulle. Par ailleurs, certaines caractéristiques lithologiques (calcaires en plaquettes) favorisent la formation de rendzines, les sols fersialliti- ques se formant sur calcaires plus compacts et massifs.

+ Les sols calcimagnésiques xériques modaux (S 47).

Avec la disparition de la végétation forestière et son remplacement par la steppe d'alfa, les rendzines cèdent peu à peu la place aux sols calcimagnésiques xériques dans tout l'étage aride.

Le profil comprend un horizon A d'épaisseur variable (10-30 cm environ) nettement moins humifère: brun à jaune rougeâtre(5 YR à 7,5 YR avec valeur et chroma supérieurs à 4/3, jusqu'à 6/6, 6/8 en fonction de la teneur en matière organique), texture moyenne à fine, en surface pellicule de battance et structure finement lamellaire sur 1 à 2 cm d'épaisseur, devenant polyédrique subanguleuse moyenne à fine, peu nette , calcaire (généralement inférieur à 25%), nombreuses racines, débris de calcaire.

Au-dessous, roche calcaire dure, avec parfois un horizon de transition plus clair, comprenant de nombreux blocs et débris de calcaire.

Le sol se localise entre les blocs de roches au niveau des diaclases empruntées par les racines ou d'anciennes poches karstiques.

Le tableau 12 résume les principaux types de sols en fonction des formations végétales et des bioclimats.

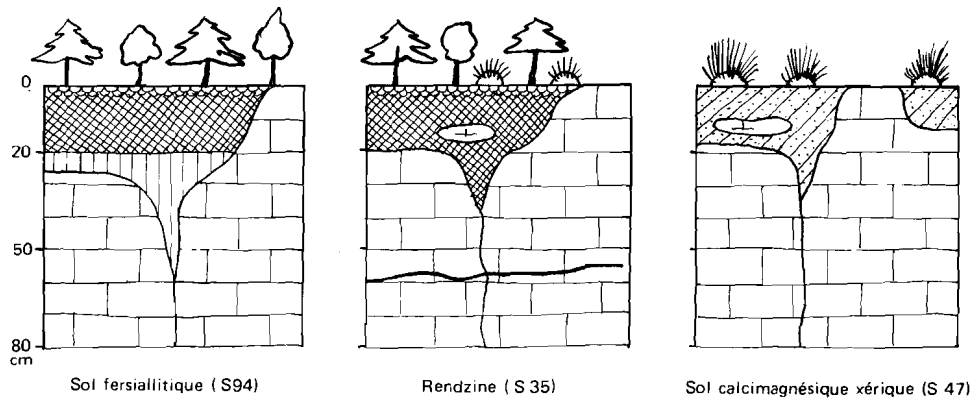
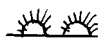


Figure 12 - Les sols formés sur calcaires durs

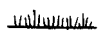
Formations végétales / Bioclimats	Forêts-Matorrals	Steppes à alfa	Cultures
S H	Sols fersialliti-ques Rendzines		Sols fersiallitiques (peu humifères) Rendzines
S A	Sols fersialliti-ques Rendzines		Sols fersiallitiques (peu humifères) Rendzines.
A S	Rendzines	Rendzines Sols calci-xéri-ques	
A M		Sols calci-xériques	
A I		Sols calci-xériques	

Tableau 12 : Les principaux types de sols formés sur calcaires durs.

Forêt-matorral


Steppe à alfa

Steppe (SI)


Cultures (céréales) et jachères

Croûte saline en surface

Pseudosables en surface

Blocs et graviers

Texture très grossière (A + LF < 5 %)

Texture grossière (5 < A + LF < 20 %)

Texture moyenne (20 < A + LF < 40 %)

Texture fine (40 < A + LF < 70 %)

Texture très fine (A + LF > 70 %)

Pellicule rubanée (ou horizon laminaire KI)

Dalle calcaire

Croûte calcaire

Encroûtement calcaire

Amas et nodules calcaires

Horizon CCa à gros amas calcaires

Amas gypseux

Encroûtement gypseux de nappe (ou croûte)

Encroûtement gypseux de surface (ou croûte)

Horizon Ao (litière)

Horizon humifère Ah

Horizon A

Structure de type vertique

Pseudogley

Gley

Nappe phréatique

Roche calcaire en voie d'altération

Calcaire dur ± dolomitique

Grès dur faiblement calcaire

Marno-calcaire *(SI)*

Marne

Marne gypseuse

Argileuse sableuse rouge (T.C.)

Sable éolien gypseux

Figure 12 bis - Légende des symboles utilisés pour les figures concernant les profils de sols

β Sur grès durs . Outre les sols fersiallitiques (S 95) analogues aux précédents sur calcaires durs, on distingue: (fig.13)

. les sols bruns calciques
. les sols bruns calcaires
. les sols calcimagnésiques xériques.

+ Les sols bruns calciques (S 59) . Dans les régions telliennes semi-arides et les djebels gréseux de l'Atlas saharien (aride supérieur), sous végétation forestière, les sols bruns calciques se caractérisent essentiellement par un horizon humifère Ah, brun-rouge foncé à brun foncé (5 YR à 7,5 YR avec valeur et chroma inférieurs à 4/3), texture grossière à moyenne, structure grumeleuse devenant polyédrique subanguleuse, non calcaire, nombreuses racines.

D'épaisseur variable, 10 à 30 cm environ, l'horizon Ah repose directement sur le grès plus ou moins diaclasé avec parfois des dépôts de calcaire sur les parois.

+ Les sols bruns calcaires (S 37)

En fait, ils ne diffèrent des sols précédents que par la présence de calcaire dans l'horizon Ah et surtout un début de différenciation d'horizon (B) avec localement accumulation de calcaire (encroûtement et même croûte) entre les blocs de grès et les diaclases. Les sols bruns calcaires se rencontrent tout particulièrement sur certaines djebels gréseux de l'Atlas saharien (matorrals de l'aride supérieur); la présence de minces strates décimétriques de marnes intercalées entre les bancs gréseux explique pour une part la décarbonatation incomplète et l'accumulation calcaire d'autant plus nette que le profil se situe en bas de versants.

+ Les sols calcimagnésiques xériques modaux (S 48)

Analogues aux sols calcimagnésiques xériques formés sur calcaires durs, ils prennent le relais avec l'apparition de la végétation steppique dans l'étage aride.

Le profil type comprend un horizon A, peu épais, (10-30 cm), brun-rougeâtre à jaune rougeâtre, texture grossière, structure massive à particulaire (tendance polyédrique subanguleuse, peu nette), faiblement calcaire (< 10 %).

Au-dessous, dalle gréseuse avec des diaclases où s'immiscent les racines.

En zones subhumides, outre les sols fersiallitiques modaux, on observe des sols fersiallitiques lessivés (S 100) parfois érodés (S 101) ou légèrement hydromorphes (S 102) très typiques.

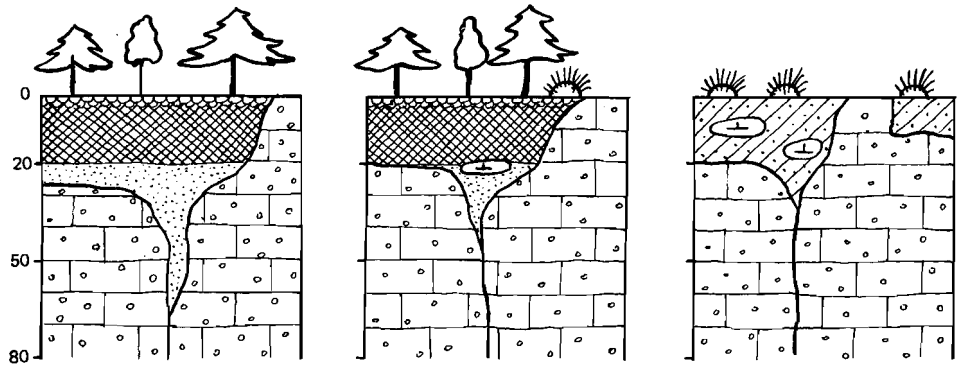


Figure 13 - Les sols formés sur grès durs

Formations végétales / Bioclimats	Forêts-Matorrals	Steppes à alfa	Steppes (et cultures)
SH	Sols fersiallitiques Sols bruns calciques		
S A	Sols fersiallitiques Sols bruns calciques		
A S	Sols fersiallitiques Sols bruns calciques Sols bruns calcaires	Sols bruns calciques Sols bruns calcaires Sols calci. xériques	Sols calci. xériques
A M		Sols calci. xériques	Sols calci. xériques
A I		Sols calci. xériques	Sols calci. xériques

Tableau 13: Les principaux types de sols formés sur grès durs.

b- Sur roches calcaires tendres

α Sur marno-calcaires. Assurant la transition entre les calcaires durs et les marnes, les marno-calcaires regroupent donc un ensemble de roches variées : calcaires tendres, calcaires gréseux, grès marneux, parfois même des marnes, etc.

Ils sont presque toujours intercalés avec des strates de calcaires durs, plus ou moins importantes, mais souvent déterminantes sur le modelé et l'évolution des sols (protection contre l'érosion). On reconnait trois types de sols : (fig.14).

+ Les sols bruns calcaires (S. 36). Le profil type s'observe sous forêts ou matorrals depuis les régions subhumides du Tell jusqu'à l'Atlas saharien (aride supérieur).

En surface, horizon A_o (litière).

0 - 20 cm Horizon humifère Ah; brun foncé (7,5 YR à 10 YR avec valeur et chroma inférieurs à 4/3); texture moyenne à fine; structure grumeleuse; le plus souvent très calcaire (10 à 60% environ); nombreuses racines.

20-40 cm Horizon (B); plus clair, brun jaunâtre; texture moyenne à fine; structure polyédrique à polyédrique subanguleuse, nette; toujours plus calcaire que l'horizon A; nombreuses racines.

> 40 cm Horizon C avec débris de marno-calcaires et nombreuses racines.

Un début d'accumulation calcaire commence à s'individualiser dans l'horizon (B) sous forme d'encroûtement discontinu.

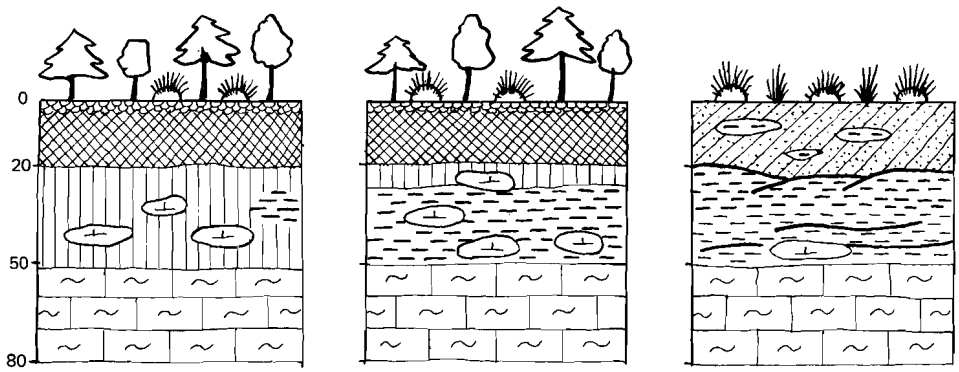
La dégradation du couvert végétal et la mise en culture déclenche une érosion plus ou moins intense avec entraînement des horizons de surface et formation de sols régosoliques (S 11) et même de régosols.

+ Les sols bruns calcaires à encroûtement calcaire : (S 43)

L'encroûtement calcaire devient continu et peut remplacer complètement l'horizon (B).

+ Les sols calcimagnésiques xériques à croûte calcaire : (S 50)

Avec le remplacement de la forêt par la steppe et l'arification du climat, on passe progressivement à ce type de sol; l'horizon humifère Ah devient de moins en moins riche en matière organique et se transforme en horizon A.



Sol brun calcaire (S 36) | Sol brun calcaire à encroûtement (S 43) | Sol calcimagnésique xérique à croûte calcaire (S50)

Figure 14 - Les sols formés sur marno-calcaires

Formations végétales / Bioclimats	Forêts-Matorrals	Steppes à alfa	Steppes (et cultures)
S H	Sols bruns calcaires		
S A	Sols bruns calcaires Sols bruns calcaires à encroûtement		
A S	Sols bruns calcaires Sols bruns calcaires à encroûtement	Sols bruns cal.à.encr. Sols calc.xériques à croûte calcaire.	Sols calci.xériques à croûte calcaire.
A M		Sols calci.xériques à croûte calcaire.	Sols calci.xériques à croûte calcaire.
A I		Sols calci-xériques à croûte calcaire	Sols calci.xériques à croûte calcaire.

Tableau 14 : Les principaux types de sols formés sur marno-calcaires.

β - Sur marnes.

En raison d'une très grande diversité pétrographique: texture, nature minéralogique des argiles, teneur en calcaire, sels et gypse, etc, il apparaît difficile de vouloir caractériser un ensemble aussi hétérogène. Néanmoins, plusieurs types de sols soulignent la spécificité de ces roches calcaires tendres : (fig. 15)

+ Les vertisols ont une extension limitée aux zones telliennes subhumides et semi-arides sur les marnes plus ou moins salées et gypseuses du Crétacé et surtout du Tertiaire (Miocène). Les caractéristiques des vertisols sont suffisamment connues pour que l'on en rappelle simplement ici les principales:

- texture fine à très fine.
- réseau de fentes de retraits qui se prolonge en profondeur délimitant de larges blocs prismatiques; structure en plaquettes obliques à faces luisantes et striées en relation avec des mouvements internes dus à la présence d'argiles gonflantes ; les mouvements suivent le rythme saisonnier des alternances humectation- dessication.

Presque toujours cultivés, les vertisols sont d'ailleurs de très bons sols à céréales et fourrages. Sur certaines marnes et sous végétation forestière ils cèdent la place à des sols bruns calcaires, parfois à caractères vertiques en profondeur.

+ Les régosols correspondent en fait aux affleurements de la roche-mère dans les entailles des ravines creusées par l'érosion. La présence en surface d'un horizon (A) peu épais indique une simple désagrégation physique de la marne en polyèdres plus ou moins fins.

Les sols régosoliques se distinguent des régosols par une évolution plus poussée qui se manifeste par :

- soit la présence en surface d'un horizon d'apport colluvial, généralement de texture plus grossière avec des débris de grès ou de calcaires provenant des bancs de roches dures en alternance avec les marnes.
- soit un horizon A, encore faiblement organique, de texture fine à très fine, structure polyédrique moyenne à fine.
- soit un début d'accumulation calcaire sous forme d'encroûtement (S 10, sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental)
- soit une structure à caractère vertique à faible profondeur sur certaines marnes du Miocène de la bordure septentrionale des Hautes-Plaines (aride supérieur).

Les sols régosoliques conservent cependant les principales caractéristiques de la roche-mère, y compris toute sa diversité: teneur en

calcaire, gypse et sels, nature des argiles , etc.

Pour certains régosols et sol régosoliques, formés sur les argiles versicolores, on constate une salure excessive des horizons de surface (> 16-32 mmhos-cm). Il s'agit d'une salure localisée et superficielle à dominance de chlorure de calcium (salant hygroscopique); elle correspondrait peut-être à des "exsudations" d'eau capillaire circulant selon des chenaux préférentiels dans les strates gréseuses intercalaires et imprégnant les argiles versicolores. Dans l'Atlas saharien, les failles, et autres accidents tectoniques fort nombreux, favorisent les circulations des eaux souterraines et leurs remontées vers la surface.

+ Les siérozems occupent, en zone aride sous végétation de steppe, les surfaces subhorizontales ou peu inclinées correspondant aux marnes dégagées par l'érosion: glacis de dénudation ou de raccordement, versants dominés par les crêtes gréseuses ou calcaires.

Le profil-type du siérozem modal comprend: (fig.15)

- En surface, un horizon d'apport éolien ou colluvial d'épaisseur variable (5 à 20 cm environ); texture grossière à moyenne; structure particulaire à polyédrique subanguleuse, nombreuses racines; transition progressive avec l'horizon A sous-jacent.
- Horizon A (30 à 60 cm), couleur variable en relation avec celle de la roche-mère mais aussi avec une certaine teneur en matière organique; texture moyenne à fine; structure polyédrique subanguleuse; nombreuses racines.
- Horizon (B) à structure polyédrique plus grossière, présence de polyèdres de marne non altérée ; racines encore nombreuses entre les éléments structuraux.
- Horizon C , d'altération de la marne, grossièrement polyédrique.

Les caractéristiques physiques, texture et surtout structure, permettent une bonne implantation du système racinaire de la végétation steppique et par voie de conséquence une incorporation profonde de la matière organique (isohumisme). On constate également une activité biologique relativement importante (galeries, tubules, etc..)et le plus souvent un début de gradient calcaire, marqué parfois par un début d'accumulation calcaire à la base de l'horizon A et dans l'horizon (B).

L'accumulation calcaire peut d'ailleurs s'accentuer avec tout d'abord des amas et nodules (S 82 et S 84) puis un encroûtement calcaire (S 87 et S 89).

En définitive, les sols formés sur marnes montrent une assez grande variété. Pour la végétation, en zones steppiques, les caractéristiques physico-chimiques de la roche-mère resteront très importantes, quelle que soit sa profondeur. En effet, les racines peuvent et doivent descendre puiser un peu d'humidité entre les agrégats et les polyèdres de marnes; elles y trouvent éventuellement des solutions plus ou moins gypseuses ou salées en relation précisément avec les caractéristiques de la marne.

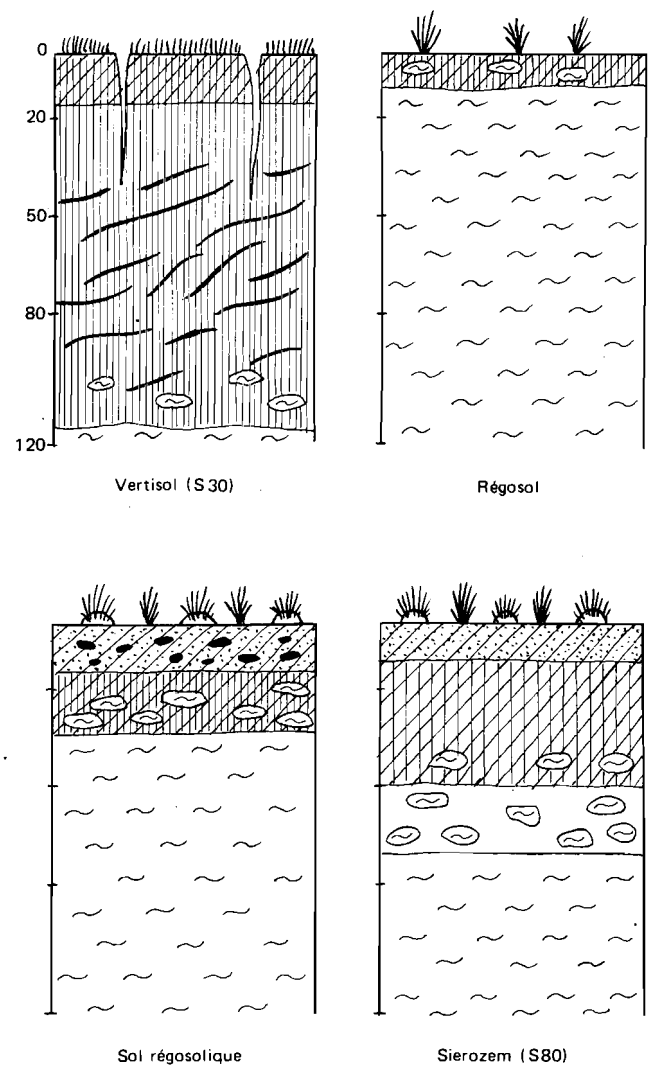


Figure 15 - Les sols formés sur marnes

Formations végétales / Bioclimats	Forêts matorrals	Steppes (sl)	Cultures
S H S H	Sols bruns calcaires (vertiques)		Vertisols Sols régosoliques Régosols
S A	Sols bruns calcaires (vertiques)		Vertisols Sols régosoliques Régosols
A S	Sols bruns calcaires	Siérozems Sols régosoliques Régosols	Siérozems Sols régosoliques Régosols
A M		Siérozems Sols régosoliques Régosols	
A I		Siérozems Sols régosoliques Régosols	

Tableau 15 : Les principaux types de sols formés sur marnes.

2 - LES SOLS A ACCUMULATION CALCAIRE DES GLACIS ET TERRASSES QUATERNAIRES.

L'importance et la morphologie de l'accumulation calcaire conduit à différencier trois catégories de sols très typiques des régions steppiques arides :

- les siérozems à amas et nodules calcaires.
- les siérozems à encroûtement calcaire.
- les sols à croûte calcaire.

La première catégorie correspond aux sols à profil calcaire moyennement différencié de RUELLAN (1970); les deux autres aux sols à profil calcaire très différencié :

a - Les siérozems à amas et nodules calcaires.

Sur les surfaces relativement récentes, Quaternaire moyen à récent, les siérozems à amas et nodules calcaires occupent une place assez importante: cônes et glacis de piédmont, glacis de raccordement et surface polygénique sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental,glacis à matériau alluvial (Soltanien), terrasses anciennes(Soltano-Rharbien),chenaux d'oueds alluvionnés, et même certaines zones d'épandage.

Le profil-type comprend schématiquement 3 horizons : (fig.16)

- Horizon A ; relativement épais (jusqu'à 60 cm environ); brun-rougeâtre avec valeur et chroma supérieurs à 4/3, mais la couleur dépend beaucoup de celle de la roche-mère; texture moyenne à fine, parfois grossière; structure polyédrique subanguleuse peu nette avec pellicule de battance; très souvent début de gradient calcaire; nombreuses racines.
- Horizon Kn à amas et nodules calcaires: couleur nettement plus claire; structure peu nette, polyédrique subanguleuse à massive; localement l'accumulation calcaire peut devenir plus importante et passer à un encroûtement, le taux de calcaire total varie entre 25 et 60%; nombreuses racines.
- Horizon CCa : roche-mère à structure grossièrement polyédrique avec généralement de gros amas et nodules calcaires(poupées).

Les siérozems se caractérisent aussi par une incorporation profonde de la matière organique (cf.chap.IV). La texture et la structure permettent un bon enracinement y compris dans l'horizon d'accumulation calcaire.

Les particularités inhérentes à l'origine et à la nature de la roche-mère introduisent des différences morphologiques et physico-chimiques fort importantes pour la végétation, ainsi d'ailleurs que la situation géomorphologique (apports d'eaux de ruissellement).

La figure 16 illustre trois exemples de familles de sols bien dissemblables :

- Les siérozems sur alluvions-colluvions de piédmont : (S 85)

Le matériau est grossier: blocs et graviers dans une matrice de texture grossière à moyenne. Sur ces glacis de piedmont, dont la pente peut atteindre 5 %, on passe latéralement à des sols à encroûtement ou à croûte calcaire. L'horizon à amas et nodules repose directement sur le substratum géologique si l'épaisseur du dépôt diminue.

- Les siérozems sur argiles sableuses rouges du Tertiaire continental: (S 82)

Généralement plus sableux en surface (apport éolien), ils se localisent sur les glacis de raccordement avec une steppe d'alfa plus ou moins dégradée.

- Les siérozems sur alluvions de texture moyenne à fine (S 81)

Bien que situés, pour la plupart , dans les chenaux d'oueds alluvionnés, les sierozems de ce type s'observent aussi dans d'autres situations géomorphologiques: zones d'épandage, terrasses anciennes et même dayas.

La texture moyenne à fine reste une caractéristique essentielle; la structure polyédrique subanguleuse, finement lamellaire en surface avec une très nette tendance à la battance, maintient sur l'ensemble du profil une certaine porosité et permet un bon enracinement (planche VI, photo 2).

Les apports d'eaux de ruissellement et la texture assurent un bilan hydrique privilégié favorable à leur utilisation pour les cultures de céréales.

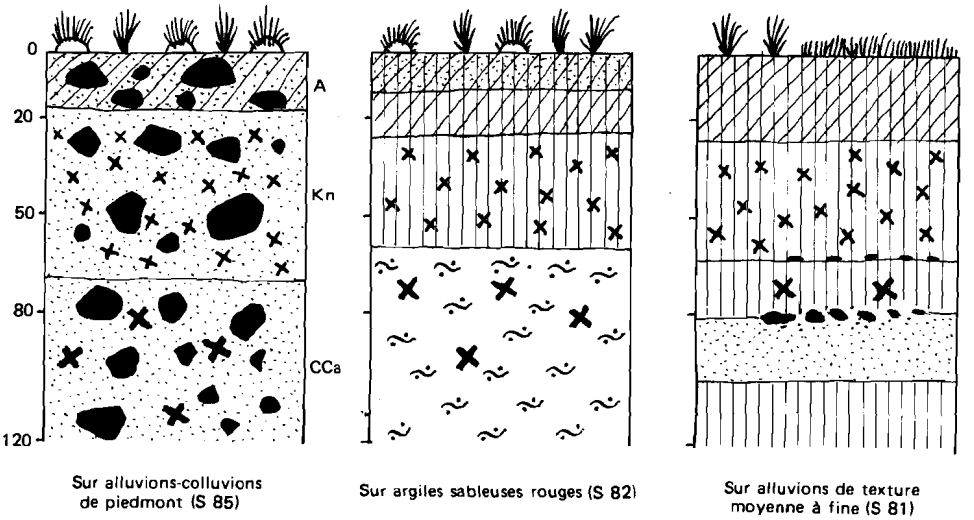


Figure 16 - Les siérozems à amas et nodules calcaires

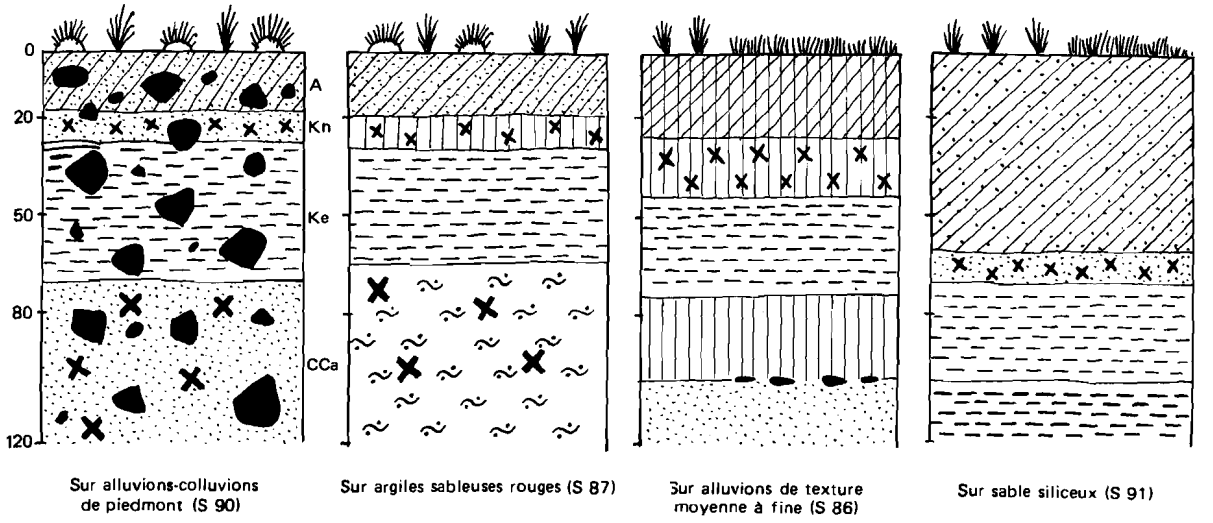


Figure 17 - Les siérozems à encroûtement calcaire

b - Les sierozems à encroûtement calcaire (I). (fig.17)

L'accumulation calcaire plus importante se manifeste par la présence d'un encroûtement presque toujours surmonté d'un horizon à amas et nodules calcaires. Habituellement sur les glacis du Quaternaire moyen, voire récent, les sols à encroûtement calcaire s'observent aussi sur les terrasses anciennes et les chenaux d'oueds alluvionnés.

Le profil type se résume à 4 horizons :

- Horizon A , comparable à l'horizon A des sols précédents.
- Horizon Kn, horizon à amas et nodules calcaires assurant la transition avec l'horizon sous-jacent.
- Horizon Ke :encroûtement calcaire, plus ou moins épais; couleur claire beige-rosé à blanchâtre; structure assez massive parfois faiblement feuilletée et nodulaire (nodules plus durcis); calcaire total (40 à 70%); racines encore nombreuses; latéralement passage, soit à un horizon Kn, soit à une croûte calcaire.
- enfin l'horizon CCa.

On constate une incorporation profonde de la matière organique, y compris dans l'encroûtement qui ne paraît pas un obstacle à l'enracinement. Il est commode, dans un premier temps, de classer ces sols parmi les sierozems.

La figure 17 montre 4 familles de sols sur des matériaux bien différents :

- sur alluvions-colluvions de piedmont : (S 90)
- sur argiles sableuses rouges du Tertiaire continental (S 87)
- sur alluvions de texture moyenne à fine :(S 86)(planche VI, photo 3)
- sur sables siliceux : (S 91), l'encroûtement calcaire, toujours profond, (> 50 cm) est surmonté par un horizon A évidemment épais, mais surtout très sableux (sable siliceux d'apport mixte éolien et alluvial).

Sur certaines terrasses anciennes (Soltano-Rharbien) l'encroûtement correspond à une ancienne accumulation calcaire en milieu hydromorphe comme en témoignent encore les horizons de surface noircis, riches en matière organique, et les horizons de profondeur bariolés (gley et pseudogley) : (S 88) et (S 83 pour les sierozems à amas et nodules).

(I) L'encroûtement calcaire correspond à l'encroûtement non feuilleté massif ou nodulaire de RUELLAN, (1970).

c - Les sols à croûte calcaire.

Les vastes surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen attestent de l'extension considérable des sols à croûte calcaire sur des matériaux très divers: alluvions, colluvions de piedmont, calcaire lacustre, argiles sableuses rouges du Tertiaire continental,etc...

En règle générale, les croûtes sont d'autant plus épaisses et consolidées qu'elles se trouvent sur des surfaces plus anciennes et en zones plus arides. D'autres facteurs, comme la nature du matériau et la situation topographique, contribuent à une grande diversité morphologique. La définition d'un profil-type s'avère difficile d'autant que la terminologie utilisée pour décrire les horizons d'accumulation calcaire prête souvent à confusion. Certes, depuis le travail remarquable de RUELLAN (I970) au Maroc, il est maintenant possible d'arriver à un certain accord concernant la nomenclature des accumulations calcaires dans les sols. Le terme de "sol à croûte calcaire" utilisé ici englobe les "sols à encroûtement feuilleté" (c'est-à-dire croûte) et les "sols à dalle compacte" (dalle et croûte) de RUELLAN. En tout état de cause, la distinction entre les deux types de sols s'observe aisément, malgré un grand nombre de profils de transition; elle se justifie aussi dans les études de mise en valeur(POUGET,I977).

Quoiqu'il en soit, les observations de terrain et les objectifs de l'étude, particulièrement l'importance accordée au système racinaire, m'ont amené à établir une autre distinction en tenant compte de la présence ou de l'absence d'un horizon laminaire; on rejoint dans une certaine mesure les travaux de GILE *et al* (1965,I966).

α - les sols de type I (Sans horizon laminaire).

Les profils présentent la succession verticale classique :

- Horizon A d'épaisseur variable (10 à 40 cm),brun-rougeâtre avec valeur et chroma généralement supérieurs à 4/3; texture moyenne; structure finement lamellaire en surface avec croûte de battance, polyédrique subanguleuse moyenne à fine, peu nette; calcaire (< 25 -30% le plus souvent); débris de croûte; nombreuses racines.

Sous végétation forestière, il s'agit d'un horizon humifère Ah (cf chapître IV) .

- Horizon KCr : croûte calcaire beige-rosée à blanchâtre comprenant une superposition de feuillets séparés par des espaces subhorizontaux plus ou moinsanastomosés entre eux et colonisés par les racines. Selon l'âge, la nature du matériau et plus généralement le degré d'évolution de la croûte,

chaque feuillet peut être, en totalité ou en partie induré en dalle compacte. Les surfaces supérieures, parfois aussi latérales, des feuillets sont tapissées par des pellicules rubanées plus ou moins épaisses et de couleur différentes (saumon, rosé, beige, grisâtre à noirâtre, etc..).

- Horizon Ke : encroûtement calcaire à structure massive, parfois finement feuilletée (partie supérieure) ou polyédrique nodulaire (nodules durcis); quelques racines surtout au sommet de l'horizon.

- Horizon CCa : très variable selon le matériau; souvent gros amas et nodules calcaires.

β Les sols de type II à horizon laminaire Kl.

Ils correspondent au stade IV de GILE avec la succession suivante :

- Horizon A analogue au précédent.

- Horizon Kh, d'épaisseur variable (0 à 30 cm); couleur toujours différente de A, soit plus grise, soit plus beige; nombreux fragments de croûte dans une matrice de limon sableux "pulvérulent"; très calcaire (40 à 70%); chevelu racinaire dense formant tapis sur l'horizon laminaire.

- Horizon laminaire Kl (I), il est peu épais, quelques millimètres à 2-3 centimètres, formant un véritable plancher pratiquement continu (pellicule rubanée) au-dessus de la croûte.

- Horizon KCr : croûte calcaire, plus ou moins indurée (dalle et/ou croûte) et découpée en feuillets séparés par des espaces subhorizontaux avec des racines relativement nombreuses.

- Horizon Ke : encroûtement calcaire, très peu de racines.

- Horizon CCa , variable selon le matériau; souvent gros amas calcaires.

La figure 18 illustre les deux types de profils avec pour chacun : (cf aussi planches VI et VII)

- un sol à dalle (et croûte) plus typique des surfaces du Quaternaire ancien.

- un sol à croûte, plus typique des surfaces du Quaternaire moyen.

(I) L'horizon laminaire Kl correspond à une partie seulement de l'horizon K 21 m de GILE(laminar horizon), c'est-à-dire la partie centrale la plus indurée (hard lower layer).

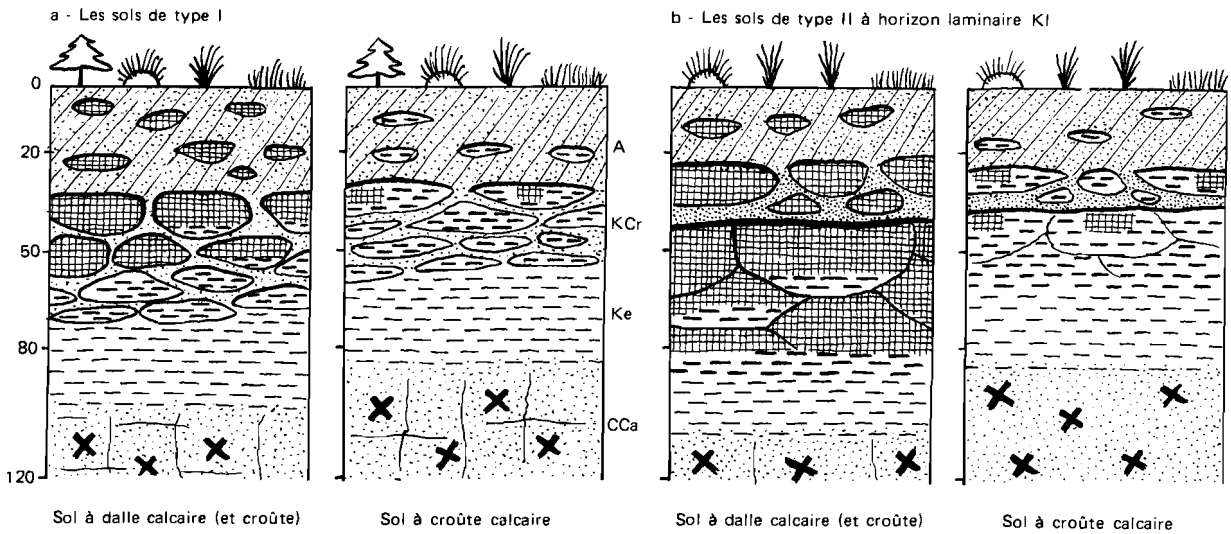


Figure 18 - Les sols à croûte calcaire

La profondeur des horizons encroûtés excède rarement 50 cm, quel que soit l'âge de la surface, la nature du matériau ou la nature du couvert végétal pourtant très varié (forêts, steppes, cultures).

Les caractéristiques morphologiques et analytiques des sols à croûte calcaire seront largement développées au chapître IV. En effet l'influence de la végétation se manifeste sur la morphologie des horizons d'accumulation calcaire et la distribution des sels solubles avec en particulier la formation des plages de salure (POUGET, 1973).

Le tableau en annexe (annexe 1) précise les principales familles de sols à croûte calcaire.

Planche VI

LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

SIÉROZEMS

1 - Siérozem modal sur sables siliceux (S 77),

2 - Siérozem à amas et nodules calcaires sur alluvions de texture moyenne à fine (S 81),

3 - Siérozem à encroûtement calcaire sur alluvions de texture moyenne à fine (S 86).

SOLS A CROÛTE CALCAIRE DE TYPE I (sans horizon laminaire)

4 - Sol brun calcaire à croûte (et encroûtement) et horizon humifère Ah sur marno-calcaires (végétation forestière),

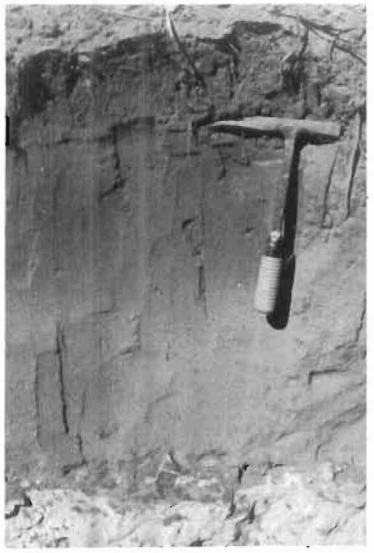
5 - Sol calcimagnésique xérique à croûte (et dalle) calcaire (S 51) : Profil PR 3 sur surface du Quaternaire ancien.

SOLS A CROÛTE CALCAIRE DE TYPE II (à horizon laminaire K1)

6 - Sol calcimagnésique xérique à croûte calcaire (S 51) sur surface du Quaternaire moyen à récent,

7 - Sol calcimagnésique xérique à croûte calcaire (S 55) sur surface du Quaternaire moyen,

8 - Sol calcimagnésique xérique à croûte (et dalle) calcaire (S 51) sur surface du Quaternaire ancien.



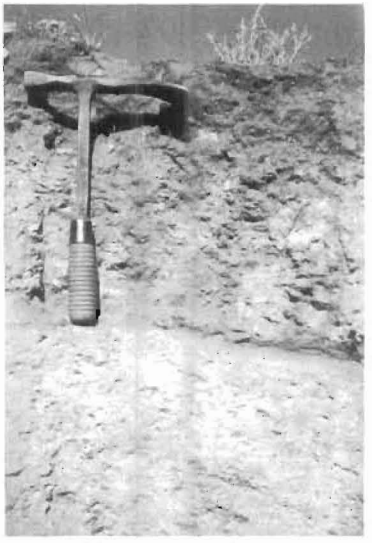
1

2

3

4

5



6

8

7

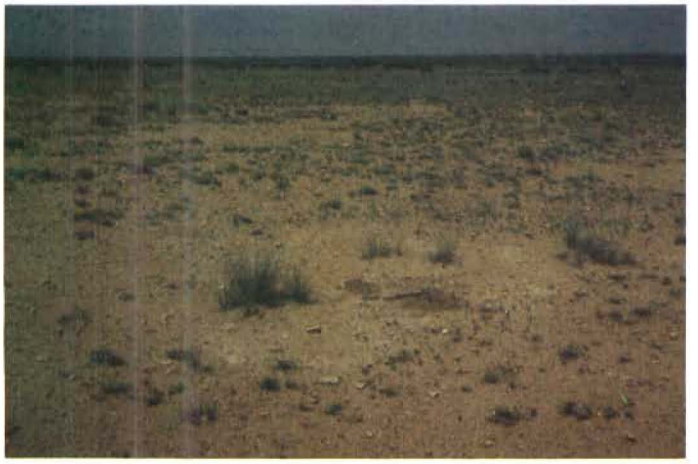
Planche VII

LES SOLS A CROÛTE CALCAIRE

1 - **Sol à croûte calcaire de type II** à horizon laminaire K1 sur argiles sableuses rouges du Tertiaire continental (S 51)

2 - **Horizon Kh** : feuillets de croûte altérée et matrice pulvérulente colonisée par un chevelu racinaire très dense.

LES PLAGES DE SALURE : Aspects de la surface du sol au niveau du profil PR 22



3 - En mai 1974, la plage de salure apparaît nettement avec une auréole d'efflorescences salines.

4 - En octobre 1974, la plage de salure n'est plus visible.

Noter la structure hétérogène de la végétation et les larges espaces, plus ou moins circulaires, complètement dénudés.

3 - LES SOLS DES FORMATIONS ALLUVIALES RECENTES ET ACTUELLES.

Occupant des superficies restreintes, ils n'en présentent pas moins une grande importance (cultures de céréales) et une relative diversité en relation avec :

- l'âge des dépôts alluviaux.
- la situation géomorphologique (terrasses, zones d'épandage, chenaux d'oued alluvionnés).
- la texture des alluvions dans lesquelles s'intercalent souvent des dépôts éoliens sableux.
- la présence de sels et de gypse, etc.

Deux ensembles principaux se différencient assez nettement en fonction du degré d'évolution pédologique: les siérozems et les sols peu évolués d'apport alluvial nettement moins riches en matière organique et moins bien structurés.

a - Les siérozems modaux se localisent :
  - sur alluvions calcaires de texture grossière à moyenne (S 78)
  - sur alluvions plus ou moins noircies (S 79).

Sous steppe ou cultures, les siérozems sont des sols profonds, de texture variable (grossière à moyenne, parfois fine) et assez bien structurés. Outre un bon enracinement , on observe le plus souvent une accumulation calcaire diffuse, parfois quelques amas.

b- les sols peu évolués d'apport alluvial, sont généralement cultivés; ils correspondent aux alluvions déposées très récemment, après la reprise d'érosion ayant succédé aux dernières grandes périodes humides (Soltano-Rharbien); ils se répartissent dans trois sous-groupes:

+ Les sols peu évolués d'apport alluvial modaux :
  - sur alluvions calcaires de texture variable (S 13).
  - sur alluvions anciennes plus ou moins noircies (S 14)

+ les sols peu évolués vertiques :
  - sur alluvions calcaires de texture fine à très fine (S I6).

+ Les sols peu évolués halomorphes :
  - sur alluvions calcaires de texture variable (S 17)
  - sur alluvions anciennes plus ou moins noircies (S 18).

En surface, de 0 à 50/60 centimètres, la salure est comprise entre 2 et 7 mmhos-cm; elle devient plus importante en profondeur et dépasse habituellement 7/8 mmhos-cm. La teneur en gypse, comme pour les autres sous-groupes, n'excède que rarement 1 à 2%; par contre le taux de calcaire reste assez élevé, de 20 à 40%.

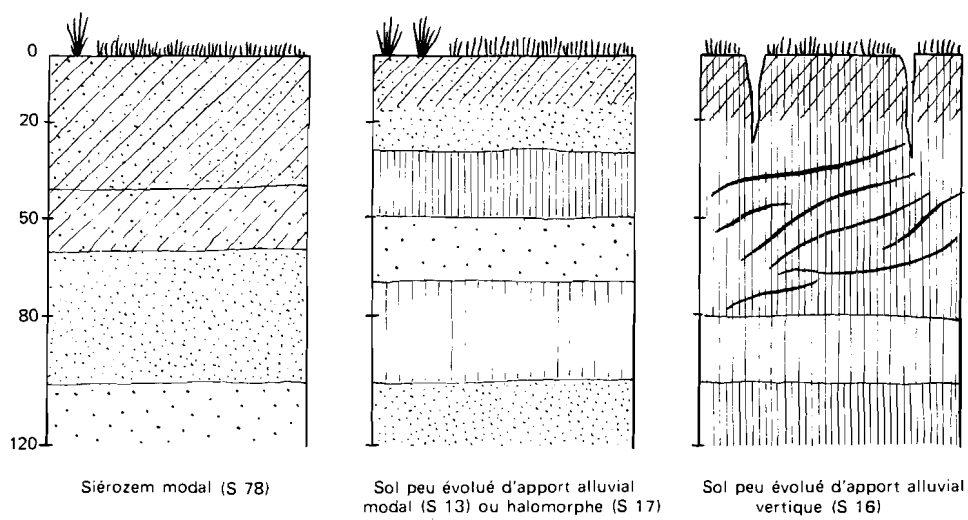


Figure 19 - Les sols des formations alluviales récentes et actuelles

4 - LES SOLS DES DAYAS (non ou peu salées)

Les dépressions de type dayas offrent une gamme très diversifiée de sols, généralement profonds et évolués, ayant en commun :

- une texture relativement homogène pour chaque profil, moyenne à très fine.
- une structure instable en surface avec un horizon finement lamellaire de quelques millimètres à quelques centimètres et une croûte de battance.
- une perméabilité d'ensemble faible ne permettant qu'une percolation lente à travers le profil, favorisant ainsi une stagnation plus ou moins prolongée de l'eau et son évaporation en surface.
- une faible teneur en calcaire (< 10-20 %); le sol est parfois complètement décarbonaté.

Trois ensembles de sols s'individualisent plus ou moins en fonction de la texture et du degré d'évolution (structure essentiellement).

a - Les vertisols présentent une texture très fine et d'importantes fentes de retrait en saison sèche. Ils caractérisent souvent les dépressions dans les grès et les argiles versicolores ainsi que les grandes dayas de type très déprimé :

- Vertisols modaux (S 24)
- Vertisols à caractères vertiques (S 26).
- Vertisols halomorphes (S 29) avec une salure de 2 à 4 mm-hos en surface, plus élevée en profondeur.

b- les sols peu évolués de texture fine conservent une structure vertique:

- Sols peu évolués vertiques (S 15) et sols peu évolués halomorphes (S 19) très proches des précédents.
- Sols peu évolués modaux (S 14); les caractères vertiques (structure) disparaissent si la texture n'est que moyenne.

c. Les sols évolués de texture généralement moyenne à fine sont bien structurés et relativement perméables, structure polyédrique subanguleuse et surtout polyédrique moyenne à fine :

- Sols bruns calciques (S 63), complètement décarbonatés.
- Sols bruns calcaires (S 42).
- Siérozems modaux (S 78).
- Siérozems à amas et nodules (S 81).
- Siérozems à encroûtement calcaire (S 86).

Les deux dernières familles de sols caractérisent les dayas les moins profondes, type peu déprimé à très peu déprimé, sur les surfaces encroûtées.

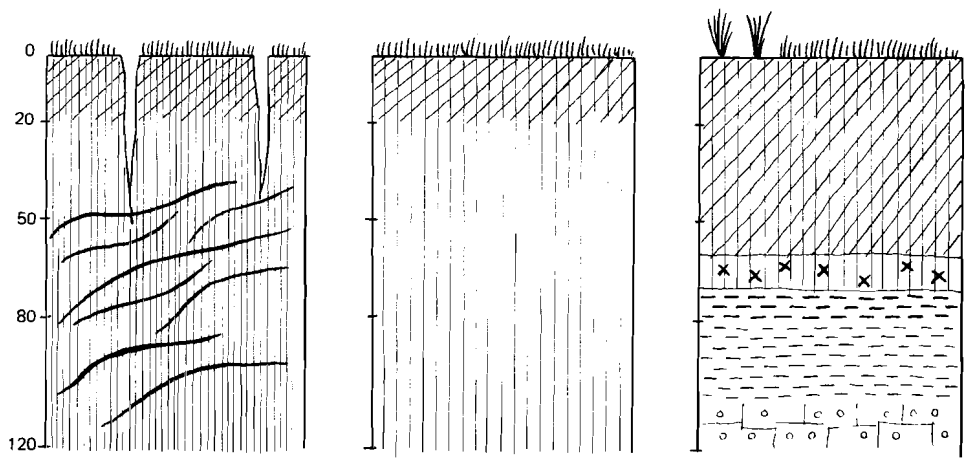


Figure 20 - Les sols des dayas

5°) LES SOLS DES FORMATIONS EOLIENNES

La texture très grossière à grossière (sable siliceux très peu calcaire) sur pratiquement l'ensemble du profil demeure la caractéristique majeure de ces sols. On distingue trois ensembles dans le sens d'une évolution croissante : (fig. 21).

a - Les sols minéraux bruts d'apport éolien. Il s'agit bien entendu des dunes et microdunes de sable mobile, très peu fixées par la végétation. La teneur en éléments fins (argile et limons fins) est toujours très faible (A + LF < 5%). Localement, dépressions interdunaires dans le Bassin des Zahrez, la présence d'une nappe phréatique à environ 2 mètres de profondeur permet de distinguer deux sous-groupes :

- Sols minéraux bruts d'apport éolien modaux (S 4).
- Sols minéraux bruts d'apport éolien à nappe (S 5).

b- Les sols peu évolués d'apport éolien se caractérisent par une végétation, plus ou moins dense, parfois dégradée, qui a permis une certaine évolution: la coloration de l'horizon de surface indique la présence de matière organique. La texture est grossière, A + LF compris entre 5 et 10% environ, pour un taux de calcaire toujours faible (< 2%).

Au sous-groupe modal (S 21) s'ajoute le sous-groupe halomorphe indiquant une faible salure en profondeur en relation avec la présence d'une nappe phréatique aux environs de 2 mètres :

- sur sables siliceux (S 22)

- sur sables gypseux (S 23) des lunettes en bordure des sebkhas (I)

c - Les siérozems modaux sur sables siliceux (S 77) se localisent en particulier sur les sables jaunes-rougeâtres du Quaternaire récent dans le Bassin des Zahrez. Sur ce matériau sableux profond, l'évolution pédologique se manifeste très nettement avec un horizon A brun rouge (5 Y R 5/6 à 7,5 YR 5/6) coloré par la matière organique (Planche VI, photo 1).Malgré la texture toujours grossière, on observe un début de structuration, structure polyédrique subanguleuse moyenne à fine très fragile, avec un chevelu racinaire dense. Le profil calcaire reste très peu différencié dans la mesure où la roche-mère elle-même est très peu calcaire, 1 à 2% en moyenne .

En profondeur, la présence parfois d'un encroûtement gypseux, lié à une nappe phréatique (fig.21), devient un facteur important du point de vue édaphique.

(I) Les sols formés sur les lunettes à pseudosables, encore très salés, sont classés dans les sols halomorphes.

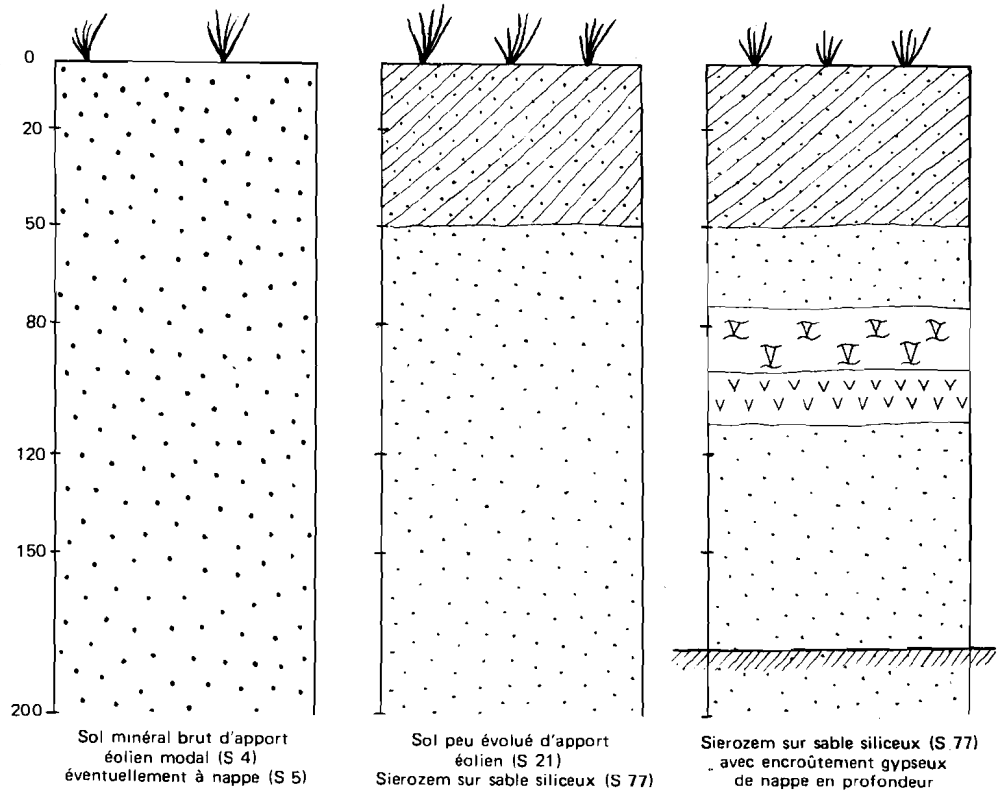


Figure 21 - Les sols des formations éoliennes

6 - LES SOLS GYPSEUX.

Il s'agit essentiellement des sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux de surface, très classiques dans les zones arides et nord-africaines en particulier (BUREAU et ROEDERER, 1961; COQUE 1962; VIEILLEFON 1976;etc..). Le profil-type comprend : (fig.22).

0 - 30 cm Encroûtement gypseux avec deux parties plus ou moins distinctes.
0-10/15 cm, encroûtement blanc, pulvérulent, fine porosité avec nombreuses racines et radicelles noirâtres.
10/15- 30 cm, encroûtement jaune, peu poreux, et peu friable, racines et radicelles moins nombreuses.

30-50 cm Horizon de transition à amas gypseux et petits cristaux de gypse, très peu de racines.

> 50 cm Matériau d'origine et de nature très variable :

- gypse massif (S 70)
- marne gypseuse (S 71)
- ancien encroûtement gypseux de nappe (S 72)
- sable éolien gypseux de lunette de bordure de sebkha (S 73)
- alluvions anciennes plus ou moins noircies et hydromorphes (S 74).

En surface, on observe parfois la présence d'une croûte gypseuse, épaisse de 5 à 10 cm, morcelée en plaques polygonales dont la face supérieure, patinée, prend souvent une coloration gris verdâtre. La croûte, elle-même de couleur blanche, est indurée et massive. Le réseau polygonal s'incruste dans l'encroûtement par des fentes verticales en "coins" bourrées de gypse microcristallisé blanchâtre.

L'encroûtement blanc est toujours plus riche en gypse que l'encroûtement jaune sous-jacent; la teneur moyenne en gypse reste élevée à très élevée, de 25 à 95% environ. A l'inverse, le taux de calcaire total diminue en se rapprochant de la surface, entre 40 et 1%. La salure, généralement comprise entre 2 et 7 mmhos-cm, peut devenir importante et l'on passe alors aux sols halomorphes.

Dans les sols brun gypseux, l'encroûtement se trouve à 20/30 cm de profondeur, au-dessous d'un horizon A, brun, bien structuré et faiblement gypseux (< 1-2%). Les sols bruns gypseux se forment dans les zones relativement humides (P > 300 mm) sur certaines marnes gypseuses (S 68) ou sur gypse massif (S 69).

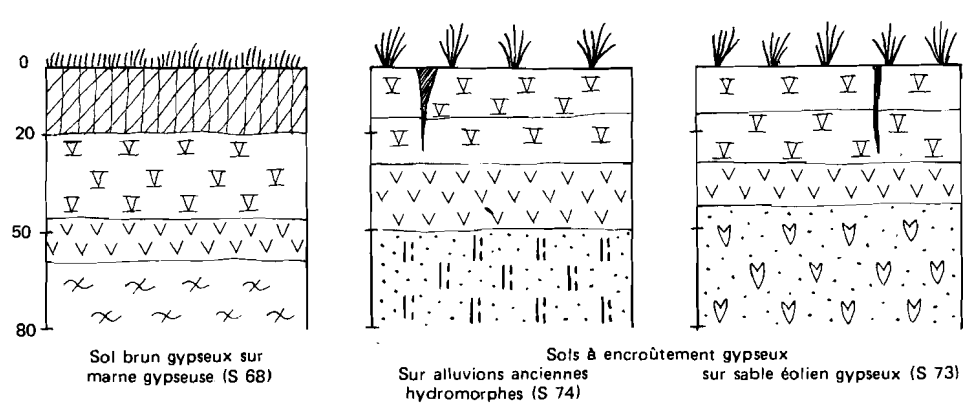


Figure 22 - Les sols gypseux

7 - LES SOLS HALOMORPHES (Sols salsodiques).

Bien représentés dans le Bassin des Zahrez, les sols halomorphes s'observent fréquemment dans les Hautes-Plaines et même, localement, dans l'Atlas Saharien : terrasses, zones d'épandage ,dépressions à nappe phréatique salée, etc.

Ils correspondent à la classe des sols sodiques (C.P.C.S.1967) avec comme caractéristiques :

- une conductivité supérieure à 7 mmhos-cm sur l'ensemble du profil pendant une partie de l'année provoquant une modification importante de la végétation.
- la présence de sodium échangeable (Na/T > 10-15 %) et surtout l'apparition d'une structure massive et diffuse lorsque le sol est humide :

Depuis les travaux récents de SERVANT(1975), le terme de sols salsodiques tend à remplacer de plus en plus celui de sols sodiques utilisé pour la dénomination de cette classe. Pour ma part, il est plus commode de conserver l'ancien terme de sols halomorphes (AUBERT, 1965) par référence à la végétation ou aux espèces végétales qualifiées d'halophiles (halophytes).

Par contre, le système de classification proposé par SERVANT me paraît très intéressant et commode, non seulement pour les sols eux-mêmes, mais également pour rendre compte des relations sol-végétation.De la sorte on peut distinguer trois ensembles principaux pour les sols halomorphes des steppes sud-algéroises :

- Les solonchaks à complexe calcimagnésique (Ca-Mg),de texture généralement grossière, le plus souvent gypseux à très gypseux(encroûtement),possèdant le caractère salé; c'est-à-dire qu'ils se caractérisent par la présence de sels solubles en quantité au moins assez forte (conductivité > 7-8 mmhos-cm)

- Les solonchaks à complexe sodique (Na-Mg), de texture moyenne à très fine, faiblement gypseux possèdent le caractère salé et le caractère sodique, c'est-à-dire une quantité plus ou moins importante de sodium fixé sur le complexe absorbant sans pour autant que la structure soit dégradée ou que le pH devienne très élevé.

-Les sols à structure dégradée (sols à alcali), de texture fine à très fine, non gypseux possèdent le caractère salé (peu à moyennement salé), le caractère sodique et surtout le caractère à alcali avec pour résultat une dégradation de la structure qui devient massive. En l'absence de sels de la série alcaline (carbonate de sodium par exemple)et pour un pH encore peu élevé (< 9) la dégradation de l'état structural est essentiellement due ici à une salure faible, accentuée par l'absence de gypse.

a- Les solonchaks à complexe calcimagnésique (Ca- Mg)

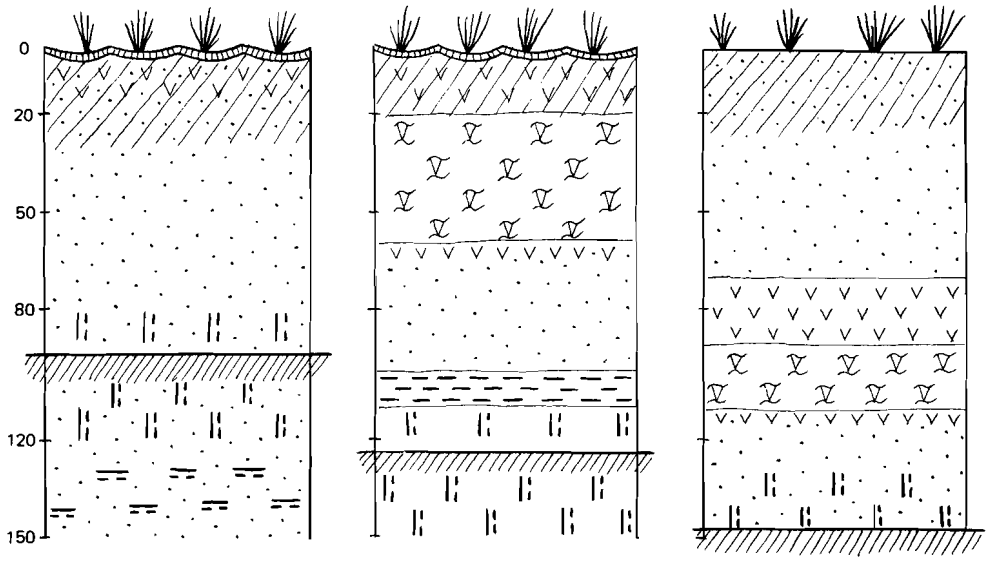
α-Les hypersolonchaks présentent un profil salin de type ascendant (type A de SERVANT,1975) caractérisé par une salure (I) augmentant de bas en haut, le maximum se situant dans les 10 ou 20 centimètres superficiels avec des valeurs très élevées par rapport aux horizons sous-jacents, plus de 30-50 mmhos-cm. On en distingue plusieurs types: (fig.23)

+ les hypersolonchaks modaux sont des sols de texture grossière formés sur alluvions calcaires (S 105) et sur sables siliceux (S 106). La nappe phréatique peu profonde (moins de 150-200 centimètres) et salée détermine cette accumulation excessive de sels en surface avec formation d'une croûte saline et le plus souvent un début d'individualisation de gypse en amas dans les premiers centimètres.

+ les hypersolonchaks à encroûtement gypseux de nappe sont formés sur matériau sableux, plus ou moins gypseux (S III, S II2, S II3). Toujours excessivement salés dans les horizons de surface, ils présentent au-dessous d'un horizon très gypseux(amas et nodules) un encroûtement gypseux de nappe plus ou moins compact et induré. L'encroûtement se trouve directement en surface dans le cas d'un encroûtement du type précédent (sol calcimagnésique à encroûtement gypseux de surface) soumis à l'action d'une nappe phréatique, dont la remontée contribue à une augmentation très sensible de la salure dans les premiers centimètres.

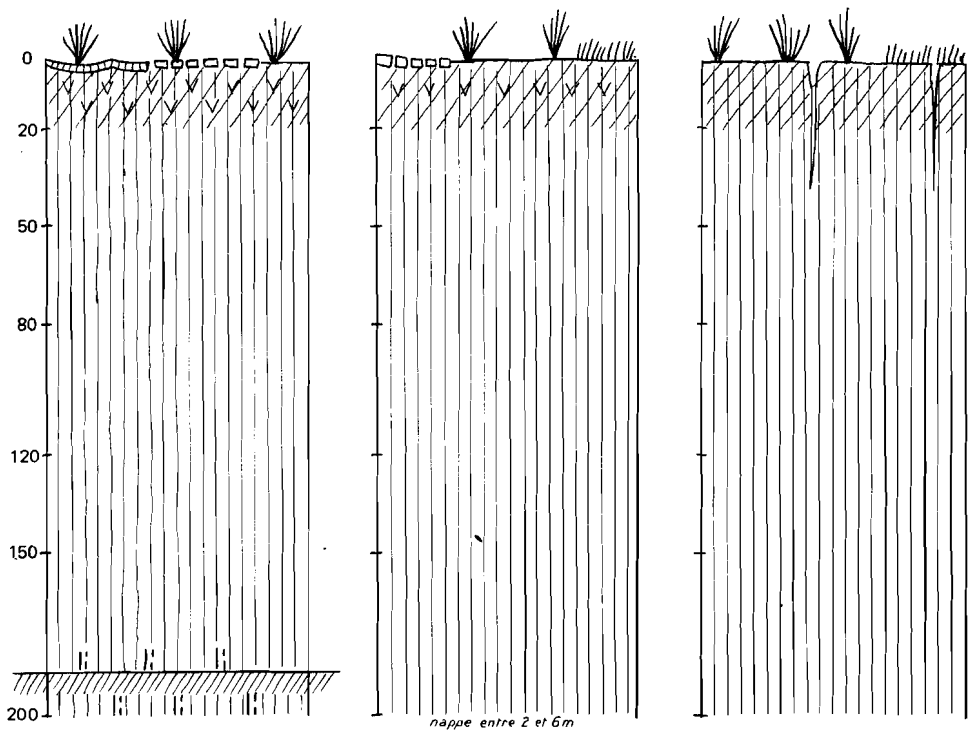
A l'encroûtement gypseux de nappe s'ajoute parfois un encroûtement calcaire qui se forme au niveau de la zone de battement de la nappe phréatique (fig.23); on a ainsi dans le même profil trois accumulations distinctes disposées verticalement en fonction d'une solubilité croissante: carbonate de calcium, gypse et sels très solubles en surface.

(I) En fait, il s'agit de la "salinité". Le terme de "salure" est couramment utilisé en Afrique du Nord en raison de la prédominance des chlorures et du chlorure de sodium en particulier (origine marine des roches-mères).



Hypersolonchak (sols 105-106) | Hypersolonchak à encroûtement gypseux de nappe (sols 111-112-113) | Crypto-solonchak (sols 108-109)

1 _ les solonchaks à complexe Ca-Mg (texture grossière et/ou gypseux



Hypersolonchak (sol 114) | Solonchaks modal (sols 115) | Sol moyennement salé à alcali (sol 120)

2 _ les solonchaks à complexe Na-Mg (texture moyenne à très fine) | 3 _ Les sols à structure dégradée (texture fine à très fine)

Figure 23 - Les sols halomorphes

β - Les cryptosolonchaks se localisent sur des alluvions calcaires de texture grossière à moyenne (S 108) et sur des sables siliceux (S 109). Le profil de salure est ici inversé (profil salin de type descendant). La salure est maximum à moyenne profondeur en relation, le plus souvent, avec une nappe phréatique plus profonde. On observe parfois la présence d'un encroûtement gypseux de nappe. En surface, la conductivité ne dépasse pas 7 à 10 mmhos-cm, quelquefois beaucoup moins dans les 20 premiers centimètres.

b - les solonchaks à complexe sodique (Na - Mg)

α - les hypersolonchaks s'observent sur des alluvions calcaires de texture moyenne à très fine (S 114) avec une nappe phréatique généralement à moins de 2 mètres de profondeur. La salure augmente progressivement depuis la base du profil et devient excessive en surface. Elle dépasse 30-50 mmhos-cm avec formation d'une croûte saline et des pseudosables.

β Les solonchaks modaux s'observent aussi sur des alluvions calcaires de texture moyenne à très fine (S 115). En fait, si habituellement la salure reste plus élevée en profondeur, les horizons de surface sont souvent salés (10 à 30 mmhos-cm); seuls les horizons de labour ou certains petits chenaux de ruissellement voient leur salure devenir inférieure à 10 mmhos-cm et même encore moins.

L'état structural est conservé (structure polyédrique moyenne à fine, parfois à tendance prismatique) sauf en surface où les phénomènes de battance prennent une grande importance, et ce, d'autant plus que la salure diminue. La structure n'est pas détruite à cause semble-t-il surtout de la nature du matériau, plus précisement une certaine richesse en matière organique due à l'origine des alluvions provenant de la destruction des horizons humifères des djebels ou à une évolution postérieure au dépôt (hydromorphie avec noircissement).

Localement, la présence d'un encroûtement gypseux de nappe peu profond s'observe au-dessous des horizons de surface de texture moyenne à fine (S 118).

γ - Les solonchaks à salant hygroscopique (Ca Cl_2) apparaissent généralement en plages isolées sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (plages de salure, cf chapître IV), parfois aussi sur les argiles versicolores du Crétacé inférieur continental.

c - Les sols à structure dégradée (sols à alcali) sur alluvions calcaires de texture fine à très fine (S 120) sont peu ou moyennement salés. En surface la conductivité reste inférieure à 10-15 mmhos-cm mais augmente en profondeur. La structure massive et diffuse devient prismatique grossière vers

la base du profil. La nappe phréatique, toujours profonde, n'intervient pas dans la salure du profil. Dans certains cas, les sols à alcali peuvent être très salés (S 119). Ce type de sol assure en fait la transition avec les sols à complexe sodique.

En conclusion, il est important de retenir que la classification des sols halomorphes (salsodiques) prend en compte, certes l'intensité de la salure d'une façon générale, mais aussi d'autres facteurs tels que :

- la répartition de la salure dans le profil , profil salin ascendant ou descendant .
- la présence de gypse et en particulier les encroûtements gypseux de nappe.
- la texture des horizons, surtout de surface et de moyenne profondeur (jusqu'à 50/60 cm).
- la structure qui, plus que le rapport Na/T, apparaît comme le facteur principale pour différencier les sols à complexe sodique et les sols à alcali. Son observation n'est d'ailleurs pas toujours aisée ni précise surtout lorsque le sol est humide.

8 - LES SOLS HYDROMORPHES

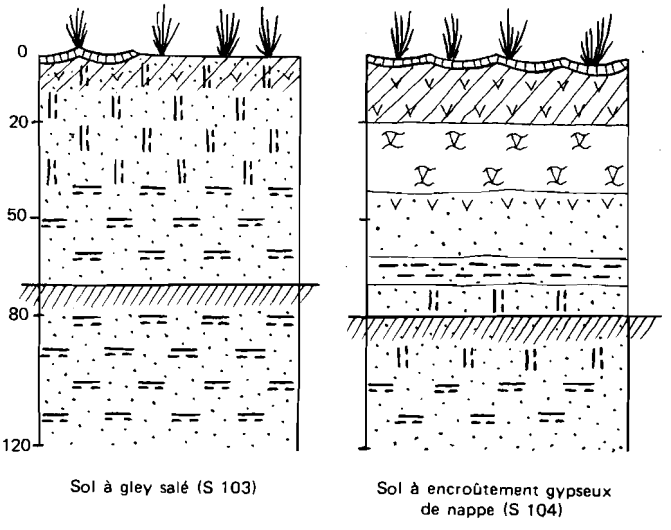


Figure 24 - Les sols hydromorphes

Les sols hydromorphes occupent une superficie très restreinte : dépressions interdunaires dans le Bassin des Zahrez et dépressions alluviales (oued Touil). Dans les deux cas, ils se caractérisent par la présence d'une nappe phréatique peu salée, résidu sec entre 0,5 et 3 g/l environ, toujours très proche de la surface.

La figure 24 montre les deux types principaux:

- les sols à gley salés sur sable éolien sableux (S I03).
- Les sols à encroûtement gypseux de nappe sur sable éolien siliceux (S I04).

Si la salure peut être parfois élevée à la surface même du sol avec une véritable croûte saline (dominance de sulfate de sodium) elle ne dépasse généralement pas 7/8 : mmhos-cm, le plus souvent moins. Par contre, les caractères d'hydromorphie, pseudogley et gley, restent constants et proches de la surface. Comme dans les hypersolonchaks, il se forme très souvent un encroûtement calcaire au niveau de la zone de battement de la nappe phréatique (fig. 24).

B - LES FACTEURS DE FORMATION ET D'EVOLUTION DES SOLS.

La présentation des principales unités géomorphologiques et des principaux types de sols souligne l'existence de processus pédogénétiques incontestablement anciens telles que les importantes accumulations calcaires (dalles, croûtes, encroûtement, etc.), l'individualisation des hydroxydes de fer (rubéfaction) et l'évolution des minéraux argileux (lessivage). Ils témoignent d'une longue évolution des sols au cours des différentes périodes du Quaternaire.

D'autres processus pédogénétiques, sans doute plus rapides, apparaissent davantage soumis aux facteurs actuels. Il en est ainsi pour la matière organique (taux, répartition, nature), la dynamique des sels mais aussi du calcaire.

Une récapitulation, même sommaire, des principaux facteurs de pédogenèse anciens et actuels s'avère utile pour mieux situer les processus actuels d'évolution.

1 - LE CLIMAT.

On vérifie le long de la séquence bioclimatique une certaine zonalité climatique de la répartition des sols avec trois domaines distincts depuis les régions telliennes les plus humides jusqu'aux zones sahariennes désertiques :

+ Le domaine des sols fersiallitiques intéresse les régions telliennes subhumides à semi-arides. Le climat contrasté, à saison hivernale humide et fraîche alternant avec une saison estivale sèche et chaude favorise pour une très large part la formation de sols dont les caractéristiques essentielles sont (DURAND,1959; BOULAINE,I957; RUELLAN, 1970, LAMOUROUX, 1972; etc..):

- la couleur rouge à brun-rouge, tout au moins assez vive, en relation avec la présence d'hydroxydes de fer libres.
- la décarbonatation des horizons de surface.
- la matière organique de type mull calcique, bien évoluée, concentrée dans l'horizon humifère de surface (végétation forestière).
- la lixiviation réduite des bases et le faible lessivage des argiles sauf en régions subhumides sur roches très perméables (sols fersiallitiques lessivés sur grès).

C'est aussi le domaine des vertisols sur les versants marneux et des sols marrons (zones semi-arides) décarbonatés en surface avec accumulation de carbonates en amas et nodules, encroûtement ou croûte (S 75, S 76). L'incorporation profonde de la matière organique caractérise également ces sols isohumiques qui annoncent le domaine suivant plus aride.

+ Le domaine des sols à croûte calcaire et des siérozems(I) caractérise les zones steppiques plus arides (P compris entre 300/400 mm et 100 mm). Il prend le relais dans le sens d'un climat toujours contrasté mais de plus en plus aride. Les sols perdent peu à peu leurs couleurs vives, les carbonates de moins en moins mobilisés restent pratiquement toujours présents dès la surface avec des horizons d'accumulation à faible profondeur (croûte, encroûtement). La matière organique, de moins en moins abondante, tend à se répartir dans l'ensemble du profil.

L'accumulation de sels solubles dans les sols contribue à une extension importante des sols halomorphes et des sols gypseux.Parmi les causes de ces concentrations salines, le climat joue un rôle considérable, non seulement directement avec une augmentation des phénomènes d'évaporation mais aussi, indirectement dans le façonnement du modelé; ainsi les systèmes endoréiques, les zones d'épandages et d'une façon générale, les vastes surfaces planes sont elles, souvent, des facteurs favorables à la formation de nappes phréatiques salées et aux concentrations salines.

+ Le domaine des sols minéraux bruts, des dunes et des regs caractérise le milieu désertique saharien. Les processus pédogénétiques,directement sous la

(I) C'est aussi très largement le domaine des aridisols avec éventuellement des alfisols ou des mollisols à régime hydrique xérique(xeralf,xeroll) pour les zones les plus humides.

seule influence du climat, se réduisent à des phénomènes mécaniques d'apport et d'ablation, localement phénomènes de salinisation . On y observe aussi très souvent les caractéristiques typiques des sols désertiques: reg en surface ("desert pavement") et structure vésiculaire (SPRINGER, I958; BUOL,I965).

En définitive, la zonalité climatique de la répartition des sols et des formes du relief atteste le rôle fondamental du climat. Cependant, comme il est classique en milieu méditerranéen, cette action se surimpose à celle des climats passés du Quaternaire qui ont permis la constitution de sols polycycliques plus ou moins en accord avec les conditions climatiques actuelles. Dans les zones steppiques arides, c'est-à-dire dans le domaine des sols à croûte calcaire et des sierozems, les phénomènes majeurs d'altération chimique correspondent aux processus de dissolution des éléments les plus solubles, carbonates et sels .Il n'y a pas de lessivage des minéraux argileux; ceci n'excluant pas leur évolution même dans les horizons d'accumulation calcaire (RUELLAN 1970, MILLOT *et al* ,I977).

La dynamique (dissolution, transport, reprécipitation) des éléments solubles dans le sol, dépend étroitement des mouvements de l'eau à travers le profil; elle dépend donc en premier lieu des précipitations. Or, le"drainage climatique" D, calculé par la formule AUBERT-HENIN (I945) c'est-à-dire la quantité d'eau traversant le sol pour arriver au sous-sol et aux nappes phréatiques, jouant donc un rôle dans la pédogenèse, est pratiquement nul, P étant inférieur à 400 mm pour T= 20° C (AUBERT et BOULAINE, I972). En fait, pour des valeurs de T plus basses, le drainage augmente; c'est ainsi qu'il est de 13 mm environ à Djelfa. La signification de cette valeur moyenne ne peut se concevoir qu'en envisageant un drainage par "à-coups" en relation avec l'irrégularité de la pluviosité, l'intensité et la fréquence des averses. La répartition des pluies pendant la saison fraîche en limitant les pertes par évaporation, permet une bonne humectation des sols avec dissolution des éléments les plus solubles (sels, gypse, carbonates) et possibilités de migrations par "à-coups" , verticalement et latéralement. Une telle dynamique s'avère également très probable à l'occasion des années très pluvieuses.

La teneur en matière organique, sous la dépendance des précipitations, diminue plus ou moins régulièrement avec l'aridité croissante du climat.

2 - LA ROCHE-MERE.

Que ce soit le substratum géologique (roche en place) ou les dépôts secondaires (alluvions, colluvions, dépôts éoliens), la quasi totalité des matériaux, sur lesquels se sont formés et évoluent les sols, se caractérise par

la présence de calcaire, très souvent aussi de gypse et de sels. La roche-mère ne modifie pas les phénomènes majeurs de pédogenèse induits par le climat ; par ces caractéristiques spécifiques (texture, perméabilité, teneur en carbonates, etc) elle les module en les ralentissant ou au contraire en les accélérant; d'où l'importance de considérer des séquences sur des roches-mères comparables: calcaires durs, grès durs, marnes, etc.

Dans certains cas, la présence d'argiles gonflantes induit un type d'évolution particulière (vertisols) si la pluviosité est supérieure à 400 mm; la présence de gypse en excès (marnes gypseuses, gypse massif,etc.) conditionne aussi la formation de sols spécifiques: les sols à encroûtements gypseux de surface.

3 - LA TOPOGRAHIE.

Résultant de l'action de nombreux facteurs climatiques, tectoniques et pédologiques, la topographie reste une cause d'évolution des sols très importante; elle agit directement sur la répartition de l'eau infiltrée dans le sol. Dans les steppes sud-algéroises, elle joue un rôle essentiel dans la dynamique des éléments solubles :

- migrations latérales des carbonates avec les variations morphologiques des accumulations calcaires en fonction de la situation topographique sur un même niveau géomorphologique (RUELLAN, I970).
- décarbonatation plus poussée dans les cuvettes (dayas), les chenaux d'oueds alluvionnés et plus généralement dans les zones de ruissellement bénéficiant de conditions pédoclimatiques plus humides que les versants et les glacis.
- accumulations gypseuses et salines dans les zones déprimées avec parfois formation de nappes phréatiques et de sols hydromorphes.
- "plages de salure" sur certaines surfaces encroûtées de pente faible (POUGET, I973, I976, et chapître IV).

La topographie conditionne aussi les phénomènes d'érosion hydrique et partiellement d'érosion éolienne.

4 - LA VEGETATION.

La végétation naturelle, pratiquement seule source de matière organique est indispensable à la formation et à l'évolution des sols. Synthétisée au

niveau des organes aériens, la matière organique est restituée au sol :

- sous forme de litière.
- par la décomposition sur place du système racinaire.

A cet égard, la différence est grande entre la végétation forestière et la végétation de steppe.

Sous forêt, la restitution se fait essentiellement par la litière avec la formation d'un horizon humifère de surface (horizon Ah), les horizons de profondeur étant encore relativement riches en matière organique (> 1 %). Sous végétation de steppe, la matière organique provient de la décomposition sur place d'un système racinaire, d'où son incorporation profonde dans le profil (isohumisme). De plus, la différence de nature entre une végétation de type ligneux et une végétation de type herbacé, plus riche en cellulose, doit se répercuter sur les phénomènes d'humification et la nature des composés humiques.

L'action du système racinaire se manifeste en outre d'une façon mécanique en élargissant les fissures de la roche-mère (OPPENHEIMER, 1956), particulièrement les racines des arbres et des arbustes. Plus généralement, il favorise la division du sol avec le développement de la structure et de la porosité .

Mais c'est surtout sur la dynamique du calcaire que s'exerce le plus l'influence de l'activité racinaire en favorisant la dissolution de la calcite mais aussi son redépôt avec la précipitation des bicarbonates dissous :

- la dissolution de la calcite est accrue par une augmentation de la tension de gaz carbonique provoquée par la respiration des racines et la minéralisation de la matière organique.
- la reprécipitation des bicarbonates est obtenue par la concentration des solutions du sol utilisées par le système racinaire pour la croissance des plantes. Cette reprécipitation est souvent localisée dans la rhizosphère où l'absorption sélective des ions par les racines entraîne une sursaturation plus prononcée.

De nombreux auteurs (MULLER, 1954; AUBERT, 1960; BOULAINE, 1961; RUELLAN, 1970; BEAUDET, 1972; etc.) attribuent au système racinaire de la végétation naturelle, particulièrement forestière, un rôle essentiel dans la genèse des horizons d'accumulation calcaire. AFANAS'YEVA (1966) a montré que sous climat comparable, la décarbonatation est quatre fois plus rapide sous forêt que sous steppe; en effet, la litière favorise la pénétration de l'eau dans le sol alors que les racines facilitent sa circulation à plus grande

profondeur. En outre, LE TACON (I976) souligne l'influence de la matière organique en montrant que la vitesse de décarbonatation d'un calcaire marneux est à peu près proportionnelle à la quantité de matière organique immobilisée dans le profil.

A l'évidence, la végétation assure d'autre part un rôle protecteur considérable contre l'érosion; les sols les plus évolués et les plus humifères se trouvant sous forêts, matorrals ou steppes à alfa les moins dégradées.

5 - L'ACTION DE L'HOMME.

Bien que cette action soit très ancienne et remonte sensiblement aux débuts de notre ère, son accélération brutale depuis plusieurs décennies, lui confère actuellement une influence considérable.

Dans les zones telliennes, la mise en culture, plus ou moins récente de nombreuses surfaces aux dépens de la forêt a entraîné une baisse très nette de la teneur en matière organique des horizons de surface et une érosion considérable des sols.

Dans les zones steppiques les plus humides (P > 250-300 mm) la dégradation de la forêt de pin d'Alep par l'homme a favorisé le passage à la steppe d'alfa puis d'armoise , c'est le phénomène de "steppisation " (LE HOUEROU, I969) avec , pour conséquence, des modifications très importantes pour les sols : diminution du taux de matière organique, changement de sa répartition dans le profil, dégradation de la structure des horizons de surface, etc.

La végétation de steppe, à son tour soumise à l'action de l'homme (surpâturage, culture, etc) ne peut empêcher une érosion éolienne et hydrique accrue et un certain nombre de modifications pédologiques qu'il importe de préciser.

C - CONCLUSIONS .

Après cette analyse des principaux types de sols et des facteurs de pédogénèse, il est nécessaire de faire le point avec deux séries de conclusions concernant :

- les caractéristiques majeures des sols.
- les principaux facteurs d'évolution des sols.

+ les caractéristiques majeures des sols.

- La quasi totalité des sols est calcaire dès la surface;il en résulte des pH basiques , parfois proches de la neutralité et des complexes absorbants saturés. C'est la principale caractéristique commune en relation avec la nature des roches-mères, pratiquement toujours calcaires, et avec le climat, les précipitations étant insuffisantes pour produire une décarbonatation complète des horizons de surface sauf bien évidemment dans les zones semi-arides ou subhumides. Ces caractères, présence de calcaire, pH, saturation du complexe, ne jouent donc qu'un rôle très limité dans la différenciation pédologique, mais aussi comme facteurs écologiques responsables de certains déterminismes écologiques.

- Les sols présentent une grande diversité : texture, structure, formes d'accumulation du calcaire ou de gypse, salure, matière organique,etc. Cette diversité est largement prise en compte par la classification pédologique. Celle-ci précise, non seulement le degré d'évolution des sols et les principales caractéristiques morphologiques (classification morpho-génétique), mais aussi la nature du matériau sur lequel se forme le sol (famille de sol).

- La distribution des sols se fait en relation étroite avec la situation géomorphologique ; cette dernière, en effet, intègre assez largement toute l'histoire du passé, fort importante ici, les caractéristiques de la roche-mère et surtout la topographie. Néanmoins, il est fréquent d'observer, aussi bien des sols différents sur une même unité géomorphologique que l'inverse, c'est-à-dire des sols très comparables sur des unités géomorphologiques différentes. Sol et situation géomorphologique se complètent si l'on veut tenir compte de la topographie pour caractériser le milieu dans une optique phytoécologique ou pour étudier les facteurs d'évolution des sols dans une optique pédogénétique; la topographie restant un des facteurs essentiels du régime hydrique des sols.

- la diversité des sols ne doit pas cacher l'extension considérable des sols à croûte et/ou encroûtement calcaire (sols à profil calcaire différencié), tout particulièrement dans les Hautes-Plaines.

+ Les principaux facteurs d'évolution des sols.

Compte-tenu du contexte climatique actuel, les processus pédogénétiques se rapportent à des processus liés au régime hydrique. Ils concernent essentiellement la matière organique et la dynamique du calcaire et des sels solubles. Trois facteurs s'annoncent déterminants :

- le climat, par l'importance de la pluviosité et du régime hydrique, intervient sur la biomasse végétale, donc sur la matière organique, mais aussi sur la dynamique du calcaire et des sels en fournissant l'eau indispensable à leur dissolution, transport et reprécipitation.
- la végétation, par l'importance et la nature de sa biomasse et surtout par son système racinaire, intervient comme source de matière organique et comme facteur favorable à la dissolution et à la reprécipitation de la calcite.
- l'homme enfin, par son action sur la végétation, excerce une influence indirecte.

Les autres facteurs, roche-mère et topographie, ne sont pas moins importants sur le régime hydrique en particulier. Cependant, pour étudier les processus de pédogenèse et plus spécialement l'influence de la végétation, il est judicieux de se placer dans des conditions comparables de ce point de vue: séquence sur une même roche-mère, sols bien drainés sans apport d'eaux de ruissellement .

II – LA VEGETATION

A. LES PRINCIPAUX TYPES DE FORMATIONS VEGETALES (planche VIII)

La physionomie et la structure de la végétation servent de base à la définition des principaux types de formations végétales en Afrique du Nord (IONESCO et SAUVAGE, 1962; LE HOUEROU, 1969). Il est classique de distinguer :

1 - LES FORMATIONS FORESTIERES ET DE DEGRADATION FORESTIERE.

a. **Les forêts**, toujours plus ou moins dégradées, forment un ensemble forestier hétérogène comprenant de vastes clairières sur les massifs des Atlas tellien et saharien : c'est la forêt claire à pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et chêne-vert (*Quercus ilex*).La taille des arbres dépasse 7 mètres de haut pour un nombre d'individus, d'au moins une centaine à l'hectare. Le sous-bois se compose d'arbustes, d'arbrisseaux et de chamaephytes variés; l'alfa est présent en particulier dans les clairières.

b. **Les matorrals**. Ce terme, utilisé d'abord en Espagne et maintenant largement répandu en Afrique du Nord, désigne une formation d'origine forestière, analogue à une garrigue ou à un maquis; il y subsiste des reliques d'arbustes ou arbrisseaux forestiers tels que le chêne-vert (*Quercus ilex*), les genèvriers (*Juniperus oxycedrus, Juniperus phoenicea*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*) et autres pistachiers (*Pistacia therebinthus, Pistacia atlantica*), les cistes (*Cistus villosus, Cistus salvifolius, Cistus libanotis*), le romarin (*Rosmarinus tournefortii*), etc.

L'alfa peut y être très abondant, comme peuvent également subsister çà et là des arbres isolés dans les matorrals arborés (planche VIII, 1).Les matorrals correspondent à une phase de transition dans les séries de dégradation, entre les forêts de Pin d'Alep et les steppes à alfa (LE HOUEROU, 1969; CELLES, 1975). Ils jouent un rôle important dans la conservations des sols contre l'érosion (QUEZEL, 1979).

2 - LES FORMATIONS STEPPIQUES.

En Afrique du Nord, les steppes sont des formations basses et très ouvertes à base de graminées (*Stipa tenacissima, Stipa parviflora, Lygeum spartum*, etc.) et/ou de chamaephytes vivaces (*Artemisia herba-alba, Artemisia campestris, Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum*, etc.) auxquels s'ajoute un cortège varié, souvent important,d'espèces annuelles.

Le recouvrement végétal, pratiquement toujours inférieur à 50%, dépend de nombreux facteurs: état de dégradation, bioclimat, saison, nature du groupement végétal lui-même. Il se situe communément au-dessous de 20-30 % et bien moins encore.

Il n'est donc pas surprenant que pour les auteurs russes, les steppes nord-africaines ne soient pas des steppes vraies mais des "pré-déserts" (RODIN *et al* , I968).

a - Les steppes à alfa.

La physionomie, relativement homogène, est marquée par la dominance de cette espèce aussi bien sur les versants des djebels que sur les glacis encroûtés (planche VIII, 2 et 3).

Bien que leur valeur phytosociologique ne soit pas encore totalement élucidée, les steppes à alfa présentent un intérêt de tout premier plan pour l'étude de la dynamique de la végétation et des relations végétation-milieu. Elles constituent en effet un stade de transition entre les formations forestières et les steppes secondaires à chamaephytes (*Artemisia herba-alba* notamment) initiées par l'action de l'homme selon le processus de "steppisation" bien étudié par LE HOUEROU(I969)en Tunisie. Dans les zones plus arides, en l'absence de végétation forestière, les steppes à alfa apparaissent comme les formations les moins dégradées avant un passage éventuel à une steppe secondaire à chamaephytes ou à sparte (*Lygeum spartum).*

b. Les steppes à chamaephytes et graminées diverses peuvent se distinguer par les espèces physionomiquement dominantes.

+Les steppes à chamaephytes présentent ainsi une grande diversité avec: (planche VIII, 4 et 5).

- les steppes à "Chih", l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba).*
- les steppes à "Zef-Zef" (*Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum).*
- les steppes à "Remt" (*Arthrophytum scoparium).*
- les steppes dégradées à "Chouprouk" (*Noaea mucronata),* à "Sarr" *(Atractylis serratuloîdes),* etc.
- les steppes, généralement post-culturales à "Dgouft", l'armoise champêtre (*Artemisia campestris).*

+ les steppes graminéennes sont moins diversifiées avec:

- les steppes à "Sennag" le sparte (*Lygeum spartum).*
- les steppes à "Drinn" (*Aristida pungens).*

c- Les steppes crassulescentes.

Sur les terrains salés, les espèces halophiles crassulescentes se présentent assez souvent en peuplement d'allure monospécifique : peuplement à *Arthrocnemum indicum* (planche VIII, 8), à *Salsola tetrandra*, à *Atriplex halimus*, etc.

La végétation halophile se trouve souvent en mélange avec d'autres espèces liées aux caractéristiques de l'horizon de surface lorsque celui-ci est peu salé. La distinction devient alors délicate avec les autres types de steppes ou les formations de cultures.

3 - LES JACHERES ET CULTURES (planche VIII, 6 et 7).

Les périmètres irrigués et les cultures arbustives occupant une superficie négligeable, il s'agit évidemment des cultures annuelles (céréales):

- cultures permanentes dans les zones telliennes et le Plateau du Sersou occidental avec ou sans jachère travaillée: végétation de type messicole où dominent les espèces annuelles.

- cultures plus irrégulières en zones steppiques avec des jachères pâturées plus ou moins anciennes.

Tous les intermédiaires s'observent entre une végétation quasi exclusive d'annuelles (culture mécanisée permanente) et une steppe post-culturale à armoise blanche ou à armoise champêtre par exemple. De nombreux facteurs interviennent dans cette reconquête éventuelle et le retour des espèces vivaces: durée et type d'utilisation de la jachère, mode de travail du sol, bioclimats, conditions édaphiques, etc.

Certaines jachères se présentent comme des peuplements assez denses de *Peganum harmala* ou de *Stipa retorta* (glacis encroûtés en bordure Nord du Plateau du Sersou oriental). Ce type de formation végétale correspond sensiblement à un erme (IONESCO et SAUVAGE, 1962): formation basse, herbacée, à rythme saisonnier très marqué, et composée d'espèces délaissées par les troupeaux. On relève également l'existence de pelouses, dans les zones plus humides: pelouse à *Aegilops triuncialis* ; leur extension reste limitée.

Planche VIII

LES PRINCIPALES FORMATIONS VÉGÉTALES

1 - **FORET CLAIRE A PIN D'ALEP** sur marno-calcaires encroûtés (Atlas saharien) ; passage au matorral à *Cistus libanotis* et *Stipa tenacissima* (V 6).

2 - **STEPPE A ALFA** sur calcaire dur (Djebel Mergueb) : groupement à *Stipa tenacissima, Launaea acanthoclada* et *Rhus tripartitum* (V 22).

3 - **STEPPE A ALFA** sur surface encroûtée du Quaternaire moyen : groupement à *Stipa tenacissima, Artemisia herba-alba* et *Lygeum spartum* (V 34).

4 - **STEPPE A CHAMAEPHYTES** (armoise blanche) sur surface encroûtée du Quaternaire ancien : groupement à *Artemisia herba-alba* et *Poa bulbosa* (V 46).

5 - **STEPPE A CHAMAEPHYTES** (hélianthème) sur surface encroûtée du Quaternaire ancien : groupement à *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum* («Zef-Zef») et *Artemisia herba-alba* (V 44).

6 - **JACHÈRE** (erme) à *Peganum harmala* sur surface encroûtée du Quaternaire ancien : groupement à *Anacyclus clavatus* et *Papaver hybridum* (V 89).

7 - **CULTURES DE CÉRÉALES** sur surface encroûtée du Quaternaire ancien : groupement à *Carduncellus pinnatus* et *Papaver hybridum* (V 77).

8 - **STEPPE CRASSULESCENTE** à *Arthrocnemum indicum* V 106).

1

2

3

4

5

6

7

8

B - LES PRINCIPAUX GROUPEMENTS VEGETAUX.

1 - QUELQUES DEFINITIONS : Groupements végétaux et groupes écologiques.

La végétation est organisée en groupements ou en associations. Les groupements végétaux constituent "les unités élémentaires de la végétation définies floristiquement, écologiquement, statistiquement et ordonnées par l'interaction des facteurs du milieu et la concurrence vitale" (EMBERGER et LEMEE, I962).

OZENDA (I964) définit le groupement végétal comme "un ensemble de plantes réunies dans une même station, par suite d'exigences écologiques identiques ou voisines. La composition floristique en est relativement constante quand on compare entre elles des stations semblables". GOUNOT (I969) insiste sur le fait qu'il s'agit d'une unité abstraite de végétation définie par la comparaison statistique d'échantillon concrets que sont les communautés végétales (phytocénoses).

Pour LE HOUEROU(I959-I969), chaque groupement végétal, unité phytosociologique de rang taxonomique indéterminé, est une combinaison définie de groupes écologiques.

Selon les auteurs, la notion de groupe écologique n'est pas exactement la même. Certains insistent davantage sur l'affinité sociologique (DUVIGNEAUD), d'autre sur l'affinité écologique (ELLENBERG). Toutefois, on peut considérer avec LE HOUEROU qu'un groupe écologique est un groupe d'espèces ayant un comportement autoécologique de même type vis à vis d'un facteur du milieu (affinité écologique au sens d'ELLENBERG et NEGRE) et présentant entre elles des corrélations positives (affinités sociologiques au sens de DUVIGNEAUD). Ce n'est donc pas une juxtaposition de plantes indicatrices.

Le groupement végétal étant un reflet du milieu, les groupes écologiques qui le définissent sont liés aux trois principaux facteurs écologiques; il y a ainsi des groupes écologiques climatiques, édaphiques et anthropiques. Chaque espèce végétale reste soumise à l'ensemble des facteurs du milieu, le fait d'appartenir à tel ou tel groupe signifie une plus grande sensibilité à l'un des facteurs; par exemple le groupe écologique des plantes liées à la présence d'une croûte calcaire se rencontrera uniquement sur les sols encroûtés, mais ces espèces ne seront pas obligatoirement les mêmes pour des bioclimats différents.

Groupes écologiques et groupements végétaux sont déterminés statistiquement par la méthode des tableaux phytosociologiques ou par les traitements informatiques.

L'inventaire et la cartographie des groupements végétaux ont fait l'objet de très nombreuses études en Afrique du Nord (cf.bibliographie de l'introduction). L'apport de tous ces travaux permet d'ordonner les principaux groupements végétaux en fonction des caractéristiques majeures du milieu. Il permet en outre d'établir, dans ses grandes lignes, la dynamique de la végétation: succession dans le temps des groupements végétaux sur un même substrat (séries de végétation).

Néanmoins il faut souligner qu'il n'existe pas actuellement de travaux de synthèse sur la végétation steppique. Certes, de nombreux groupements déjà décrits représentent en fait de véritables associations qui possèdent alors une valeur taxonomique. Mais en l'absence d'une nomenclature précise, la description de la végétation ne peut se concevoir qu'en utilisant la notion très générale de groupement végétal. Je me bornerai donc à rappeler très brièvement ici les principaux types de groupements végétaux reconnus actuellement et dans lesquels je resituerai, plus ou moins fidèlement, les relevés effectués dans les steppes sud-algéroises (cf.p.166 et annexe 2).

2- LES PRINCIPAUX GROUPEMENTS VEGETAUX.

Il est classique de distinguer :

- les groupements de type zonal, tels que les groupements forestiers et steppiques, correspondent à une végétation naturelle fortement influencée par le climat, mais aussi par les autres facteurs écologiques édaphiques et anthropiques. Le passage aux cultures, plus ou moins progressif, aboutit à des groupements spécifiques (végétation messicole).
- les groupement de type azonal (ou subazonal) caractérisent la végétation plus directement soumise à l'influence des facteurs édaphiques déterminants (salure, nappe, etc) qui masquent l'action des autres facteurs écologiques, climatiques en particulier.

a- Les groupements de type zonal.

Représentants en fait la grande majorité des groupements, ils se différencient tout d'abord selon les bioclimats: étages et sous-étages bioclimatiques, généralement en concordance avec les étages et sous-étages de végétation.(I)

(I) Certains auteurs(GOUNOT,1969) dissocient les termes, étages bioclimatiques et étages de végétation.

Dans chaque bioclimat, les groupements s'ordonnent ensuite dans chacune des variantes et sous-variantes thermiques selon des séries exprimant la dynamique de la végétation sur des substrats comparables.

Dans les régions telliennes subhumides (région de Médéa) on passe assez brutalement des groupements forestiers et de dégradation forestière (série du pin d'Alep à chêne-liège, souvent à chêne-vert) aux groupements de cultures. Il en est de même dans les régions semi-arides avec la série du pin d'Alep à chêne-vert et un passage également brutal aux groupements de cultures sur les différents substrats: calcaires durs, grès, marnes,etc..

Dans les steppes sud-algéroises arides, l'agencement des groupements est différent. On distingue ainsi trois séries de végétation pour les trois sous-étages bioclimatiques:

+La série du pin d'Alep à genévrier de Phénicie de l'aride supérieur comprend 2 variantes thermiques, à hivers froids et à hivers frais, subdivisées en 2 sous-variantes.

Dans chaque variante ou sous-variante thermique, la succession des groupements est la suivante: groupements forestiers, groupements de dégradation forestière, groupements steppiques à alfa dominant, groupements steppiques à chamaephytes, jachères et cultures.

A titre d'exemple, on observe sur calcaire dur la succession:

- Groupement forestier à *Pinus halepensis* et *Cistus villosus*(forêt claire).
- Groupement de dégradation forestière à *Juniperus phoenicea* et *Cistus libanotis* (matorral).
- Groupement steppique à *Launaea acanthoclada* et *Stipa tenacissima* (steppe à alfa).

+ La série du genévrier de Phénicie à alfa de l'aride moyen (CLAUDIN *et al* I975), comprend les deux mêmes variantes thermiques.

Pratiquement,la végétation forestière a complètement disparu sauf quelques rares vestiges de genévriers de Phénicie sur substratum gréseux (matorral arboré). Il ne subsiste que les groupements de steppes, de jachères et cultures.

+ La série de l'alfa de l'aride inférieur comprend une seule variante thermique à hivers frais et plusieurs sous-variantes: groupements de steppes, et seulement quelques groupements de cultures dans les zones recevant des apports d'eaux de ruissellement.

Aussi bien en Tunisie qu'en Algérie, il est maintenant admis que la végétation de steppe provient de la dégradation plus ou moins récente de formations forestières primitives, ou éventuellement de steppes arborées . La dynamique actuelle serait donc régressive (fig.25) sauf localement où l'on observe un début de dynamique progressive (resemis de pins d'Alep, colonisation des jachères et des sables mobiles, etc..)si la pression de l'homme n'est pas trop forte.

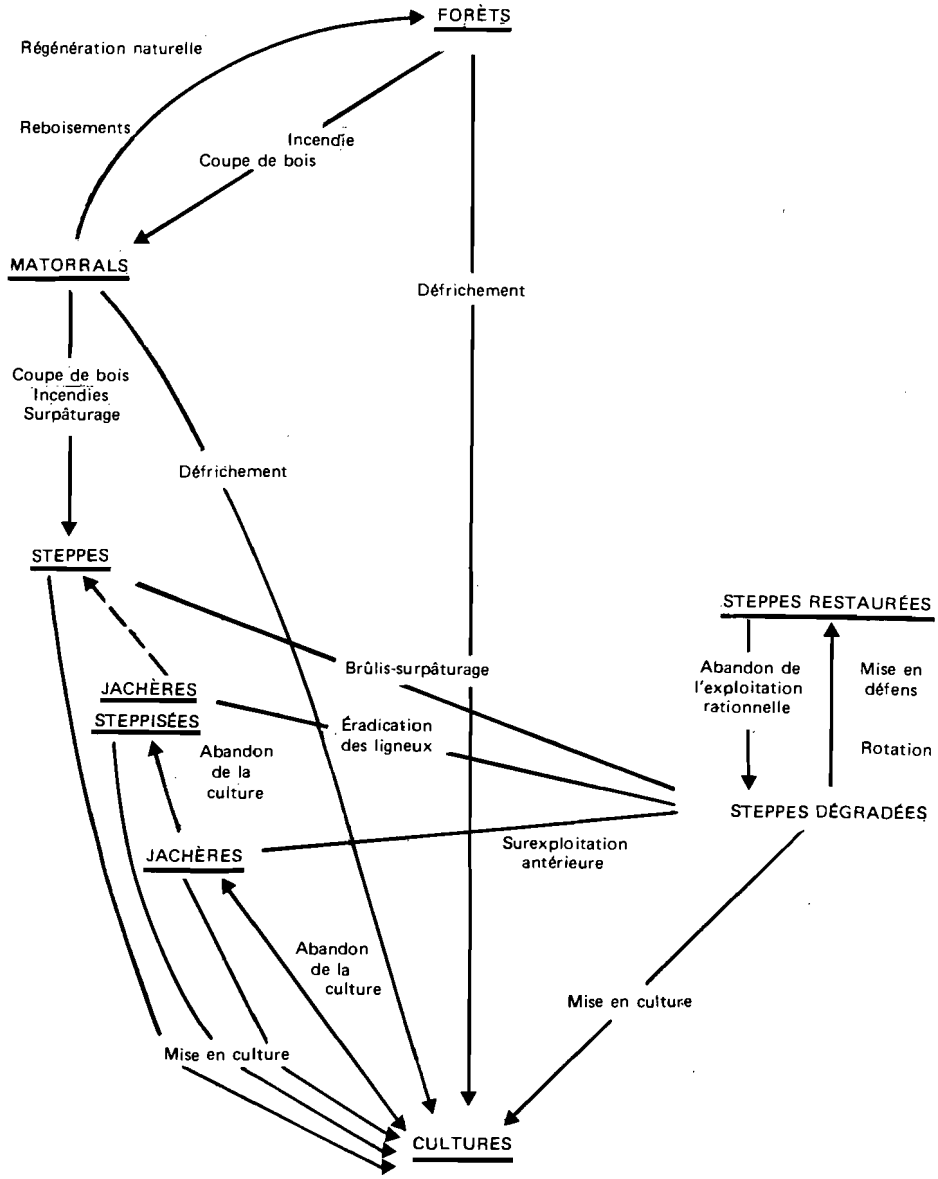


Figure 25 - Schéma de l'évolution de la végétation dans l'étage aride (d'après CLAUDIN et al, 1975)

b- Les groupements de type azonal (subazonal)

Ils caractérisent les milieux dominés par l'action de certains facteurs édaphiques :

+ Groupements halophiles à *Halocnemum strobilaceum, Arthrocnemum indicum, Suaeda fruticosa, Atriplex halimus, Atriplex glauca, Salsola vermiculata* var *villosa*, etc. La complexité de ces groupementstraduit l'interaction constante d'autres facteurs édaphiques : nappe phréatique, gypse, texture, etc.
+ groupements phréatophiles à *Juncus maritimus, Schoenus nigricans, Phragmites communis*, etc, dans les dépressions à nappe phréatique proche de la surface (sols hydromorphes).

+ Groupements des dunes à *Aristida pungens, Retama retam, Malcolmia aegyptiaca*, etc.

+ Groupements des sols à encroûtements gypseux : à *Erodium glaucophyllum, Herniaria mauritanica*, etc.

Si ces groupements sont en général bien individualisés, les transitions avec la végétation de type zonal restent progressives comme souvent les variations latérales des facteurs édaphiques: salure, profondeur de nappe, texture et épaisseur des horizons,etc.

C - CARACTERISTIQUES GENERALES DES ESPECES VEGETALES.

Dans les steppes sud-algéroises, comme dans toutes les zones arides, les rigueurs climatiques obligent les espèces végétales à des adaptations nécessaires à leur survie. Parmi ces adaptations, le développement considérable du système racinaire par rapport aux organes aériens apparaît spécifique. Il est important pour la formation et l'évolution des sols.

1 - LES ADAPTATIONS.

Parmi les multiples adaptations, et sans entrer dans les détails, je rappellerai les plus classiques : (OZENDA, I958, I964)

- modifications anatomiques pour réduire la surface évaporante (réduction du système foliaire, épines, etc), pour réduire la vitesse d'évaporation (épaississement des cuticules) et pour constituer des réserves en accumulant l'eau dans les tissus (feuilles crassulescentes).

- modifications physiologiques : réduction du cycle végétatif avec de longues périodes de dormance estivale ou hivernale.

- accroissement très important du système racinaire par rapport au système aérien pour aller puiser jusqu'au moindre recoin du sol un peu d'humidité (KACHAROV et KOROVINE, I942). Ce dernier point,essentiel pour l'étude des relations sol-végétation, intervient pour rendre compte de l'écologie des espèces ainsi que de l'action de la végétation sur les sols.

A ces adaptations, classiques dans les régions sèches et destinées à pallier l'insuffisance du bilan hydrique, s'ajoutent des adaptations spécifiques liées à la présence de conditions stationnelles particulières.

Ainsi la présence en excès de sels solubles (chlorure de sodium et magnésium, sulfate de sodium et magnésium, etc), dans les solutions du sol, est toxique pour les plantes; elle entraîne des troubles nutrionnels et nécessite des adaptations. Certaines espèces augmentent dans leurs tissus le taux de Na^{+}, Cl^{-} et Mg^{++} aux dépens de Ca^{++} et K^{+} (groupe biogéochimique des halophores de BOUKHRIS et LOSSAINT, I972) : *Atriplex halimus, Suaeda mollis, Traganum nudatum,* etc; elles appartiennent pour la plupart à la famille des chénopodiacées. D'autres espèces halophiles comme les graminées (*Aeluropus littoralis)* paraissent s'adapter en limitant au contraire les accumulations de sels minéraux (groupe biogéochimique des oligophores).

Pour les espèces steppiques, d'une façon plus générale, les travaux remarquables de KILLIAN (I948) montrent une certaine indépendance entre la composition des plantes et celle du substratum. Il montre aussi la grande stabilité des graminées, riches en cellulose, mais pauvres en éléments minéraux autres que la silice (groupe des oligophores).

2 - LES SYSTEMES RACINAIRES

En fonction de la distribution des racines dans le sol on distingue avec LEMEE (I978) plusieurs types de systèmes racinaires: (fig.26)

+ le système intensif (fasciculé) de type Graminée comme l'alfa (*Stipa tenacissima*) avec un réseau très dense de racines et radicelles atteignant 30 à 50 centimètres de profondeur pour un diamètre d'environ un mètre. A ce système se rattache celui, plus superficiel, de l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba);* il est aussi moins dense et moins important.

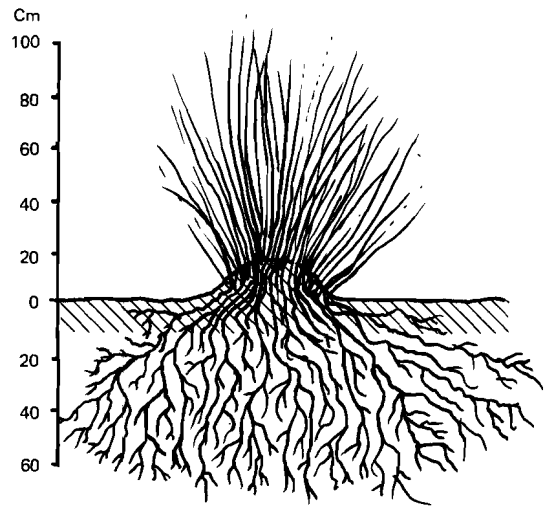
+ le système à extension horizontale : telles les espèces psammophiles avec un réseau horizontal de racines et surtout radicelles qui "court" juste au-dessus de la surface du sol pour bénéficier des moindres millimètres de pluie ou de rosée ("racines de rosée", fig.11). Les psammophiles vivaces possèdent toutefois de solides racines verticales pour se maintenir en place, "s'ancrer" et puiser en profondeur une certaine humidité.

+ le système à extension verticale est constitué par une racine pivotante chez un assez grand nombre d'espèces vivaces parmi les ombellifères, les composées(*Scorzonera undulata*) , les légumineuses,etc. Cependant, même pour les espèces annuelles les plus modestes, il est vital de pouvoir puiser très rapidement en profondeur l'eau nécessaire à la croissance et au complet développement. Ainsi j'ai pu observer de jeunes plantules de luzerne annuelle (*Medicago laciniata*) dont le mince pivot, atteignant 1m de profondeur, s'implante directement dans un encroûtement calcaire.

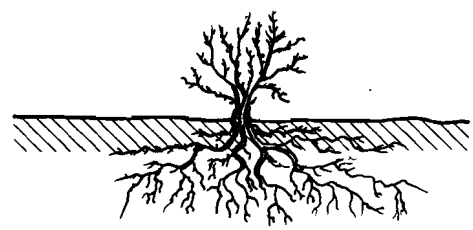
+ Le système mixte à extension horizontale et verticale.

Le système vertical, comprenant généralement plusieurs racines importantes et profondes, se double d'un système horizontal plus superficiel; ce système horizontal des espèces vivaces développe un réseau relativement étendu et ramifié de racines et radicelles pour "explorer la terre humidifiée par les pluies et disputer aux plantes annuelles les reliefs d'un maigre banquet"(NEGRE, 1959).

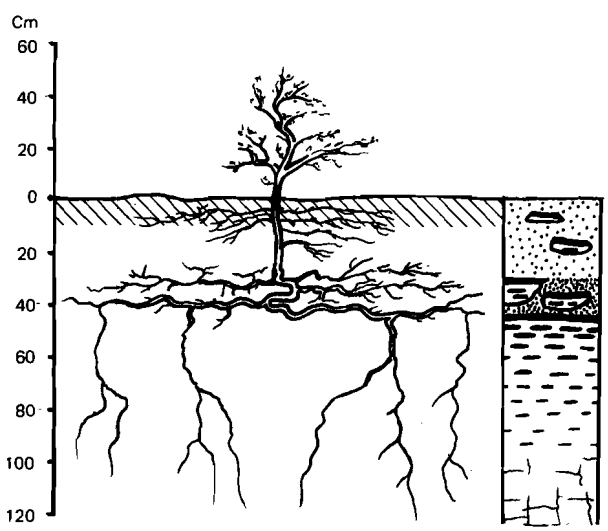
Certaines espèces vivaces peuvent présenter des racines capables d'explorer des horizons à plusieurs mètres de profondeur, souvent jusqu'à la nappe phréatique. Dans sa progression en profondeur à la recherche d'humidité, le système vertical rencontre très souvent les horizons d'accumulation calcaire (encroûtements, croûtes); on constate que de nombreuses racines plus ou moins"tortillées" et laminées s'immiscent entre les feuillets et un réseau particulièrement dense de radicelles colonise les espaces interfeuillets mais aussi l'horizon Kh à la partie supérieure de la croûte. Il en est ainsi pour les principales espèces steppiques vivaces : *Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum, Arthrophytum scoparium*,etc. (fig.26 et chapître IV).



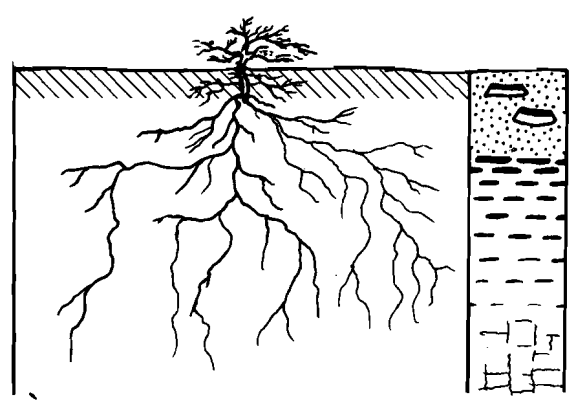
Stipa tenacissima
(Système intensif)



Artemisia herba-alba
(Système intensif)



Arthrophytum scoparium
(Système mixte horizontal et vertical
dans un sol à croûte calcaire à horizon laminaire)



Helianthemum hirtum ssp *ruficomum*
(Système mixte dans un sol à croûte calcaire
sans horizon laminaire)

Figure 26 - Systèmes racinaires des principales espèces steppiques : alfa et chamaephytes vivaces

Dans le cas du sparte (*Lygeum spartum*), le développement horizontal s'effectue au moyen d'un rhizome peu profond (5-10 cm) émettant des radicelles explorant la surface, aussi bien dans des sols de texture moyenne à fine (dayas) que dans des sols sableux(racines de rosée). En outre, partant du rhizome, un réseau de racines verticales profite de la moindre porosité ou du moindre espace interfeuillet pour s'immiscer en profondeur. Toutefois, pour la plupart des géophytes (ou cryptophytes), la présence de bulbes ou de rhizomes représente une bonne adaptation aux longues périodes de froid hivernal et de sècheresse estivale; nul besoin alors de développer un système racinaire considérable. Il en est d'ailleurs ainsi pour un grand nombre d'espèces vivant dans la steppe :

- soit qu'elles bénéficient d'un bilan hydrique satisfaisant avec, en permanence, une nappe phréatique proche de la surface.
- soit qu'elles aient un cycle végétatif extrêmement réduit pour profiter des moindres pluies et subsister à l'état de graines comme les annuelles (thérophytes).

En définitive, seules les espèces vivaces, graminées et chamaephytes en général (armoises, hélianthèmes, etc) ont besoin en permanence d'un système racinaire très développé pour pouvoir subsister.Or, dans les formations steppiques peu dégradées, elles dominent physionomiquement et constituent une part très importante de la biomasse aérienne. Elles fournissent donc une part non moins importante de la biomasse racinaire qui représente, dans les steppes, entre 50% (FLORET *et al*, 1977) et 80% (RODIN et BAZILEVITCH, 1968) de la biomasse totale.

Le système racinaire des phanérophytes (arbres et arbustes des forêts et matorrals), nettement plus puissant et plus profond, s'oppose à ceux des espèces steppiques, tout particulièrement au système intensif de l'alfa et de l'armoise blanche; en outre il ne représente que 20 à 30% de la biomasse totale.

Une conséquence indirecte de l'accroissement intensif du système racinaire des principales espèces steppiques vivaces est que nécessairement les formations végétales de steppes sont des formations ouvertes : chaque espèce a en effet besoin d'un volume important de sol et ceci d'autant plus que l'aridité du climat s'accroît. Dans ces conditions, le comportement des espèces sera davantage fonction du milieu que des autres espèces présentes. Ceci revient à dire que l'étude des communautés végétales précisera pour une large part l'autoécologie des principales espèces steppiques.

D. ACTION DE L'HOMME.

Dans l'Atlas saharien, ornant les parois des rochers et falaises de grès, de nombreuses et souvent remarquables gravures rupestres attestent d'une occupation humaine remontant à plusieurs millénaires avant notre ère (LHOTE, 1970, etc.).Il est infiniment peu probable que ces populations de chasseurs et de pasteurs aient eu une grande influence sur l'environnement. L'occupation romaine elle-même n'a pas laissé beaucoup de vestiges susceptibles de faire penser à une quelconque agriculture, sauf peut être d'anciens jardins à proximité de garnisons comme Messaad;peut-être aussi déjà une céréaliculture sur le Plateau du Sersou occidental? Les rigueurs du climat ou l'éloignement des grands centres urbains n'ont pas permis une exploitation systématique(céréaliculture et arboriculture) comme dans des régions similaires de l'Est algérien et surtout de la Tunisie.

Depuis des siècles, les steppes sud-algéroises sont par excellence le domaine de pasteurs nomades avec quelques petits centres très anciens de sédentarisation autour des points d'eau permanents (sources avec jardins irrigués). Dans ce système traditionnel d'exploitation pastorale, si l'on prend l'exemple des Oulad Naïl, troupeaux et pasteurs se déplacent des régions sahariennes au Sud où ils passent l'hiver (jusqu'à TOUGGOURT) au Plateau du Sersou où ils se trouvent en été. Au cours de cette double traversée annuelle des steppes sud-algéroises et pour compléter l'alimentation humaine, une place est faite à la céréaliculture; semailles dès les premières pluies d'automne dans les Hautes-Plaines sur le chemin du Sud et moissons au printemps en remontant vers le Nord. Souvent épisodiques et liées à la pluviosité, les cultures restent pratiquement toujours localisées dans les thalwegs ou les zones recevant des eaux de ruissellement. En contournant les touffes d'alfa ou de sparte,l'araire traditionnel respecte ainsi la plupart des espèces vivaces.

Restées longtemps à l'écart d'une influence humaine destructrice, les steppes sud-algéroises n'ont pas échappé, ces dernières décades, aux bouleversements qui ont affecté, comme d'ailleurs partout dans le monde sous une forme ou sous une autre, l'ensemble des régions steppiques d'Afrique du Nord : accroissement démographique, introduction de la culture mécanisée, exploitation industrielle de l'alfa, surpâturage,etc. Le résultat en est une dégradation importante de la végétation naturelle par des processus très bien étudiés et décrits en Tunisie(LE HOUEROU,1969; FLORET *et al*,1977). Je me bornerai ici à souligner les traits essentiels de l'extension des cultures et du surpâturage dans les steppes sud-algéroises.

1 - LES CULTURES

Une première extension de la céréaliculture a marqué, au début de ce siècle, l'installation de fermes de colonisation sur le Plateau du Sersou occidental. La pluviosité relativement favorable (P > 350-400 mm) permet des cultures de céréales même sans apport d'eaux de ruissellement sur ces vastes plaines généralement encroûtées. Très rapidement, les cultures vont s'étendre vers le Sud et vers l'Est, sur le Plateau du Sersou oriental, entraînant le défrichement de milliers d'hectares de sols à croûte calcaire (steppe à armoise blanche); mais la pluviosité insuffisante ne permet ici que des rendements très faibles et aléatoires, à tel point que les cultures sont parfois abandonnées ou avec des jachères très longues dans l'attente de l'année favorable (groupements à *Papaver hybridum*, à *Stipa retorta*, etc).

Plus récemment et plus généralisée, une seconde extension de la céréaliculture marque l'arrivée des tracteurs dans la steppe. On constate ainsi dans le Bassin des Zahrez un accroissement considérable des surfaces emblavées sur des sols variés de texture grossière: sols à croûte calcaire, sierozems, sols peu évolués, sols halomorphes, etc; parallèlement , on assiste à une augmentation spectaculaire de la fréquence et de l'importance des vents de sable provoquée par la destruction du couvert végétal.

Plusieurs témoignages, recueillis auprès de personnes âgées, le confirment s'il en était besoin, tant sont évidentes les marques d'une érosion éolienne intense: zone de déflation avec "vannage" des éléments fins laissant en surface un "microreg" de graviers et sables grossiers, zone d'accumulation de sables éoliens avec micronebkas-flèches, voile sableux, etc.

Ces deux exemples illustrent les effets de l'extension relativement récente de la céréaliculture en dehors des zones traditionnellement réservées à cet effet. La conjonction de besoins croissants, dus à une pression démographique toujours plus grande, et de moyens plus efficaces avec la mécanisation des labours, expliquent largement cette extension anarchique, non rentable et dangereuse :

- anarchique car elle s'est faite sans tenir compte, ni du climat, ni des sols, ni de la végétation existante; les seuls critères étant la topographie et la présence de pierres ou rochers en surface qui pouvaient empêcher les labours. Ainsi des surfaces très importantes ont elles été labourées alors que la pluviosité atteignait à peine 250 mm, souvent moins, et sans

apport d'eaux de ruissellement: glacis encroûtés du Quaternaire ancien et moyen, sols de texture grossière (siérozems et sols peu évolués d'apport éolien), etc.

- non rentable, le mot n'est pas trop fort si l'on sait que les rendements se situent entre 0 et quelques quintaux à l'hectare, sans oublier le manque à gagner résultant d'une réduction d'autant de terrains de parcours souvent les meilleurs.

- dangereuse car la mécanisation des labours, tracteurs et charrues à disques, entraîne une destruction quasi complète des espèces pérennes et réduit fortement le nombre d'espèces végétales spontanées. Ainsi des mesures effectuées en Tunisie du Sud (P ≠ 160 mm) dans une steppe sableuse à *Rhantherium suaveolens* initialement peu dégradée, mais pâturée, puis défrichée, illustrent ce phénomène (FLORET et *al*, 1977): tableau 16.

Steppe sableuse à *Rhantherium suaveolens*	Couvert végétal %	Couvert de la céréale	Couvert de *Rhantherium suaveolens*	Nombre d'espèces spontanées
pâturée	25	0	17	39
défrichée à l'araire traditionnel(pour céréales).	11	0,7	7	25
défrichée à la charrue à disques(pour céréales).	5	0,5	2	13

Tableau 16 : Influence de la culture et du mode de défrichement (FLORET et *al*, 1977).

En définitive, dans les steppes sud-algéroises, il apparaît que:

- les zones les plus favorables pour la céréaliculture, à l'exception des régions semi-arides (P > 400 mm), sont cultivées depuis très longtemps: zones d'épandage ou recevant des apports d'eaux de ruissellement avec des sols généralement profonds et de texture moyenne à fine.
- l'extension relativement récente de la céréaliculture s'est faite sur des milieux très variés, en particulier sur les vastes surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen, sur les sols de texture grossière plus ou moins profonds, etc. Seuls les reliefs, les cônes et glacis de piedmont trop pentus et caillouteux, les sols halomorphes (hypersolonchaks) ont été épargnés.
- la mise en culture favorise l'installation d'une végétation d'annuelles (végétation messicole) avec d'une façon générale la disparition plus ou moins rapide et complète des espèces vivaces et spontanées.

- si la culture est arrêtée pendant suffisamment longtemps les espèces steppiques peuvent éventuellement se réinstaller dans certaines conditions de climat, de végétation et de sol. Il existe donc tous les stades possibles entre une végétation messicole et une steppe avec par exemple des "jachères steppisées" (LE HOUEROU,1969). En fait, le même stade d'une telle végétation mixte steppe-cultures peut correspondre, soit à un arrêt prolongé dans le cas d'une céréaliculture mécanisée, soit à une exploitation continue à l'araire traditionnel.

2. LE SURPATURAGE.

La totalité de la végétation est soumise au pâturage depuis très longtemps. Mais, comme pour les cultures, la pression humaine de plus en plus forte, liée à l'accroissement démographique, au maintien du système traditionnel d'élevage, à l'absence d'une politique de réserves fourragères, se traduit par un surpâturage sans cesse croissant.

Il y a surpâturage dès que le prélèvement de matière végétale par les animaux est supérieur à la production annuelle. Ceci entraîne une réduction du couvert végétal et de la biomasse des espèces vivaces. Les plantes sont consommées avant d'avoir pu constituer des réserves et d'avoir eu le temps de former des repousses pour les saisons suivantes; les plantes dépérissent peu à peu en même temps que leur système racinaire. Les plantes annuelles, elles mêmes ne peuvent fructifier et produire les graines indispensables à leur survie. De nouvelles espèces non appétées par les troupeaux s'installent peu à peu (*Peganum harmala, Thapsia garganica, Euphorbia falcata*, etc).

L'influence du surpâturage est illustrée avec un exemple fourni par FLORET *et al* I977 dans la même steppe à *Rhantherium suaveolens* du Sud-tunisien.

Steppe à *Rhantherium suaveolens*	Biomasse Kg/MS/ha	Espèces	
		pastorales %	inalibiles %
en bon état	1312	83	I7
dégradée	415	59	41

Tableau 17 : Influence du surpâturage (FLORET *et al*, 1977)

Dans le Bassin du Hodna, CLAUDIN *et al*(I975) citent un autre exemple de surpâturage de la steppe à *Salsola vermiculata* var.*villosa* et *Anabasis oropediorum* dont la capacité de charge ne dépasse pas une unité

ovine pour 6 ha alors que la charge effective actuelle est de 1 mouton pour 2 ha. On constate effectivement une dégradation intense du couvert végétal qui se traduit par une réduction :

- du recouvrement : 5 à 10% de la surface du sol (40 à 60% pour un groupement en bon état).
- de la biomasse: 200 à 500 kg/ha de matière sèche (1500 à 3000/kg/MS/ha pour un groupement en bon état).
- et naturellement de la production pastorale.

Quelles que soient les causes du surpâturage (augmentation du cheptel, proximité des points d'eau, mauvaise utilisation des pâturages, etc) les résultats restent les mêmes : réduction du couvert végétal et changement progressif de végétation au bénéfice d'espèces non alibiles.

Il s'y ajoute un piétinement intense de la surface du sol, facteur favorable à l'action de l'érosion éolienne et hydrique, et toutes les conséquences pour les sols d'une réduction de la biomasse aérienne et souterraine (matière organique, structure, etc).

Aux cultures et au surpâturage, il faudrait encore ajouter : l'exploitation "désordonnée" de l'alfa avec des zones de cueillettes aussi bien dans l'Atlas saharien que dans les Hautes Plaines,l'éradication des espèces ligneuses dans la steppe, l'abattage des arbres et surtout des arbustes dans les matorrals ou forêts de pin d'Alep. Certes, des mesures sont prises depuis longtemps pour empêcher une telle dégradation du couvert végétal que l'on se propose précisément de restaurer grâce à la réalisation du "barrage vert", auquel s'adjoignent divers projets d'amélioration et d'exploitation rationnelle des pâturages.

E - CONCLUSIONS.

Bien qu'évidente pour les phytoécologistes, il paraît utile de souligner la différence entre formation végétale et groupement végétal :

- les formations végétales se réfèrent à la physionomie et à la structure de la végétation, sans qu'il soit fait appel à la composition floristique. Cependant, elles peuvent rendre compte d'une certaine

dynamique du couvert végétal: ainsi la "steppisation" avec la succession régressive: forêts, matorrals, steppes à alfa, steppes à chamaephytes,etc.

- les groupements végétaux, et plus concrètement les communautés végétales, se réfèrent au contraire à une composition floristique relativement constante. Ils constituent les unités élémentaires de la végétation. Certains de ces groupements représentent en fait des associations végétales qui possèdent alors une valeur taxonomique et sont susceptibles de servir de base à une description de la végétation.

L'étude, même très succincte, des grands traits de la végétation dans les steppes sud-algéroises permet une meilleure approche des principaux facteurs écologiques mais aussi de l'action possible de cette végétation sur les sols, en particulier l'influence du système racinaire (matière organique, dynamique du calcaire et des sels).

+ Les principaux facteurs écologiques.

- Les facteurs climatiques jouent un rôle essentiel pour une très grande partie de la végétation puisqu'ils constituent les premiers critères de classement des groupements (étages bioclimatiques et variantes thermiques)

- les facteurs édaphiques, dominants sinon exclusifs dans les groupements azonaux, apparaissent plus ou moins importants dans les autres milieux: types de substrats (grès, calcaires, croûtes, etc), texture, gypse,etc.

- les facteurs anthropiques se manifestent par l'apparition des groupements de cultures (végétation messicole) et les transitions avec les groupements steppiques (jachères steppisées, jachères plus ou moins anciennes, etc). Leur action apparaît aussi par la succession des différents stades de dégradation de la végétation forestière ("steppisation").

+ Les principaux systèmes racinaires.

On peut distinguer schématiquement trois ensembles de systèmes racinaires en fonction de trois grands types de végétation :

- les phanérophytes possèdent un système racinaire profond et puissant. Les racines des arbres et surtout des arbustes des forêts et matorrals ne représentent que 20 à 30 % de la biomasse totale.

- Les espèces steppiques vivaces, en particulier les graminées (alfa) et les chamaephytes (armoises, hélianthèmes, astragales,etc), se caractérisent par un système racinaire très développé et ramifié. Il colonise aussi bien les horizons de surface que les horizons de profondeur, y compris les horizons d'accumulation calcaire. Ce système racinaire représente 50 à 80% de la biomasse totale. Comme celle-ci, son importance diminue avec l'aridité croissante du climat ou la dégradation du couvert végétal.
- Les céréales (cultures) et les espèces annuelles possèdent un système racinaire très ramifié mais généralement plus superficiel.

Ces différences de systèmes racinaires, fort importantes dans les processus de pédogénèse, sont donc prises en compte globalement au niveau des principaux types de formations végétales et des principaux bioclimats.

III – LES RELATIONS SOL - VÉGÉTATION

La présentation d'un relevé arbitrairement choisi permet de poser concrètement la problématique des relations sol-végétation et d'introduire les deux démarches utilisées : phytoécologique et pédogénétique.

A - LE RELEVE PR 1

PR1 correspond au relevé 8 L 50 effectué au cours de l'étude de la région de Messaad-Aïn el Ibel (POUGET,1977).

1- LE CADRE PHYSIQUE.

+ Situation géographique .

I1 est situé dans l'Atlas saharien, à environ une quarantaine de kilomètres au Nord de Messaad : planche 1(cliché Landsat) et fig.2.

- Coordonnées géographiques : Lat.34°30' N et Long.3°37' E
- Coordonnées métriques : X = 584 et Y = 134
- Altitude: 1030 mètres

+ climat (cf fig.6)

PR1 se trouve dans l'aride moyen à hivers frais (P # 250 mm).

+ situation géomorphologique (cf.planche II, photo aérienne)

- Glacis de piédmont (Quaternaire moyen) dominé vers l'Est par un relief monoclinal (barre calcaire de l'Aptien): fig.27.
- Matériau alluvial-colluvial sablo-caillouteux peu épais (1 à 3 m) sur une série argilo-gréseuse; série caractérisée par l'alternance d'argiles versicolores plus ou moins gréseuses et de minces bancs de grès du Barrémien (Crétacé inférieur continental) très visibles dans les entailles linéaires découpant la surface encroûtée perpendiculairement au front monoclinal.
- Pente : 2 - 3% environ.

- En surface, débris de graviers et cailloux (5 à 10%) et pellicule de battance (ruissellement en nappe) entre les touffes d'alfa en coussinets plus ou moins ensablés.

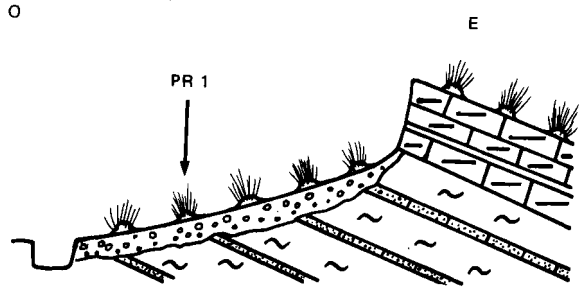


Figure 27 - Schéma de situation du relevé PR1

2- LE SOL.

+ Description du profil.

0 - 10 Horizon A; brun, 7,5 YR 5/4, sec; texture moyenne; éléments grossiers (10- 15%) constitués de graviers et cailloux de calcaire dur, grès et croûte calcaire; structure finement lamellaire sur le premier centimètre, devenant polyédrique subanguleuse moyenne à fine; très nombreuses racines et radicelles.

10-20/30. Horizon Kh; brun jaunâtre clair, 10 YR 6/4, sec; feuillets de croûte calcaire (plaques de 10-30 cm de diamètre environ et 5-10 cm d'épaisseur) dans une matrice pulvérulente limono-sableuse colonisée par un chevelu racinaire très dense formant "tapis"au dessus de l'horizon laminaire; transition très nette, ondulée.

20/30. Horizon laminaire Kl, très induré, couleur grisâtre, épaisseur 1 à 3 cm environ, continu avec localement quelques fissures verticales où s'immiscent les racines

20/30-30/40-Horizon Kcr, croûte calcaire peu épaisse à faciès conglomératique (galets encroûtés) dont l'induration décroît vers le bas; blanc rosé, 7,5 YR 8/2.

30/40-55-Horizon Ke; encroûtement calcaire; rosé, 7,5 YR 7/4; éléments grossiers très abondants (> 50 %); structure peu nette; fine porosité; nombreuses radicelles.

55.75 - Horizon CCa rougeâtre clair, 5 YR 7/4; éléments grossiers très abondants (> 50 %) dans une matrice sablo-limoneuse pulvérulente, quelques radicelles.

Il s'agit d'un profil à croûte calcaire et à horizon laminaire K1 (sol de type II, cf page 98).

Le système racinaire des végétaux éprouve beaucoup de difficulté à traverser K1; les racines se concentrent au dessus dans l'horizon Kh, entre les feuillets de croûte. Certaines parviennent à traverser et elles se localisent dans l'encroûtement calcaire sous-jacent.

+ Données analytiques.

Profil	Prof. en cm.	Nom.	Granulométrie %					pH	CO_3Ca %	Gypse %	M.O. %	Cond. en mmhos	pF 4,2	pF 2,5
			A	LF	LG	SF	SG							
PR1	0-10	A	16	13	19	28	25	8,1	24	0	1,03	0,8	12,0	16,6
	10-20(I)	Kh	-	-	-	-	-	7,9	65	0	2,67	0,9	18,9	27,9
	30-55	Ke	-	-	-	-	-	7,9	61	1	0.50	4,8	6,4	15,6
	55-75	CCa	13	11	6	58	10	7,9	19	2	0.15	9,3	5,7	11,7

(I) Le prélèvement correspond à la matrice pulvérulente de l'horizon Kh.

Tableau 18 Principales données analytiques de PR. 1.

Le tableau 18 indique les principales données analytiques: faible salure dans l'encroûtement calcaire, plus élevée dans l'horizon CCa par ailleurs très faiblement gypseux. L'analyse montre aussi la concentration de matière organique dans l'horizon Kh, la texture moyenne de l'horizon de surface, etc.

+ Classification

PR. 1 se classe parmi les sols calcimagnésiques xériques à croûte calcaire dans la famille S 53, c'est-à-dire sur alluvions-colluvions de piedmont plus ou moins caillouteuses (cf. annexe 1).

3 - LA VEGETATION.

- Exposition: O .. SO
- Recouvrement : 30- 40% environ.

+ Physionomie et structure : steppe d'alfa homogène avec localement de petites "clairières" de quelques mètres carrés colonisées par le sparte (*Lygeum spartum*).L'alfa ne dépasse pas 60-70 cm de hauteur pour une densité de l'ordre de 5000 touffes/ha.

On peut dire que la formation végétale est une steppe à alfa (ou à dominance d'alfa) peu dégradée.

+ le relevé effectué le 4 Juin 1971 sur une centaine de mètres carrés autour du profil, ne comprend que 16 espèces végétales: cf liste ci-dessous avec l'indication de l'abondance-dominance.

Stipa tenacissima	3 3
Artemisia herba-alba	+ +
Stipa parviflora	+ +
Teucrium polium(sl)	+ +
Anabasis oropediorium	+ +
Lygeum spartum	1 1
Salsola vermiculata var.*brevifolia*	+ +
Paronychia arabica ssp.*cossoniana*	+ +
Plantago albicans	2 +
Artemisia campestris	+ +
Herniaria fontanesii	2 +
Telephium imperati	+ +
Atractylis phaeolepis	+ +
Atractylis serratuloïdes	+ +
Atractylis cancellata	+ +
Echium pycnanthum (sl)	+ +

+ Nom du groupement végétal. Sur la carte des groupements végétaux de Messaad-Aïn el Ibel (POUGET, 1977), il correspond au groupement n° 16 b de l'étage méditerranéen aride, sous-étage moyen, variante à hivers frais:

groupement steppique à *Stipa tenacissima, Artemisia herba-alba* et *Salsola vermiculata* var.*brevifolia* sur glacis encroûtés du Quaternaire moyen.

Sur le tableau plus général (cf.annexe 2), il est classé parmi les relevés appartenant au groupement *V 13* à *Salsola vermiculata* var.*brevifolia* et *Telephium imperati* (steppe à dominance alfa) de l'aride moyen à hivers frais sur sol à croûte calcaire.

4 - VARIATIONS AUTOUR DE PR 1

+ sur le même glacis de piedmont, on constate une variation latérale dans la morphologie des horizons d'accumulation calcaire. A une trentaine de mètres du profil, l'horizon laminaire K1 a disparu, on a ainsi un sol de type I avec une croûte calcaire Kcr entre 10 et 30 cm. Ceci correspond à un matériau moins caillouteux et à une très légère dépression, peu perceptible, marquant les variations du micro-relief de la surface du glacis. Les petites"clairières" de sparte ne sont pas en relation avec les variations de la morphologie des horizons encroûtés. D'autres facteurs, d'ordre pédologique (salure?)ou sociologique(compétition interspécifique) peuvent intervenir pour expliquer la présence du sparte, ils se situent à un niveau de perception écologique (élément de station" de LONG, 1974) inférieur à celui du relevé tel qu'il est conçu ici et qui sera explicité au prochain paragraphe.

Globalement, sur la majeure partie du glacis, il n'y a pas de changement notable de la végétation, le groupement végétal reste le même: il est possible de le cartographier à 1/100 000.Cependant, sur d'autres parties du glacis et sur des surfaces relativement importantes, la steppe à alfa cède la place à une steppe à chamaephytes (groupement à *Artemisia herba-alba*,V 44); elle provient de la dégradation de la steppe à alfa (cf.planche II).

+ à l'extérieur du glacis de piedmont(même bioclimat).

En quittant le glacis de piedmont et les sols à croûte calcaire, on constate que :

- la steppe à alfa se continue sur la "barre calcaire" de l'Aptien; la composition floristique change, on passe à un autre groupement végétal :groupement steppique V 30 de l'aride moyen à hivers frais à

Stipa tenacissima et *Launaea acanthoclada*. Si le groupement végétal et le type de sol changent, la formation végétale reste la même (steppe à alfa).

- sur les affleurements de grès, non seulement le type de sol et le groupement changent (groupement steppique V 39 de l'aride moyen à hivers frais à *Helianthemum lippii* var.*sessiflorum* et *Lygeum spartum*) mais aussi la formation végétale(steppe à chamaephytes). Il en est de même dans les chenaux d'oueds alluvionnés avec le groupement de culture V 85 à *Agropyron orientale* et *Ziziphus lotus*.

+ sur le même type de glacis de piedmont (bioclimats différents).

On peut avoir au moins deux groupements différents :

- pour l'aride supérieur : groupement V 25 à *Artemisia herba-alba* et *Hippocrepis scabra* sur un sol à croûte calcaire plus humifère.

- pour l'aride inférieur : groupement V 14 à *Arthrophytun scoparium* et *Hernaria fontanesii* sur un sol à croûte calcaire moins riche en matière organique.(1)

5 CONCLUSIONS.

L'exemple de PR1 illustre concrètement quelques aspects des problèmes posés par l'étude des relations sol-végétation, tout particulièrement les deux séries de questions de l'introduction :

+ Quelles sont les caractéristiques du sol et de son environnement immédiat (topographie) dont l'action est déterminante sur la végétation?

Pratiquement, parmi les 16 espèces végétales présentes dans le relevé, existe-t-il un groupe d'espèces (groupe écologique) lié plus spécifiquement à la présence de la croûte? Si la morphologie de la croûte calcaire ne semble pas intervenir, en est-il toujours ainsi? Peut-on mettre en évidence un groupe lié à la nature de l'horizon de surface(texture, épaisseur,etc)?, à la salure de l'encroûtement et de l'horizon CCa etc.

La démarche phytoécologique permet d'apporter une réponse à la plupart de ces questions.

(I) Ces trois types de variations autour de PR1 correspondent respectivement à trois types de séquences: séquence de dégradation, séquence édaphique, séquence bioclimatique (cf page 161).

+ En quoi la présence de cette communauté végétale, la steppe à alfa, influence-t-elle le sol dans les conditions climatiques actuelles ?Certes, les touffes d'alfa constituent une protection très efficace contre l'érosion éolienne et surtout hydrique (ruissellement en nappe). Mais existe-t-il des caractéristiques du sol spécifiques de ce type de végétation? Compte tenu des conditions climatiques et stationnelles (nature de la roche-mère, topographie)il s'agit de savoir plus précisément si le taux, la répartition et la composition de la matière organique sont liées à cette steppe à alfa. La végétation exerce-t-elle enfin, par son système racinaire, une action sur la morphologie des horizons encroûtés? , l'accumulation calcaire elle-même,étant bien plus ancienne .

La démarche pédogénétique permet d'apporter une réponse à ce type de questions.

B- LA DEMARCHE PHYTOECOLOGIQUE (RAPPELS)

+ Les facteurs écologiques.

L'extension géographique de telle ou telle communauté végétale, steppe à alfa de PR] par exemple, est la résultante de l'interaction complexe d'un ensemble de facteurs écologiques ;un facteur écologique, pour reprendre la définition de GOUNOT (I969), étant "tout caractère du milieu physique et biotique susceptible d'agir sur la distribution des espèces dans la nature". Il est classique de distinguer :

- les facteurs climatiques(pluviosité, températures).
- les facteurs édaphiques au sens large (topographie et sol).
- les facteurs anthropiques liés à l'action passée ou présente de l'homme et des animaux.

Chacun d'eux est défini en fait d'une façon extérieure à la plante elle-même. Aussi la pluviosité n'est qu'un indice en relation avec l'alimentation en eau des plantes; comme la texture ou la présence d'une croûte calcaire, elle "n'a pas d'action directe mais elle est en corrélation plus ou moins étroite avec le ou les facteurs physiologiquement décisifs" (GOUNOT,I969). Certaines espèces, en effet, peuvent être dans des rapports variables avec le milieu en raison d'un remplacement de facteurs: en région présaharienne, il est bien connu que l'alfa se localise dans les thalwegs pour compenser une pluviosité déficiente alors qu'en zone steppique plus humide, il occupe les versants et piedmonts bien drainés.

Par leur simple présence, certains facteurs conditionnent très fortement la nature et la composition du couvert végétal: une forte salure oblitère plus ou moins complètement aussi bien les facteurs climatiques que les autres facteurs édaphiques dont l'action ne peut se manifester que par des déterminismes de second ou troisème ordre. Comme de nombreux auteurs IONESCO (I968) souligne que le déterminisme écologique, c'est-à-dire l'action des divers facteurs écologiques,n'est pas le même pour une végétation zonale, azonale ou celle des milieux cultivés.

En définitive, du fait même de leur définition extérieure à la plante, et de la complexité des relations végétation-milieu, il apparaît clairement que :

- les facteurs écologiques très dépendants les uns des autres occupent une hiérarchie variable permettant à certains de s'affirmer plus nettement en fonction des milieux.

- la mise en évidence des facteurs édaphiques ne peut se concevoir autrement que dans un cadre général végétation-milieu tenant compte de l'ensemble des facteurs écologiques.

+ Les niveaux de perception écologique.

Véritable "reflet du milieu", la végétation intègre les facteurs écologiques prépondérants (postulat phytoécologique) :

Toute variation de cette végétation d'un état A à un état B est en relation avec un changement des facteurs écologiques qui prennent des valeurs remarquables (seuils écologiques).

Théoriquement l'inverse doit être vrai, c'est-à-dire qu'à tout changement des facteurs écologiques, doit correspondre un changement de végétation.

Quoiqu'il en soit, pour mettre en évidence un facteur écologique, et à fortiori édaphique, il faut donc:

- apprécier le changement d'état de la végétation justifiant un"seuil écologique".
- apprécier le changement d'état du milieu dans ces différentes composantes écologiques en recherchant les seuils écologiques.

Pour cela, il est nécessaire d'établir une délimitation spatiale de zones homogènes (végétation et milieu) qu'il conviendra ensuite de comparer, classer, éventuellement cartographier (I).

Quels critères retenir pour en apprécier l'homogénéité et tracer les limites ? En fait,tout dépend des objectifs poursuivis, ils déterminent le niveau de perception écologique dans lequel on doit se placer (LONG,I974; JURDANT *et al*,I972).Ainsi la végétation peut être homogène à différents niveaux :

- En considérant la végétation de steppe d'une façon générale, les régions arides (ensemble des steppes sud-algéroises) apparaissent homogènes par rapport aux régions non steppiques, soit plus humides (Tell), soit désertiques (Sahara). A cette échelle, le climat est le facteur du milieu le plus homogène, il joue un rôle prépondérant sur les autres facteurs écologiques.

- En considérant la physionomie et la structure de la végétation, chaque formation végétale constitue un ensemble homogène à l'intérieur des régions steppiques : forêts et matorrals, steppes à alfa, steppes à chamaephytes et graminées diverses, jachères et cultures, steppes crassulescentes. A ce niveau, les facteurs climatiques et édaphiques (sauf pour les steppes crassulescentes) ne sont pas des facteurs déterminants; il existe par exemple des steppes à alfa dans tout l'étage aride sur une multitude de sols (cf variations autour de PR1). Par contre, les facteurs anthropiques deviennent ici déterminants puisque telle ou telle formation végétale correspond à un stade de dégradation plus ou moins poussé.

- En considérant la composition floristique, chaque groupement végétal représente un ensemble homogène à l'intérieur des formations végétales. Cette composition floristique est en relation avec des groupes d'espèces déterminés et liés aux facteurs écologiques. Les facteurs édaphiques interviennent largement à ce niveau; ainsi le passage : sol à croûte calcaire - sol sur calcaire dur, s'il ne modifie pas le type de formation végétale, entraîne un changement de groupes écologiques édaphiques et par conséquent de groupement végétal (cf variations autour de PR1).La morphologie des horizons encroûtés ne paraît pas intervenir sur la composition floristique.

(I) Il existe bien d'autres méthodes d'étude utilisant par exemple la notion de transect (cf.GOUNOT,I969).

Les groupements végétaux sont définis avec l'étude des relevés, c'est-à-dire au niveau de la station écologique : surface où les conditions écologiques sont homogènes et où la végétation est uniforme; pour le Code écologique du CEPE: "une station est homogène lorsque chaque espèce peut y trouver des conditions de vie équivalentes d'une extrémité à l'autre et dans toute son étendue". Du point de vue pédologique, ceci correspond en principe à l'unité élémentaire de sol, la série, telle qu'elle est définie par la C.P.C.S.(1967):" unité (cartographique ou de classification) dont les caractères édaphiques sont suffisamment homogènes pour que les variations typologiques n'aient pas d'influence notable sur la croissance des plantes spontanées ou cultivées. Une série de sols est l'ensemble des sols qui présentent sur un matériau originel de composition lithologique définie, et dans les positions comparables dans le paysage, le même type de profil". La série, ou génon le plus simple pour BOULAINE, synthétise l'ensemble des caractéristiques du profil pédologique.

En conclusion, comme l'étude des groupements végétaux, l'étude des facteurs édaphiques doit s'effectuer au niveau de la station écologique et de la série de sol , c'est-à-dire pratiquement par l'intermédiaire d'un relevé de végétation et d'un profil de sol (profil-relevé).

+ Détermination des groupes écologiques.

L'objectif est de mettre en évidence les liaisons entre groupes d'espèces (groupes écologiques) et les variables(I)"actives" du milieu, en particulier celles qui matérialisent l'influence des facteurs édaphiques.

Pour cela, il convient, avec les relevés, de collecter , pour les comparer, un grand nombre de données concernant la végétation et le milieu: c'est la première phase sur le terrain.

Une sélection et une mise en ordre des principales variables permet de constituer un fichier de données(2)végétation-milieu.

(I) Les variables sont des grandeurs susceptibles de passer par plusieurs valeurs et que l'on peut mettre en comparaison: P mm (pluviosité annuelle moyenne en mm), C mmhos-cm(conductivité de l'extrait de saturation). Ces deux variables peuvent éventuellement représenter deux facteurs écologiques :pluviosité(facteur climatique) et salure (facteur édaphique).

(2) Selon l'AFNOR, une "donnée"est un fait, une notion ou une instruction, représentée sous une forme conventionnelle convenant à une communication, une interprétation ou un traitement, soit, par l'homme, soit par les moyens automatiques.

Les données sont ensuite traitées en ordinateur par des méthodes appropriées. Ce sera l'objet du chapître III.

C. LA DÉMARCHE PÉDOGÉNÉTIQUE.

La démarche pédogénétique, moins évidente au départ, surtout en milieu aride, a pour but de rechercher les facteurs de pédogénèse qui expriment plus particulièrement une influence de la végétation sur les sols, au-delà de son action bien connue de protection contre l'érosion éolienne et hydrique. Pour cela, il convient tout d'abord de mettre en évidence cette pédogénèse et de faire ensuite la part de la végétation parmi les autres facteurs d'évolution des sols: climat, roche-mère, topographie et action de l'homme. Compte-tenu du contexte climatique actuel, les processus de pédogénèse se rapportent à des processus liés au régime hydrique et concernent essentiellement la matière organique et la dynamique du calcaire et des sels.

La démarche pédogénétique est basée sur l'observation et la connaissance du milieu naturel, c'est dire d'emblée qu'elle apparaît complémentaire de la démarche phytoécologique. En effet à défaut de pouvoir suivre dans le temps une dynamique précise des différents éléments constituant le sol (solutions, atmosphère du sol, phases solides, etc.), il faut observer dans l'espace les variations des caractéristiques morphologiques et analytiques des sols. Les variations enregistrées peuvent alors rendre compte de l'action de tel ou tel facteur du milieu, à condition que les autres restent sensiblement constants.

En reprenant l'exemple de PR1, il est possible de comparer la teneur en matière organique de l'horizon de surface avec celle d'un profil situé sur ce même glacis mais où la steppe d'alfa a disparu, tel le groupement de dégradation à *Artemisia herba-alba*; on apprécie alors la différence entre deux types de formations végétales : steppe à alfa et steppe à chamaephytes. Mais quelle est la part du climat ? Pour cela, on considère une même formation végétale, la steppe à alfa, sur un type de sol analogue dans les autres bioclimats, c'est-à-dire dans l'aride supérieur et dans l'aride inférieur : on apprécie ainsi l'influence du climat et plus particulièrement l'influence d'une aridité croissante. Cette démarche nécessite une connaissance assez approfondie du milieu : bioclimats, végétation, sols, etc. Bien que restant largement qualitative, elle est susceptible d'apporter des éléments intéressants sur l'évolution actuelle, et ancienne, des sols et sur l'influence plus spécifique de la végétation (chapître IV).

Chapitre III

LE SOL, FACTEUR ÉDAPHIQUE

I – LES DONNÉES VÉGÉTATION - MILIEU

A - COLLECTE DES DONNEES.

Pour l'essentiel, la collecte a été réalisée dans le cadre d'une cartographie à 1/100 000 des zones steppiques.

1 - CHOIX DE L'EMPLACEMENT DU PROFIL-RELEVE(ou relevé).

Comme pour toute cartograhie, les photos aériennes(1/25 000) sont l'outil indispensable pour prévoir un plan d'échantillonnage tenant compte des unités géomorphologiques, pédologiques et végétales, souvent très visibles sur ces documents.

Le choix définitif de l'emplacement s'effectue seulement sur le terrain. Il est alors possible d'apprécier l'homogénéité et la représentativité des unités géomorphologiques et pédologiques, au moins d'après la surface du sol, en évitant les situations marginales. De même pour la végétation, il est tenu compte du type de formation végétale tout en essayant de rester à l'intérieur d'un même groupement végétal, que ce soit d'après les espèces dominantes et surtout avec un peu d'habitude, d'après les espèces caractéristiques de tel ou tel milieu.

Dans le cadre d'une cartographie, il est indispensable d'identifier et de reconnaître toutes les unités à cartographier (sols,géomorphologie, groupements végétaux) dans la mesure où elles occupent des surfaces suffisamment grandes pour être représentées à l'échelle de la carte. La conséquence en est un échantillonnage de type exhaustif,très instructif pour l'étude des relations végétation-milieu. Il oblige, en quelque sorte, à prendre en compte toutes les combinaisons possibles : sol - géomorphologie - groupements végétaux.

Prenons deux exemples :

- Tout d'abord celui d'une surface homogène quant aux sols et à la géomorphologie (à l'échelle du 1/100 000), tel un glacis encroûté de piedmont du Quaternaire moyen (cf PR 1). Sur cette même unité pédologique et géomorphologique, plusieurs formations ou groupements végétaux peuvent être

présents avec plus ou moins de relations entre eux, tenant :

. à un état de dégradation (steppes à alfa, steppes à chamaephytes, éventuellement cultures).

. à des caractéristiques édaphiques dont il n'est pas possible de tenir compte dans une cartographie des sols à 1/100 000 : texture de l'horizon de surface, présence éventuelle d'un mince recouvrement éolien, chenal de ruissellement,etc.

Un relevé sera effectué pour chacun des groupements végétaux, avec autant de profils pédologiques, non justifiés d'un strict point de vue de cartographie des sols. De plus, le même type de sol et la même unité géomorphologique peuvent se retrouver dans des conditions climatiques différentes avec d'autres groupements végétaux (cf PR 1 avec les groupements V 25 et V 14); de nouveaux relevés et profils pédologiques seront nécessaires dans l'aride supérieur et dans l'aride inférieur.

- Dans le second exemple, inversement, les sols ou la situation géomorphologique déterminent la nécessité d'établir des limites, donc des relevés, alors que du point de vue de la cartographie des groupements végétaux, cela ne se justifie pas. Un même groupement peut se trouver en effet sur des familles de sols ou des situations géomorphologiques différentes.

Ces contraintes d'échantillonnage, imposées par la cartographie et les thèmes retenus, se révèlent autant d'avantages pour obtenir de relevés selon des séquences schématisées sur la figure 28 :

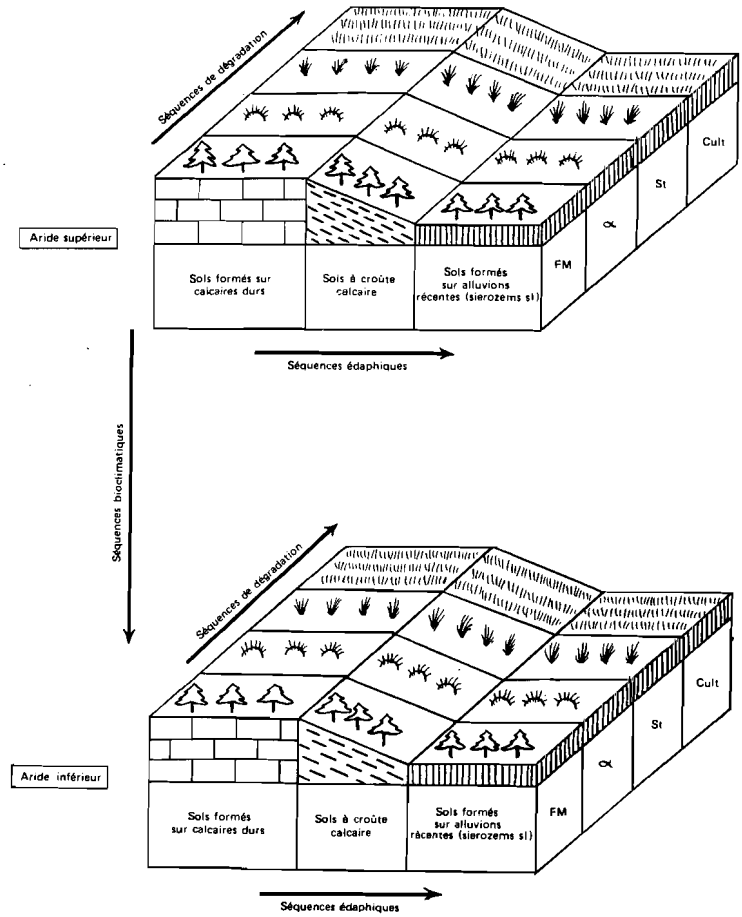


Figure 28 - Schéma théorique montrant le principe des principales séquences (d'après OZENDA,1964)
. séquences de dégradation
. séquences bioclimatiques
. séquences édaphiques

+ **séquences de dégradation:** chaque séquence représente une succession dans l'espaces des différentes formations végétales et groupements végétaux dans un même bioclimat et sur un même substratum. C'est par exemple, dans l'aride supérieur, la succession classique (forêts-matorrals, steppes à alfa, steppes à chamaephytes, cultures) sur l'un ou sur l'autre des ensembles de sols formés: soit sur un substratum géologique identique (calcaires durs, grès, etc), soit sur des sols à

croûte calcaire,etc. De telles séquences font apparaître la dynamique du couvert végétal (action de l'homme) et surtout permettent d'étudier l'influence de la végétation sur les sols (chapître IV).

+ séquences bioclimatiques : chaque séquence représente une succession dans l'espace des différents bioclimats, généralement ordonnés suivant une aridité croissante: sur un même substratum et pour une même formation végétale. On considère par exemple les steppes à alfa sur les sols à croûte calcaire pour l'ensemble des bioclimats: de l'aride supérieur à l'aride inférieur. Il est clair que ce type de séquence va privilégier la recherche des groupes écologiques climatiques, mais également l'appréciation de l'influence du climat comme facteur de pédogénèse. Ceci facilite la mise en évidence de l'influence plus spécifique de la végétation (chapître IV).

+ séquences édaphiques : chaque séquence représente une succession,dans l'espace,des sols formés sur différents substratums dans un même bioclimat et pour une même formation végétale: ainsi les steppes à alfa de l'aride supérieur sur tous les types de sols où elles se trouvent. C'est évidemment le cas le plus favorable pour la recherche des groupes écologiques édaphiques.

En réalité, et on le verra par la suite, il est souvent plus commode de combiner entre elles ces séquences:

- séquences sur un même substratum(calcaires dur, grès, etc), elles comprennent tous les relevés situés sur un même substratum, quels que soient les bioclimats et les formations végétales.
- Ensemble des relevés appartenant à une même formation végétale quels que soient les bioclimats et les substratums: les steppes à alfa par exemple, etc.

2 - LES DONNEES BRUTES.

Sur le terrain, on note successivement les données concernant l'environnement, la description du profil pédologique et le relevé de végétation dont la surface peut varier de quelques mètres carrés à plusieurs centaines de mètres carrés selon les critères discutés auparavant.

Le profil-relevé PR 1, présenté dans le chapître précédent, fournit une description de terrain, complétée seulement par les résultats d'analyses de sol et l'indication du groupement végétal.

3 - SELECTION DES DONNEES.

Après plusieurs années de prospection on dispose donc d'un ensemble très important de relevés représentant une somme considérable d'informations. Pour la plupart, ces données ont déjà servi à la réalisation des différentes cartes à 1/100 000 (sols, groupements végétaux, géomorphologie, aptitudes du milieu à la mise en valeur).

Devant cette masse de données, il est nécessaire d'opérer une mise en ordre pour constituer un fichier végétation-milieu permettant un traitement automatique à l'ordinateur et susceptible de répondre aux objectifs poursuivis.

Dès le départ se pose le problème de l'intégration des données édaphiques, plus particulièrement de celles concernant les horizons. En effet, le profil pédologique se présente comme une succession dans un plan vertical, d'horizons de nature et d'épaisseur différente; ces horizons, définis par un ensemble de caractéristiques morphologiques (couleur, structure, etc) et physico-chimiques (teneur en calcaire, gypse, etc) ne sont pas au même niveau d'intégration que les autres données concernant le relevé: les horizons constituent les éléments d'un ensemble sol qui est lui, un élément d'un ensemble plus vaste, celui de l'ensemble végétation-milieu(phytocénose).

La conception générale du fichier est donc conditionnée par cette différence avec la distinction de 2 niveaux d'intégration: celui du relevé (phytocénose) et celui des horizons.

Un autre problème non moins important, concerne le choix des variables. Sur quelles bases opérer une sélection nécessaire? Finalement, ce choix tient compte :

- de la bibliographie.
- des résultats et de l'expérience acquise au cours des études cartographiques antérieures.
- des contraintes liées au traitement informatique(volume, coûts, méthodes de traitements, etc).

Dans la mesure du possible, les variables retenues sont :

- les plus déterminantes sur la répartition des espèces végétales (variables actives).
- les plus simples et faciles à identifier sur le terrain.

- les plus synthétiques donc porteuses d'informations et intégrant de nombreuses données d'accès direct parfois difficile.
- les plus objectives pour la caractérisation des horizons (résultats d'analyses physico-chimiques).

Avec de tels critères, on imagine aisément les compromis et l'arbitraire, inévitables à toute sélection; les lacunes aussi, dues à une trop grande sévérité et sans aucun doute à des oublis, certes involontaires, mais qui pour autant n'en seraient pas moins graves. A l'inverse, en raison de nombreuses corrélations entre variables, il y a des répétitions (risques de tautologie).

B - LE FICHIER VEGETATION-MILIEU.

Il comprend 1210 profils-relevés.

1 - ORGANIGRAMME GENERAL DU FICHIER.

La figure 29 montre les deux niveaux :

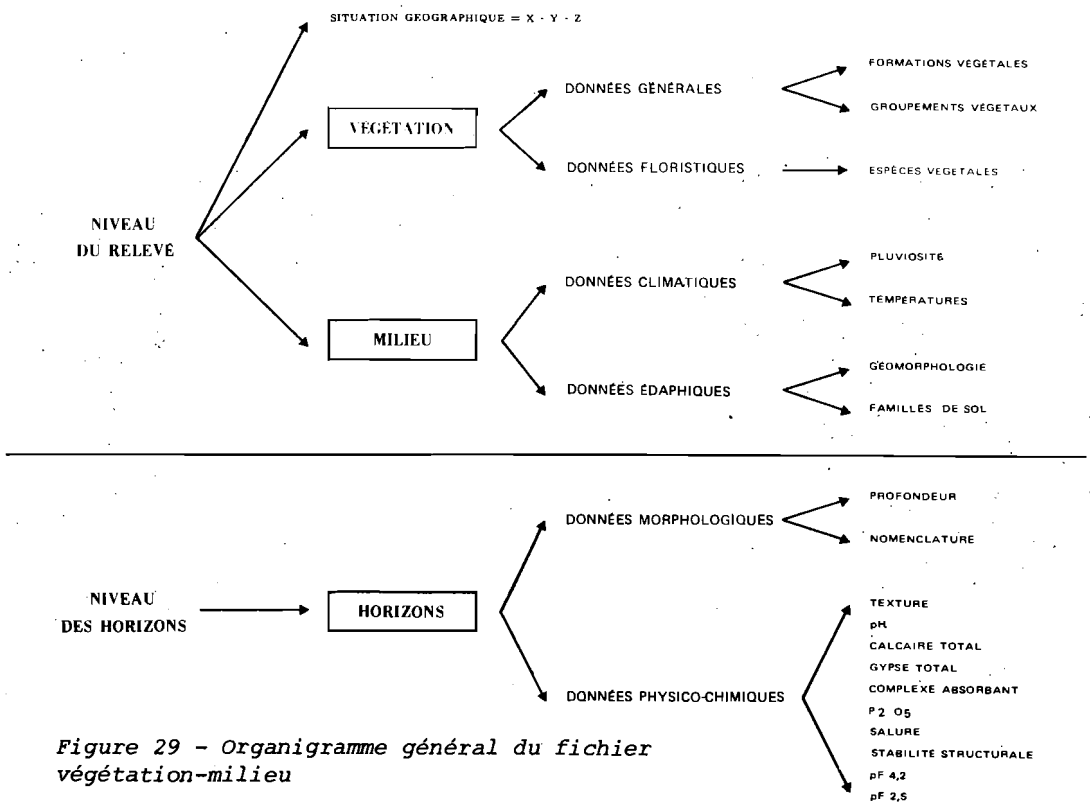


Figure 29 - Organigramme général du fichier végétation-milieu

+ niveau du relevé avec l'indication de la situation géographique (coordonnées X et Y, altitude Z), et les deux séries de données concernant :

- la végétation avec les données générales (formations végétales et groupements végétaux) et les données floristiques (espèces végétales).

- le milieu avec les données climatiques (pluviosité, températures) et les données édaphiques (géomorphologie, familles de sol).

+ Niveau des horizons avec les données morphologiques et les données physico-chimiques (résultats analytiques).

On note dès à présent que les données concernant le sol apparaissent différemment aux deux niveaux:

- d'une façon synthétique avec la famille de sol.
- d'une façon analytique avec les horizons, c'est-à-dire la totalité de la seconde partie du fichier.

2 - NIVEAU DU RELEVE.

a- Données sur la végétation

α Données générales.

+ Formations végétales (physionomie et structure).

On distingue 5 types principaux de formations végétales dans lesquelles se répartissent les groupements végétaux:

- Forêts-matorrals (FM)
- Steppes à dominance d'alfa: steppes à alfa (α)
- Steppes à chamaephytes et graminées diverses (St)
- Jachères et cultures (Cult).
- Steppes crassulescentes (Hal).

Formations végétales	FM	α	St	Cult.	Hal	
Code	W1	W2	W3	W4	W5	Total
Effectifs des relevés	73	215	491	299	132	1210

Tableau 19 - Les formations végétales

Le tableau 19 indique le codage et les effectifs des différentes formations végétales. Les steppes représentent donc plus de 700 relevés, sans compter les steppes crassulescentes assez largement échantillonnées(Bassin du Zahrez Gharbi).

+ Groupements végétaux.

Les études cartographiques et les données bibliographiques permettent de rattacher chaque relevé à un groupement végétal plus ou moins bien défini. Ainsi, certains groupements, qui peuvent être considérés comme de véritables associations, se retrouvent avec peu de variations dans toute l'Afrique du Nord, surtout parmi les groupements halophiles, gypsophiles, dunaires, voire même steppiques ou forestiers. D'autres sont identifiés en tenant compte de la composition floristique mais aussi de la nature du substratum et du type de formation végétale; j'individualise par exemple les groupements à dominance d'alfa, ce qui du point de vue phytosociologique ne se justifie pas. Il s'agit davantage d'un faciès de tel ou tel groupement et que l'on cartographie ainsi (LE HOUEROU,1969; POUGET, 1977). Pour d'autres enfin, en l'absence de relevé floristique ou d'un nombre suffisant d'espèces au moment de l'observation, le groupement retenu ne représente qu'une simple indication permettant de préciser le type de formation végétale, surtout dans le subhumide et le semi-aride.

Le tableau récapitulatif (annexe 2) précise le nom des 104 groupements végétaux, l'effectif des relevés dans chacun d'eux, leur distribution en fonction des bioclimats et de la situation géomorphologique. On distingue :

- 11 groupements de forêts-matorrals (V 1 à V 11)
- 25 groupements de steppes à alfa (V 12 à V 36)
- 35 groupements de steppes à chamaephytes (V 37 à V 71)
- 21 groupements de jachères et cultures (V 74 à V 94)
- 12 groupements de steppes crassulescentes (V 95 à V 106)

L'effectif maximum concerne le groupement V 44 avec 86 relevés (Gr.steppique de l'aride moyen à hivers frais à *Artemisia herba-alba* et *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum* sur sols à croûte calcaire). L'effectif minimum, un seul relevé, se retrouve pour plusieurs groupements.

Les "données générales", telles que je les envisage ici, paraissent intéressantes à considérer puisqu'elles intègrent, plus ou moins nettement, de nombreuses données écologiques: état de dégradation du couvert végétal sous l'influence de l'homme, influence marquée de certains facteurs édaphiques avec des groupes écologiques spécifiques déterminant

la nature des groupements végétaux (groupes phréatophiles,halophiles, gypsophiles, psammophiles, etc), influence d'apports d'eaux de ruissellement (Gr. V 46 à *Artemisia herba-alba* et *Poa bulbosa*, Gr. V 85 à *Agropyron orientale* et *Ziziphus lotus*, etc).

Dans le traitement des données , les formations et les groupements végétaux seront considérés comme des variables explicatives, véritables points de repères pour situer les espèces végétales et préciser les facteurs écologiques.

β-Données floristiques.

Chaque relevé comprend une liste des espèces présentes sur le terrain et faisant partie d'un ensemble de 350 espèces retenues sur plus d'un millier que contient effectivement la totalité des relevés. Plusieurs raisons m'ont amené à une telle sélection, à priori totalement contraire à la démarche phytoécologique :

- le nombre de relevés incomplets est important. Ceci est dû à certaines périodes défavorables de prospection (été, hiver, année sèche, etc) et à certaines déterminations délicates et peu sûres qui auraient été source de confusions et d'erreurs.

- les objectifs de l'étude sont axés sur les facteurs édaphiques et non sur une étude phytosociologique rigoureuse.

Ce choix lui-même des 350 espèces (annexe 3) est guidé par une triple priorité accordée:

- aux espèces vivaces.
- aux espèces de détermination claire sinon commode.
- aux espèces représentatives de différents milieux et susceptibles de présenter un intérêt dans l'étude des facteurs écologiques, édaphiques plus particulièrement.

Le résultat du choix reste donc un compromis entre ces 3 priorités. Ainsi telle espèce vivace, pourtant intéressante n'est pas retenue en raison d'un problème de détermination: soit délicate en elle-même (cf.genre *Helianthemum)*, soit quasiment impossible à l'époque du relevé (absence de fleurs ou de fruits, cf.genre *Ephedra)*.Telle espèce annuelle est par contre retenue car intéressante et de détermination sûre. Telle autre annuelle de type ubiquiste (par exemple , *Hedypnois cretica*) peut être choisie à titre d'exemple et de comparaison avec des espèces à écologie plus tranchée.

Chaque espèce intervient uniquement en présence-absence, le coefficient d'abondance-dominance et le pourcentage de recouvrement ne sont pas retenus pour les mêmes raisons que précédemment.

Le sparte (*Lygeum spartum*) présent dans 596 relevés, sensiblement la moitié du total, arrive nettement en tête devant *Stipa parviflora* (491), *Artemisia herba-alba* (481), etc.

Le tableau 20 indique les effectifs (nombre d'espèces végétales parmi les 350 retenues) des relevés, eux-mêmes classés par bioclimats: 87 relevés sur 1210 ne comportent pas de liste floristique (dont 74 pour les zones telliennes subhumides et semi-arides), pour 20 relevés la liste se réduit à une seule espèce,etc.

b.Données sur le milieu.

α - Données climatiques

+ Pluviosité.La pluviosité annuelle moyenne P constitue incontestablement un facteur primordial puisqu'elle détermine les principaux étages et sous-étages bioclimatiques. Chaque relevé est intégré dans une classe de pluviosité correspondant à un étage ou sous-étage bioclimatique (bioclimat). La classe est déterminée en tenant directement compte des données climatologiques lorsque le relevé est situé à proximité d'une station météorologique. Pour la plupart des relevés, il s'agit évidemment d'une interpolation basée à la fois sur les gradients de variation de P. (gradients altitudinaux, d'exposition, etc.) et sur la végétation elle-même . On retrouve là le cercle vicieux classique: le climat est connu par la végétation et la végétation est connue par le climat. En fait, la méthode phytoécologique d'EMBERGER et les multiples travaux de nombreux auteurs, particulièrement en Afrique du Nord, ont fait leurs preuves pour interpoler les données climatiques (pluviosité et températures) entre les stations météorologiques avec un minimum d'erreur..

Nb d' espèces	Nb de Relevés	B I O C L I M A T S					
		SH	SA	AS	AM	AI	Sah.
0	87	54	20	11	1		1
1	20	7		1	7	5	
2	24	6	1	4	13		
3	36	6	5	4	17	4	
4	37	3	1	7	22	4	
5	37	3	1	3	28	2	
6	50	1	3	10	32	3	1
7	34	1		6	22	5	
8	28		1	7	14	5	1
9	32		3	7	20	2	
10	35		2	6	19	7	1
11	40	1		8	23	6	2
12	40	2		7	21	10	
13	32	2		2	19	9	
14	37	1		5	22	9	
15	35	1		10	17	6	1
16	43	3	2	7	26	5	
17	39		3	7	19	10	
18	39			8	25	6	
19	37			13	12	12	
20	29			4	16	9	
21	37		2	7	17	11	
22	48	2	3	10	28	5	
23	23		1	4	12	6	
24	29			11	9	9	
25	22			4	12	6	
26	25			5	18	2	
27	25		1	3	14	7	
28	27			5	19	3	
29	12			1	7	4	
30	22			3	16	3	
31	17			6	8	3	
32	12		1	6	5		
33	20		1	7	4	8	
34	16		1	2	10	3	
35	14		1	5	6	2	
36	4			2	1	1	
37	13			4	5	4	
38	5			1	4		
39	9				4	5	
40	5			1	2	2	
41	8			3	2	3	
42	5			2	2	1	
43	5			2		3	
44	2					2	
45	2			1	1		
46	3			2		1	
47	2					2	
48	0						
49	4			3		1	
50	3			2		1	
Total	1210	93	47	239	607	217	7

Tableau 20 : Effectifs (Nombre d'espèces) des relevés classés par bioclimats.

Peut-être aurait-il été préférable d'indiquer en clair la valeur estimée de P.? Quitte ensuite à établir des classes plus réserrées.

Le tableau 21 montre que la quasi totalité des relevés se trouve dans l'étage aride (P3- P4- P5). L'aride moyen représente la moitié des relevés alors que les régions subhumides et semi-arides du Tell et les régions sahariennes, nettement moins échantillonnées ont pour objectif essentiel l'étude du passage des steppes aux zones marginales plus humides ou désertiques, du point de vue du couvert végétal et surtout des sols.

Bioclimats		P mm	Code	Effectifs
Subhumide	SH	800-600	P1	93
Semi-aride	SA	600-400	P2	47
Aride supérieur	AS	400-300	P3	239
Aride moyen	AM	300-200	P4	607
Aride inférieur	AI	200-100	P5	217
Saharien	Sah.	< 100	P6	7

Tableau 21- Les bioclimats.

+ Températures (tableau 22)

Les données températures, représentées par les deux variables m et M', définissent les variantes et sous-variantes thermiques.

Variante thermique à hivers	m en°C	Code	Effectifs
froids	-2 à 1	m 1	I67
frais	1 à 3	m 2	I043

S/V.thermique à température diurne	M'en°C	Code	Effectifs
basse	<10	M'1	185
moyenne	10 à 12	M'2	816
élevée	12 à 15	M'3	188
très élevée	> 15	M'4	21

Tableau 22: Les variantes et sous-variantes thermiques

β - Données édaphiques

+ Géomorphologie.

Le grand nombre et la diversité des unités géomorphologiques susceptibles d'être envisagées rend le choix difficile.Dans ces conditions, il m'a paru préférable d'opter pour un système simplifié,comportant un nombre réduit de classes afin de rendre compte des principales

unités géomorphologiques, sinon physiographiques, facilement identifiables sur le terrain et représentatives de milieux écologiques parfois bien tranchés. Le système s'articule et se complète avec les familles de sols.

Comme dans le schéma de présentation (chap.I), les unités retenues intègrent pour une part un panorama d'ensemble du relief allant progressivement des zones hautes bien drainées (djebels) aux zones basses mal drainées (dayas, dépressions à nappe phréatique) avec en intermédiaire les piedmonts encroûtés et les zones alluviales.Cette disposition d'ensemble, exprimant sensiblement un gradient de drainage externe, n'est pas sans influence sur le profil hydrique des sols et sur la végétation.

En outre, les unités géomorphologiques intègrent également une certaine chronologie des dépôts et formations quaternaires; elles donnent aussi une première indication sur la nature de la roche-mère.Néanmoins de nombreuses caractéristiques géomorphologiques(types de formations, types de glacis, etc), lithologiques(nature du substratum) et pédologiques (nature de la roche-mère) sont précisées au niveau des familles de sols (annexe 1).

Je distingue 11 unités géomorphologiques allant schématiquement des reliefs aux dépressions :

G 1 Versants (VR) de pente très élevée à faible(I), formés sur le substratum géologique : calcaires durs, grès, marnes et marno-calcaires. Ce sont tout naturellement les versants des djebels et les entailles d'érosion mettant à nu le substratum, en particulier les affleurements souvent subhorizontaux de grès et argiles versicolores (glacis de dénudation).

En définitive, il s'agit de surfaces, dont la pente peut être très forte à presque nulle, toujours bien drainées avec un ruissellement plus ou moins important, rapidement hiérarchisé.

La famille de sol indique la nature du substratum géologique; parallèlement un certain degré et type d'évolution du sol permet d'apprécier indirectement l'état, sinon le mode d'érosion; ainsi sur les marnes

---

(I) La distinction, prévue au départ, entre versants de pente très élevée (G1) et versants de pente faible (G2) a été finalement abandonnée.

avec des sols aussi différents que les régosols, sols régosoliques (avec ou sans caractères vertiques), vertisols, siérozems,etc.

G 3 Surfaces encroûtées du Quaternaire ancien (QA) intégrant : la Haute surface moulouyenne, les cônes de piédmont, les glacis et surfaces polygéniques, les collines encroûtées (versants-glacis) sur marno-calcaires de la région d'Aïn Oussera.

D'une façon générale, ce sont des surfaces bien drainées, parfois subhorizontales ou à pente relativement faible (inférieure à 3 - 5%); le ruissellement diffus, plus ou moins important, dépend de la pente mais aussi de la nature du couvert végétal, de la présence d'un recouvrement sableux, de la texture de l'horizon de surface; autant d'éléments qui apparaissent avec diverses variables. Une situation privilégiée (chenaux de ruissellement) apparaît avec une texture plus fine de l'horizon de surface, mais surtout au niveau du groupement végétal (V 46, V 85 par exemple).

G 4 Surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire moyen à récent (QM)

Ensemble également très vaste et bien drainé, il comprend une grande diversité de formes et de dépôts quaternaires : cônes de piedmont, glacis de raccordement, glacis à matériau alluvial, etc.

La diversité des sols n'est pas moins grande avec toute la gamme des sols à accumulation calcaire, des siérozems, des sols gypseux,etc.

G 5 Formations éoliennes (EO) avec les dunes, microdunes, placages, lunettes, etc.

La topographie, généralement irrégulière, reste en relation avec le mode de formation, l'âge et la nature du dépôt. La famille de sol précise la nature du matériau (sable siliceux, sable gypseux), la présence éventuelle d'une nappe, la salure, etc. Le ruissellement est pratiquement nul sauf dans le cas particulier des lunettes de bordure de sebkhas.

G 6 Terrasses anciennes (TA) (Soltano-rharbien).

Elles correspondent aux anciennes zones plus ou moins hydromorphes à l'amont de seuils rocheux dégagés par l'érosion ou en bordure de certaines dépressions subsidentes actuellement plus profondes. La topographie reste sensiblement plane; les sols étant souvent marqués par une hydromorphie ancienne (noircissement, gley, pseudogley,etc), parfois aussi par la présence d'une nappe en profondeur accompagnée de salure.

G 7 Terrasses récentes (TR)

D'extension très limitée, elles se caractérisent, comme les terrasses anciennes, par une topographie plane et de faibles apports d'eaux de ruissellements; en effet, ces dernières transitent rapidement dans les griffes d'érosion et le lit caillouteux des oueds entaillant les terrasses.

G 8 Zones d'épandage et de débordement des oueds (ZE)

Le phénomène majeur est ici un apport plus ou moins important d'eaux de ruissellement et de matières solides en suspension dont une partie se dépose, sables et surtout limons.

G 9 Chenaux d'oueds alluvionnés (CH)

Zones priviligiées avec les apports d'eaux de ruissellement, elles constituent un milieu écologique bien individualisé avec des sols relativement profonds.

G 10 Dayas (DA) et plus généralement cuvettes où s'accumulent et se décantent des eaux de crue. Le régime hydrologique offre donc, avec des submersions temporaires, un milieu bien spécifique d'autant que s'y ajoutent une texture souvent fine à très fine et éventuellement des phénomènes de salure.

G 11 Dépressions à nappe phréatique (DN) plus ou moins salée, proche de la surface: bordure de sebkhas, partie aval de certaines zones d'épandages, terrasses anciennes et récentes.

C'est par excellence le domaine des sols hydromorphes et de la plupart des sols halomorphes avec un bilan hydrique toujours excédentaire en relation avec la présence d'une nappe à faible profondeur dans les dépressions, mais aussi avec des apports continus d'eaux souterraines sur les versants, au niveau de certaines failles ou accidents tectoniques: zones aval de sources ou de suintements artésiens; l'exemple des sols halomorphes dans la région d'El Bordj, près de Messaad, en est une bonne illustration.

G 12 Versants avec "manteau colluvial" (MC)

Sur les versants, dans les zones telliennes subhumides et peu dégradées, la couverture pédologique est nettement plus continue; les sols, formés directement sur le substratum géologique ou sur un manteau colluvial plus ou moins épais, ne laissent que peu de place aux affleurements rocheux.Cette unité, très extérieure aux régions steppiques, est placée volontairement en dernière position.

Le tableau 23, montre l'importance des surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (G 3 et G 4) avec 481 relevés, soit nettement plus que le tiers du total général, la moitié en ne considérant que les zones steppiques. Le tableau indique en outre la distribution des unités géomorphologiques dans les différents bioclimats et formations végétales.

On vérifie globalement l'origine de l'échantillonnage(cartographie) avec le constat d'une représentation des principaux milieux écologiques par un nombre de relevés en rapport avec leur extension sur le terrain.

			BIOCLIMATS						FORMATIONS VEGETALES				
Géomorphologie	Code	Effectifs	SH	SA	AS	AM	AI	Sah.	FM	α	St.	Cult.	Hal.
VR	G1	289	50	18	92	73	55	1	61	87	85	49	7
QA	G3	192			32	105	51	4	3	42	129	18	
QM	G4	289		21	80	137	50	1	6	86	139	56	2
EO	G5	42				37	5				35	2	5
TA	G6	102	7	3	20	57	15		1		44	40	17
TR	G7	25		1	2	11	10	1			12	5	8
ZE	G8	86			4	77	5				6	36	44
CH	G9	51		3	5	32	11				12	39	
DA	G10	41		1	4	24	12				6	23	12
DN	G11	57				54	3				19	1	37
MC	G12	36	36						2		4	30	
Total		1210	93	47	239	607	217	7	73	215	491	299	132

Tableau 23: Les unités géomorphologiques: effectifs et distribution en fonction des bioclimats et des formations végétales.

+ Familles de sols.

Dans la classification française des sols, la famille correspond à une unité mineure regroupant les sols formés sur une même roche-mère et appartenant à un même sous-groupe.Pourquoi avoir choisi la famille et non le sous-groupe ou surtout la série?

Avec le sous-groupe tout d'abord, les caractères"hérités" de la roche-mère n'apparaissent pas à ce niveau de classification; or ils sont très importants pour la végétation,texture notamment.

Telle qu'elle est définie par la C.P.C.S.(page 155) la série conviendrait parfaitement; cependant une connaissance exhaustive des sols serait nécessaire pour définir de telles unités dont le nombre rendrait encore plus délicate l'interprétation des analyses de données. En restant au niveau de la famille, on en arrive pas moins à inventorier 120 familles de sols pour la totalité du fichier. Pour un grand nombre de sols, les familles restent homogènes et pourraient se regrouper dans une même série. Pour d'autres plus hétérogènes, ou plus largement échantillonnées, une même famille peut comporter plusieurs séries: telle famille de sols à croûte calcaire comprendra un certain nombre de séries en fonction de caractéristiques de l'horizon A (texture, teneur en matière organique, épaisseur, etc) et éventuellement de l'horizon d'accumulation calcaire (morphologie, salure, etc.).

En fait, avec la seconde partie de fichier concernant les horizons, il est possible de reconstituer les séries,ou tout au moins, de procéder à des regroupements à l'intérieur des familles en tenant compte précisément de l'horizon de surface. Quoiqu'il en soit, avec la famille de sol, se trouve pris en compte et synthétisé un ensemble de variables édaphiques importantes : texture, salure, formes d'accumulation du calcaire et du gypse, nature du substratum géologique,etc.

Les 120 familles de sol, codées de S 1 à S 120, se répartissent dans 8 classes de la classification française des sols (tableau 24 et annexe 1). La seule classe des sols calcimagnésiques regroupe la moitié des relevés, les sols isohumiques arrivent en seconde position avec plus de 200, soit 1/6 du total.

CLASSES DE SOLS	Code familles S	Eff.	BIOCLIMATS SH	SA	AS	AM	AI	Sah.	FORMATIONS VEGETALES FM	α	St.	Cult.	Hal.
Sols min. bruts	1 à 6	38	1		8	19	9	1		1	33	1	3
Sols peu évolués	7 à 23	154	7		21	97	28	1		14	40	69	31
Vertisols	24 à 34	42	23	7	4	8						40	2
Sols calcimagn.	35 à 74	612	43	22	179	247	117	4	61	168	281	101	1
Sols isohumiques	75 à 92	206		4	21	123	57	1	2	31	112	60	1
Sols à sesqu. de fer	93 à 102	37	19	14	4				10	1	1	25	
Sols hydromorphes	103 à 104	14				13	1				13		1
Sols halomorphes	105 à 120	107			2	100	5				11	3	93

Tableau 24 : Les classes de sols: effectifs et distribution en fonction des bioclimats et des formations végétales.

3 - NIVEAU DES HORIZONS.

Chaque profil est caractérisé par un ou plusieurs horizons (6 au maximum), chaque horizon étant lui-même défini par deux séries de données: morphologiques et physico-chimiques.

a - Données morphologiques.

α - Profondeur

Classe	Profondeur en cm
1	0 - 20
2	20 - 50
3	50 - 80
4	80 - 120
5	120 - 200
6	200 - 600
7	> 600

Tableau 25 : Les classes de profondeur.

Au départ, le choix des 7 classes essaye de tenir compte au maximum de seuils écologiques importants (tableau 25):

- 0-20 correspond sensiblement à la profondeur moyenne de l'horizon de labour et de l'horizon A de nombreux sols : c'est l'horizon de surface, dont les caractéristiques morphologiques et analytiques sont essentielles pour les annuelles et nombre d'espèces vivaces.

- 50 cm, par référence aux sols à croûte calcaire, indique une limite majeure au-delà de laquelle les horizons d'accumulation calcaire (croûte ou encroûtement) cessent d'être accompagnés d'un cortège d'espèces spécifiques; elle marquerait donc la disparition du groupe écologique des croûtes et encroûtements calcaires.

- 80 et 120 cm sont des profondeurs souvent utilisées dans la classification des sols (sols hydromorphes) et surtout les cartes d'aptitudes des sols.
- 200 cm est la profondeur normale d'un profil pédologique en l'absence d'horizons particulièrement indurés.
- la dernière limite de 6 m, utilisée uniquement pour la nappe phréatique, indique la présence ou l'absence de cette nappe à une profondeur éventuellement encore accessible aux racines de certaines espèces.

Un même horizon, suffisamment épais peut se retrouver dans deux classes de profondeur; on note sa présence dans les deux classes.

β - Nomenclature des horizons.

La liste et la nature des 35 horizons types est précisée sur le tableau 26. Outre les horizons classiques (A, Ao, Ap,B, G, g, etc.) il faut remarquer l'importance accordée à :

- l'état de la surface du sol : recouvrement éolien, croûte saline, structure, etc.
- la morphologie des horizons d'accumulation calcaire ou gypseuse, facteurs limitants et sélectifs pour de nombreuses espèces.
- la présence de la nappe phréatique assimilée à un horizon dont on peut préciser ainsi la profondeur et la salure.

Un tel système permet d'intégrer, non seulement des caractéristiques morphologiques et génétiques pour une étude de la typologie des sols, mais aussi des caractéristiques édaphiques, fort utiles pour l'étude phytoécologique.

CODE	NATURE DE L'HORIZON
U 1	Recouvrement sableux continu(épaisseur parfois > 20cm) avec nebkas et sable mobile.
U 2	Recouvrement sableux discontinu (épaisseur parfois > 20 cm) avec nebkas et sable mobile.
U 3	Idem U 2 - mais prélèvement effectué dans une touffe d'alfa.
U 4	Horizon de recouvrement d'origine colluviale sur les marnes(± caillouteux, épaisseur ≤ 20 cm).
U 5	Horizon de surface avec croûtes et efflorescences salines(et amas gypseux.).
U 6	Horizon de pseudosables à structure "poudreuse" en surface (à l'état sec).
U 7	Horizon A au niveau d'une plage de salure (sols à croûte calcaire).
U 8	Horizon de surface AS1, très battant, à structure finement lamellaire(0-5/20cm)
U 9	Horizon Ao : litière, horizon organique.
U 10	Horizon Ap de travail du sol (labour).
U 11	Horizon A (lato sensu).
U 12	Horizon A_2 (Sols fersiallitiques lessivés).
U 13	Horizon (B) éventuellement B (parfois difficiles à distinguer).
U 14	Roche-mère ± pénétrable par les racines(marnes,alluvions,etc).
U 15	Roche dure (calcaire, grès, etc).
U 16	Horizon de gley (actuel).
U 17	Horizon de pseudogley (actuel).
U 18	Nappe phréatique.
U 19	Horizon K_n à amas et nodules calcaires.
U 20	Horizon Ke, encroûtement calcaire(massif ou nodulaire).
U 21	Horizon Kh d'altération de la croûte avec concentration de matière organique dans la matrice pulvérulente.
U 22	Croûte (ou dalle) calcaire surmontée d'un horizon laminaire Kl,difficilement pénétrable par les racines.
U 23	Croûte(ou dalle) calcaire en feuillets anastomosés, facilement pénétrables par les racines.
U 24	Horizon sous-jacent à l'encroûtement calcaire avec souvent de gros amas et nodules calcaires.
U 25	Horizons à amas et nodules gypseux.
U 26	Encroûtement gypseux de surface.
U 27	Encroûtement gypseux de nappe.
U 28	Croûte gypseuse de surface.
U 29	Croûte gypseuse de nappe.
U 30	Horizon enrichi en calcaire diffus,± induré, grisâtre (en conditions hydromorphes anciennes ou actuelles.
U 31	idem U 21 au niveau d'une plage de salure (sols à croûte calcaire).
U 32	idem U 22 au niveau d'une plage de salure (sols à croûte calcaire).
U 33	idem U 23 au niveau d'une plage de salure (sols à croûte calcaire).
U 34	Horizon bariolé gris-rouille (pseudogley ou gley anciens,non fonctionnels).
U 35	Horizon noici ou grisâtre (conditions hydromorphes anciennes).

Tableau 26 : Nomenclature des horizons

b - Données physico-chimiques

α - Liste des variables

Elles concernent les horizons prélevés et analysés au laboratoire, soit 34 variables quantitatives (tableau 27). L'annexe 4 précise les méthodes d'analyses utilisées.

VARIABLES		N°	VARIABLES		
Texture	Refus > 2mm	1	Salure	% Sat .	20
	A %	2		Cond. mmhos-cm	21
	LF %	3	Sels solubles en me/l	Ca^{++}	22
	LG %	4		Mg^{++}	23
	SF %	5		Na^{+}	24
	SG %	6		K^{+}	25
pH(pate saturée)		7		Σ cations	26
Calcaire total %		8		Cl^{-}	27
Gypse total %		9		SO_4^{--}	28
Matière organique	MO %	10		CO_3H^{-}	29
	C ‰	11		Σ Anions	30
	N ‰	12	Stabilité structurale(Hénin)	IS	31
	C/N	13		Kcm/h	32
Complexe absorbant en me/100 g de sol	Mg^{++}	14	Rétention en eau %	pF 4,2	33
	K^{+}	15		pF 2,5	34
	Na^{+}	16			
	T	17			
P_2O_5	Total ‰	18			
	Assim.PPM	19			

Tableau 27

Liste des variables physico-chimiques.

Les analyses de matières humiques, intéressant seulement une centaine d'échantillons ne sont pas intégrées au fichier. D'autre part, pour un certain nombre de profils non prélevés, il n'y a donc pas de données physico-chimiques , soit environ 20% des profils .

β - Transformation des variables.

Les méthodes de traitement utilisées imposent le découpage des variables quantitatives en classes pour obtenir des variables qualitatives ordonnées.

Comme pour le choix des variables elles-mêmes, les limites de classes sont déterminées en fonction :

- de leur influence présumée sur l'écologie des espèces (seuils écologiques) telle que l'expérience et la bibliographie peut l'indiquer.

- de certaines limites, utilisées en pédologie (conductivité, gypse, calcaire), qu'il est commode de reprendre.

Ainsi chaque classe est codée avec une lettre suivie d'un chiffre indiquant la borne supérieure de la classe considérée (tableau 28).

En fait, seules les variables susceptibles d'intervenir dans l'écologie des espèces et appartenant à l'horizon de surface sont ainsi transformées.

- variables en relation avec le profil hydrique(texture, matière organique, point de flétrissement, capacité de rétention).

- variables traduisant la présence de sels plus ou moins toxiques (conductivité, gypse).

Par contre, d'autres variables intéressantes (stabilité structurale, capacité totale d'échange T) mais trop souvent manquantes, ne sont pas utilisées de cette façon.

+ Texture.

Pour qualifier la texture, les pédologues possèdent toute une série de termes plus ou moins complexes (limono-argileux, argilo-sableux, etc) dont la signification varie suivant le triangle de texture auquel on se refère. Trop compliqués, ils sont surtout peu adaptés au but poursuivi, c'est-à-dire une appréciation de la texture, certes précise, mais simple et significative du point de vue phytoécologique.

C'est ainsi qu'il me paraît préférable :

- de se baser sur la somme A + LF % qui, avec la matière organique, est le principal facteur déterminant les valeurs de la capacité de rétention et du point de flétrissement, donc du profil hydrique des sols (COMBEAU *et al* , 1961; ABROL *et al*, 1969; SALTER et WILLIAMS, 1969).

TEXTURE		MAT. ORG.		Point flétrissement		CAPACITE RETENTION		CONDUCTIVITE		CALC. TOTAL		GYPSE TOTAL		pH	
A+LF %	Code	MO %	Code	pF 4,2 %	Code	pF 2,5 %	Code	C mmhos-cm	Code	CO_3Ca %	Code	Gypse %	Code	pH	Code
< 5	A5	< 0,5	H 0,5	< 5	F 5	< 10	D 10	< 2	C 2	< 2	L 2	< 2	Y 2	< 7,2	& 7,2
5-20	A20	0,5-1,0	H 1,0	5-10	F 10	10-20	D 20	2- 4	C 4	2-10	L 10	2-10	Y 10	7,2-7,8	& 7,8
20-40	A40	1,0-1,5	H 1,5	10-20	F 20	20-30	D 30	4- 8	C 8	10-25	L 25	10-25	Y 25	7,8-8,2	& 8,2
40-70	A70	1,5-2,5	H 2,5	20-30	F 30	30-40	D 40	8-16	C 16	25-50	L 50	25-50	Y 50		
⩾ 70	A99	⩾ 2,5	H 9,9	⩾ 30	F 40	⩾ 40	D 50	16-32	C 32	50-100	L 99	50-100	Y 99		
								32-64	C 64						
								⩾ 64	C 99						

Tableau 28 : Liste des principales variables physico-chimiques après transformation et codage.

- de faire des classes permettant de reprendre des termes connus et simples tout en ayant une réelle signification écologique (GOUNOT,1969): texture très grossière, grossière, moyenne, fine et très fine (tableau 28)

La texture très grossière (A 5) correspond aux sables dunaires et certains dépôts éoliens mobiles.

La texture grossière (A 20) caractérise les horizons sableux à sablo-limoneux meubles (dépôts éoliens plus ou moins fixés, sols sur grès,etc) avec une végétation à dominance de psammophiles.

La texture moyenne (A 40), la plus fréquente, est généralement celle des horizons A des sols à croûte et/ou encroûtement calcaire sur les glacis encroûtés du Quaternaire ancien et moyen.

La texture fine (A 70) marque l'apparition d'espèces spécifiques de type pélophile sur les formations alluviales plus récentes et généralement cultivées.

La texture très fine (A 99) apparaît spécifique de certains sols (vertisols), de certaines situations géomorphologiques (dayas) ou roches-mères (marnes); les espèces pélophiles deviennent dominantes.

+ Matière organique.

Les classes sont établies en tenant compte de l'étude du taux de matière organique des horizons de surface (texture moyenne) en fonction des bioclimats et de l'état de dégradation du couvert végétal (chap.IV).

Soulignons simplement les teneurs supérieures à 2,5% (H 9,9), elles s'observent généralement sous végétation forestière ou de dégradation forestière (matorrals).

+ Point de flétrissement (pF 4,2) et capacité de rétention (pF 2,5)

Pour ces deux variables, les limites de classes choisies empiriquement au départ (I) se sont avérées relativement judicieuses. En effet, pour la majorité des sols peu humifères, on pourra noter une certaine correspondance avec les classes de granulométrie :

(I) En fait, il a été tenu compte des relations : pF 4,2 - texture des sols, établies par RICHARD *et al*, 1954;

Texture grossière → F 5 et D 10
Texture moyenne → F 10 et D 20
Texture fine → F 20 et D 30
Texture très fine → F 30 et D 40

Par contre, les deux dernières classes (F 40 et D 50), très rarement représentées ne se justifient pas; elles seront d'ailleurs supprimées dans le traitement des données (ESP- ECO page 240).

+ Conductivité de l'extrait de saturation (I)

On retrouve ici un certain nombre de limites classiques en pédologie:

- < 2 mmhos-cm : sol non salé.
- 4 mmhos-cm : ancienne limite des sols halomorphes.
- 8 mmhos-cm : limite actuelle pour les sols salsodiques (7/8 mmhos-cm soit environ 0,5% de sel).
- 16 mmhos-cm : limite des solonchaks (système FAO), soit environ 1% de sel.
- 32 mmhos-cm : limite du "salic horizon" dans le système USDA, soit environ 2% de sel.

Pour les pédologues soviétiques, les limites utilisées restent sensiblement les mêmes :

- Non salé : < 0,3% de sel (soit < 4 mmhos-cm)
- Faiblement salé : 0,3 à 0,5 % de sel (4 à 7/8 mmhos-cm)
- Moyennement salé : 0,5 à 1% de sel (7/8 à 16 mmhos-cm)
- Très salé : 1 à 2% de sel (16 à 32 mmhos-cm)
- Excessivement salé : > à 2% de sel (> 32 mmhos-cm)

En raison des variations très rapides de la salure, des horizons de surface en particulier, la conductivité n'est qu'une indication.Elle s'ajoute à la famille de sol qui intègre bien davantage l'ensemble du profil de salure (caractère salé), y compris les propriétés résultant éventuellement de la présence de caractères sodiques et à alcali (structure en particulier). En outre, pour une même conductivité, la composition ionique peut être différente et donc aussi la toxicité vis-à-vis des espèces végétales.

(I) L'extrait de saturation donne de meilleures corrélations avec la croissance des plantes que des solutions plus diluées (BERSNSTEIN, 1962).

+ Calcaire total.

Les classes retenues restent relativement classiques en pédologie. Elles veulent surtout exprimer une certaine estimation de la teneur en calcaire, complétée par l'indication de la nomenclature. Entre 25 et 50 % l'individualisation de calcaire se fait souvent sous forme d'amas et nodules; au-dessus de 50 % il s'agit généralement d'encroûtement ou croûte calcaire, mais parfois de roches-mères ou d'horizons très peu évolués (marnes, marno-calcaires).

+ Gypse.

La signification des limites est sensiblement la même que pour le calcaire.

+ pH (pâte saturée).

La gamme des pH n'est pas très étendue; la quasi totalité des mesures étant comprises entre 7,2 et 8,2. En fait, il faudrait augmenter toutes les valeurs d'environ 0,5 unité pH si l'on voulait une expression du pH plus largement utilisée; c'est-à-dire une mesure avec un rapport sol/eau : 1/2,5 (DREGNE, 1976). Quoiqu'il en soit, le pH est pris en compte pour deux raisons :

- il intervient pour caractériser certains milieux très particuliers à pH neutre, voire faiblement acide, dans les régions telliennes.
- mais surtout, il sert d'exemple en tant que variable peu active dans les traitements statistiques.

C. Conclusions.

1 - NATURE DES VARIABLES.

Au terme de ce rapide inventaire des données composant le fichier, il importe de souligner qu'au premier niveau, celui du relevé, les variables retenues sont uniquement des variables qualitatives:

- qualitatives ordonnées : pluviosité, température.
- qualitatives semi-ordonnées : géomorphologie, familles de sols, formations végétales, groupements végétaux.

Chaque espèce végétale peut être aussi considérée comme une variable qualitative divalente (présence-absence).

Les données concernant la situation géographique (variables quantitatives) ne sont pas prises en compte dans les traitements présentés dans cette étude.

Au deuxième niveau, des horizons, il s'agit pour les données morphologiques de variables qualitatives ordonnées (profondeur) ou non ordonnées (nomenclature); pour les données physico-chimiques, le découpage en classes des variables quantitatives permet de les transformer en variables qualitatives.

2 - INTEGRATION DES DONNEES EDAPHIQUES.

Les données édaphiques se retrouvent donc aux deux niveaux du fichier :

- indication synthétique avec la famille de sol, complétée par la situation géomorphologique, au niveau relevé.
- ensemble de variables morphologiques et physico-chimiques relatives aux différents horizons.

L'intérêt de la seconde partie du fichier est double :

- elle permet une étude de type pédologique pour préciser la typologie des sols, particulièrement les caractéristiques des principales familles et séries; aspect que je n'aborderai pas au cours de cette étude.
- elle apporte un complément à la famille de sol par un certain nombre de données susceptibles d'être utilisées au même titre que celles appartenant au niveau relevé (végétation, climat, etc.) dans les traitements ultérieurs.

Parmi ces données complémentaires, les principales sont relatives aux caractéristiques morphologiques (nomenclature) et physico-chimiques de l'horizon de surface (variables qualitatives); elles interviennent directement sans ambiguité sur la répartition des espèces dans le relevé. A ces données, on ajoute deux nouvelles variables, valables elles aussi pour l'ensemble du relevé, et qu'il est donc possible d'utiliser à ce niveau :

- Recouvrement éolien R : avec deux possibilités correspondant à deux classes :

. R 1 ; pas de recouvrement éolien discontinu; il n'y a pas d'horizon de recouvrement U 2 et U 3 (Tableau 26).

. R 2 ; recouvrement éolien discontinu; l'un et/ou l'autre des deux horizons sont présents.

- Nappe phréatique N avec 7 classes de profondeur :

N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7.

Pratiquement, dans la suite des traitements, les données édaphiques sont prises en compte par :

- des variables synthétiques avec la famille de sol et la situation géomorphologique.
- des variables plus analytiques concernant les caractéristiques morphologiques (nomenclature) et surtout physico-chimiques de l'horizon de surface; il s'y ajoute des indications sur la présence éventuelle d'un recouvrement éolien discontinu et d'une nappe phréatique en profondeur.

En prenant comme exemple PR1, la figure 30 récapitule sur un organigramme les données prises en compte dans la plupart des traitements végétation-milieu.

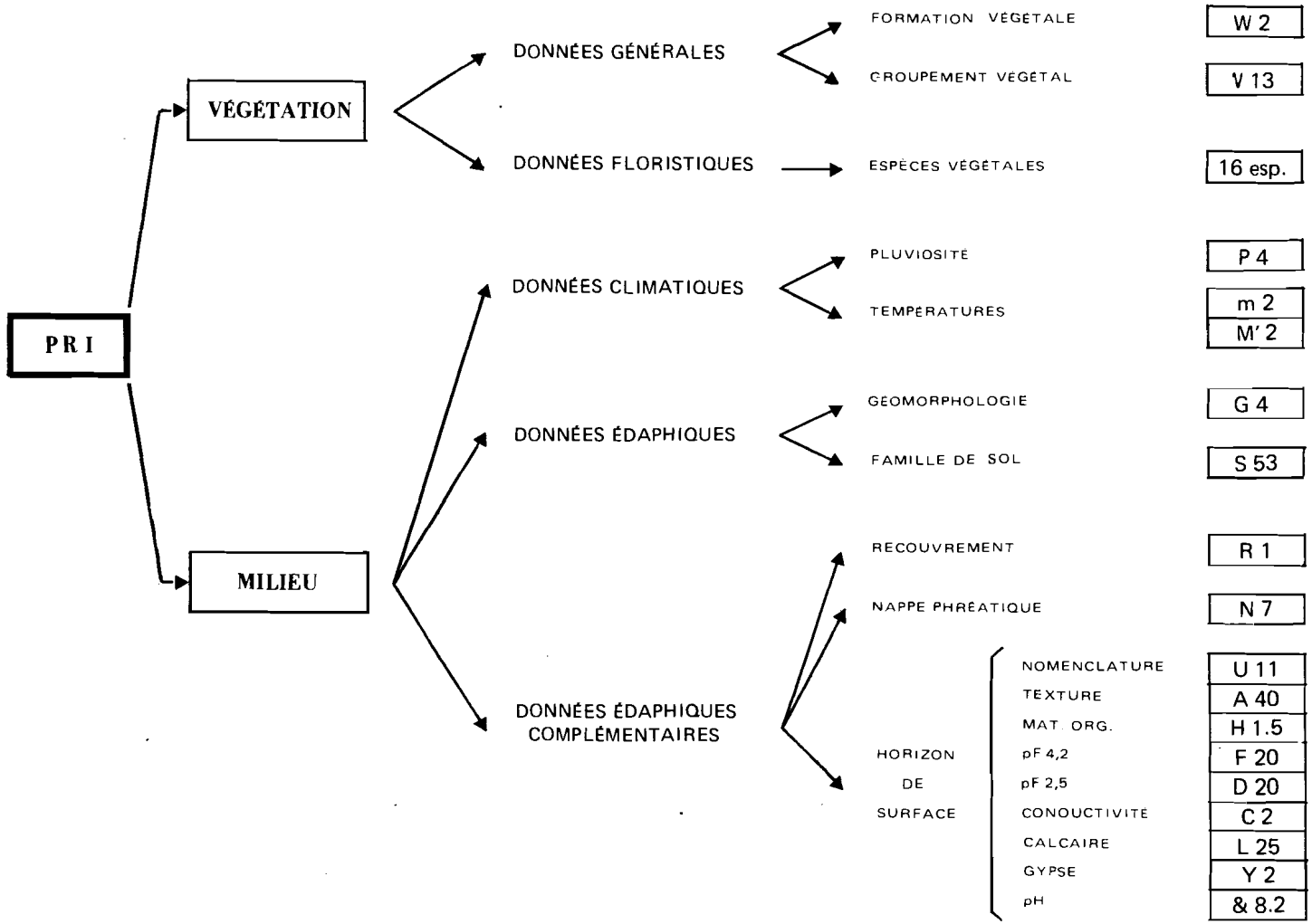


Figure 30 - Profil-relevé PR1 : les données prises en compte dans les traitements végétation-milieu

II – LE TRAITEMENT DES DONNÉES

Avec 1210 relevés, on dispose ainsi d'une somme importante de données relatives à la végétation et au milieu. A partir d'observations stationnelles que sont les données, le traitement statistique a pour but d'établir des relations entre espèces (ou mieux groupe d'espèces) et telle ou telle variable écologique matérialisant en l'occurrence l'action de tel ou tel facteur écologique. Ce faisant, on met ainsi en évidence les principaux facteurs écologiques, édaphiques tout particulièrement, dont le rôle est le plus important dans le déterminisme du couvert végétal.

Pour établir ces relations exprimant les liaisons groupes d'espèces - variables, deux types de méthodes bien différentes sont habituellement utilisées :

+ soit on considère d'abord chaque espèce séparément et on étudie son autoécologie. Pour cela, on recherche sa distribution dans les classes des différentes variables écologiques en construisant des histogrammes de fréquence (profils écologiques) ; on regroupe ensuite les espèces ayant une écologie semblable ou tout au moins très proche.

Il s'agit de méthodes d'analyses fragmentaires : on "fragmente" la communauté végétale et le milieu en éléments séparés (espèces et variables) pour étudier ensuite les regroupements d'espèces et les liaisons végétation - milieu.

+ soit on considère, non plus l'espèce ou la variable écologique prises isolément mais la communauté végétale, relevé avec l'ensemble des espèces et le milieu, relevé avec l'ensemble des variables écologiques . Le regroupement des espèces peut se faire alors sur deux bases différentes :

- sur une base floristique en considérant seulement la composition floristique des relevés, les espèces se regroupent uniquement sur ce critère : deux espèces seront d'autant plus proches, donc pourront appartenir à un même groupe, si elles se retrouvent souvent ensemble sur un même relevé. Il s'agit d'une véritable analyse phytosociologique utilisée pour la mise en évidence des groupements végétaux.

- sur une base écologique en considérant l'ensemble des variables écologiques caractérisant le milieu, les espèces se regroupent uniquement sur ce critère : deux espèces seront d'autant plus proches, donc pourront appartenir à un même groupe, si elles se retrouvent souvent dans des conditions écologiques voisines, mais pas forcément ensembles sur les mêmes relevés.

Dans les deux cas, il s'agit de méthodes d'analyses multidimensionnelles où l'on considère des ensembles de variables et leurs interactions (analyse multivariable) : composition floristique des relevés ou ensemble des variables écologiques (milieu).

Parmi ces variables, on extrait celles dont le rôle est déterminant (axes factoriels) ; elles expriment des regroupements d'espèces (groupes écologiques) qu'il est possible de hiérarchiser et de relier aux variables écologiques.

L'utilisation de ces deux méthodes, particulièrement les analyses multidimensionnelles, conduit à une série de traitements indiqués sur l'organigramme ci-dessous (fig. 30 bis).

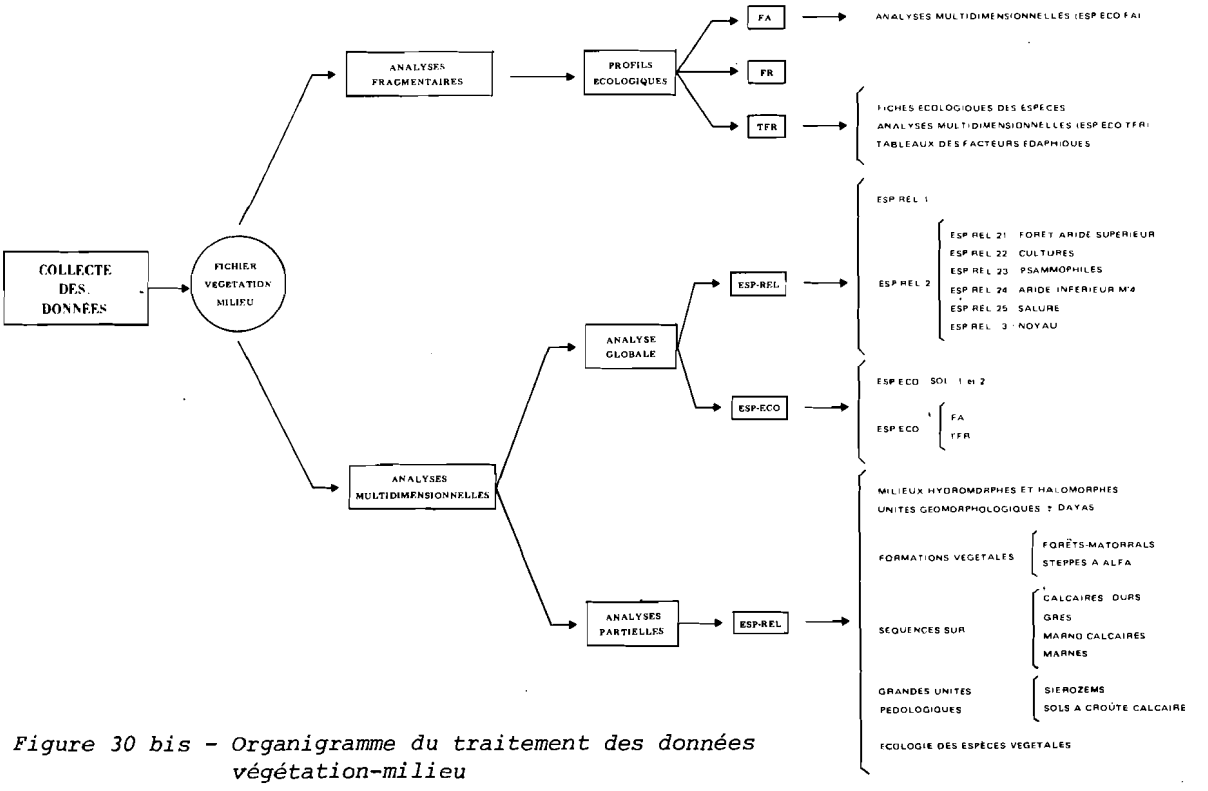


Figure 30 bis - Organigramme du traitement des données végétation-milieu

A - LES METHODES D'ANALYSES FRAGMENTAIRES

La répartition de chaque espèce est étudiée dans les différentes classes de chacune des variables écologiques prise séparément. Une telle répartition s'exprime par des fréquences absolues et relatives et par la construction d'histogrammes de fréquence ou profils écologiques (méthode C.E.P.E., cf. GOUNOT, 1969 ; LONG, 1974, etc...)

1 - HISTOGRAMME DES FREQUENCES ABSOLUES (profil écologique brut)

L'histogramme est une simple récapitulation des effectifs d'une espèce végétale dans les différentes classes d'une variable écologique.

Ex. : *Artemisia herba-alba* (1) et texture de l'horizon de surface (tableau 29).

Texture	A 5	A 20	A 40	A 70	A 99	Total
Effectifs (FA)	1	73	279	38	2	393
FR	4,5	39,7	61,1	26,8	4,2	136,3
TFR	3,3	29,1	44,8	19,7	3,1	100
FC	9,8	86,1	132,6	58,2	9,1	
ΣA	22	184	457	142	48	853

Tableau 29 Distribution d'*Artemisia herba-alba* en fonction de la texture des horizons de surface.

(1) *Artemisia herba-alba* se trouve en réalité dans 481 relevés dont pour 393 seulement la granulométrie de l'horizon de surface a été faite.

2 - HISTOGRAMME DES FREQUENCES RELATIVES (FR)

La fréquence relative d'une espèce végétale dans une classe d'une variable est calculée en déterminant le pourcentage des relevés où se trouve l'espèce par rapport à l'ensemble des relevés effectués dans la classe de cette variable, et non par rapport à l'ensemble des relevés où l'espèce est présente .

En reprenant l'exemple précédent de l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba*), la fréquence relative FR de cette espèce pour la texture A 20 est donc :

$$\frac{73 \times 100}{184} = 39,7 \text{ (tableau 29)}$$

Cela signifie que l'armoise est présente dans sensiblement 40 % des relevés ayant un horizon de surface dont la texture est A 20 ($5 < A + LF < 20$).

On peut construire un histogramme ou profil écologique élaboré desfréquences relatives de l'armoise blanche pour la texture de l'horizon de surface (fig. 31 a). Or ce profil dépend de la fréquence absolue, il n'est alors pas possible de comparer des profils écologiques d'espèces différentes ; une espèce moins fréquente, telle *Arthrophytum scoparium* (effectif = 154), aura un profil écologique très "applati" (fig. 31 b) par rapport à *Artemisia herba-alba* malgré une distribution très voisine dans cette variable.

3 - HISTOGRAMME DES TAUX DE FREQUENCE RELATIVE (TFR)

Le taux de fréquence relative TFR d'une espèce dans une classe d'une variable correspond au pourcentage de sa fréquence relative FR par rapport à la somme totale Σ FR des fréquences relatives de l'espèce pour l'ensemble des classes de la variable considérée (BAUDOIN et al., 1979).

$$TFR = \frac{FR \times 100}{\Sigma FR}$$

Ainsi pour *Artemisia herba-alba* (tableau 29) et A 20 on a : $TFR = \frac{39,7 \times 100}{136,3} = 29,1$

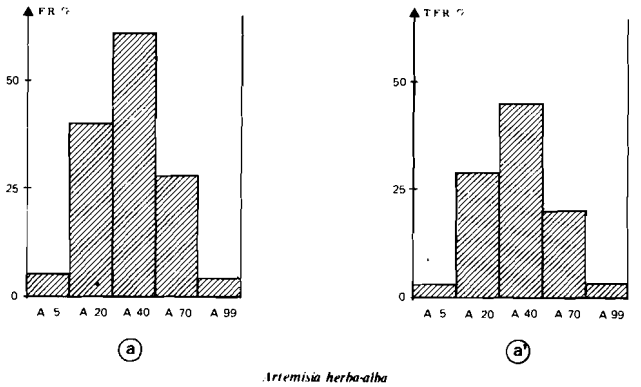


Figure 31 - Profils écologigues élaborés (FR et TFR) d'Artemisia herba-alba et Arthrophytum scoparium pour la texture de l'horizon de surface

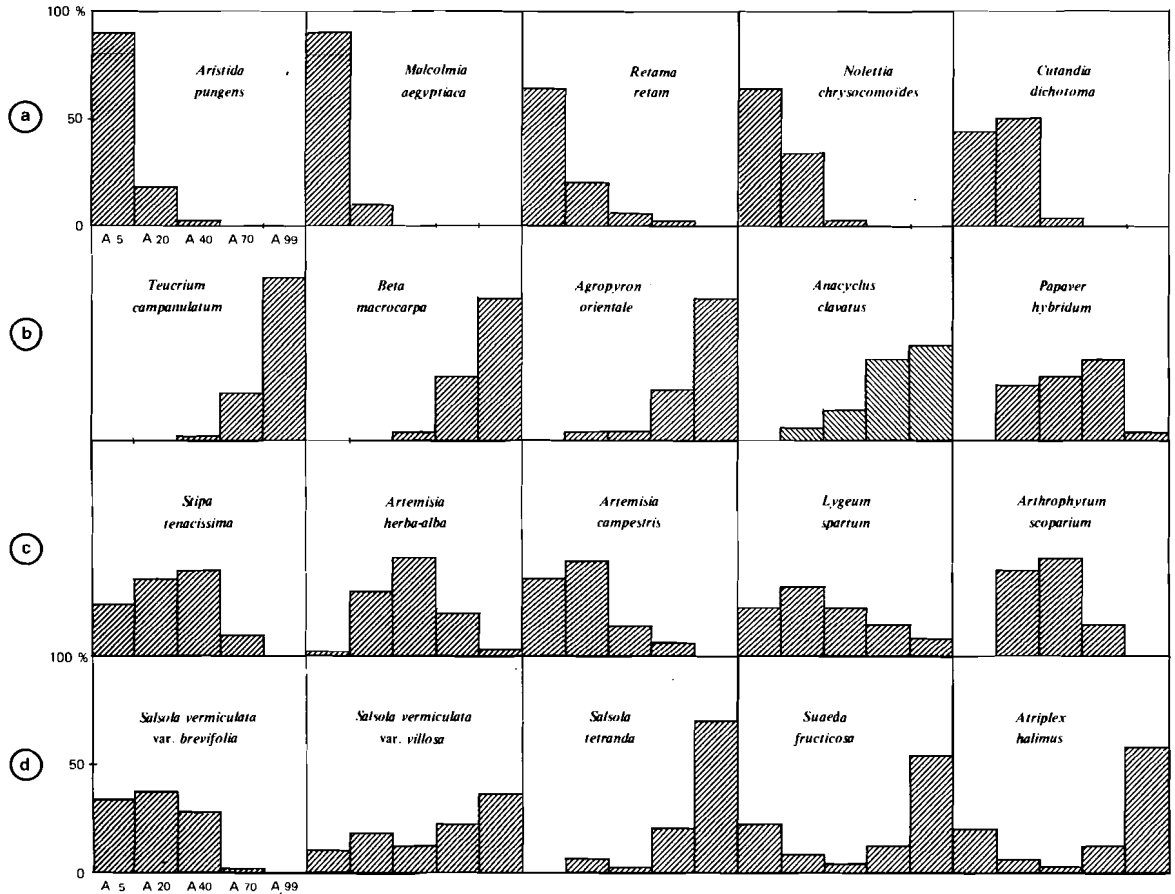


Figure 32 - Profils écologiques élaborés (TFR) de quelques espèces steppiques pour la texture de l'horizon de surface

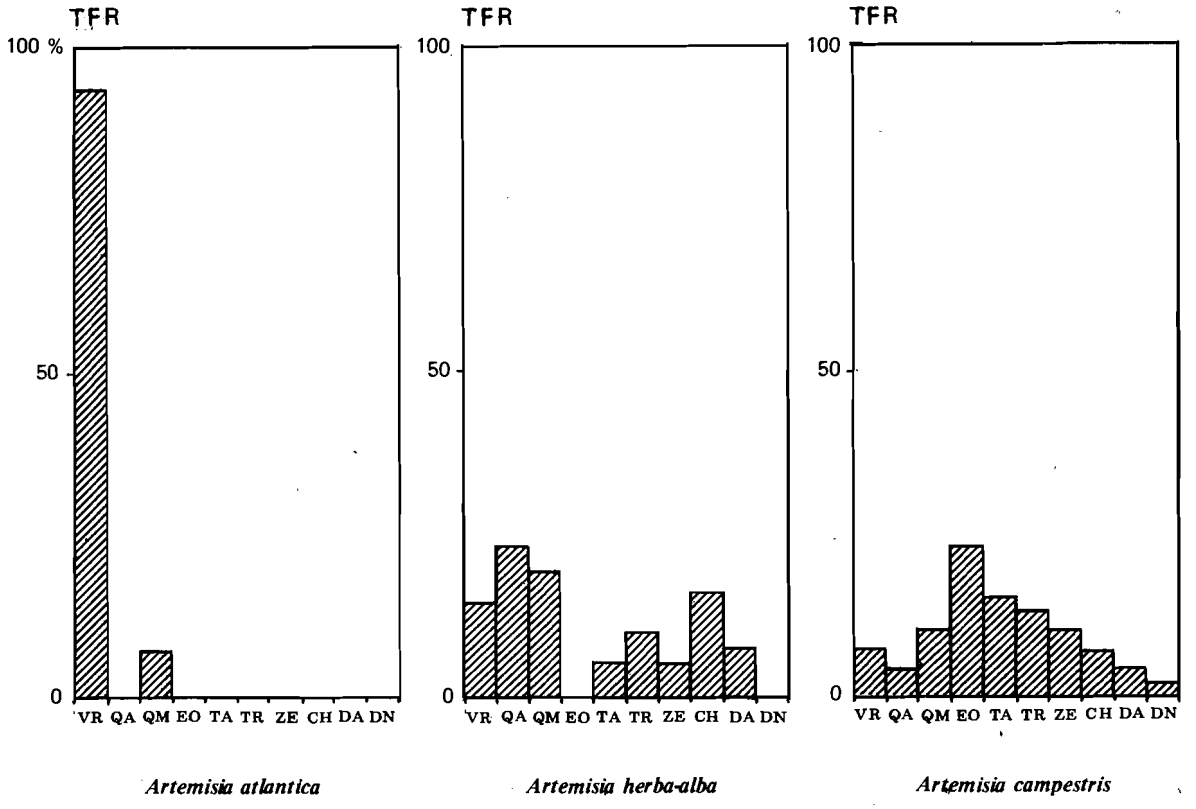
En calculant le TFR pour les autres classes de texture on construit un autre histogramme (fig. 31 a') ; il permet une comparaison immédiate des profils écologiques de plusieurs espèces :

- *Artemisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium* présentent ainsi un profil sensiblement analogue quant à la texture de l'horizon de surface (fig. 31 a' et b').
- la figure 32 montre 4 séries de profils écologiques :

a. espèces psammophiles : *Aristida pungens, Malcolmia aegyptiaca, Retama retam, Nolettia chrysocomoïdes, Cutandia dichotoma*.
b. espèces pélophiles (texture fine à très fine) : *Teucrium campanulatum, Beta macrocarpa, Agropyron orientale, Anacylus clavatus* et, nettement différent ; *Papaver hybridum*.
c. principales espèces steppiques : *Stipa tenacissima, Artemisia herba-alba, Artemisia campestris* dont on peut noter la différence avec l'armoise blanche qui préfère les textures plus fines; *Lygeum spartum* montre une préférence pour les textures grossières tout en étant présent sur l'ensemble de la gamme texturale et enfin *Arthrophytum scoparium* très proche de l'armoise blanche.
d. espèces plus ou moins halophiles : *Salsola vermiculata* var. *villosa* nettement différent de la var. *brevifolia, Salsola tetrandra* (pélophile); *Suaeda fruticosa* et *Atriplex halimus* ont un profil comparable avec deux maximums aux deux extrêmes, textures très fines et très grossières .

Un autre exemple, en prenant la situation géomorphologique, précise l'écologie des trois espèces d'armoises : (fig. 33).

- *Artemisia atlantica* : versants (calcaire et grés).
- *Artemisia herba-alba* : absente des formations éoliennes, l'armoise blanche est bien représentée sur les versants, surfaces encroûtées et chenaux d'oueds alluvionnés.
- *Artemisia campestris* : l'armoise champêtre est présente partout avec un maximum pour les formations éoliennes.



Artemisia atlantica *Artemisia herba-alba* *Artemisia campestris*

Figure 33 - Profils écologiques des trois armoises (A. atlantica, A. herba-alba, A. campestris) pour la situation géomorphologique

D'autre part, le calcul systématique du TFR pour toutes les variables retenues permet d'établir la fiche écologique de chaque espèce végétale et d'avoir ainsi une bonne appréciation de son autoécologie (annexe 5).

Il est classique (LONG et al., 1972) de calculer la fréquence corrigée (FC) d'une espèce ; elle correspond au rapport de la fréquence relative (FR) de l'espèce pour la classe considérée à la moyenne générale de présence (MGP) de l'espèce dans l'ensemble des relevés :

$$FC = \frac{FR}{MGP}$$

Avec l'exemple précédent d'*Artemisia herba-alba* (tableau 29) :

FR = 39,7 et MGP = $\frac{393}{853}$ = 2,17

d'où FC = 86,1

Pour l'ensemble des classes de texture, cela revient à multiplier les fréquences relatives par un chiffre constant (MGP). Cette "pondération" des fréquences relatives est intéressante si l'on veut estimer la quantité d'information apportée par les profils écologiques (GODRON, 1968 ; LONG *et al.*, 1972). Mais la nature de l'échantillonnage et les données floristiques non exhautives au départ ne sont pas adaptées à ce type de méthodes.

4 - CAS PARTICULIER DES FORMATIONS VEGETALES

On étudie ici, non plus la répartition des espèces, mais celle des formations végétales, éventuellement des groupements végétaux, dans les différentes classes de chaque variable écologique.

A titre d'exemple le tableau 30 indique :

- les effectifs de chaque formation végétale dans les différents bioclimats.
- la fréquence relative (FR) de chaque formation végétale dans les différents bioclimats ; elle est calculée en déterminant le pourcentage des relevés correspondant à une formation végétale par rapport à l'ensemble des relevés effectués dans le bioclimat considéré.

La figure 34 illustre cette distribution relative des formations végétales dans les différents bioclimats ainsi que dans les classes de sols et les principales unités géomorphologiques.

FORMATIONS VEGETALES \ BIOCLIMATS		P 1 (SH)	P 2 (SA)	P 3 (AS)	P 4 (AM)	P 5 (AI)	P 6 (Sah)
Forêts matorrals	Effectifs	15	12	45	1		
	FR	16	26	19	0,2		
Steppes à alfa	Effectifs			58	99	58	
	FR			24	16	27	
Steppes	Effectifs	6 (1)		66	287	135	7
	FR	6		28	47	62	100
Cultures	Effectifs	72	35	63	115	14	
	FR	78	74	26	19	7	
Steppes crassulescentes	Effectifs			7	115	10	
	FR			3	19	5	

(1) Pelouse

Tableau 30. Effectifs et fréquence relative des formations végétales dans les différents bioclimats.

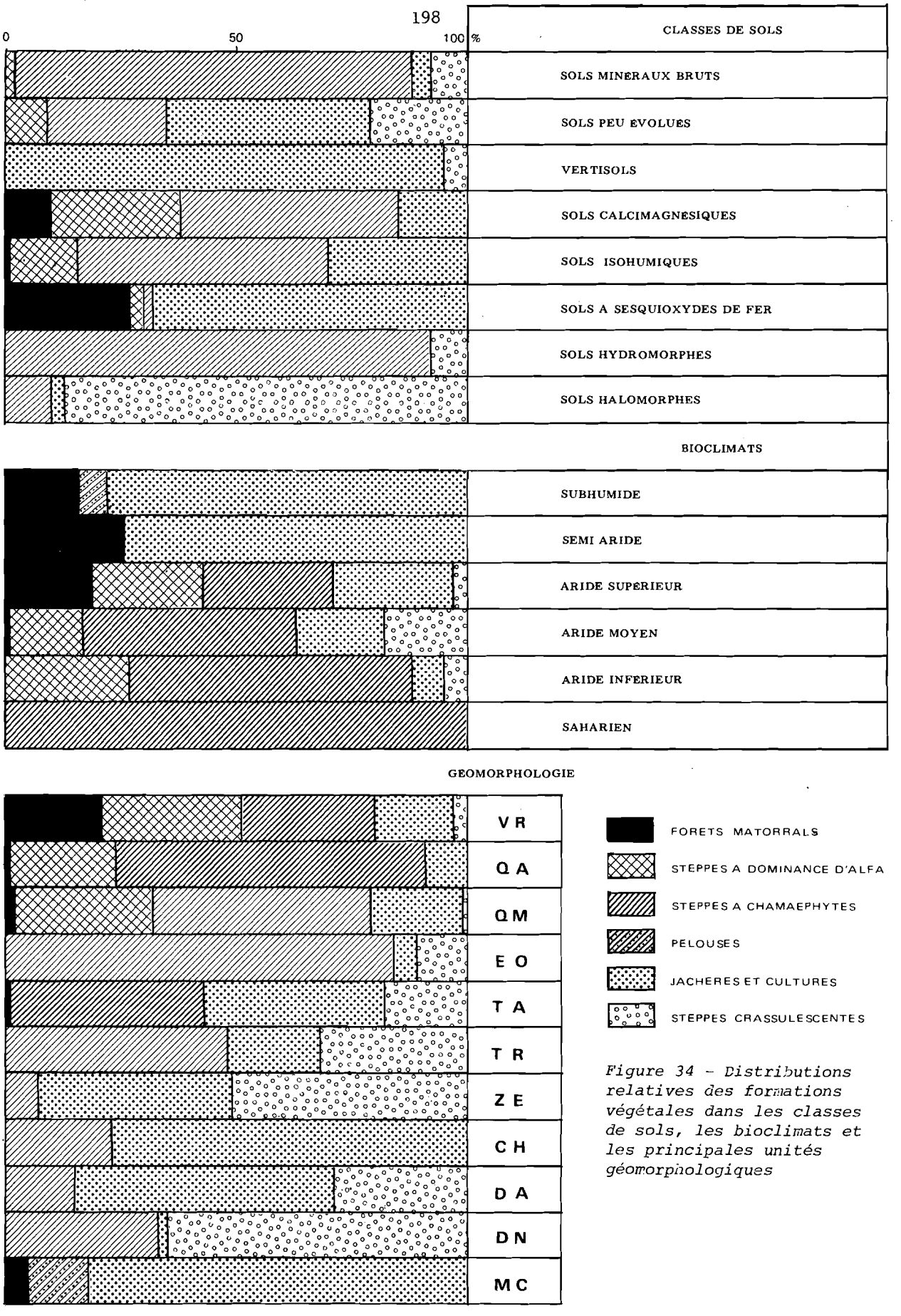


Figure 34 - Distributions relatives des formations végétales dans les classes de sols, les bioclimats et les principales unités géomorphologiques

5- CONCLUSIONS

S'il précise la distribution des espèces dans les classes des différentes variables écologiques, ce type d'analyses fragmentaires ne tient pas compte des interactions entre variables. De plus l'examen détaillé des histogrammes est pratiquement impossible en raison de leur nombre. Les méthodes de traitement existent pour les comparer et les regrouper en mettant en évidence des groupes écologiques d'espèces ayant des exigences écologiques semblables (GODRON, 1968 ; GOUNOT, 1969 ; LONG *et al.*, 1972 ; et surtout MARLANGE et GIMILIO, 1972).

Ce ne sont pas alors des groupes écologiques au sens de DUVIGNEAUD (affinité sociologique) mais davantage au sens d'ELLENBERG (affinité écologique).

Par contre, l'intérêt du taux de fréquence relative (TFR) mérite d'être souligné :

- il précise de manière objective l'autoécologie des espèces végétales avec les fiches écologiques (annexe 5).
- il facilite les comparaisons entre espèces appartenant à un même genre ou d'écologie voisine.
- il représente pour chaque variable écologique une expression synthétique intéressante utilisable dans les analyses multidimensionnelles (ESP-ECO TFR p.248).
- il fournit enfin une expression quantitative pour caractériser les liaisons espèce-facteur dans les tableaux des facteurs écologiques (p.284).

B - LES METHODES D'ANALYSES MULTIDIMENSIONNELLES

Les méthodes d'analyses multidimensionnelles sont de plus en plus utilisées pour traiter des ensembles importants de données. Elles fournissent une représentation spatiale des objets étudiés en fonction de leurs corrélations respectives (DAGNELIE, 1960). Parmi ces méthodes, l'analyse factorielle des correspondances (BENZECRI, 1964, 1973 ; CORDIER, 1965 ; LEBART et FENELON, 1971 ; etc...), dont il ne s'agit pas ici de rentrer dans les détails des fondements mathématiques, est employée depuis plusieurs années pour le traitement des données phytosociologiques et phytoécologiques (ROUX G. et M., 1967 ; LACOSTE et ROUX, 1972 ; GUINOCHET, 1973 ; PERICHAUD et BONIN, 1973 ; BRIANE *et al.*, 1974 ; CELLES, 1975 ; JOVET *et al.*, 1976 ; BONIN et ROUX, 1978 ; DJEBAILI, 1978).

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) est parfaitement adaptée à la matrice des données telle qu'elle se présente dans le fichier végétation-milieu. En outre, la présentation des résultats sur les cartes de proximité issues de l'analyse factorielle permet de visualiser les relations groupes d'espèces-variables écologiques.

1 - PRINCIPES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES (AFC)

Soit deux ensembles en correspondance : un ensemble d'observations I constitué par les relevés et un ensemble de variables constitué par les espèces végétales, respectivement lignes et colonnes de la matrice des données . A l'intersection de la ligne i et de la colonne j, la valeur de k (i, j) peut prendre la valeur 1 ou 0 selon que l'espèce est présente ou absente dans le relevé.

Le but de l'AFC est de permettre l'observation des données, au départ dans un espace à I x J dimensions, dans un espace de dimension réduite avec un minimum de perte d'information.

On peut exprimer les liaisons entre les relevés par rapport aux espèces en représentant chaque espèce J par un axe. Dans l'espace des espèces, formé par ces axes, on repère les relevés en fonction de la présence ou de l'absence de l'espèce dans le relevé

(une coordonnée par espèce). L'ensemble I des relevés forme un nuage de points-relevés i. Dans ce nuage, deux relevés possédant un grand nombre d'espèces communes sont proches l'un de l'autre. Inversement, deux relevés n'ayant que très peu d'espèces communes sont très éloignés.

Dans cet espace J des espèces, et à partir du centre de gravité du nuage "relevés", l'analyse détermine les axes principaux d'allongement, droites ajustant le mieux le nuage au sens des moindres carrés . Ces axes orientés introduisent de nouvelles coordonnées (axes factoriels). Chaque axe factoriel extrait une part de l'inertie totale (variance totale des données). Le taux d'inertie de chacun des axes correspond au pourcentage de son inertie par rapport à l'inertie totale. Les axes sont numérotés suivant un taux d'inertie décroissante c'est-à-dire suivant un rôle décroissant dans la déformation du nuage.

Pour visualiser le nuage, on le projette dans les plans formés par les axes principaux pris deux à deux. La métrique du Khi 2, utilisée pour le calcul des distances entre les points dans l'AFC, a pour avantages :

- de projeter simultanément sur une même carte les espèces et les relevés ; les points représentant ainsi les espèces et des relevés se trouvent donc reportés sur les cartes de proximité, permettant d'avoir une bonne idée de la structure des données. Un relevé sera proche des espèces qu'il contient et réciproquement une espèce sera proche des relevés dans lesquels elle se trouve.
- de ne pas défavoriser les espèces peu fréquentes;Les espèces présentes presque partout se retrouvent vers le centre de la carte dans la mesure où elles contribuent fortement à la position du centre de gravité.

Pour aider à l'interprétation des cartes, le programme calcule et imprime les valeurs des contributions, absolues et relatives, de chaque espèce et relevé sur chacun des axes principaux. La contribution absolue d'une espèce sur un axe indique la part

prise par cette espèce dans la détermination de l'axe.La contribution relative indique la valeur de la représentation de l'espèce sur l'axe.

2 - METHODES D'UTILISATION DE L'AFC

Dans l'exemple précédent, on traite uniquement les données floristiques avec les deux ensembles en correspondance : espèces et relevés.

A l'issue de l'analyse vont apparaître :

- des proximités entre les espèces. Elles se regroupent d'autant plus qu'elles se trouvent le plus souvent ensemble: elles ont donc des exigences écologiques voisines.
- des proximités entre les relevés.Ils se regroupent d'autant plus qu'ils contiennent un plus grand nombre d'espèces en commun : ils offrent donc dés conditions écologiques voisines.
- des proximités entre espèces et relevés, avec un certain décalage traduisant le fait qu'ils se trouvent dans deux espaces duals. Il existe alors une relation entre les exigences écologiques des espèces et les conditions de milieu offertes par les relevés.

Ainsi l'AFC permet de voir comment les espèces se regroupent entre elles en formant des groupes d'écologie voisine et comment elles se relient à des groupes de relevés. La réponse à la seconde question du pourquoi passe par le "décryptage" de la façon dont les relevés se regroupent pour offrir aux groupes d'espèces des conditions écologiques spécifiques. En répondant à cette question, on expliciterait ainsi la liaison espèces-milieu.

Dans le système de l'AFC cela revient à "interpréter les axes", c'est-à-dire rechercher la ou les raisons qui opposent des relevés situés de part et d'autre de l'origine des axes ou qui rapprochent les relevés situés d'un même côté.

Les données écologiques sont là pour apporter des éléments de réponse à ces questions.Comment les intégrer à l'AFC ? au moins par deux possibilités très différentes :

- soit en traitant, comme dans l'exemple précédent, les données

floristiques avec une matrice espèces-relevés (ESP-REL) et en intégrant a posteriori les données écologiques comme variables supplémentaires (DE MONTARD et ROUX, 1972) : analyses ESP-REL (ESPECES-RELEVES).

- soit en traitant directement les données écologiques avec une matrice espèces-écologie (ESP-ECO). Le regroupement des espèces se fait alors, non plus en fonction de leur affinité sociologique (1), mais de leur écologie (JOVET *et al.*, 1976 ; BONIN et ROUX, 1978) : analyses ESP-ECO (ESPECES-ECOLOGIE).

a. Analyses ESP-REL. (ESPECES-RELEVES)

Dans la matrice des données, on rajoute des colonnes à la suite des espèces. Mais ces variables écologiques ne participent pas à l'analyse proprement dite, donc au calcul des distances entre relevés et à la recherche des axes.

La matrice des données ESP-REL est une matrice logique dans laquelle tous les éléments sont 0 (absence) ou 1 (présence) sans manquants. Il en est de même avec les variables supplémentaires puisqu'il s'agit de variables qualitatives, découpées en classes, susceptibles de prendre également les valeurs 0 (absence) et 1 (présence) sans manquants, sauf pour les données physico-chimiques de l'horizon de surface. Les variables supplémentaires peuvent éventuellement être des espèces végétales de faible fréquence.

La disposition, sur les cartes, des points représentatifs de ces variables facilite l'interprétation des axes :

- s'il s'agit de variables ordonnées, elles pourront s'ordonner selon l'un ou l'autre des axes et par conséquent exprimer un gradient qui "éclaire" la signification de l'axe : axe "climatique" avec les valeurs de P ordonnées en fonction d'une aridité croissante, axe "textural", etc.
- s'il s'agit de variables non ordonnées (géomorphologie, nomenclature des horizons), l'information n'en est pas moins intéressante : tel ou tel point représentant une classe (par exemple G 10 : dayas) se localise parmi les points représentant les espèces

(1) En effet l'identité du relevé disparait et avec elle l'affinité sociologique.

dont la répartition est fortement dépendante de cette situation géomorphologique.

Quoi qu'il en soit, dans ce traitement basé sur les données floristiques, le regroupement des espèces, parfaitement objectif, repose uniquement sur leur affinité sociologique. Ainsi les données et leur traitement permettraient une certaine interprétation phytosociologique et une caractérisation plus précise des groupements végétaux.

b. analyses ESP-ECO (ESPECES-ECOLOGIE).

Dans cette analyse, les relations sont directes entre les espèces végétales et les variables écologiques qui déterminent leur regroupement ; a priori, une telle méthode paraît plus séduisante pour mettre en évidence l'influence des facteurs édaphiques. De multiples inconvénients limitent son intérêt :

- l'inventaire des variables écologiques, pour le moins difficilement exhaustif, reste toujours incomplet et complexe. Les variables retenues peuvent être nombreuses, souvent redondantes, pas toujours discriminantes. Si l'on en réduit le nombre, ne risque-t-on pas d'en supprimer d'importantes ?
- la nature diverse des variables (climatiques, édaphiques, etc) donne un tableau de contingence relativement hétérogène avec des données manquantes.

En revanche, l'analyse ESP-ECO devrait permettre de valider et de vérifier l'influence réelle des facteurs écologiques mis en évidence par ESP-REL. Les deux méthodes apparaissent complémentaires.

c. Choix des ensembles à traiter

La conception du fichier végétation-milieu offre au moins deux possibilités dans le choix des ensembles à traiter et, de ce fait, deux types d'analyses :

+ Analyse globale en prenant au départ la totalité des relevés ; on effectue ensuite une série d'analyses "en cascade" sur les sous-ensembles de relevés individualisés par les analyses successives.

+ Analyses partielles en prenant des ensembles restreints et particuliers de relevés représentant par exemple :

- des séquences sur un même substratum (calcaires durs, grés, marnes, marno-calcaires) ou des ensembles de sols (sols halomorphes, sols à croûte calcaire, siérozems, etc).
- une même unité géomorphologique (dayas, etc).
- une même formation végétale (forêts - matorrals, steppes à alfa, etc) ou contenant tous une même espèce végétale, relevés à *Salsola vermiculata* var. *villosa* par exemple .
- un même bioclimat, etc.

Les analyses partielles doivent permettre de compléter les résultats obtenus avec l'analyse globale par les deux méthodes : ESP-REL. et ESP-ECO.

C - ANALYSE GLOBALE ESP-REL. (ESPECES-RELEVES)

1 - ESP-REL 1 : 1123 R X 222 E

La matrice des données comprend :

- 1123 R, c'est-à-dire tous les relevés ayant au moins une espèce, depuis les régions telliennes subhumides jusqu'aux régions sahariennes.
- 222 E, c'est-à-dire toutes les espèces végétales trouvées au moins 20 fois dans l'ensemble des relevés (fréquence absolue FA > 20). Les autres espèces, soit 350 - 222 = 128 E, sont intégrées comme variables supplémentaires (1), de même que les 104 groupements végétaux. Les autres données écologiques ne sont pas introduites, les cartes étant déjà fort surchargées.

PR 1 intervient directement dans l'analyse en tant que relevé de végétation avec 16 espèces végétales.

---

(1) Dans cette analyse portant sur des milieux très variés on ne retient que les espèces relativement fréquentes (FA > 20) pour ne pas "masquer" les grands ensembles d'espèces et les principaux facteurs écologiques.

+ Répartition des relevés (fig. 35)

La carte des relevés (Axes 1-2) montre très nettement deux directions privilégiées d'allongement de nuage selon :

- l'axe 1 avec une bonne centaine de relevés répartis assez régulièrement depuis l'origine.
- l'axe 2 avec la quasi totalité des relevés distribués surtout du côté positif (PR 1 se retrouvant vers le centre).

Sur la carte, tous les points (1123) ne peuvent être représentés ; mais les listes transcrites par l'imprimante de l'ordinateur indiquent leurs coordonnées sur les 7 axes factoriels principaux. Le programme utilisé fournit les coordonnées sur les 7 premiers axes ainsi que les valeurs des contributions absolues et relatives de chacun des relevés.

Le nuage montre d'autres directions d'allongement matérialisées par un nombre plus ou moins important de relevés selon les axes 3 - 4 - 5 - 6 et 7.

+ Signification écologique des axes

L'interprétation des axes se fait essentiellement par les espèces dont l'écologie est plus ou moins connue et par les groupements végétaux introduits en variables supplémentaires ; ils indiquent une première liaison avec les facteurs écologiques. L'interprétation se fait également avec les relevés en reportant sur les cartes, ou sur les listes de coordonnées et contributions, l'indication de la famille de sol par exemple ; on est ainsi en mesure de voir si les relevés appartiennent à une même famille, à une même classe de sol ou à un même ensemble de sol ayant en commun une caractéristique pédologique susceptible d'être discriminante pour la végétation (cf. axes 1 et 6).

Axe 1 (carte 1).

Une bonne dizaine d'espèces caractéristiques des milieux phréatophiles et halophiles (*Salicornia arabica, Halocnemum strobilaceum, Arthrocnemum indicum, Atriplex portulacoïdes*, etc.) et 4 groupements végétaux (V 106, V 100, V 66, V 99) s'individualisent

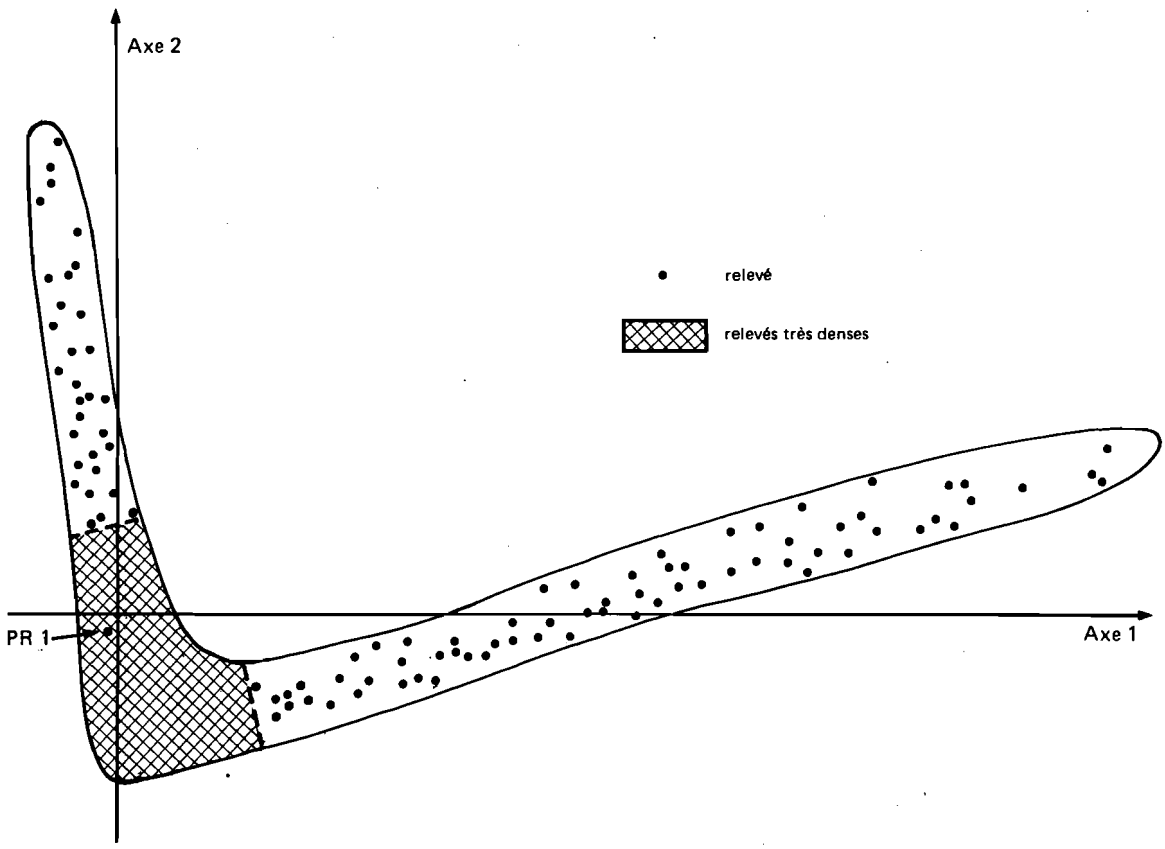


Figure 35 - ESP-REL 1 (Axes 1 - 2). Carte schématique des relevés

nettement vers l'extrémité positive de l'axe avec une très forte contribution. Ceci correspond à des milieux certes salés à très salés, mais parfois simplement hydromorphes avec une nappe phréatique proche de la surface ; en reportant l'indication de la famille de sol sur chacun de ces relevés, on constate qu'ils appartiennent à la classe des sols hydromorphes (S 103 et S 104) et des sols halomorphes (hypersolonchaks S 105, S 106, S 111, etc.).

La transition avec l'ensemble des espèces situées le long de l'axe 2 se fait par l'intermédiaire d'espèces halophiles (*Suaeda fruticosa, Salsola tetrandra, Atriplex halimus*, etc.) et de groupements crassulescents (V 98, V 102, V 103, etc), d'espèces et groupements gypsophiles (V 64, V 68) dont la liaison avec l'axe 1 est nettement moins forte que pour les espèces précédentes.

La signification écologique de l'axe 1 apparait clairement ; il traduit une influence prépondérante des facteurs édaphiques : salure et surtout nappe phréatique proche de la surface. Outre les sols hydromorphes, la quasi totalité des sols halomorphes, les sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux et un certain nombre de sols (sous-groupes halomorphes comme S 18, S 19, S 23, etc) ont des coordonnées positives sur l'axe 1.

Axe 2 (carte 1).

Il regroupe un grand nombre d'espèces, depuis la végétation forestière des régions subhumides et semi-arides à l'extrémité positive, jusqu'aux espèces et groupements sahariens et dunaires dans sa partie négative ; les espèces steppiques de l'aride assurant la transition entre ces milieux nettement différenciés.

Pour l'essentiel, l'axe 2 est défini par un groupe d'espèces forestières (*Quercus ilex, Cistus villosus, Pinus halepensis, Juniperus oxycedrus, Phillyrea angustifolia, Rosmarinus tournefortii, Juniperus phoenicea,* etc.) auxquelles se rattachent les groupements forestiers du subhumide, semi-aride et aride supérieur (V 11, V 3, V 10, V 5, V 6, V 1, etc) avec un passage progressif aux groupements steppiques.

Le nombre et la diversité des espèces ne permet pas d'entrer dans les détails mais ceci n'altère en rien la signification climatique de l'axe 2 ; il représente un gradient d'aridité croissante allant des forêts et matorrals du Tell aux steppes les plus arides.

Axe 3 (carte 2).

Coté positif, l'axe 3 précise une autre direction privilégiée du nuage avec un ensemble important d'espèces et la plupart des groupements de jachères et cultures (V 84, V 74, V 86, etc.).

Après les facteurs édaphiques et climatiques, apparaît le troisième élément du triptyque écologique : les facteurs liés à l'action de l'homme . Ils se manifestent avec l'individualisation d'un cortège floristique plus ou moins spécifique des milieux cultivés: *Vicia monantha, Papaver rhoeas, Anacyclus clavatus, Sisymbrium*

runcinatum, etc.

De plus, un certain nombre d'espèces halophiles (*Salsola tetrandra, Atriplex halimus, Atriplex glauca*, etc.) et de groupements crassulescents (V 103, V 98, V 102, V 96 , V 105,etc.), s'éloignant de l'axe 1, occupent l'espace N-E de la carte 2 en situation intermédiaire entre les axes 1 et 3.

Axe 4 (carte 2).

Il correspond précisément à ce groupe d'espèces halophiles qui représenteraient des milieux à la fois salés et cultivés avec un cortège floristique mixte (salure et cultures).

Axe 5

Rien de très distinct, si ce n'est un ensemble fort important de relevés, dont PR 1, proches du centre de gravité du nuage avec des espèces steppiques classiques sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (*Helianthemun hirtum* ssp.*ruficomum*, *Artemisia herba-alba, Noaea mucronata,etc).*

Axe 6 (carte 3)

Il distingue, sans confusion possible, le groupe des espèces spécifiques des sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux. Sur les 47 relevés participant effectivement à l'individualisation de cet axe, on vérifie qu'il s'agit de la totalité des sols à encroûtement gypseux (S 70 à S 74), soit 39 relevés; s'y ajoutent 5 sols halomorphes à encroûtement gypseux de nappe (S 112, S 113) relativement peu salés, le reste étant parmi les sols à roche-mère gypseuse ou riches en gypse (S1, S 23, S 104).

La liaison est donc indiscutable entre la présence en surface d'un encroûtement gypseux (25 à 95% de gypse total) et le groupe d'espèces caractéristiques du groupement à *Erodium glaucophyllum* (V 64), bien classiques des régions arides d'Afrique du Nord: *Erodium glaucophyllum, Herniaria mauritanica, Lepidium subulatum, Helianthemum lippii* var. *intricatum*. C'est ainsi que se trouve mis en évidence le premier groupe écologique édaphique, celui des encroûtements

gypseux de surface (1).

Au surplus, l'axe 6 fait ressortir un groupe d'espèces liées à la présence de gypse et assurant la transition avec les autres milieux halomorphes, steppiques ou cultivés : *Zygophyllum cornutum, Limoniastrum guyonianum, Frankenia thymifolia, Suaeda mollis, Traganum nudatum, Reaumuria vermiculata.*

Axe 7 (carte 3)

Il oppose les espèces et groupements des régions sahariennes (V 58, V 59, V 61), coté positif, à la végétation dunaire (V 51, V 54, V 55) avec *Saccocalyx satureoîdes, Aristida pungens, Astragalus gombo, Malcolmia aegyptiaca,* etc.

+ Conclusions

Dans cette première analyse portant sur la totalité des relevés, la signification écologique des 7 premiers axes factoriels, soit plus de 24 % de l'inertie totale, apparait clairement. L'analyse dégage et hiérarchise, dans ses grandes lignes, les influences majeures des trois principaux facteurs écologiques :

- les facteurs édaphiques se manifestent en tout premier lieu (axe 1) avec l'action spécifique et discriminante de la nappe phréatique proche de la surface et de la salure sans qu'il soit possible de faire la part précise de l'un ou de l'autre facteur. Néanmoins, l'originalité des milieux hydromorphes et halomorphes (2), pratiquement indépendants des facteurs climatiques, se trouve vérifiée avec un ensemble d'espèces dont il conviendra de rechercher plus en détail la distribution.

Avec l'axe 6, le groupe écologique édaphique des encroûtements gypseux de surface s'individualise sans ambiguité. La végétation dunaire apparait également avec l'axe 7 qui ébauche dans sa partie négative un regroupement des espèces psammophiles.

---

(1) L'examen des profils écologiques (TFR) montre qu'il s'agit "d'espèces indicatrices" de ce facteur dans la mesure où elles sont indifférentes pour tous les autres facteurs (GOUNOT, 1969) ; c'est-à-dire qu'en fait, on ne les retrouve pas dans d'autres milieux.

(2) Les milieux hydromorphes et halomorphes correspondent en fait aux milieux dont la végétation est à dominance d'espèces phréatophiles et halophiles. Pour faciliter la lecture, ce terme sera utilisé dans la suite du texte.

En fin de compte, l'action d'un certain nombre de facteurs édaphiques (nappe, salure, encroûtement gypseux, dunes) transparait nettement avec des groupes écologiques édaphiques encore peu précis le plus souvent.

- les facteurs climatiques. L'axe 2 traduit indubitablement un gradient d'aridité croissante pour la végétation naturelle depuis les groupements forestiers et de dégradation forestière des versants subhumides, semi-arides et arides (aride supérieur) jusqu'aux groupements steppiques des zones les plus arides.
- les facteurs anthropiques. Avec l'axe 3, l'action de l'homme (cultures) s'exprime par un ensemble d'espèces spécifiques dont il conviendra, là aussi, de rechercher plus en détail la distribution en même temps que le passage aux principaux ensembles précédents.

L'analyse permet de vérifier la diversité de l'échantillonnage et de constater que les résultats s'accordent dans leur ensemble aux travaux déjà réalisés en Afrique du Nord.

Les premières conclusions suggèrent aussi la poursuite logique de l'analyse en considérant maintenant deux ensembles : les relevés regroupant les espèces phréatophiles et halophiles, milieux hydromorphes et halomorphes, et l'ensemble des relevés restants.

- L'analyse des milieux hydromorphes et halomorphes est nécessaire pour approfondir et montrer l'action spécifique des facteurs édaphiques, salure, gypse, texture, etc. Pratiquement le choix des ensembles à traiter peut se concevoir de deux façons :
  . en tenant compte d'ESP-REL 1 et en prenant effectivement les relevés contribuant à l'axe 1.
  . en traitant systématiquement l'ensemble des sols hydromorphes (S 103 et S 104) et des sols halomorphes (S 105 à S 120) dans la mesure où ils constituent la quasi totalité des relevés précédents.

Cette dernière solution sera adoptée avec l'analyse ESP-HAL (cf. p. 253).

- L'analyse de l'ensemble des relevés restants ne portera en fait que sur les zones steppiques arides ; les relevés effectués dans les régions subhumides et semi-arides du Tell et les régions sahariennes sont exclus du traitement ainsi que les sols calcimagnésiques

gypseux (1) (S 68 à S 74) et évidemment les sols hydromorphes et halomorphes (S 103 à S 120). Il reste donc 889 relevés pour l'analyse suivante : ESP-REL 2.

2 - ESP-REL 2 : 879 R X 186 E (FA $\geqslant$ 20)

On introduit comme variables supplémentaires, outre 144 espèces peu fréquentes (FA < 20) et les 81 groupements végétaux restants, la totalité des variables concernant le milieu (tableaux 31 et 32) : climat, géomorphologie, familles de sols et données édaphiques complémentaires (recouvrement, nappe et horizon de surface).

Au total, 362 variables supplémentaires caractérisent donc un ensemble de 879 relevés dont la moitié se trouve dans l'aride moyen. Toutes les formations végétales sont représentées, surtout les steppes (environ les 2/3 des relevés). Les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (G 3 et G 4) sont également très largement représentées (50 % de l'ensemble).

+ Signification écologique des axes (cartes 4 et 4 bis).

L'examen des résultats de l'analyse, cartes et contributions, établit très clairement pour les 5 premiers axes factoriels l'interprétation suivante :

. Axe 1 : gradient climatique d'aridité croissante avec en particulier une individualisation nette des formations forestières de l'aride supérieur.

. Axe 2 : Cultures avec un gradient de texture, très fine à moyenne .

. Axe 3 : Végétation dunaire et plus généralement sols profonds de texture très grossière à grossière avec des espèces psammophiles.

. Axe 4 : Sous-variante thermique (M'4 et M'3, c'est-à-dire M' > 12°C) de l'aride inférieur en zones présahariennes.

. Axe 5 : Salure en profondeur.

(1) Les deux relevés correspondants aux sols bruns gypseux (S 68 et S 69) ont été exclus à tort ; ils ne participent nullement à l'individualisation de l'axe 6 car l'horizon A masque complètement la présence de l'encroûtement gypseux ou du gypse massif.

VARIABLES \ ESP-REL		1	2	21 FORETS	22 CULT.	23 PSAM.	24 A. INF.	25 SAL.	31 NOY. 1	32 NOY. 2
MATRICE DES DONNEES	REL.	1139	879	120	127	86	106	55	367	237
	ESP.	222	186	95	82	88	67	53	85	92
ESPECES VEGETALES (variables supplémentaires)	ESP.	128	144	104	104	69	101	74	149	101
CLIMAT	P1 (SH)	39								
	P2 (SA)	27								
	P3 (AS)	228	213	114	44	2		3	45	30
	P4 (AM)	606	469	6	82	58	9	42	265	184
	P5 (AI)	217	197		1	26	97	10	57	23
	P6 (Sah)	6								
	m 1	158	139	95	10	2			31	21
	m 2	965	740	25	117	84	106	55	336	216
	M'1	156	120	81	10	2			26	18
	M'2	759	578	38	116	59	12	46	296	201
	M'3	188	167	1	1	25	83	9	43	18
	M'4	20	14				10		2	
GEOMORPHOLOGIE	G1 (VR)	265	203	69	8	26	26	10	61	
	G3 (QA)	190	186	11	29	1	41	3	103	102
	G4 (QM)	269	257	40	20	18	32		144	135
	G5 (EO)	42	35			25		1	1	
	G6 (TA)	92	52		16	10	2	5	19	
	G7 (TR)	25	15		1	4	1		8	
	G8 (ZE)	86	57		19	1	2	22	11	
	G9 (CH)	47	42		25	1	2	2	11	
	G10 (DA)	40	32		9			12	9	
	G11 (DN)	57								
	G12 (MC)	10								
FORMATIONS VEGETALES	FM	71	46	46						
	α	215	209	50	1	8	49	1	100	72
	St	489	415	24	36	55	66	8	225	154
	Cult.	216	172		88	21	1	14	41	11
	Hal.	132	37		2	2		32	1	
TEXTURE (Horizon de surface)	A 5	22	16			8			3	3
	A 20	184	159	14	14	36	15	3	77	41
	A 40	457	419	58	57	4	72	14	211	161
	A 70	142	95	14	39		1	19	17	4
	A 99	48	15		5			6	4	
	Pas d' analyse	270	175	34	12	38	18	13	55	28

Tableau 31 : Tableau récapitulatif des principales variables écologiques dans l'analyse globale ESP-REL (ESPECES-RELEVES)

TEXTURE	A 5	A 20	A 40	A 70	A 99	PA (1)		
	16	159	419	95	15	175		
MAT. ORG.	H 0,5	H 1,0	H 1,5	H 2,5	H 9,9	PA		
	134	240	177	130	36	162		
pF 4,2	F 5	F 10	F 20	F 30	PA			
	104	274	278	9	214			
pF 2,5	D 10	D 20	D 30	D 40	PA			
	105	372	171	17	214			
CONDUCTIVITE	C 2	C 4	C 8	C 16	C 32	C 64	PA	
	606	74	13	6	3 (2)	1 (2)	176	
CALC. TOTAL	L 2	L 10	L 25	L 50	PA			
	66	219	325	117	152			
GYPSE TOTAL	Y 2	Y 10	Y 25	Y 50	Y 99	PA		
	703	5	2	1	1	167		
pH	& 7,2	& 7,8	& 8,2	PA				
	14	336	333	188				
RECOUVREMENT	R 1	R 2						
	674	205						
NAPPE	N 5	N 6	N 7					
	3	30	846					
NOMENCLATURE	U 1	U 4	U 8	U 10	U 11	U 14	U 17	U 35
	46	29	17	177	604	4	1	1

Tableau 32 Tableau récapitulatif des données édaphiques complémentaires dans ESP-REL 2.

(1) Pas d'analyse
(2) Les conductivités très élevées correspondent aux régosols et sols régosoliques sur argiles versicolores (Atlas Saharien).

Axe 1.

La signification écologique de l'axe 1 apparait nettement :

- d'une part, coté positif, avec le regroupement des formations forestières de l'aride supérieur représentées par un groupe d'espèces forestières : *Pinus halepensis, Quercus ilex, Juniperus oxycedrus, Rosmarinus tournefortii, Juniperus phoenicea, Helianthemum cinereum* var. *rubellum*, etc.

A cet ensemble se rapportent 9 familles de sols sur calcaires durs, grés ou marno-calcaires (S 60, S 35, S 43, etc) mais ayant en commun un horizon de surface humifère (H 9,9 ; c'est-à-dire un taux de matière organique supérieur à 2,5 %).

- d'autre part, avec la position des variables climatiques qui s'ordonnent le long de l'axe ; il faut remarquer toutefois la place de P 5 et surtout M'4 dans le secteur N-O de la carte. Elle imprime une inflexion au gradient climatique d'aridité croissante matérialisé par la droite reliant P 3 - P 4 - P 5. On note également les liaisons de P avec les différentes valeurs de températures (m et M'). Pour vérifier et illustrer la signification climatique de l'axe, les valeurs réelles de P sont indiquées aux lieux et places des relevés situés à proximité immédiate d'une station météorologique (carte 4 bis). La diminution progressive du taux de matière organique des horizons de surface s'observe également le long de ce gradient d'aridité (H 9,9 - H 2,5 - H 1,5 - H 1,0 - H 0,5).

Axe 2.

Il montre, dans sa partie négative, un ensemble d'espèces annuelles associées à des groupements de jachères et cultures (V 84, V 80, V 90, etc.) : *Ranunculus arvensis, Vicia monantha, Papaver rhoeas, Anacylus clavatus, Lolium rigidum, Papaver hybridum*, etc. Une liaison plus ou moins étroite s'observe avec certaines familles de sols (vertisols : S 27, S 28, etc. ; sols peu évolués : S 16, S 14 ; etc.) et certaines situations géomorphologiques (zones d'épandage : G 8 ; chenaux d'oueds alluvionnés : G 9 ; dayas : G 10). En outre, la texture des horizons de surface est alors très fine à fine (A 99, A 70) avec des valeurs élevées de la capacité de rétention (D 40) et du point de flétrissement (F 30).

La signification écologique de l'axe se trouve encore confirmée par la position de U 10, Horizon Ap de labour .

Axe 3.

La végétation dunaire (V 51, V 54), très bien individualisée à l'extrémité négative de l'axe 3, passe progressivement à des groupements où dominent les espèces psammophiles (V 41, V 78, V 47, etc.) avec des sols profonds de texture très grossière (A 5) à grossière : sols minéraux bruts ou peu évolués d'apport éolien (S 4, S 5, S 21) et siérozems (S 77, S 91) correspondant aux formations éoliennes (G 5). Parmi les espèces citons : *Imperata cylindrica* et *Phragmites communis* (présence d'une nappe en profondeur soit V 54 et S 5), *Saccocalyx satureoides*, *Astragalus gombo*, *Malcolmia aegyptiaca*, *Aristida pungens*, *Nolettia chrysocomoides*, etc.

A l'opposé, avec des coordonnées positives, les sols à croûte calcaire (G 3, G 4 et S 51, S 52, etc), parmi lesquels PR 1, forment un ensemble encore peu différencié, proche du centre de gravité du nuage, avec des espèces dominantes comme : *Herniaria fontanesii*, *Noaea mucronata*, etc.

Axe 4.

Il est engendré essentiellement par des facteurs climatiques (M'4, P 5 et M'3) auxquels sont associées d'assez nombreuses espèces : *Ephedra alata*, *Farsetia aegyptiaca*, *Gymnocarpos decander*, *Arthrophytum scoparium*, etc. (V 15, V 57, V 24, V 61). Les relevés concernés par ces espèces (d'origine saharo-sindienne) se localisent en bordure sud de l'Atlas saharien.

Axe 5.

L'axe 5 s'individualise fortement en relation avec des facteurs édaphiques dominés par la salure. Ainsi trouve-t-on des groupements crassulescents très divers (V 102, V 101, V 96, V 95, V 97) et les groupements à *Salsola vermiculata* var. *villosa* (V 42, V 83, etc.) caractérisés par les espèces halophiles (cf. ESP-REL. 1, axe 4) : *Atriplex halimus*, *Salsola tetrandra*, *Atriplex glauca*, et naturellement *Salsola vermiculata* var. *villosa*.

Les sols correspondants attestent d'une salure peu élevée en surface, inférieure à 8 mmhos-cm rarement supérieure (C 8, C 4) ; elle est plus importante en profondeur puisque la plupart des familles appartiennent à des sous-groupes halomorphes de sols peu évolués (S 17, S 18, S 19, S 22) et de vertisols (S 29) ou bien alors il s'agit de régosols et sols régosoliques formés sur des marnes plus ou moins salées et gypseuses (S 1, S 9, S 2, etc.). De plus, la nappe phréatique est parfois relativement peu profonde, entre 2 et 6 mètres (N 6).

+ Conclusions

Compte-tenu de l'ensemble des relevés traités, c'est-à-dire en l'absence surtout des milieux hydromorphes, halomorphes et gypseux (encroûtement), les résultats s'accordent avec l'analyse précédente ESP-REL. 1 quant à la nature et à la hiérarchie des principaux facteurs écologiques :

- le climat intervient en premier lieu, particulièrement la pluviosité, traduisant ainsi son importance,évidente en zones arides, dans le bilan hydrique des sols et par voie de conséquence dans la nature du couvert végétal.
- les facteurs anthropiques avec les cultures, représentent le second déterminisme écologique, d'autant plus net que la texture des sols est plus fine.
- les facteurs édaphiques enfin se manifestent encore avec les textures très grossières et grossières (dunes et sols sableux profons) et la salure en profondeur.

En outre, l'examen plus détaillé des cartes 4 et surtout 4 bis montre une disposition d'ensemble tout à fait remarquable de la végétation et du milieu :

- les versants (G 1) sur substratum géologique occupent la partie Nord de la carte avec les deux séquences sur calcaires durs et sur grés. Elles se matérialisent sur les cartes par l'indication des familles de sols mais surtout par les deux successions de groupements végétaux que l'on peut suivre, dans le sens d'une

aridité croissante, depuis les formations forestières de l'aride supérieur jusqu'aux steppes à alfa de l'aride inférieur : sur calcaires durs (V 1, V 2, V 16, V 18, V 20, V 22, V 23, V 24, V 15) et sur grés (V 6, V 7, V 9, V 36, V 28, V 29). Les groupements de dégradation sur grés sont "décalés" vers le bas sur la carte 4 bis (V 50, V 62) ou se rapprochent de l'ensemble psammophile de l'axe 3, lorsqu'ils sont plus ou moins ensablés (V 39, V 41).

- les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (G 3 et G 4) présentent une succession analogue, sensiblement parallèle, avec en particulier les groupements de steppes à alfa depuis l'aride supérieur jusqu'à l'aride inférieur (V 12, V 25, V 26, V 13, V 14, V 61). Les groupements plus ou moins dégradés (V 45, V 43) ou bénéficiant d'appoint d'eaux de ruissellement (V 46) et surtout les jachères et cultures (V 77, V 89) s'individualisent très nettement vers le bas de la carte, le long de l'axe 2.

- les formations alluviales (G 8, G 9) et les dayas (G 10), correspondant aux zones les plus basses du paysage, sont aussi très cultivées ; elles s'opposent aux deux ensembles précédents.

- les formations éoliennes (G 5) occupent une situation bien individualisée alors que les terrasses anciennes et récentes (G 6 et G 7) ne bénéficiant pas d'apport d'eaux de ruissellement assurent la transition entre les piédmonts encroûtés et les zones basses de paysage.

Finalement, les cartes 4 et 4 bis permettent de mettre en évidence un triple gradient : climatique, topographique et de dégradation : fig. 36.

- le gradient climatique d'aridité croissante s'inscrit le long de l'axe 1 avec une inflexion pour les zones présahariennes. Ce gradient intéresse surtout les versants (G 1) (1) et les surfaces encroûtées (G 3 et G 4) où la végétation est sous l'influence prépondérante du climat : formations forestières et steppiques encore peu dégradées (végétation "climatique" de type zonal).

---

(1) Les versants à substratum marneux présentent une grande diversité et se répartissent sur l'ensemble de la carte ; les facteurs édaphiques (nature de la marne, texture, salure, etc.) et anthropiques devenant prépondérants (cf. ESP-REL. : MARNES).

- le gradient topographique est schématisé par la diagonale NE-SO : depuis les reliefs jusqu'aux zones basses : versants (G 1) sur le substratum géologique (calcaires durs et grés en particulier), piedmonts encroûtés (G 3, G 4), terrasses anciennes et récentes (G 6, G 7), zones d'épandage et chenaux d'oueds alluvionnés (G 8, G 9) et enfin dayas (G 10).
- gradient ou degré de dégradation (*sl*) : depuis les steppes d'alfa jusqu'aux cultures, dans le même sens que le précédent, avec semble-t-il une importance de plus en plus grande prise par les facteurs anthropiques et édaphiques (texture, salure, apport d'eaux de ruissellement).

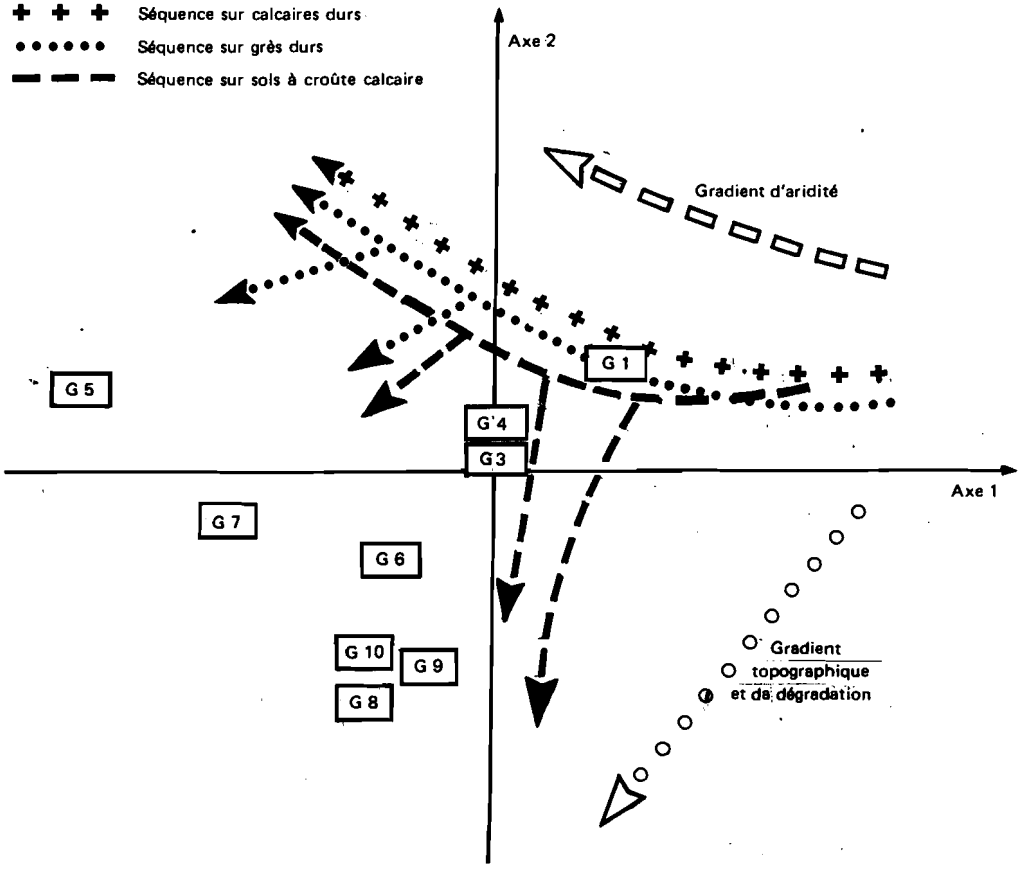


Figure 36 - ESP-REL 2 (axes 1 - 2) : schéma général des relations végétation-milieu avec les trois principaux gradients

Sur cette carte factorielle on voit s'esquisser un véritable "panorama synthétique" (BONIN, 1978) de l'agencement des différents milieux entre eux et par rapport aux principaux gradients écologiques.

Le nombre très important de relevés et la diversité des milieux ne permet pas là aussi de préciser davantage l'action des différents facteurs écologiques. Il est donc nécessaire d'étudier maintenant les sous-ensembles de relevés correspondant aux 5 axes factoriels en traitant successivement : (fig. 37)

- ESP-REL. 21 : FORETS - ARIDE SUPERIEUR (axe 1)
- ESP-rel. 22 : CULTURES (axe 2)
- ESP-REL. 23 : PSAMMOPHILES (axe 3)
- ESP-REL. 24 : ARIDE INFERIEUR - M'4 (axe 4)
- ESP-REL. 25 : SALURE (axe 5).

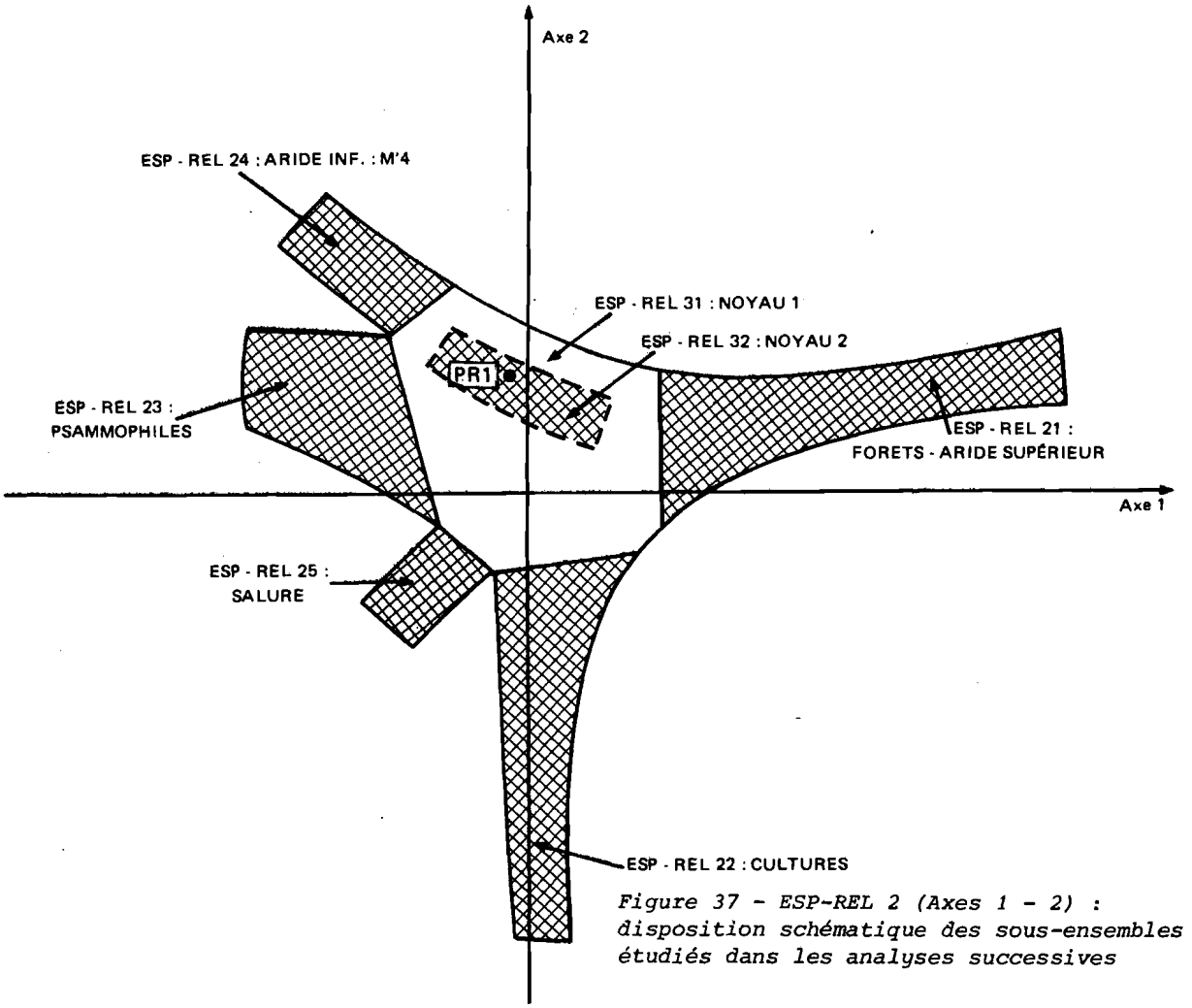


Figure 37 - ESP-REL 2 (Axes 1 - 2) : disposition schématique des sous-ensembles étudiés dans les analyses successives

Le reliquat des relevés, y compris PR 1, représentant la partie centrale du nuage, fera l'objet de l'analyse : ESP-REL. 3 : NOYAU (ESP-REL. 31 et 32).

3 - ESP-REL 21 : FORETS ARIDE SUPERIEUR

La matrice comprend : 120 R x 95 E (FA $\geqslant$ 10) (1)

L'ensemble des relevés étudiés ici caractérise les versants et les piedmonts encroûtés des régions les plus humides et les plus froides (tableau 31) : forêts-matorrals et steppes le plus souvent à dominance d'alfa ; les sols sont généralement humifères bien structurés et encore peu dégradés.

+ Signification écologique des axes

La carte 5 (axes 1-2) montre d'une façon très claire :

- l'opposition entre les versants (G 1) et les piedmonts encroûtés du Quaternaire ancien et moyen (G 3, G 4), de part et d'autre de l'axe 1.

- le gradient climatique exprimé par l'axe 2 ; plus particulièrement les variantes thermiques m1 M'1, hivers froids à température diurne basse (coté négatif) et m2 M'2, hivers frais à température diurne moyenne (coté positif). A cette augmentation des

(1) Le seuil de fréquence absolue est modulé empiriquement en tenant compte du nombre plus ou moins grand de relevés à traiter.

températures hivernales correspond une diminution de la pluviosité, matérialisée par les positions respectives de P 3 et P 4.

En conséquence, il n'est pas surprenant de trouver dans le quart S-E de la carte 5 la majorité des espèces et des groupements forestiers puisqu'il s'agit là des milieux à la fois les plus élevés (versants de djebels) et les plus humides mais aussi les plus froids.

On constate également, selon l'axe 1, un gradient de la teneur en calcaire et des valeurs du pH des horizons de surface.

Tout compte fait, la combinaison des axes 1 et 2 traduit une nette individualisation des substrats : grés et calcaires durs.

- **séquence sur grés**, dans la partie dextre de la carte, avec la succession des groupements forestiers et de dégradation forestière dans le sens d'une pluviosité plus faible pour des températures hivernales devenant plus élevées : depuis les groupements à *Quercus ilex* et *Cistux salvifolius* (V 6) jusqu'aux formations à *Juniperus phoenicea* (V 7), y compris celles de l'aride moyen (V 9). On passe ainsi des sols non calcaires et à pH neutre (sols fersiallitiques et sols bruns calciques : S 60, S 95, S 59) à des sols faiblement calcaires et à pH plus élevé (sols bruns calcaires et sols calcimagnésiques xériques : S 37, S 48).
- **séquence sur calcaires durs** depuis les groupements forestiers plus ou moins dégradés à *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* ou *Juniperus phoenicea* (V 1, V 2) jusqu'aux steppes d'alfa à *Lawnaea acanthoclada* (V 16, V 18) dans le sens du même gradient climatique. Aux rendzines humifères (S 35) succèdent les sols calcimagnésiques xériques (S 47). Les sols humifères sur marno-calcaires (S 43 et S 36) assurent la transition avec les sols à croûte calcaire localisés dans la partie sénestre de la carte.

Sur **les sols à croûte calcaire**, les groupements steppiques s'ordonnent en fonction des variantes thermiques :

- groupement à *Onobrychis argentea* et *Thymelea tartonraira* (V 12) pour les hivers froids et températures diurnes basses (axe 3)
- groupement à *Onobrychis argentea* et *Hippocrepis scabra* (V 37)

- groupement à *Artemisia herba-alba* et *Hippocrepis scabra* (V 25) pour les hivers froids à frais.

+ Conclusions

Dans cet ensemble de relevés, effectués en milieux forestiers et steppiques de l'aride supérieur, deux groupes de facteurs écologiques jouent un rôle essentiel en plus de la pluviosité :

- les facteurs édaphiques et tout particulièrement la nature du substrat avec la distinction entre :

. d'une part, les versants sur grés et sur calcaires durs.
. d'autre part, les piedmonts encroûtés ; les versants marneux et surtout marno-calcaires assurant la transition entre les deux ensembles.

- les facteurs climatiques, thermiques essentiellement en relation avec l'altitude et vraisemblablement l'exposition.

4 - ESP-REL. 22 : CULTURES

La matrice des données comprend : 127 R x 82 E (FA $\geqslant$ 10).

Les 127 relevés représentent des milieux relativement variés de l'aride supérieur et moyen comprenant une majorité de jachères et cultures mais aussi de steppes à chamaephytes ; la variété des situations géomorphologiques ne doit pas cacher l'importance particulière des chenaux d'oueds alluvionnés (G 9) et des zones d'épandage (G 8). (cf. tableau 31).

+ Signification écologique des axes

Axe 1 (carte 6) : degré de dégradation *(sl)*

Il est marqué par l'opposition très nette entre un ensemble d'espèces steppiques appartenant au groupement à *Artemisia herba-alba* et *Poa bulbosa* (V 46) sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien (G 3) et les espèces des groupements de cultures correspondant aux zones d'épandages, dayas, chenaux d'oueds alluvionnés, (G 8, G 10, G 9, etc.). Les positions respectives de U 11, horizon A non labouré, et de U 10, horizon de labour, soulignent

encore cette opposition.

Coté positif avec U 11, les principales espèces constituant l'axe 1 sont : *Nardurus maritimus, Alyssum granatense, Noaea mucronata, Artemisia herba-alba, Stipa parviflora,* etc...

Coté négatif avec U 10 : *Scolymus hispanicus, Mantisalca duriaei, Papaver rhoeas, Launaea nudicaulis, Lolium rigidum,* etc...

Axe 2 (Cartes 6 et 7). La texture de l'horizon de surface apparaît clairement comme étant le facteur déterminant avec un gradient textural très net : des textures grossières (A 20) pour les coordonnées positives jusqu'aux textures fines à très fines (A 70 et A 99) pour les coordonnées négatives.

Le gradient textural s'accompagne d'une augmentation du taux de calcaire total et de la rétention en eau (pF 4,2 et pF 2,5).

En outre, pour les textures les plus fines, la salure des horizons de surface peut s'élever jusqu'aux environs de 8 mmhos-cm (C 4 et C 8).

Axe 3 (carte 7)

L'axe 3 montre l'influence des facteurs climatiques pour un gradient pluviométrique (cf. P 3 et P 4). La carte 7 (axes 2 et 3) présente l'intérêt de placer les espèces dans un système de coordonnées, en abscisses la texture de l'horizon de surface et en ordonnées la pluviosité, permettant de les situer immédiatement par rapport à ces deux facteurs écologiques.

+ Conclusions

Le degré de dégradation, caractérisant l'axe 1, exprime en fait l'intensité du facteur anthropique (cultures), dominant dans cet ensemble de relevés ; le passage est progressif entre une végétation de steppe plus ou moins dégradée par l'homme et une végétation composée d'espèces généralement annuelles spécifiques des milieux cultivés. A cet égard, certains groupements steppiques de transition (V 46) correspondent aux zones bénéficiant d'un appoint d'eaux de ruissellement qu'expliquerait, pour une part, leur mise en culture actuelle et surtout ancienne.

Le second facteur, texture de l'horizon de surface, paraît logique dans la mesure où il s'agit essentiellement d'espèces annuelles à enracinement peu profond : la granulométrie de cet horizon devient un élément déterminant de la rétention en eau pour des sols généralement assez profonds (sols peu évolués d'apport alluvial, siérozems, vertisols) mais parfois plus superficiels (sols à croûte calcaire).

La pluviosité, autre élément du bilan hydrique, n'intervient qu'ensuite, il s'agit en effet le plus souvent de zones recevant des apports d'eaux de ruissellement où les écarts se réduisent entre l'aride supérieur et l'aride moyen (compensation de facteurs).

5 - ESP-REL. 23 : PSAMMOPHILES

86 R x 88 E (FA > 5).

Pour l'essentiel les relevés appartiennent à l'aride moyen et inférieur à hivers frais (tableau 31). Très souvent localisés sur les formations éoliennes (G 5), les sols ont pour caractère commun un horizon de surface de texture très grossière à grossière (A 5, A 20) ; la plupart restent sableux sur au moins les 50/60 premiers centimètres (siérozems), les autres étant plus superficiels (sols sur grés ou parfois sols à croûte calcaire).

Une première analyse a permis de confirmer l'originalité du groupement à *Aristida pungens* et *Imperata cylindrica* (V 54) et sa liaison avec les sols de la famille S 5 (sols minéraux bruts d'apport éolien à nappe) ; originalité si forte qui oblige d'ailleurs à retirer les relevés de cette famille pour améliorer les résultats de l'analyse présentée ici.

+ Signification écologique des axes

Axe 1 (carte 8)

L'axe 1 exprime distinctement un gradient climatique d'aridité croissante avec, de part et d'autre de l'origine, deux ensembles plus différenciés :

- coté négatif, un ensemble d'espèces liées aux sols sur grés et siérozems sableux de l'aride inférieur (P 5, M'3) : groupement à *Arthrophytum schmittianum* et *Retama retam* (V 41) avec *Arthrophytum scoparium*, *Ononis natrix* ssp *polyclada*, *Astragalus armatus* ssp *tragacanthoides*, etc.
- coté positif, un ensemble d'espèces liées à des sols relativement profonds (siérozems) : groupement à *Artemisia campestris* (V 47) de l'aride moyen (P 4, M'3).

Axe 2

Cultures (U 10) de l'aride moyen avec en particulier les groupements à *Artemisia campestris* (V 76 et V 78) et les espèces : *Ziziphus lotus*, *Polygonum equisetiforme*, etc...

Axe 3

Les dunes (G: 5, S 4) et évidemment les textures très grossières caractérisent les coordonnées négatives alors que les textures grossières (A 20), éventuellement moyennes (A 40), correspondent aux coordonnées positives.

Comme précédemment la carte 7, la carte 8 (axes 1-3) permet d'avoir les espèces végétales dans un système de coordonnées : climat en abscisses et texture de l'horizon de surface en ordonnées.

Sur cette même carte, il est intéressant de noter la disposition générale des espèces et des variables écologiques :
- à la périphérie 4 ensembles liés aux différents axes et représentant des milieux précis : grés et siérozems sableux de l'aride inférieur (axe 1), cultures (axe 2), dunes et texture très grossière (axe 3), nappe phréatique en profondeur (axe 4).
- au centre, un ensemble d'espèces, largement communes à la plupart de ces milieux, représenterait le "noyau psammophile".

Axe 4

Il souligne la présence d'une nappe phréatique (N 5-N 6) accompagnée d'une faible salure en surface (C 4) et surtout en profondeur avec un sol peu évolué d'apport éolien halomorphe (S 22)

et les groupements à *Traganum nudatum* (V 68, V 101).

+ Conclusions

L'intérêt de cette analyse est de regrouper dans un même ensemble la quasi totalité des espèces psammophiles pour constater les faits suivants :

- les espèces psammophiles sont pratiquement les seules à coloniser les milieux dunaires et plus généralement les sols profonds de texture grossière (> 50-60 cm), tout en étant sensibles aux conditions climatiques (axe 1). C'est d'ailleurs la raison pour laquelle l'ensemble psammophile s'individualise si nettement dans l'analyse ESP-REL. 2, d'autant que les milieux dunaires forment un ensemble très spécifique.
- les espèces psammophiles s'ajoutent par contre à d'autres espèces dans les sols, certes sableux en surface, mais présentant à faible profondeur (10/20 cm) des caractéristiques différentes : grés, croûte ou encroûtement calcaire, gypse, salure, nappe, etc.
- les espèces psammophiles se répartissent en fonction d'un gradient granulométrique depuis l'ensemble bien caractéristique des textures très grossières (dunes) jusqu'aux textures grossières voire moyennes.

En définitive, texture et climat sont les deux principaux facteurs déterminant pour les groupes d'espèces psammophiles.

6 - ESP-REL. 24 : ARIDE INFERIEUR - M'4

106 R x 67 E (FA ⩾ 9)

L'ensemble des relevés se rattache dans sa quasi totalité à l'aride inférieur (P 5, M'3 et M'4) et intéresse les versants et piedmonts encroûtés de la bordure Sud de l'Atlas saharien (steppes à alfa et à chamaephytes).

+ Signification écologique des axes

Les axes 1 et 2 font apparaître distinctement le cadre géomorphologique avec :

- les versants à substratum gréseux, éventuellement calcaires durs, (G 1 et S 48, S 47) où dominent les espèces : *Helianthemum ellipticum, Lavnaea acanthoclada,* etc (axe 1 négatif).

- les surfaces encroûtées du Quaternaire moyen et surtout ancien (G 3 et S 51, S 53, S 58, etc.) avec : *Herniaria fontanesii, Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum, Atractylis serratuloides,* etc. (axe 2 positif). Les sols encroûtés sur marno-calcaires (S 50) assurent la transition entre ces deux premiers ensembles.

- les formations plus récentes (G 6, G 7, G 8, G 9) avec des sols plus profonds de type siérozems, parfois encroûtés (S 78, S 79, S 85, S 87, etc.) ; ils se rapprochent alors de l'ensemble précédent.

Globalement, on note selon l'axe 1, un léger gradient de texture (A 20 - A 40) confirmé par les valeurs de pF 4,2 et 2,5.

Axe 3 (carte 9, axes 2-3)

La signification climatique, surtout thermique, de l'axe 3 se traduit par une opposition marquée entre :

- d'une part M'2, lié à l'aride moyen P 4.
- et d'autre part M'4, lui même bien distinct de l'aride inférieur à température diurne élevée (P 5, M'3) situé au centre de la carte puisqu'il caractérise la majorité des relevés de cette analyse.

Quoiqu'il en soit la carte 9 permet une bonne visualisation des ensembles géomorphologiques définis précédemment et du gradient thermique : M'2, M'3, M'4.

Les espèces se disposent en fonction de ce gradient dans leur cadre édaphique :

- sur croûte, la succession des groupements depuis l'aride moyen jusqu'à M'4 (V 13, V 14, V 48, V 61) souligne ce gradient climatique avec à son extrémité *Ephedra alata, Helianthemum kahiricum, Farsetia aegyptiaca.*

- sur calcaires durs (V 22, V 15, V 23, V 24) et sur grés (V 28, V 29), la succession est identique. On constate une différenciation

de moins en moins nette entre les 2 types de substrats au fur et à mesure que M' augmente (V 57).

- enfin un certain nombre d'espèces, communes aux deux ensembles, seraient donc davantage liées aux conditions climatiques et thermiques plus particulièrement : *Limoniastrum feii, Gymnocarpos decander, Echium trygorrhizum, Farsetia hamiltoni, Salvia aegyptiaca.*

+ Conclusions

On retrouve dans cette analyse les deux groupes de facteurs écologiques prépondérants, outre la pluviosité, déjà mis en évidence dans l'aride supérieur (cf. ESP-REL 21) :

- les facteurs édaphiques et tout particulièrement la nature du substrat qui permet de distinguer :

. les versants sur grés et calcaires durs.
. les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen.
. les formations récentes avec des sols plus profonds (siérozems).

- les facteurs climatiques, essentiellement thermiques avec la sous variante M'4 dont l'importance tend à masquer peu à peu les facteurs édaphiques.

7 - ESP-REL. 25 : SALURE

55 R x 53 E (FA $\geqslant$ 2)

Les 55 relevés regroupent 16 familles différentes de sols caractérisés par une certaine salure en profondeur :

- sols peu évolués halomorphes formés sur alluvions de texture variable (S 17, S 18, etc.) dans les zones d'épandage , les terrasses anciennes et les dayas (G 8, G 6, G 10).

- régosols ou sols régosoliques formés sur marnes plus ou moins salées et gypseuses (S 1, S 2, S 8, etc.).

+ Signification écologique des axes

Axe 1 (carte 10, axes 1-2)

Il oppose les marnes plus ou moins salées et gypseuses

de l'aride supérieur (coté négatif) aux zones d'épandage avec une nappe phréatique en profondeur (N 6).

Les marnes de l'aride supérieur (P 3) se distinguent avec un groupe d'espèces plus ou moins gypsophiles (*sl*) : *Moricandia arvensis, Pteranthus dichotomus, Sisymbrium coronopifolium,* etc ; les régosols et sols régosoliques (S 1, S 2, S 8, S 9, etc.) sont en effet souvent gypseux même en surface (Y 10, Y 25).

Les zones d'épandage (G 8) correspondent à des sols peu évolués d'apport alluvial halomorphes (S 18) plus ou moins cultivés (U 10, V 83) : *Peganum harmala, Atriplex halimus, Suaeda fruticosa, Tamarix,* etc.

Axe 2

Les dayas (G 10) de l'aride inférieur (P 5) s'individualisent nettement avec des sols plus ou moins vertiques (S 15, S 26) et un ensemble d'espèces caractéristiques : *Althaea ludwigii, Trigonella anguina, Teucrium campanulatum, Polygonum patulum, Arthrophytum scoparium.*

Il faut remarquer la position centrale de *Salsola vermiculata* var. *villosa, Atriplex glauca* et *Lygeum spartum ;* Elles constituent un fond commun pour un grand nombre de relevés.

Axe 3 (carte 11, axes 1-3).

L'axe 3 dissocie l'ensemble des marnes gypseuses en 4 sous-ensembles :

- les marnes plus ou moins gypseuses de l'aride supérieur (S 1, U 14, Y 10, Y 25, V 97) avec : *Echinaria capitata, Sisymbrium coronopifolium, Euphorbia exigua, Pteranthus dichotomus.*
- les marnes plus ou moins gypseuses et salées de l'aride moyen (S 8, C 32, U 4, V 40) avec : *Moricandia arvensis, Atractylis serratuloïdes.*
- les argiles versicolores (S 2) avec le groupement à *Stipa tenacissima* et *Salsola vermiculata* var. *villosa* (V 17).

- les sols à croûte ou encroûtement calcaire, salés en profondeur (G 4, S 90, S 51) : groupement V 44 avec *Salsola vermiculata* var. *villosa* et *Atriplex glauca*.

Axe 4 (carte 11)

Il distingue les relevés, sableux en surface (U 10) et salés en profondeur, appartenant au groupement V 101 à *Traganum nudatum*.

Axe 5 (carte 11)

Le groupement de culture V 83 à *Artemisia campestris* et *Salsola vermiculata* var. *villosa* s'individualise assez nettement avec un cortège de psammophiles : *Aristida pungens, Onopordon arenarium, Marrubium desertii, Lotus pusillus*, etc.

+ Conclusions

Un tel ensemble de relevés offre une grande diversité de milieux écologiques ayant en commun une salure relativement élevée en profondeur, souvent supérieure à 7/8 mmhos-cm . C'est d'ailleurs cette salure qui les rassemble avec la présence quasi constante de *Salsola vermiculata* var. *villosa* et *Lygeum spartum* ; la présence des autres halophiles étant plus épisodique (*Atriplex glauca, Atriplex halimus, Salsola tetrandra*.

La composition floristique reflète la diversité des milieux. Aux groupes plus ou moins halophiles s'ajoutent des groupes très divers liés par exemple à la situation géomorphologique qui détermine pour une large part l'origine de la salure : versants marneux, zones d'épandage ou terrasses avec nappe en profondeur, dayas. Ceci correspond à différentes situations de drainage externe, donc de bilan hydrique, D'autres facteurs interviennent comme certaines caractéristiques des sols (texture, gypse, présence de croûte calcaire, etc.), les bioclimats et l'activité humaine (cultures).

Pour conclure, on doit souligner toute l'importance de cet ensemble de transition entre les milieux halomorphes, les

milieux steppiques et les cultures.

8 - ESP-REL 3 : NOYAU

a. ESP-REL. 31 : NOYAU 1 367 R x 85 E (FA ⩾ 19)

La totalité des 367 relevés restants fait l'objet d'une première analyse où les sols à croûte calcaire sont largement représentés (tableau 31).

+ Signification écologique des axes

Axe 1 : gradient climatique de l'aride supérieur à l'aride inférieur

Axe 2 : degré de dégradation marqué par l'opposition entre espèces steppiques vivaces sur versants et piedmonts encroûtés et espèces annuelles des steppes et de cultures.

Axe 3 : Texture grossière de l'horizon de surface et recouvrement éolien représentent les facteurs déterminants à l'élaboration de l'axe.

Axe 4 : Versants, sur grés et surtout calcaires durs, de l'aride inférieur à *Launaea acanthoclada* et *Arthrophytum scoparium*.

Axe 6 : Sols de texture fine à très fine (dayas, zones d'épandage).

Les résultats, sommairement résumés ici, soulignent la variété des milieux encore présents. On constate une signification écologique des axes très proche de celle d'ESP-REL. 2. L'étude des surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (G 3 et G 4) reste encore peu précise malgré 237 relevés qu'il est nécessaire de traiter séparément. C'est l'objet de l'analyse suivante.

b. ESP-REL. 32 : NOYAU 2

237 R x 92 E (FA ⩾ 10).

Il s'agit essentiellement de steppes de l'aride moyen sur des sols à croûte calcaire ; PR 1 se retrouve d'ailleurs parmi ces 237 relevés comprenant : 193 sols à croûte calcaire, 31 siérozems

à encroûtement calcaire et 13 sols plus profonds (siérozems modaux).

+ Signification écologique des axes

Axe 1 (Carte 12)

Il oppose nettement les espèces steppiques généralement vivaces (coté négatif) telles que : *Artemisia herba-alba, Herniaria fontanesii, Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum,* etc, à des espèces essentiellement annuelles soit de steppes dégradées, soit de cultures : *Eruca vesicaria, Papaver hybridum,* etc. (les rares espèces vivaces ne sont pas appétées comme *Thymelea virgata* par exemple).

A cette ségrégation correspondrait une certaine dégradation du couvert végétal (surpâturage et surtout cultures) ; les positions respectives de U 11 et U 10, des groupements de steppes et de cultures paraissent le confirmer.

En outre, on constate sur la carte 12 le regroupement des sols à croûte (S 51, S 52, etc), parmi lesquels PR 1, et des siérozems à encroûtement calcaire (S 87, S 90, S 92) de ce même coté négatif de l'axe 1 ; les siérozems plus profonds (S 78, S 77, S 82, etc) se situant du coté positif.

Axe 2

La carte 12 montre le gradient climatique le long de l'axe 2. Les espèces steppiques vivaces présentes sur les sols à croûte calcaire se trouvent ainsi placées dans leur contexte climatique, depuis *Onobrychis argentea* pour l'aride supérieur, jusqu'à *Arthrophytum scoparium* pour l'aride inférieur. Les espèces situées vers le centre et correspondant à l'aride moyen (*Artemisia herba-alba, Noaea mucronata, Telephium imperati,* etc) se retrouvent en fait dans toute la séquence climatique.

Axe 3 (carte 13)

La texture de l'horizon de surface apparait comme étant le facteur essentiel avec l'ensemble des psammophiles, coté positif : texture très grossière et grossière (A 5, A 20) et recouvrement éolien (R 2). En fait, on constate une série de gradients : texture,

matière organique et calcaire total.

Axe 5 : groupement V 35 à *Launaea acanthoclada* et *Ziziphus lotus* sur les cônes de piedmont très grossièrement caillouteux.

+ Conclusions

Ici encore, les 3 principaux facteurs écologiques se manifestent plus ou moins nettement :

- facteurs anthropiques avec le degré de dégradation, opposant les espèces steppiques généralement vivaces aux espèces le plus souvent annuelles des milieux dégradés par les cultures et le surpâturage.
- facteurs climatiques : pluviosité et températures.
- facteurs édaphiques avec la mise en évidence de l'influence :
. des croûtes et encroûtements calcaires par un ensemble d'espèces steppiques comprenant en première approximation 3 groupes en fonction des conditions bioclimatiques : aride supérieur, aride inférieur et groupe commun à l'étage aride. L'aride moyen ne semble pas présenter de groupes d'espèces spécifiques.
. de la texture de l'horizon de surface et de la présence d'un recouvrement sableux éolien.

9 - SYNTHESE DES RESULTATS ET DISCUSSION

Au terme de l'analyse globale ESPECES-RELEVES, et avant la poursuite du traitement des données, il importe :

- de faire le point sur les résultats acquis dans la mise en évidence des facteurs écologiques.
- de discuter la méthode d'analyse elle-même.

a. les résultats

+ Les principaux facteurs écologiques mis en évidence dans les analyses successives sont partiellement indiqués sur la figure 38 (ESP-REL.2) :

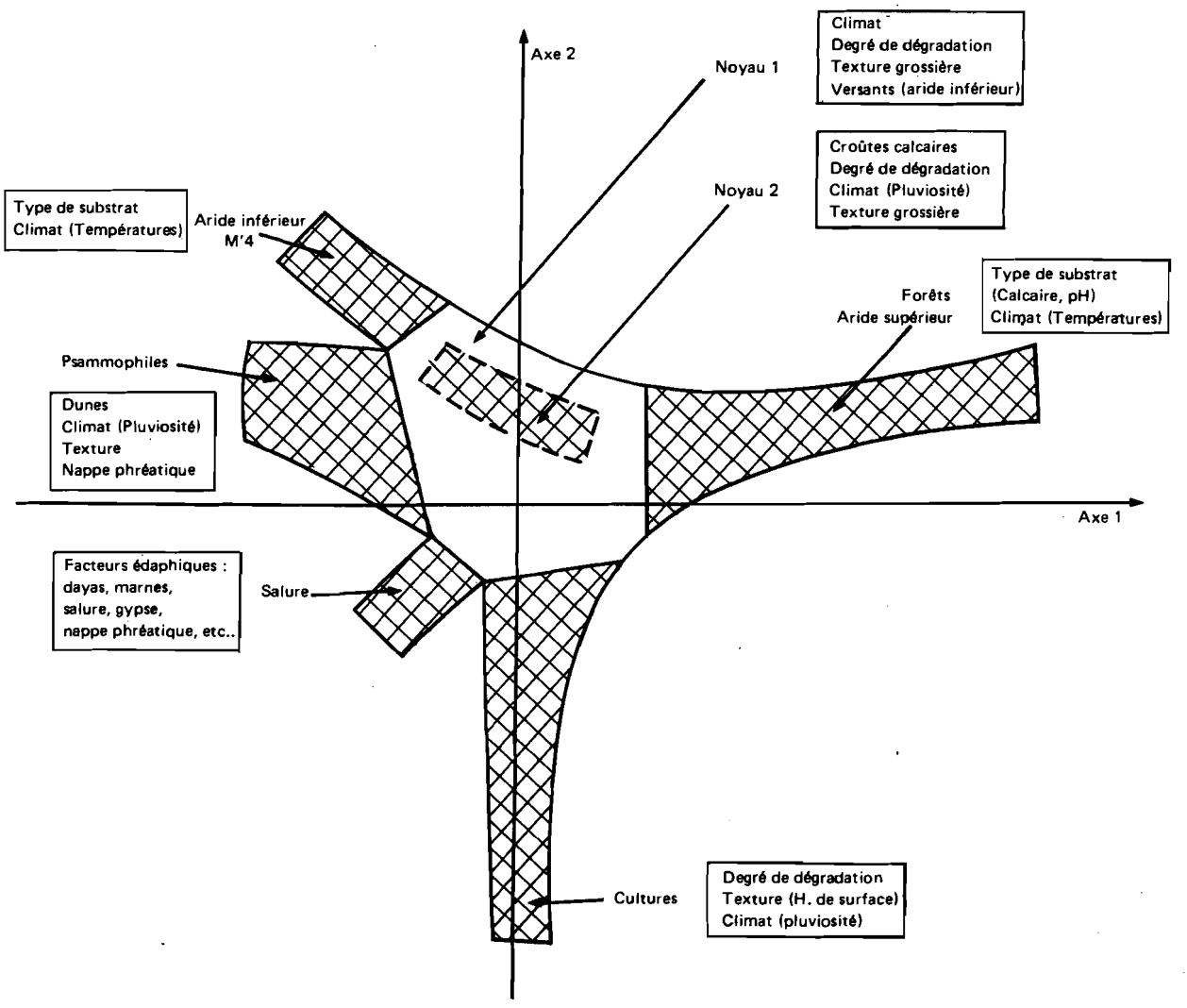


Figure 38 - ESP-REL 2 (Axes 1 - 2) : schéma récapitulatif des principaux facteurs écologiques mis en évidence dans les analyses successives

- les facteurs climatiques interviennent selon deux niveaux d'intensité. Ils apparaissent très importants et déterminants pour l'ensemble des formations forestières et steppiques situées sur les versants, calcaires durs et grés, et les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen : depuis les forêts de l'aride supérieur (axe 1 d'ESP-REL. 2) jusqu'aux steppes

présahariennes de l'aride inférieur (axe 4 d'ESP-REL. 2), en passant par les steppes de l'aride moyen. Sur ces différents substrats, les groupements végétaux s'ordonnent en fonction d'une aridité croissante (pluviosité et températures).

Les facteurs climatiques sont moins importants lorsque, à leur tour, les facteurs anthropiques (cultures) et les facteurs édaphiques (encroûtement gypseux, dunes, etc) deviennent prépondérants.

Enfin, dans les milieux hydromorphes et halomorphes (axe 1 d'ESP-REL. 1) l'influence du climat devient quasi nulle, au moins à l'échelle des steppes sud-algéroises.

- les facteurs anthropiques se manifestent très fortement par l'individualisation des groupements de jachères et cultures sur plusieurs types de sols. La texture de l'horizon de surface prend alors une grande importance (cf. ESP-REL. 22).
- les facteurs édaphiques, pratiquement exclusifs dans les milieux hydromorphes et halomorphes, interviennent schématiquement selon deux niveaux dans les autres milieux. Certains sont très importants : encroûtement gypseux de surface, dunes et texture très grossière, salûre et nappe phréatique en profondeur, dayas, apports d'eaux de ruissellement, etc. D'autres paraissent moins importants compte tenu de l'influence prépondérante du climat (types de substrats par exemple) ou de l'homme (texture de l'horizon de surface).

L'action d'un facteur dépend du milieu dans lequel il se trouve : la texture de l'horizon de surface n'a pas la même importance dans les cultures que dans les milieux forestiers ; il en est de même pour la pluviosité et bien d'autres facteurs.

L'intérêt de l'analyse globale ESP-REL est précisément de faire apparaître les principaux milieux où la hiérarchie et l'influence des facteurs écologiques s'exercent différemment. Les milieux correspondent aux axes factoriels les plus importants c'est-à-dire à des ensembles floristiques bien distincts.

+ Les principaux milieux écologiques

Outre les milieux hydromorphes et halomorphes, dont l'étude sera faite ultérieurement, on distingue :

- les milieux forestiers caractérisés par des sols humifères et situés dans les zones généralement les plus élevées et les plus humides ; la nature du substrat et les températures hivernales jouent un rôle essentiel.
- les milieux steppiques, qu'il est possible de subdiviser en deux ensembles :

. les steppes climatiques (végétation "climatique" de type zonal) où la végétation reste sous l'influence dominante du climat : versants et la plupart des surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen ; l'importance de la nature du substrat (grés, calcaires durs, croûte calcaire, etc) souligne l'influence des horizons profonds.

. les steppes édaphiques où précisément les facteurs édaphiques deviennent déterminants et se réfèrent :

- soit à des caractéristiques chimiques (encroûtement gypseux, salure) ou physico-chimiques (texture très grossière à grossière) des sols ou de la roche-mère.
- soit à des situations topographiques particulières qui modifient les conditions climatiques naturelles (dayas, zones bénéficiant d'apports d'eaux de ruissellement, nappe phréatique en profondeur).
- les milieux cultivés (jachères et cultures) où la texture de l'horizon de surface exerce une influence décisive à laquelle s'ajoutent les facteurs édaphiques précédents (salure, gypse, situation topographique) et les facteurs climatiques.

Entre ces différents milieux écologiques, les transitions se font progressivement.

b. L'analyse globale ESPECES-RELEVES

+ L'analyse ESPECES-RELEVES présente une certaine rigueur dans la

mesure où les variables écologiques n'interviennent pas dans le regroupement des espèces et des relevés ; les regroupements se faisant uniquement sur la base des données floristiques. Une erreur dans l'estimation de certaines classes, pluviosité et températures par exemple, ou l'omission d'une variable importante n'altèrent en rien le calcul et donc la position des espèces et des relevés sur les cartes.

Par contre, la méthode offre un aspect apparemment moins rigoureux avec la modulation que l'on introduit dans le nombre d'espèces participant effectivement à l'analyse. Cette modulation exprime un compromis entre la clarté et le niveau de l'étude : pour faire apparaître les grands ensembles, on ne retient que les espèces les plus fréquentes ; mais inversement pour ne pas simplifier à l'extrême, compte-tenu des données disponibles, on doit aussi tenir compte des espèces de moindre fréquence. En réalité, la signification des principaux axes factoriels n'est guère affectée alors que leur ordre peut se trouver légèrement modifié. Comme dans les tableaux phytosociologiques, les grandes subdivisions sont basées sur les espèces dont la fréquence est relativement importante. Les espèces plus rares interviennent éventuellement pour différencier des unités secondaires ou des unités très spécifiques.

+ L'analyse ESPECES-RELEVES opère des regroupements, tout en respectant les transitions. Elle regroupe ainsi, généralement vers l'extrémité des axes, des ensembles d'espèces et de relevés. Il s'agit :

- soit de regroupements nettement différents de l'ensemble.
- soit de termes extrêmes marquant une continuité dans l'influence de tel ou tel facteur le long d'un axe (axe climatique, axe textural, etc.)

Dans le premier cas, ce sont par exemple les milieux hydromorphes et halomorphes de l'analyse ESP-REL. 1 (axe 1). La transition avec l'ensemble se fait assez progressivement. Il s'agit de milieux complexes où interviennent de nombreux facteurs restant d'ailleurs à préciser (salure, nappe, gypse, texture,

cultures, etc).

C'est aussi l'exemple, beaucoup plus simple, de l'axe 6 d'ESP-REL. 1 : il individualise à son extrémité un groupe d'espèces auquel correspondent sans ambiguité les relevés effectués sur les sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux. Malgré la netteté de ce groupe, la transition avec l'ensemble se fait aussi par un certain nombre de relevés et d'espèces plus ou moins liées au gypse.

- Dans le second cas, deux ensembles d'espèces et de relevés s'opposent sur le même axe, de part et d'autre de l'origine. Une telle opposition correspond souvent à deux classes extrêmes d'un même facteur : aride inférieur et aride supérieur, texture très grossière et texture très fine, etc. Entre les deux ensembles, les espèces et les relevés s'ordonnent selon les autres classes de pluviosité et de texture. La transition progressive exprime la continuité de l'influence de ces facteurs écologiques, bioclimats et texture, le long de l'axe.

Parfois aussi, il s'agit d'une opposition entre deux ensembles géomorphologiques : versants et piedmonts plus ou moins encroûtés, dayas et zones d'épandage, etc. Malgré cette différence assez nette de conditions écologiques, il existe toujours des espèces et des relevés de transition.

+ En définitive, l'analyse apporte une différenciation assez rigoureuse des ensembles floristiques, qu'il est relativement facile de relier à des milieux écologiques plus ou moins complexes. En respectant les transitions, l'analyse fait en outre apparaître les relations entre les ensembles floristiques eux mêmes et par voie de conséquence entre milieux écologiques.

Mais de ce fait, il résulte au moins deux difficultés :

- d'une part, difficulté de "trancher dans ce continuum écologique" pour constituer les sous-ensembles de relevés étudiés dans les ensembles plus restreints c'est exactement le problème des phytosociologues qui utilisent ce type d'analyse pour individualiser les groupements végétaux .

- d'autre part, pour la même raison, difficulté de "cerner" un groupe d'espèces pour le relier précisément à tel ou tel facteur écologique.

Afin de préciser et de compléter les résultats de l'analyse globale ESP-REL, il sera donc intéressant d'étudier des ensembles plus restreints et plus tranchés représentant :

- soit des milieux déjà individualisés (milieux hydromorphes et halomorphes, milieux forestiers).
- soit des formations végétales (steppes à alfa).
- soit des ensembles édaphiques (séquences sur calcaires durs, grés, marno-calcaires et marnes ; sols à croûte calcaire, siérozems, dayas) etc.

Auparavant, les analyses ESPECES-ECOLOGIE devraient apporter une confirmation de la validité des principaux facteurs écologiques mis en évidence au cours de l'analyse globale ESPECES-RELEVES.

D - ANALYSE GLOBALE ESP-ECO (ESPECES-ECOLOGIE)

La matrice des données, espèces - variables écologiques, se présente sous la forme d'un tableau de contingence classique. Dans l'analyse, les espèces se regroupent en fonction de leur écologie.

Le cas le plus simple consiste à ne prendre que les familles de sols pour obtenir une relation directe : espèces végétales - sols (ESP-SOL).

Dans une seconde série d'analyses, on intègre la totalité des variables écologiques climatiques et édaphiques (ESP-ECO).

1 - ESP-SOL (ESPECES-SOLS)

a. ESP-SOL 1

La matrice comprend : 350 espèces et 107 familles de

sols ; chaque espèce est caractérisée par sa fréquence absolue dans chacune des familles.

Les groupements végétaux sont introduits en variables supplémentaires.

Ainsi, PR 1 intervient indirectement dans l'analyse avec les 16 espèces végétales et la famille S 53.

+ Signification écologique (pédologique) des axes (carte 14)

Axe 1

Les sols hydromorphes et halomorphes s'individualisent très nettement ; les espèces et les groupements végétaux montrent une complète similitude avec l'axe 1 d'ESP-REL 1. Les sols hydromorphes (S 103 et S 104) et les hypersolonchaks (S 105, S 106, S 111, S 112) se trouvent toujours fortement liés aux mêmes espèces et aux mêmes groupements végétaux (V 66, V 99, V 106, V 100).

Axe 2

Les vertisols sur versants marneux (S 33, S 30, etc) et sur alluvions de texture très fine à fine (S 28, S 27, S 25) "s'identifient" à certaines cultures des régions telliennes subhumides et semi-arides (V 93, V 84).

Axe 3

Les sols humifères apparaissent liés aux espèces et groupements forestiers ; ils s'ordonnent selon un gradient de la teneur en calcaire : sols non calcaires sur grés, sols calcaires sur calcaires durs puis sur marno-calcaires plus ou moins encroûtés (S 98, S 60, etc).

Axe 4

Les vertisols et les sols peu évolués vertiques se localisent ici dans les dayas (S 24, S 26, S 29, S 15) : *Verbena supina, Teucrium campanulatum, Trigonella anguina,* etc.

Un autre ensemble s'individualise avec les sols halomorphes de texture moyenne à très fine (S 120, S 119, S 117, S 118) : *Salsola tetrandra, Hordeum maritimum,* etc.

Axe 5

Les sols sur grés (S 61, S 102, S 100), de texture grossière non calcaires et à pH neutre, faiblement acide (pH < 7,2), se trouvent associés à certains groupements de cultures et de forêts du subhumide (V 94, V 10, V 11) : *Andryala integrifolia, Cistus salvifolius, Lagurus ovatus, Quercus suber, Rumex bucephalophorus.*

Axe 6

L'axe 6 correspond aux sols hydromorphes peu salés : *Phragmites communis, Schoenus nigricans, Imperata cylindrica,* etc.

A l'opposé, ce sont les sols à encroûtement gypseux (cf. axe 6 d'ESP-REL. 1).

Axe 7

Les sols profonds de texture très grossière à grossière (S 4, S 5, S 21, S 22, S 77) se rattachent aux groupements dunaires à *Aristida pungens* (V 51) et à tout un ensemble d'espèces psammophiles : *Astragalus gombo, Malcolmia aegyptiaca, Saccocalyx satureoides,* etc.

Ils s'opposent aux sols à croûte calcaire parmi lesquels S 53 (PR 1).

+ Conclusions

Les principaux facteurs édaphiques d'ESP-REL. 1 réapparaissent ici quelque peu nuancés et dans une hiérarchie sensiblement différente. A l'axe 1 s'associent toujours aussi nettement les milieux hydromorphes et halomorphes (hypersolonchaks) alors que les cultures se révèlent dès l'axe 2 (vertisols). Pour les sols humifères, les espèces forestières (axe 3) se distribuent non plus en fonction des bioclimats mais selon un gradient pédologique : la teneur croissante en calcaire total.

Parmi les autres facteurs édaphiques, il faut citer : certains dayas (vertisols et sols peu évolués vertiques), les

sols halomorphes de texture moyenne à très fine (sols à alcali notemment), les sols sableux à pH faiblement acide, les sols à encroûtements gypseux, les sols dunaires, certains sols à croûte calcaire, etc.

L'analyse privilégie les facteurs édaphiques au détriment des autres facteurs écologiques climatiques et anthropiques. Il est normal qu'il en soit ainsi car le regroupement des espèces se fait uniquement sur les familles de sols. En outre, les facteurs édaphiques apparaissent d'autant mieux :

- que les sols sont plus indépendants des autres facteurs écologiques : sols hydromorphes et halomorphes, certains dayas de texture fine à très fine, dunes, encroûtement gypseux, etc.
- que les sols au contraire sont liés aux facteurs climatiques et/ou anthropiques : vertisols sur les versants marneux toujours cultivés et toujours en zones subhumides et semi-arides, sols humifères non calcaires associés à la végétation forestière dans les régions les plus humides, etc.

En conclusion, pour la prise en compte des critères édaphiques majeurs, l'intérêt et la validité de la famille de sol se trouve ici confirmée.

b. ESP-SOL 2 (ARIDE)

Comme pour ESP-REL 2, on traite les relevés des zones steppiques arides (P 3, P 4, P 5) en excluant les sols hydromorphes et halomorphes (S 103 à S 120). La matrice des données comprend alors :

334 E x 75 S

+ Signification écologique (pédologique) des axes : (carte 15)

Axe 1

Il regroupe les sols humifères et la végétation forestière sur les versants à substratum de grés, de calcaires durs et de marno-calcaires ; ce sont d'ailleurs les 9 familles de sols du même axe d'ESP-REL 2 (S 60, S 95, etc). La transition vers le centre du nuage se fait ici différemment avec les sols sur

calcaires durs (S 47), c'est-à-dire des steppes à alfa de l'aride supérieur à l'aride inférieur. Le gradient climatique a totalement disparu.

Axe 2

L'axe 2 individualise les sols cultivés de texture fine à très fine (V 84, V 81, etc) : vertisols (S 24, S 28) et sols peu évolués vertiques (S 15, S 16).

Axe 3

Les sols de texture très grossière à grossière, depuis les dunes vives (S 4, S 5) parfois fixées (S 21, S 22) jusqu'aux sols profonds sableux (siérozems, S 77), se distinguent très nettement à l'extrémité de l'axe avec les groupements à *Aristida pungens* :

- groupement à *Aristida pungens, Imperata cylindrica* (V 54) et nappe en profondeur (S 4).
- groupement à *Aristida pungens, Malcolmia aegyptiaca* (V 51) et le cortège classique : *Astragalus gombo, Saccocalyx satureoides,* etc.

Une série de groupements (V 41, V 47, V 68, etc) se succèdent le long de la partie négative de l'axe avec la plupart des espèces psammophiles (cf. axe 3 d'ESP-REL. 2).

A cet ensemble, s'oppose (coté positif) les sols à croûte calcaire (S 51, S 52, etc) : *Helianthemum hirtum* ssp *rufi-comum, Herniaria fontanesii, Artemisia herba-alba,* etc.

Axe 4

Avec l'axe 4, les sols à encroûtement gypseux (S 70 à S 74) manifestent encore toute leur originalité.

Axe 5

En fait, il précise l'axe 2 en séparant distinctement :

- les dayas avec les vertisols, les sols peu évolués vertiques (S 24, S 26, S 15) et les deux groupements à *Teucrium campanulatum* (V 81, V 82).

- les alluvions de texture très fine à fine et les versants marneux : vertisols, sols peu évolués vertiques (S 28, S 16, etc) et groupements des milieux cultivés de l'aride supérieur (V 84, V 91, etc) : *Ranunculus arvensis, Scandix pecten-veneris, Eryngium triquetrum*, etc.

Axe 6

Quel que soit le climat, de l'aride supérieur à l'aride inférieur (V 9, V 22, V 28, ..., V 57), les sols sur grés (S 48) regroupent un ensemble d'espèces steppiques parmi lesquelles : *Aristida obtusa, Astragalus armatus* ssp *tragacanthoides, Linaria aegyptiaca* ssp *fruticosa*, etc.

+ Conclusions

Comme dans l'analyse précédente, les analogies avec ESP-REL demeurent nombreuses. Les concordances soulignent l'action spécifique des facteurs édaphiques, puisque le regroupement des espèces se fait sur les familles de sols. Ces concordances apparaissent d'autant plus nettement :

- que les sols constituent le facteur écologique le plus important avec des groupes d'espèces très significatives : dunes et texture très grossière, encroûtement gypseux.
- que les sols sont liés à des conditions écologiques particulières comme la situation géomorphologique : dayas et sols de texture très fine à fine (vertisols, sols peu évolués vertiques).
- que les sols sont liés aux facteurs climatiques et anthropiques qu'ils intègrent, d'où les analogies avec les analyses ESP.REL : sols humifères toujours dans les zones les plus humides (aride supérieur) et les moins dégradées (forêts-matorrals), sols de texture très fine à fine toujours cultivés dans l'aride supérieur (vertisols, sols peu évolués vertiques).

Inversement, les différences se marquent lorsque les sols, tout au moins au niveau de la famille, se répartissent indépendamment des deux autres facteurs écologiques. Ainsi les sols calcimagnésiques xériques sur calcaires durs (S 47) et sur grés

(S 48), que l'on trouve dans tout l'étage aride, forment chacun des ensembles bien distincts ne tenant pas compte du climat (pluviosité). Ceci prouve qu'il s'agit de milieux différents sinon ils se regrouperaient. Il est intéressant de noter l'existence d'un ensemble d'espèces plus spécifiques des grés (axe 6) mais aussi des sols à croûte calcaire (axe 3).

Un autre exemple de différence est donné par les milieux cultivés dont la répartition se fait à l'intérieur de nombreuses familles de sols ; dans l'analyse ESP-REL. 2, quels que soient les sols, ces milieux de cultures se distinguent très nettement (axe 2) par un ensemble d'espèces caractéristiques. Ici, seuls les vertisols et les sols peu évolués vertiques s'individualisent ; en effet ils sont, pour certains toujours cultivés et toujours dans l'aride supérieur et pour d'autres toujours localisés dans les dayas.

En définitive, les analyses ESP-SOL permettent de confirmer l'action des facteurs édaphiques les plus importants. Elles confirment la validité et l'intérêt de la famille de sol comme donnée édaphique.

Elles démontrent aussi, s'il en était besoin, l'insuffisance des seules données édaphiques pour rendre compte des relations sol - végétation.

2 - ESP-ECO (ESPECES-ECOLOGIE)

Dans ce type d'analyse, on intègre la totalité des 16 variables écologiques concernant le milieu : climat (P, m, M'), géomorphologie (G), famille de sol (S), recouvrement (R), nappe (N), et horizon de surface (U, A, H, F, D, C, L, Y, &). (cf. p. 187).

Chaque espèce est représentée par sa fréquence dans chacune des classes des variables écologiques (1).On peut prendre

(1) Certaines classes d'effectifs trop réduits sont supprimées : L 99 est regroupé avec L 50, F 99 avec F 30, D 99 avec D 40.

soit la fréquence absolue (FA), soit le taux de fréquence relative (TFR) de l'espèce dans la classe considérée.
Il en résulte deux séries d'analyses :
- ESP-ECO · FA (fréquence absolue)
- ESP-ECO TFR (taux de fréquence relative)

a. ESP-ECO FA (Fréquence absolue)

La matrice des données comprend : 350 E x 189 V.E. c'est-à-dire 350 espèces végétales et 189 classes de variables écologiques. Les groupements végétaux sont intégrés en variables supplémentaires.

Ainsi PR 1 intervient indirectement dans l'analyse par les 16 espèces végétales et par les différentes classes de variables écologiques (cf. page 187).

+ Signification écologique des axes (carte 16) (1)

Axe 1

Nappe et salure distinguent encore les sols hydromorphes et les hypersolonchaks (idem ESP-REL. 1 et ESP-SOL. 1).

Axe 2

La signification climatique ne fait aucun doute depuis les milieux forestiers des régions les plus humides jusqu'aux groupements steppiques de l'aride inférieur et du saharien. Le gradient climatique est matérialisé par la position des variables (P 1, P 2, ... P 6.) sur la carte et par la succession des groupements dans les différentes séquences sur calcaires durs, sur grés (cf. ESP-REL. 2). On peut noter aussi le gradient de la teneur en matière organique en fonction de l'aridité du climat.

Axe 3

Les cultures (U 10) dans les zones d'épandage (G 8), les chenaux d'oueds alluvionnés (G 9) et les dayas (G 10) représentent des sols de texture très fine à moyenne (A 99, A 70), parfois salés.

---

(1) Pour faciliter la lecture, les espèces ne sont pas indiquées sur la carte 16, sauf certaines à titre d'exemple.

Axe 4

Il correspond pratiquement à l'axe 3 d'ESP-REL. 2 :

- dunes et sols profonds de texture très grossière à grossière avec le même cortège floristique de psammophiles.
- à l'opposé, sols à croûte calcaire (G 3, S 51, S 52, etc). et horizon de surface de texture moyenne : *Herniaria fontanesii, Artemisia herba-alba,* etc.

Axe 5

Il précise les cultures de l'axe 3, en distinguant les vertisols sur les versants marneux du subhumide et semi-aride.

Axe 6

Avec cet axe ce sont encore une fois les sols à encroûtement gypseux (cf. axe 6 d'ESP-REL. 1, etc.)

Axe 7

L'axe 7 précise aussi l'ensemble des cultures (axe 3) en discernant les sols halomorphes de texture moyenne à très fine (S 120, S 119, etc) et les groupements à *Salsola tetrandra* et *Hordeum maritimum.*

+ Conclusions

L'analyse confirme les principaux résultats d'ESP-REL 1. Les variables écologiques retenues s'avèrent donc suffisamment déterminantes pour rendre compte de la distribution des grands ensembles floristiques.

b. ESP-ECO TFR (Taux de fréquence relative)

La matrice des données comprend : 350 espèces et 189 classes de variables écologiques. Les groupements végétaux sont intégrés en variables supplémentaires.

Chaque espèce est représentée par son taux de fréquence relative (TFR) dans chacune des 189 classes des 16 variables écologiques qui caractérisent le milieu (P, m, M', G, S, etc).

+ Signification écologique des axes (carte 17)

Axe 1

Dans sa partie positive, l'axe 1 souligne un gradient climatique pour les formations forestières du subhumide à l'aride supérieur (P 1 - P 2 - P 3).

Axe 2

Les sols hydromorphes et les hypersolonchaks se différencient encore très clairement dans l'ensemble des milieux hydromorphes et halomorphes.

Axe 3

Les cultures (U 10) distinguent les sols de texture très fine à moyenne dans les zones d'épandage, les dayas, etc.

Axe 4

Dunes et sols profonds de texture très grossière à grossière montrent la permanence des groupements à *Aristida pungens* et des groupements à dominance de psammophiles.

A l'opposé, sur le même axe, ce sont les sols à croûte calcaire qui se différencient des groupements sahariens et présahariens (P 6, M'4).

Axe 5

Sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux.

Axe 6

Il permet d'individualiser les sols sur grés à pH faiblement acide (cf. axe 5 d'ESP-SOL 1).

Axe 7

L'axe 7 précise deux sous-ensembles dans les milieux cultivés de texture fine à très fine :

- les dayas avec les groupements à *Teucrium campanulatum* sur les vertisols et les sols peu évolués vertiques (S 24, S 26, S 15).
- les versants marneux avec les groupements du subhumide et du semi-aride sur les vertisols (S 30, S 32, etc.).

+ Conclusions

La signification écologique des axes factoriels demeure

très comparable à l'analyse précédente malgré une hiérarchie un peu modifiée comme l'inversion des axes 1 et 2 ; en fait, l'importance des deux axes est presque équivalente (inertie comparable).

Ceci amène à souligner deux aspects de l'analyse :

- le premier aspect tient à l'utilisation du taux de fréquence relative (TFR) : il introduit une certaine "pondération" dont l'effet est de réduire les disparités de l'échantillonnage. Les espèces et les variables peu représentées sont mieux prises en compte par le TFR qu'elles ne le sont par la fréquence absolue FA. A l'inverse, les espèces et les variables les plus nombreuses voient leur importance diminuer. L'introduction d'une certaine relativité atténue les différences et fait apparaître des nuances dans l'analyse. On constate effectivement une meilleure dispersion des variables sur la carte 17.
- le second aspect tient à l'analyse ESPECES-ECOLOGIE : elle prend en compte toutes les variables même celles qui n'interviennent pas dans la répartition des espèces. Ainsi pour les milieux hydromorphes et halomorphes, les facteurs climatiques deviennent comparables aux autres ; manifestement ils ne sont guère déterminants.

Dans ces conditions, l'inversion des axes 1 et 2 s'explique par la conjonction des deux caractéristiques de l'analyse :

- d'une part, une importance relativement moindre des milieux hydromorphes et halomorphes par rapport à l'ensemble.
- d'autre part, une importance relativement plus grande des facteurs climatiques dans ces milieux, comme le montre la position de P 4 dans le quart S-O de la carte 17.

Les espèces végétales ne sont pas reportées sur cette carte 17 déjà fort surchargée. Mais les ensembles d'espèces, regroupés ici d'après leur écologie, correspondent assez fidèlement aux ensembles observés dans les analyses ESP-REL. La meilleure preuve est donnée par la concordance des principaux milieux écologiques individualisés de façon différente dans les deux types

d'analyses ESP-ECO et ESP-REL.

C'est ainsi qu'il est particulièrement intéressant de constater la disposition des milieux écologiques, et de la végétation, sur la carte 17 et la figure 39 ; l'analogie avec ESP-REL. 2 (cartes 4 et 4 bis, fig. 36) apparaît clairement:

- les versants occupent la partie Nord de la carte avec les deux séquences sur calcaires durs et sur grés ; on suit les deux successions de groupements végétaux depuis les formations forestières des régions les plus humides jusqu'aux formations steppiques de l'aride inférieur et même saharien en obliquant vers le Nord le long de l'axe 2.
- les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et moyen présentent une succession analogue de groupements forestiers et surtout steppiques ordonnés transversalement (SE-NO) en fonction d'une aridité croissante (1).

Au contraire, les cultures (groupements à *Papaver hybridum* : V 77, V 89, etc.), ont tendance à se regrouper vers le bas avec les autres milieux cultivés.

- les formations alluviales (G 8, G 9) et les dayas (G 10) constituent, dans le quart S-SE de la carte, la majeure partie des milieux cultivés auxquels s'ajoutent les versants marneux (vertisols) des régions subhumides et semi-arides.
- à l'opposé, les formations éoliennes (G 5) restent bien individualisées à l'extrémité négative de l'axe 1 (dunes et sols sableux profonds).
- enfin le quart S-O est occupé par les milieux hydromorphes et halomorphes. Les sols hydromorphes et les hypersolonchaks forment un ensemble bien distinct (milieux hydro-halomorphes) localisé le plus souvent dans les zones basses du paysage (dépressions à nappe, G 11).

---

(1) Les positions de S 53 et V 13, c'est-à-dire approximativement celle de PR 1, sont très comparables sur les deux cartes 4 et 17.

Comme pour ESP-REL. 2, une telle disposition d'ensemble révèle un triple gradient schématisé sur la figure 39 :

- le gradient climatique, d'aridité croissante, s'agence obliquement par rapport à l'axe 1 ; il intéresse surtout les formations forestières et steppiques sur les reliefs (grés, calcaires durs, marno-calcaires) et les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen. On retrouve ici l'ensemble des milieux à végétation "climatique" de type zonal où les facteurs climatiques sont prépondérants.
- le gradient topographique se déploie, des reliefs aux dépressions à nappe, selon la diagonale NE-SO bordée d'un côté par les versants marneux et de l'autre, par les formations éoliennes. Entre les reliefs et les dépressions hydromorphes, la transition est assurée par les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen, les terrasses anciennes et moyennes (G 6, G 7), les autres formations alluviales (G 8, G 9) et les dayas (G 10).
- le gradient de dégradation se confond en partie avec le gradient topographique ; il souligne le fait que les milieux cultivés se localisent préférentiellement dans les zones recevant des apports d'eaux de ruissellement, sur des sols de textures moyenne à très fine, etc. Cependant, il marque aussi une influence croissante des facteurs anthropiques et surtout édaphiques aux dépens du climat dans les milieux cultivés, les steppes édaphiques et les milieux hydromorphes et halomorphes.

En conclusion, l'analyse confirme d'une manière nette la validité des variables écologiques retenues ; elle confirme aussi la validité et l'intérêt du taux de fréquence relative (TFR). En outre, la carte 17 s'avère extrèmement intéressante pour individualiser et surtout situer les principaux milieux écologiques les uns par rapport aux autres. La figure 39 reprend les grands traits du "panorama synthétique" ébauché avec ESP-REL. 2 (fig. 36). Ce panorama sera complété à la fin du chapitre III (fig. 40).

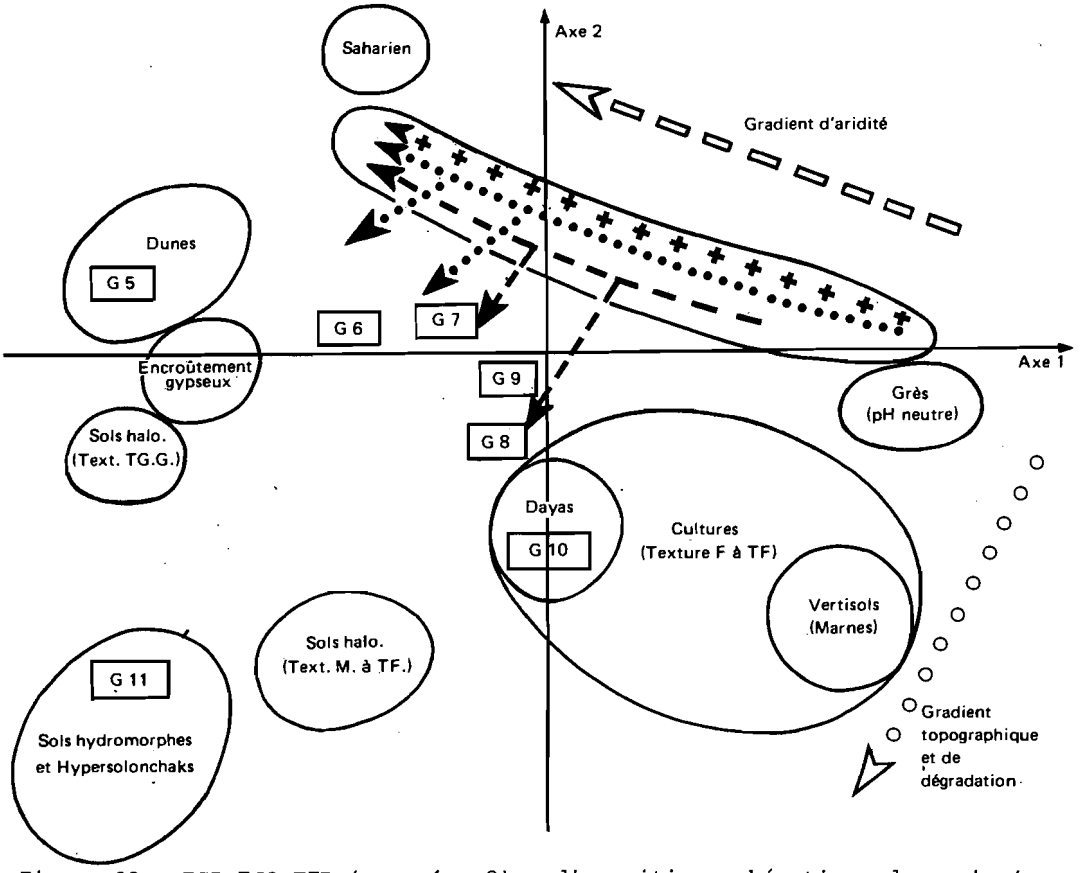


Figure 39 - ESP-ECO TFR (axes 1 - 2) : disposition schématique des principaux milieux écologiques

E - ANALYSES PARTIELLES ESPECES - RELEVES (ESP-REL)

Les analyses partielles ont un double objectif :

- vérifier et surtout compléter les résultats de l'analyse globale.
- illustrer par des exemples les possiblités d'utilisation du fichier végétation-milieu en envisageant des ensembles très variés.

1 - LES MILIEUX HYDROMORPHES ET HALOMORPHES

L'analyse ESP-REL. 1 souligne toute l'originalité floristique des milieux hydromorphes et halomorphes (axe 1) ; néanmoins, l'analyse est insuffisante pour individualiser l'influence respective des principaux facteurs édaphiques : nappe phréatique, salure, gypse, texture, etc.

ENSEMBLES ETUDIES		MILIEUX HALO.	GEOM.	FORMATIONS VEGETALES		SEQUENCES SUR MEME SUBSTRATUM GEOLOGIQUE				FAMILLES DE SOL				ECOLOGIE DES ESPECES VEGETALES				
ESP.REL. / VARIABLES		SOLS HALO.	DAYAS	FORETS MATORRALS.	STEPPES ALFA	CALC.	GRES	MARNO-CALC.	MARNES	SIEROZEMS	CROÛTES CALC.	SOL 51	SOL 53	*Salsola villosa*	*Atriplex halimus*	*Stipa tenacissima*	*Telephium imperati*	*Thymelaea microphylla*
MATRICE DES DONNEES	REL.	107	39	46	215	39	79	38	55	196	348	91	69	167	67	452	109	222
	ESP.	68	44	82	118	98	127	61	37	84	126	90	62	88	41	141	59	121
ESPECES VEGETALES (variables supplémentaires)	ESP.	61	71	88	128	87	117	113	143	143	114	64	117	164	86	151	137	106
CLIMAT	P1 (SH)															5		
	P2 (SA)																	
	P3 (AS)	2	3	45	58	26	25	27	22	19	93		14	11		134	29	1
	P4 (AM)	100	24	1	99	6	27	9	24	120	184	91	42	120	64	208	70	137
	P5 (AI)	5	12		58	7	27	2	9	57	71		13	36	3	105	9	84
	P6 (Sah)																1	
	m1	1	2	42	50	20	22	25	9	14	56		9	1		112	24	1
	m2	106	37	4	165	19	57	13	46	182	292	91	60	166	67	340	85	221
	M'1	1	2	37	38	14	21	24	8	14	45		8	1		94	19	1
	M'2	106	25	9	127	20	35	12	40	127	237	91	49	132	65	266	80	142
	M'3		12		49	3	22	2	6	54	58		8	33	2	88	9	76
	M'4				1	2	1		1	1	8		4	1		4	1	3
GEOMORPHOLOGIE	G1 (VR)			39	87	39	79	8	55	15				48	1	171	6	47
	G3 (QA)			3	42			9		2	182	65	18	3		107	53	34
	G4 (QM)			4	86	—		24		87	164	26	51	22		161	49	74
	G5 (EO)	5								15				9	7	2		25
	G6 (TA)	15								31				19	8	6	1	21
	G7 (TR)	8								10				6	4	4		11
	G8 (ZE)	29								3				37	33	1		1
	G9 (CH)									29				8				3
	G10(DA)	7	39							4				11	1			1
	G11(DN)	43												4	13			
	G12(MC)																	
FORMATIONS VEGETALES	FM			46		9	22	10			6		1	1		48	3	
	α				215	28	32	16	15	21	101	18	25	23		215	45	35
	St.	11	6			2	24	10	30	121	207	62	39	58	9	184	61	168
	Cult.	3	21				1	2	3	53	34	11	4	15	4	5		17
	Hal.	93	12						7	1				70	54			2
TEXTURE (Horizon de surface)	A5 (TG)	1			1					6	—	1		2	3	4		11
	A20 (G)	15		4	34	1	27	3	6	62	—	14	11	31	9	85	10	82
	A40 (M)	13	6	16	122	24	11	21	12	85	—	60	49	47	10	235	80	67
	A70 (F)	14	20	7	10	10	1	3	9	16	—	2	1	29	12	20	3	2
	A99 (TF)	25	11								—			17	20			
	Pas d'analyses	39	2	19	48	4	40	11	28	27	—	14	8	41	13	108	16	60

Tableau 33 : Tableau récapitulatif des principales variables écologiques dans les analyses partielles ESP-REL (ESPECES - RELEVES)

Il est nécessaire de considérer un ensemble plus restreint de relevés (cf. p. 211) tel que les 16 familles de la classe des sols halomorphes (S 105 à S 120). Le tableau 33 indique les principales variables écologiques caractérisant l'ensemble de ces 107 relevés dont la quasi totalité se situe dans l'aride moyen.

ESP-REL : SOLS HALOMORPHES : 107 R x 68 E (FA ⩾ 3).

+ Signification écologique des axes

La carte 18 (axe 1 - 2) montre deux ensembles principaux de part et d'autre de l'axe 2 :

- les hypersolonchaks (S 105, S 106, S 111, S 112) à l'extrémité négative de l'axe 1 ; ils correspondent aux mêmes groupements végétaux (V 66, V 100, V 106, V 99) et aux mêmes espèces déjà individualisées précédemment (ESP-REL. 1, ESP-SOL 1, ESP-ECO TFR).
- les autres sols halomorphes (axe 1 positif) avec deux sous-ensembles :

. les sols de texture moyenne à très fine dans le quart NÈ de la carte (solonchaks, sols à alcali).

. et les sols de texture grossière (cryptosolonchaks).

Axe 1

Les hypersolonchaks déterminent la présence d'un groupe important d'espèces (axe 1 négatif) : *Arthrocnemum indicum, Aeluropus littoralis, Atriplex portulacoïdes, Spergularia marginata, Juncus maritimus, Sphenopus divaricatus, Frankenia thymifolia,* etc. Cet ensemble d'espèces "hydrohalophiles" est lié aux caractéristiques principales des hypersolonchaks généralement localisés dans les dépressions (G 11) à nappe phréatique peu profonde, moins de 2 m (N 5 → N 2) ; en surface, la croûte et les efflorescences salines (U 5) soulignent une salure excessive dépassant 32 mmhos-cm (C 64, C 99) pour une teneur en gypse élevée à très élevée (Y 10 à Y 99), etc.

En outre, par deux gradients très nets, l'axe 1 marque l'opposition entre les hypersolonchaks et les autres sols halomorphes :

- gradient de profondeur de la nappe phréatique ; elle reste habituellement à plus de 2 m de profondeur (N 6, N 7) pour l'ensemble des sols situés à droite de l'axe 2.

- gradient de salure de l'horizon de surface dont la conductivité ne dépasse que rarement 32 mmhos (C 2, C 4, C 8, C 16) pour ce même ensemble de sols par ailleurs peu gypseux (Y 2).

Axe 2

L'axe 2 introduit un gradient textural en opposant deux ensembles d'espèces et de relevés :

- un ensemble d'espèces pélohalophiles, parmi lesquelles *Salsola tetrandra*, *Pholiurus incurvus* ssp *incurvatus* etc., liés à des sols de texture moyenne à très fine (A 40, A 70, A 99) situés sur les zones d'épandage (G 8) et sur les terrasses (G 7, G 6), parfois dans les dayas (G 10).

Il s'agit le plus souvent de solonchaks à complexe sodique et de sols plus ou moins salés à alcali (S 115, S 117, S 119, S 120) : l'horizon de surface restant relativement peu salé (de 2 à 32 mmhos-cm) non ou très peu gypseux (Y 2 : soit moins de 2 % de gypse total), calcaire à très calcaire (L 25, L 50 : soit de 10 à 50 % de calcaire total), etc.

- un ensemble d'espèces psammophiles vivaces et annuelles (*Thymelaea microphylla*, *Artemisia campestris*, *Cutandia dichotoma*, etc) liées à des sols de texture grossière (A 5 et surtout A 20), plus particulièrement les cryptosolonchaks (S 109) localisés sur les formations éoliennes (G 5). La salure, très faible en surface (souvent moins de 2 à 4 mmhos-cm), augmente en profondeur en relation avec la présence d'une nappe phréatique aux environs de 2 mètres.

Entre les deux ensembles d'espèces pélohalophiles et psammophiles, il est intéressant de remarquer la présence d'un groupe comprenant les espèces halophiles vivaces les plus fréquentes. On constate également leur disposition le long de l'axe 1 en fonction d'une salure croissante : *Salsola vermiculata* var. *villosa*,

Atriplex halimus et *Atriplex glauca, Suaeda fruticosa*. La position de ce groupe, entre les textures fines et les textures grossière, n'indique pas une relation possible avec les textures moyennes mais au contraire une certaine indépendance des espèces vis à vis de la texture. L'examen des profils écologiques le confirme (cf. fig. 32 d). Un tel groupe parait donc, lié à la salure, caractère commun à l'ensemble des sols (groupe halophile *ss*).

Axe 3

Le groupement à *Halocnemum strobilaceum* (V 106) indique une salure excessive de certains relevés parmi les hypersolonchaks (groupe hyperhalophile)

Axe 4

A l'opposé, cet axe est engendré par un groupe d'espèces caractéristiques de sols généralement cultivés présentant en surface un horizon de texture fine à très fine, peu salé : *Beta macrocarpa, Anacyclus clavatus, Sisymbrium coronopifolium, Cordylocarpus muricatus* (groupe pélophile).

Axe 5

L'axe 5 introduit une nouvelle distinction dans l'ensemble des hypersolonchaks avec :

- d'une part, un sous-ensemble gypseux matérialisé pour les espèces telles que : *Herniaria mauritanica, Zygophyllum cornutum, Frankenia thymifolia ;* le groupe correspond aux hypersolonchaks dont l'horizon de surface est soit un encroûtement gypseux de nappe (U 27) (1), soit un horizon d'amas et nodules gypseux (U 25) (groupe gypsohalophile)
- d'autre part, un sous-ensemble phréatophile matérialisé par les espèces telles que : *Salicornia arabica, Schoenus nigricans, Scirpus holoschoenus*, etc. ; le groupe correspond aux

(1) Le plus souvent l'encroûtement apparait directement en surface en ayant conservé sa morphologie d'origine : anciens sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux actuellement très salés par la remontée d'une nappe phréatique ou par des apports latéraux de solutions salines (suintements ou émergences d'eaux artésiennes).

hypersolonchaks où la nappe reste toujours très proche de la surface (groupe phréatophile).

+ Conclusions

Les espèces végétales, et avec elles les relevés correspondants, se distribuent dans les sols hydromorphes et halomorphes selon deux grands ensembles. L'un et l'autre représentent en fait deux types de milieux dont la différence porte plus particulièrement sur l'intensité et la répartition de la salure dans le profil (profil de salure) :

- les milieux hydro-halomorphes, c'est-à-dire les hypersolonchaks, se caractérisent par une salure excessive en surface (> 32 mmhos-cm), moins élevée en profondeur (profil salin ascendant). Le profil reste toujours plus ou moins humide en relation avec la présence d'une nappe phréatique peu profonde dans les zones déprimées (G 11) ou en relation avec des arrivées d'eaux souterraines sur certains versants ou glacis (émergences, suintements).

Autour d'un "noyau central" (groupe hydrohalophile) les espèces se différencient en fonction :

- soit d'une salure excessive (groupe hyperhalophile)
- soit de la présence dès la surface d'un encroûtement gypseux de nappe, éventuellement d'un horizon à amas et nodules gypseux (groupe gypso-halophile).
- soit de la présence quasi constante d'une nappe phréatique peu salée et très proche de la surface (groupe phréatophile)

A cet égard, une analyse comprenant l'ensemble des sols hydromorphes et des sols halomorphes (121 R x 74 E) permet de constater la permanence du schéma général de la carte 18. L'introduction des sols hydromorphes (S 103 et S 104) contribue simplement à individualiser encore plus nettement, à l'extrémité négative de l'axe 1, le groupe phréatophile avec les sols à gley salés (S 103) ; les sols hydromorphes à encroûtement gypseux (S 104) se rapprochent par contre du groupe gypsohalophile.

- les milieux halomorphes, c'est-à-dire les autres sols halomorphes (cryptosolonchaks, solonchaks, sols plus ou moins salés à alcali), se caractérisent par une salure généralement plus importante en profondeur qu'en surface où elle ne dépasse guère 32 mmhos-cm (profil salin descendant). La nappe phréatique reste à plus de 2 mètres.

Ce type de salure se manifeste par la présence quasi constante d'un groupe d'espèces (groupe halophiles *s.s.*). La texture exerce une influence très importante (groupe pélohalophile) ; son importance s'accroît au fur et à mesure que l'horizon de surface devient de moins en moins salé, permettant ainsi l'installation d'espèces psammophiles, pélophiles, messicoles, etc.

Le passage se fait progressivement vers les milieux de transition où la salure, encore supérieure à 7/8 mmhos, se localise en profondeur (cf. ESP-REL. 25 : SALURE).

2 - LES UNITES GEOMORPHOLOGIQUES : EXEMPLE DES DAYAS

Les analyses précédentes (ESP-REL. 25 : SALURE ; ESP-SOL ; ESP-ECO TFR) ont mis plus spécialement en évidence les dayas non salées dont les sols présentent une texture fine à très fine (vertisols et sols peu évolués vertiques). A ce type de sol correspondent les groupements à *Teucrium campanulatum* (V 81, V 82) et un ensemble d'espèces caractéristiques : *Verbena supina, Polygonum patulum, Trigonella anguina,* etc.

Les autres facteurs écologiques n'apparaissent pas clairement (salure, cultures, etc). Il est intéressant de regrouper l'ensemble des relevés effectués dans les dayas (G 10), soit plus généralement les cuvettes où s'accumulent et se décantent les eaux de crue. Le tableau 33 indique les principales caractéristiques écologiques des 39 relevés.

ESP-REL. : DAYAS 39 R x 44 E (FA $\geqslant$ 3).

+ Signification écologique des axes (cartes 19 et 20).

Axe 1

L'axe 1 souligne un gradient de salure en opposant,

de part et d'autre de l'origine, deux types de milieux : (carte 19)

- les milieux faiblement salés (côté négatif) représentés par des sols à alcali (S 119 et surtout S 120) et des sols appartenant à des sous-groupes halomorphes de sols peu évolués (S 17) et de vertisols (S 29). On retrouve ici les principales espèces halophiles (*Atriplex glauca, Suaeda fruticosa,* etc) et pélophiles (*Salsola tetrandra, Agropyron orientale,* etc)

- à l'opposé, les milieux non salés, aussi bien en surface qu'en profondeur, représentés par les vertisols à drainage externe réduit (S 24, S 26); ils se distinguent par les espèces caractéristiques des dayas de texture fine à très fine : *Teucrium campanulatum, Polygonum patulum,* etc.

Axe 2

La signification climatique de l'axe 2 se dédage assez clairement et permet de discerner :

- les dayas de l'aride inférieur à *Arthrophytum scoparium,* parfois ensablées (recouvrement éolien discontinu R 2 et *Retama retam).*
- les dayas de l'aride supérieur à *Conringia orientalis* (V 80) avec des sols de texture moyenne à fine (S 63)

Axe 3 (carte 20)

Il montre précisément un gradient textural de l'horizon de surface (1) comme le prouve la succession régulière des sols en fonction d'une texture devenant de plus en plus fine :

- sols de texture moyenne à fine : sols peu évolués modaux ou halomorphes (S 24, S 19), siérozems (S 78, S 81), sols bruns calcaires (S 42), sols bruns calciques (S 63).
- sols de texture fine : sols peu évolués vertiques (S 15)
- sols de texture fine à très fine : vertisols (S 24, S 26).

---

(1) Le gradient textural est variable pour l'ensemble du profil en raison de l'homogénéité texturale des sols dans les dayas.

+ Conclusions

Dans les dayas, si la salure reste déterminante, la texture fine à très fine des sols constitue le principal facteur conditionnant la présence d'espèces et de groupements caractéristiques (*Teucrium campanulatum, Polygonum patulum,* etc). L'influence du climat intervient néanmoins dans ce milieu si dépendant des facteurs anthropiques et surtout édaphiques : le climat parait d'autant plus important que la texture est moins fine, la texture et la perméabilité se rapprochent alors de celles des autres sols de la zone, et que l'aridité augmente.

3 - LES FORMATIONS VEGETALES

a - les forêts claires et les matorrals

Afin de vérifier les résultats de l'analyse ESP-REL. 21 : FORETS - ARIDE SUPERIEUR on considère un ensemble plus homogène regroupant tous les relevés effectués dans les forêts claires et les matorrals de l'étage aride (aride supérieur).

L'analyse ESP-REL. : FORETS - MATORRALS (ARIDE) comprend ainsi 46 relevés et 82 espèces (FA $\geqslant$ 5).

+ Signification écologique des axes (carte 21)

Les axes 1 et 2, d'importance sensiblement équivalente, montrent sur la carte 21 :

- une différenciation des unités géomorphologiques et surtout des types de substrats : grés, calcaires durs, marno-calcaires, surfaces encroûtées. Il y correspond un gradient de calcaire total selon la diagonale : SE-NO
- une opposition entre les variantes thermiques à hivers froids (m 1) et celles à hivers frais (m 2) ; elle représente aussi une différence d'altitude et de pluviosité.

On observe une séquence sur grés (sols humifères variés : S 60, S 95, S 59, S 37, S 48) depuis le groupement à *Cistus salvifolius* (V 6) sur des sols à pH neutre (& 7,2 : soit pH < 7,2) jusqu'au groupement à *Juniperus phoenica* (V 9) de l'aride moyen à hivers frais sur des sols calcimagnésiques xériques.

Les milieux calcaires se regroupent dans le quart NO de la carte avec dans l'ordre : les rendzines sur calcaires durs (S 35), les sols bruns calcaires sur marno-calcaires (S 43, S 36), et les surfaces encroûtées (G 3, G 4, etc).

L'axe 3 peu net, distingue un ensemble d'espèces essentiellement annuelles, parfois vivaces, indiquant une dégradation des groupements sur grés : *Thymus guyonnii*, *Rumex bucephalophorus*, *Medicago secundiflora*, *Cutandia divaricata*, *Eryngium campestre*, *Lotus creticus* ssp *collinus*, *Medicago minima*, *Plantago albicans*, *Artemisia campestris*, etc.

L'axe 4 individualise le groupement à *Catananche coespitosa* (V 4) sur marnes et argiles sableuses rouges faiblement encroûtées.

+ Conclusions

Pratiquement, les conclusions confirment les résultats déjà obtenus au cours de l'analyse globale (ESP-REL. 21 : FORETS - ARIDE SUPERIEUR). Une nouvelle fois, se manifestent l'influence du type de substrat et l'importance des facteurs thermiques liés à l'altitude et à l'exposition. Le gradient de calcaire total, observé précédemment, parait ici plus net pour distinguer : les sols non calcaires (pH neutre) sur grés, les sols non ou faiblement calcaires sur grés et calcaires durs et les sols calcaires sur marno-calcaires, marnes et croûtes calcaires.

b. Les steppes à alfa

L'analyse globale ESPECES-RELEVES a montré l'influence prépondérante des bioclimats sur la composition floristique des steppes à alfa. Ces steppes climatiques se répartissent, en fonction d'une aridité croissante, selon des successions de groupements sensiblement parallèles ; chaque succession, correspond à une séquence sur les différents substrats qu'il est intéressant de mieux individualiser : grés, calcaires durs et sols à croûte calcaire pour les plus importants.

L'analyse ESP-REL : STEPPES A ALFA (ARIDE)
regroupe 215 relevés et 118 espèces (FA ⩾ 11).

+ Signification écologique des axes (carte 22)

L'axe 1 montre à l'évidence un gradient climatique d'aridité croissante (P 3, P 4, P 5).

L'axe 2 différencie les relevés situés sur les versants à substratum de calcaires durs (G 1, S 47) en les opposant aux surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (G 3, G 4).

L'axe 3, peu marqué, permet de distinguer les sols profonds sans horizon d'accumulation calcaire (siérozems modaux S 78, S 80). Ces relevés ne possèdent pas les espèces caractéristiques des croûtes et des encroûtements calcaires, ni celles des versants à substratum de calcaires durs ou de grés (axe 4). Le cortège floristique comprend, outre *Stipa tenacissima*, les principales espèces steppiques vivaces (*Lygeum spartum*, *Artemisia herba-alba*, *Artemisia campestris*, *Stipa parviflora*) et une multitude d'annuelles, communes aux autres groupements. L'axe 3 regroupe ces annuelles et indique peut-être un certain état de dégradation des steppes à alfa.

L'axe 4 établit l'originalité du groupement à *Launaea acanthoclada* et *Ononis natrix* ssp *polyclada* (V 28) sur les grés de l'aride moyen.

Axe 5

L'ensemble des relevés de l'aride moyen (P 4, m 2, M'2) se dégage avec l'axe 5. Toutefois aucune espèces spécifique ne vient caractériser ce sous-étage. Seule l'absence des espèces, soit de l'aride supérieur, soit de l'aride inférieur, permet de le distinguer.

+ Conclusions

La carte 22 offre, le long de l'axe 1 ; une bonne visualisation des séquences bioclimatiques d'aridité croissante :

- sur calcaires durs (V 16, V 18, V 20, V 23, V 24, V 15)
- sur grés (V 27, V 36, V 28, V 29)
- sur sols à croûte et/ou encroûtement calcaire (V 12, V 25, V 26,

V 13, V 14). PR 1 se situe à proximité de S 53 et V 13 vers le centre de la carte (aride moyen).

On constate également, pour les horizons de surface, un gradient de la teneur en matière organique et de la rétention en eau du sol (point de flétrissement et capacité de rétention): elles diminuent avec l'aridité du climat, d'autant que la texture devient le plus souvent grossière.

En conclusion, dans les steppes à alfa, les facteurs édaphiques jouent un rôle important puisque la répartition des espèces végétales souligne les différents types de substrats (grès et calcaires durs), la présence ou l'absence d'un horizon d'accumulation calcaire (croûte et/ou encroûtement, parfois amas et nodules calcaires), etc.

Une analyse complémentaire, en prenant la totalité des espèces présentes, aurait indubitablement permis de mettre en évidence d'autres substrats caractéristiques : groupements V 32 à *Erodium glaucophyllum* sur encroûtement gypseux de surface, groupements sur marnes à *Atractylis humilis*, *Salsola vermiculata* var. *villosa*, etc.

4 - LES SEQUENCES SUR UN MEME SUBSTRATUM GEOLOGIQUE

L'étude des quatre principales séquences, sur calcaires durs, sur grès, sur marno-calcaires et sur marnes, apporte une confirmation des résultats déjà obtenus.

a. Calcaires durs

L'analyse ESP-REL : CALCAIRES DURS regroupe un ensemble de 39 relevés effectués sur les versants de l'étage aride (forêts et steppes).

+ Signification écologique des axes (carte 23)

La signification climatique de l'axe 1 est évidente; elle oppose les milieux forestiers de l'aride supérieur aux steppes à alfa des régions présahariennes. En réalité, la carte 23 montre la disposition des espèces dans une figure d'ensemble en forme de V, de part et d'autre de l'axe 2.

On distingue ainsi trois sous-ensembles principaux :

- les espèces et les groupements forestiers de l'aride supérieur à hivers froids et température diurne basse (P 3, m 1, M'1) sur les rendzines humifères (S 35) : *Pinus halepensis, Quercus ilex, Juniperus oxycedrus*, etc.
- les espèces et les groupements steppiques de l'aride inférieur à hivers frais et température diurne élevée à très élevée (P 5, M'3, M'4) sur des sols calcimagnésiques xériques pauvres en matière organique et présentant souvent un recouvrement éolien (R 2): *Arthrophytum scoparium, Gymnocarpos decander*, etc.
- les espèces et les groupements steppiques de l'aride supérieur (axe 2). Les espèces caractéristiques de ce bioclimat s'individualisent nettement (cf. carte 23), contrairement à l'aride moyen.

+ Conclusions

Les espèces végétales se distribuent en fonction des conditions climatiques de plus en plus arides. Cette aridité croissante se matérialise sur la carte par une série de gradients concernant :

- la pluviosité : P 3, P 4, P 5.
- les températures : m 1, m 2 et M'1, M'2, M'3, M'4.
- l'horizon de surface des sols : teneur en matière organique, rétention en eau (point de flétrissement et capacité de rétention), pH, etc. (1).

La disposition des groupements végétaux se fait selon la même succession observée dans les analyses précédentes (ESP-REL. 2, ESP-ECO TFR) : V 1, V 2, V 16, ..., V 24, V 15).

L'analyse précise les groupes écologiques climatiques : c'est la situation idéale puisque l'on se trouve sur le même substrat. En fait, le sol change peu à peu avec le changement de nature du couvert végétal, passage de la végétation forestière à la steppe, et l'aridité croissante du climat (cf. chap. IV).

b. grés

L'analyse ESP-REL. : GRES regroupe un ensemble de 79

(1) Le taux de calcaire total ne présente pas de gradient net en fonction de l'aridité du climat.

relevés effectués sur les versants et les affleuvements de grés de l'étage aride (forêts et steppes).

+ Signification écologique des axes (carte 24)

Axe 1

L'axe 1 oppose les milieux forestiers de l'aride supérieur (V 6, V 7) aux groupements steppiques plus ou moins dégradés et ensablés de l'aride inférieur (groupement V 41 à *Arthrophytum schittianum* et *Retama retam*).

Axe 2

Il exprime, dans sa partie positive, une très forte individualisation des groupements liés à des températures diurnes élevées à très élevées (M'3 et M'4). Ainsi le gradient climatique d'aridité, illustré par la succession P 3 - P 4 - P 5, s'infléchit en direction des coordonnées positives de l'axe 2 (idem ESP-REL. 2).

En outre, sur la carte 24, on observe les trois successions de groupements en fonction d'une aridité croissante:

- groupements forestiers ou de dégradation forestière : V 6, V 7,V 9.
- groupements des steppes à alfa : V 27, V 36, V 28, V 29, V 57.
- groupements de steppes à chamaephytes plus ou moins dégradées et ensablées : V 50, V 39, V 53, V 41.

Une telle disposition traduit en fait un gradient général de dégradation selon la diagonale NE-SO, ainsi pour l'aride moyen la succession : V 9, V 28, V 39 .

Les caractéristiques des horizons de surface s'organisent également selon des gradients en relation plus ou moins nette avec l'aridité et le degré de dégradation. Ainsi le pH et la teneur en calcaire total (< 10 %) augmentent avec l'aridité. La texture fine à moyenne dans les formations forestières devient grossière (A 20) dans les groupements steppiques avec la généralisation d'un horizon de recouvrement éolien discontinu (R 2) à l'extrémité négative de l'axe 1. Parallèlement, les valeurs de pF 4,2 et pF 2,5 diminuent au fur et à mesure que les horizons deviennent plus sableux. Quant au gradient de matière organique, il est "perturbé" (cf. position de H 1,0 et H 1,5) au niveau de l'aride moyen et inférieur par la

présence simultanée de steppes à alfa et de steppes dégradées à chamaephytes.

L'axe 3 souligne l'individualité du groupement V 6 à *Quercus ilex* et *Cistus salvifolius* (sols non calcaires à pH neutre).

A l'opposé, les steppes à alfa de l'aride moyen s'individualisent assez nettement : groupement V 28 à *Launaea acanthoclada* et *Ononis natrix* ssp *polyclada*.

+ Conclusions

Les sols sur substratum gréseux offrent une grande diversité floristique correspondant à l'action de nombreux facteurs écologiques climatiques, anthropiques et édaphiques. La texture joue un rôle important avec une très forte représentation des espèces psammophiles, bien mises en évidence dans cette analyse.

Les fréquentes intercalations de minces strates argileuses (argiles versicolores) ou gréseuses plus tendres (grés argileux), souvent faiblement salées ou gypseuses, sont soulignées dans les relevés par la présence quasi constante d'espèces comme : *Salsola vermiculata* var. *villosa*, *Moricandia arvensis* ssp *suffruticosa* *Lygeum spartum*, *Artemisia herba-alba*.

c. Marno-calcaires

L'analyse ESP-REL. : MARNO-CALCAIRES comprend 38 relevés effectués sur les versants et les collines encroûtées (versant - glacis).

La carte 25 montre une figure très comparable à la carte 23 (calcaires durs). La signification climatique de l'axe 1 se marque aussi nettement en opposant les groupements forestiers de l'aride supérieur aux groupements steppiques de l'aride inférieur.

L'aridité croissante s'exprime par :

- les gradients de pluviosité et de températures
- le passage des sols humifères, plus ou moins encroûtés (S 43, S 36), à des sols calcimagnésiques xériques à croûte calcaire (S 50) sur des surfaces de plus en plus anciennes (G 4 et G 3).

- la diminution du taux de matière organique de l'horizon de surface pour une texture moyenne relativement homogène (A 40) ; corrélativement, les valeurs de pF 4,2 et pF 2,5 diminuent dans le même sens.

La teneur en calcaire total de l'horizon de surface reste toujours élevée (entre 10 et 50 % généralement). Elle n'est pas un facteur déterminant si l'on en juge par la position de L 10, L 25 et L 50 qui restent très groupés dans le quart SE de la carte 25.

Les relevés sur marno-calcaires présentent une grande diversité ; ils se rattachent, soit aux relevés sur calcaires durs ou sur marnes, soit aux relevés sur croûtes calcaires.
La composition floristique ne fait que refléter la diversité et le changement de types de sols tout au long de la séquence d'aridité. La nature lithologique des marno-calcaires intervient d'autant plus qu'elle n'est pas "masquée" par la présence d'un encroûtement calcaire et surtout d'une croûte. Son influence est donc maximum dans l'aride supérieur (sols bruns calcaires plus ou moins encroûtés) avec effectivement des groupements caractéristiques, soit des calcaires durs (V 1, V 2) et parfois des grés, soit des marnes (V 4); mais très vite la transition se fait avec les sols à croûte calcaire.

d. Marnes

On regroupe les 55 relevés effectués sur les versants à substratum marneux, régosols et sols régosoliques, pour l'analyse ESP-REL. : MARNES.

+ Signification écologique des axes (carte 26)

Axe 1

Cet axe met en évidence le groupement V 19 à *Atractylis humilis* et *Onobrychis argentea* sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental (sols régosoliques avec début d'accumulation calcaire, S 10) dans l'aride supérieur à hivers froids et température diurne basse (m 1, M'1).

A l'opposé, mais toujours dans l'aride supérieur, ce sont les formations crassulescentes à *Salsola vermiculata* var. *villosa*

et *Atriplex glauca* (V 95, V 97) sur les marnes plus ou moins gypseuses et salées (S 1)

Axe 2

La signification climatique de l'axe 2 souligne un gradient relativement net d'aridité, doublé d'un gradient textural. La texture devient de plus en plus grossière (A 70, A 40, A 20) alors qu'un recouvrement éolien s'observe aussi plus fréquemment (R 2).

L'axe 2 oppose donc à ses deux extrémités :

- l'aride supérieur avec les marnes cultivées de texture fine à très fine, plus ou moins gypseuses et salées (V 91, V 97) : *Euphorbia exigua, Sisymbrium coronopifolium, Cordylocarpus muricatus*, etc.
- l'aride moyen et inférieur avec les argiles versicolores intercalées entre les bancs de grés durs du Jurassique ou du Crétacé inférieur continental (V 17, V 42). Un important cortège de psammophiles atteste la texture grossière de l'horizon de surface et la présence d'un recouvrement éolien en relation avec la désagrégation des grés intercalaires.

Axe 3

Il précise la partie centrale de la carte 26 en distinguant les groupements de l'aride moyen (V 40) sur ces argiles versicolores (S 9, S 2) et les marnes (S 8) peu ensablées (*Lygeum spartum, Artemisia herba-alba Atractylis humilis*, etc.).

Axe 4

Les espèces liées à des teneurs élevées de gypse (Y 25, Y 99) forment un ensemble assez caractéristique : *Reaumuria vermiculata, Astragalus tenuifolius, Moricandia arvensis* et dans une moindre mesure *Salsola vermiculata* var. *villosa*.

+ Conclusions

Les marnes composent un ensemble complexe où la végétation est très fortement influencée par les caractéristiques pétrographiques du substratum. Ainsi, au niveau des familles de sols,

la distinction de trois types lithologiques se trouve particulièrement fondée avec les marnes plus ou moins gypseuses, les argiles versicolores et les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental.

Néanmoins, le climat reste un facteur important auquel s'ajoutent les facteurs édaphiques : texture et teneur en gypse de l'horizon de surface, présence d'un recouvrement éolien, début d'accumulation calcaire dans le profil. Les salures excessives de l'horizon de surface, conductivité pouvant dépasser 16 à 32 mmhos-cm, des régosols et des sols régosoliques formés sur les argiles versicolores ne sont pas "révélées" par la végétation ; tout au plus dans certains cas, la présence de *Salsola vermiculata* var. *villosa* peut être éventuellement considérée comme un simple indice. En fait, il s'agit de sols halomorphes à salant hygroscopique où la salure, très localisée en plages superficielles, est marquée par une très forte proportion de chlorure de calcium (analogie avec les plages de salure sur les surfaces encroûtées de l'aride moyen, cf. chap. IV).

5 - LES GRANDES UNITES PEDOLOGIQUES

Dans les steppes sud-algéroises, les siérozems et les sols à croûte calcaire occupent une superficie extrêmement importante. Leur étude doit permettre de préciser en particulier l'influence des horizons d'accumulation calcaire.

a. Les siérozems

Avec 196 relevés assez bien répartis dans les différents bioclimats, formations végétales, et situations géomorphologiques, les siérozems offrent une gamme étendue de conditions écologiques (tableau 33). Les sols, généralement assez profonds, présentent en outre une grande variété de texture et surtout des formes d'accumulation calcaire (amas et nodules, encroûtement).

L'objectif de l'analyse ESP-REL. : SIEROZEMS est donc de préciser l'influence des principaux facteurs édaphiques dans un ensemble de relevés très diversifié et complexe regroupant en fait plusieurs milieux écologiques : steppes climatiques et édaphiques, cultures.

+ Signification écologique des axes (carte 27)

Axe 1

L'axe 1 intègre un double gradient, d'aridité croissante et de dégradation. Il distingue plus particulièrement :

- les steppes climatiques de l'aride inférieur, coté négatif
- les cultures de l'aride supérieur, coté positif.

Globalement, les siérozems les plus cultivés se trouvent dans les zones les plus humides, aride moyen et surtout aride supérieur .

Axe 2

Cet axe exprime un gradient textural net (A 5 à A 70) auxquels correspondent plus ou moins fidèlement les gradients de calcaire total, matière organique et rétention en eau (pF 4,2 et pF 2,5).

Axe 3

Les dayas (G 10) et le groupement V 65 à *Lygeum spartum* et *Artemisia herba-alba* de l'aride moyen sont décelés par l'axe 3.

L'examen plus détaillé des résultats et de la carte 27 montre une disposition remarquable des espèces et des relevés en fonction des principales situations géomorphologiques. Elles synthétisent les facteurs mis en évidence, par les axes 1 et 2 notamment, avec la distinction des trois ensembles suivants : les steppes climatiques de l'aride inférieur sur les surfaces plus ou moins encroûtées, les cultures dans les zones d'épandage et les chenaux d'oued alluvionnés, les steppes édaphiques sableuses sur les formations éoliennes.

- les steppes climatiques de l'aride inférieur (quart SO de la carte 27) s'individualisent par les espèces caractéristiques de ce bioclimat (*Arthrophytum scoparium, Gymnocarpos decander,* etc.) mais encore pour les espèces liées à la présence d'une croûte calcaire à faible profondeur *(Telephium imperati, Herniaria fontanesii,* etc.). En l'occurrence, il s'agit de siérozems à

encroûtement calcaire (S 89, S 90) et de siérozems à amas et nodules calcaires (S 84, S 85) localisés sur les surfaces du Quaternaire moyen et récent (G 4) et certains versants marneux (G 1).

- les cultures dans les zones d'épandage et les chenaux d'oueds alluvionnés de l'aride moyen et supérieur, quart SE de la carte 27, sont mises en évidence par un important groupe d'espèces annuelles liées aux sols cultivés de texture moyenne à fine (cf. ESP-REL. 22 : CULTURES). Ce sont encore des siérozems à encroûtement calcaire (S 86) ou à amas et nodules calcaires (S 81). Contrairement aux précédents, la présence de l'horizon d'accumulation est masquée par la culture, par la texture moyenne à fine de l'horizon de surface, mais aussi par les apports d'eaux de ruissellement (V 80, V 77, V 85, V 46).
- les steppes édaphiques sableuses (formations éoliennes G 5) avec des sols profonds de texture grossière à très grossière (S 77, S 91) se distinguent une nouvelle fois par l'ensemble des espèces psammophiles (partie Nord de la carte 27) : soit dans les milieux cultivés avec les groupements à *Artemisia campestris* (V 76, V 78), soit dans les steppes de plus en plus arides (V 47, V 39, V 41), soit encore dans les groupements plus différenciés à *Aristida pungens* (V 51) ou à *Traganum nudatum* (V 68) avec une nappe phréatique relativement proche de la surface (N 6).

+ Conclusions

Certes les espèces et les relevés se distribuent globalement selon un gradient d'aridité croissante (axe 1) mais leur dispersion sur l'ensemble de la carte souligne l'importance des autres facteurs écologiques anthropiques (cultures) et édaphiques.

Parmi ces facteurs, la situation géomorphologique et la texture jouent un rôle essentiel en agissant sur le bilan hydrique des sols, apport d'eaux de ruissellement et rétention en eau , modulant ainsi l'influence du climat.

Le regroupement des espèces et des relevés se fait alors sur ces critères et non sur la présence, même à moins de 50 cm de

profondeur, d'un horizon d'accumulation calcaire (croûte ou encroûtement) ; ceci est d'autant plus net que les milieux sont cultivés et que la texture est soit fine, soit grossière.

Par contre, pour les steppes climatiques situées sur les surfaces plus ou moins encroûtées (G 4) et sur les versants bien drainés, sans apports d'eaux complémentaires (ruissellement, nappe), le climat demeure le facteur le plus important ; c'est alors seulement que la composition floristique des relevés souligne la présence des horizons d'accumulation calcaire (amas, nodules et surtout encroûtement) par les espèces caractéristiques des croûtes calcaires.

b. Les sols à croûte calcaire (sols calcimagnésiques xériques)

On regroupe l'ensemble des sols calcimagnésiques xériques à croûte calcaire (S 50 à S 58) dans une première analyse ESPECES-RELEVES : SOLS A CROUTE CALCAIRE.

α. ESP.REL. : SOLS A CROUTE CALCAIRE (ARIDE)

La matrice comprend : 348 R et 126 E (FA $\geqslant$ 11)

+ Signification écologique des axes (carte 28)

Axe 1

La signification climatique de l'axe 1 ne peut surprendre, compte-tenu des analyses précédentes.

Axe 2

Il exprime tout aussi clairement le degré de dégradation en opposant les groupements steppiques (et forestiers) aux groupements de cultures (coté négatif).

La carte 28 montre la disposition générale des espèces et des variables écologiques en fonction des deux facteurs : aridité et dégradation. La succession des groupements steppiques occupe la partie supérieure de la carte symbolisant un arc de cercle, depuis les steppes à alfa d'origine forestière de l'aride supérieur à hivers froids (m 1 M'1) jusqu'aux steppes des zones présahariennes : V 12, V 25, V 26, V 13, V 14, V 61. Cette séquence, déjà observée, illustre un gradient climatique sensiblement parallèle

à l'axe 1 (P 3 - P 4 - P 5).

Les séquences de dégradation s'organisent selon l'axe 2 avec un passage plus ou moins progressif : steppes à alfa, steppes à chamaephytes, cultures. Pour l'aride supérieur et l'aride moyen les deux séquences apparaissent clairement sur la carte 28 : V 25, V 43, V 77 et V 26, V 45, V 46, V 89. Ce passage correspond à une succession d'espèces : steppiques vivaces, steppiques annuelles, annuelles et vivaces des milieux cultivés. La position des deux groupements de l'aride moyen (V 46 et V 89) est intéressante à noter car ils se trouvent "décalés" vers l'aride supérieur : les apports d'eaux de ruissellement compensent la pluviosité (compensation des facteurs). De plus, on constate que la disposition des familles de sols paraît se faire selon un certain gradient topographique, parallèle au gradient de dégradation : des piedmonts encroûtés les plus élevés et les plus pentus, parmi lesquels se trouve PR 1 (S 50, S 57, S 53), aux surfaces plus basses et plus planes (S 56, S 51, S 52), susceptibles de recevoir des apports d'eaux de ruissellement et très souvent cultivées.

Toujours sur cette même carte 28, on constate que l'ensemble des espèces s'inscrit dans un triangle dont le sommet serait l'extrémité négative de l'axe 1 et la base, une parallèle à l'axe 2, reliant les espèces steppiques caractéristiques des hivers froids (*Thymelaea tartonraira*) aux espèces des milieux cultivés (*Vicia monantha* ssp *cinerea*, par exemple). Cette disposition signifie que la diversité floristique des relevés décroit avec l'aridité du climat. Ainsi les deux extrêmes sont :

- d'une part, l'aride supérieur avec une diversité maximum des relevés qui rendent compte de toute la séquence de dégradation : des formations forestières jusqu'aux cultures. L'importance des facteurs anthropiques est alors très grande.
- d'autre part, l'aride inférieur avec simplement les formations steppiques (steppes à alfa et steppes à chamaephytes).

Les compositions floristiques des steppes à alfa et des steppes à chamaephytes correspondantes sont donc d'autant plus proches que le climat est aride (cf. carte 28 : V 25 et V 37, V 43

pour l'aride supérieur ; V 26 et V 44 pour l'aride moyen ; V 14 et V 48 pour l'aride inférieur). D'autre part, pour l'aride moyen, il parait judicieux de distinguer effectivement : le groupement à *Artemisia herba-alba* et *Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum* (V 26) et le groupement à *Salsola vermiculata* var. *brevifolia* et *Telephium imperati* (V 13) ; le premier correspondrait à une pluviosité comprise entre 250 et 300 mm, hivers frais et température diurne moyenne (M'2, soit M' < 12°C) ; le second caractériserait des milieux plus arides (200 - 250 mm) à hivers frais et température diurne plus élevée (M' > 12°C).

Axe 3

Le cortège classique des espèces psammophiles révèle la texture grossière de l'horizon de surface (A 20) et la présence d'un recouvrement sableux éolien discontinu (R 2) : steppes et cultures à *Artemisia campestris* (V 47, V 39, V 78, V 76).

Axe 4

Les cultures de l'aride supérieur (V 77) et la famille S 56 forment un ensemble relativement bien différencié.

+ Conclusions

Les résultats obtenus confirment l'action des facteurs écologiques les plus déterminants :

- les facteurs climatiques exercent une influence majeure sur la composition floristique des relevés effectués sur les sols à croûte calcaire, tout particulièrement dans les formations de steppes à alfa et de steppes à chamaephytes. Cette influence diminue au fur et à mesure que les autres facteurs écologiques deviennent plus importants : cultures, apport d'eaux de ruissellement, texture de l'horizon de surface, etc. Elle augmente par contre avec une aridité croissante.
- les facteurs anthropiques sont maximums dans l'aride supérieur (séquence de dégradation des forêts aux cultures).
- les facteurs édaphiques se manifestent avec les apports d'eaux de ruissellement et la texture de l'horizon de surface (texture grossière et recouvrement sableux éolien).

Ces facteurs anthropiques et édaphiques peuvent donc limiter l'influence du climat mais aussi "masquer" la présence de la croûte en éliminant les espèces caractéristiques de l'horizon d'accumulation calcaire. Les relevés s'éloignent alors de l'ensemble des steppes climatiques à alfa ou à chamaephytes sur sols à croûte calcaire sans apport d'eaux de ruissellement et présentant une texture moyenne en surface.

La morphologie des horizons encroûtés ne paraît jouer aucun rôle dans la répartition des espèces végétales. Il importe de le vérifier en prenant un ensemble de relevés plus restreint et plus homogène.

β. Etude de la famille S 51 : sols calcimagnésiques xériques à croûte calcaire sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental.

La première étude porte sur la totalité de la famille dans l'étage aride (137 R x 87 E avec FA > 9). Elle permet de retrouver les trois facteurs écologiques de l'analyse précédente mais dans un ordre différent : cultures (dégradation), texture de l'horizon de surface, climat. L'inversion s'explique par le nombre restreint de relevés (8) effectués dans l'aride inférieur. L'importance de l'échantillonnage n'est donc pas négligeable dans la hiérarchie des axes factoriels dont la signification n'est pas altérée pour autant.

La seconde analyse regroupe les relevés de l'aride moyen (P 4) afin de réduire au maximum l'influence du climat.
Il s'agit d'ESP-REL. : SOL 51 ARIDE MOYEN
(91 R x 90 E avec FA > 6).

+ Signification écologique des axes (carte 29).

Axe 1

Le degré de dégradation oppose l'ensemble des espèces et groupements steppiques aux espèces et groupements de cultures mais aussi au groupement V 46 à *Artemisia herba-alba* et *Poa bulbosa* (apport d'eaux de ruissellement).

Axe 2

La texture de l'horizon de surface distingue deux ensembles de part et d'autre de l'axe 1:

- sols de texture moyenne à fine (A 40 et A 70)
- sols de texture grossière à très grossière (A 20 et A 5)

Axe 3

L'axe 3 individualise les textures très grossières (A 5) correspondant à un recouvrement sableux continu (U 1)

+ Conclusions

L'analyse confirme une certaine homogéneité bioclimatique de l'ensemble : aride moyen à hivers frais et température diurne moyenne (P 4, m2, M'2) ; le facteur climat ne se manifeste pas au niveau des principaux axes factoriels dont la signification est par ailleurs connue.

Le quart S-O de la carte 29 montre le noyau "steppes" caractérisé par les espèces liées effectivement aux formations steppiques de l'étage aride (*Stipa tenacissima, Lygeum spartum, Artemisia herba-alba, Stipa parviflora*) ; il s'y ajoute les espèces plus spécifiques des sols à croûte calcaire (*Telephium imperati, Stipa barbata, Noaea mucronata, Helianthemum hirtum* ssp *ruficomum, Matthiola fruticosa, Atractylis phaeolepis*, etc).

Du noyau "steppes" se dégagent 4 directions de différenciation : apports d'eaux de ruissellement et le plus souvent texture moyenne à fine de l'horizon de surface (V 46), cultures (U 10), texture grossière et texture très grossière (recouvrement sableux continu).

L'âge des surfaces encroûtées et la morphologie des horizons d'accumulation ne paraissent exercer aucune influence sensible sur la composition floristique des relevés, même dans un ensemble aussi restreint et relativement homogène. Une étude analogue de la famille S 53 (sols à croûte calcaire sur alluvions-colluvions plus ou moins caillouteuses de piedmont) confirme en tous points ces conclusions et celles d'observation antérieures (POUGET, 1977) : à défaut de différence floristique, il existe

sans aucun doute des différences quantitatives de biomasse et de potentialités sylvo-pastorales en fonction de la morphologie des horizons d'accumulation.

6 - ECOLOGIE DES ESPECES VEGETALES

Pour préciser l'écologie de telle ou telle espèce végétale, il semble intéressant de regrouper dans une même analyse (ESPECES-RELEVES) tous les relevés où l'espèce est présente. On peut espérer ainsi caractériser les principaux milieux dans lesquels l'espèce végète.

Les quelques exemples présentés ci-dessous ne sont qu'une simple illustration de la méthode et de son intérêt éventuel.

+ *SALSOLA VERMICULATA* var. *VILLOSA*

La matrice de l'analyse ESP-REL : *SALSOLA VERMICULATA* var. *VILLOSA* comprend : 167 R x 88 E (FA > 10)

L'analyse indique une grande diversité de milieux écologiques qui ne se regroupent pas en fonction de facteurs climatiques mais bien édaphiques : situation géomorphologique, famille de sols avec gradients de salure et texture de l'horizon de surface.

La carte 30 (axes 1-2) souligne :

- avec l'axe 1, l'opposition entre les zones d'épandage (G 8) et les versants à substratum gréseux (S 48).
- l'individualisation très nette des formations éoliennes (G 5) à l'extrémité négative de l'axe 2 : sols sableux profonds non ou peu salés en surface (S 77, S 22, S 109) et nappe phréatique aux environs de 2 m (N 5).

D'une façon plus générale, la carte 30 permet de constater trois ensembles écologiques :

- les versants et les surfaces plus ou moins encroûtées (G 1, G 3 G 4) dans le quart NO : régosols et sols régosoliques sur les marnes (S 1, S 2, S 3, S 8, S 9) ; sols calcimagnésiques xériques sur calcaires durs (S 47) et sur grés (S 48) avec les minces strates d'argiles versicolores plus ou moins salées et gypseuses ;

sols à croûte calcaire et siérozems faiblement salés en profondeur, etc.

- les formations alluviales récentes et les dépressions (G 9, G 7, G 8, G 10, G 11) dans le quart S-E : sols très variés faiblement salés en profondeur (sols peu évolués, siérozems) devenant ensuite plus salés (sols peu évolués halomorphes) ; le gradient de salure se continue avec les sols halomorphes (cryptosolonchaks, solonchaks de texture moyenne à fine, très rarement hypersolonchaks).
- les formations éoliennes (G 5) : sols sableux profonds non ou peu salés (S 77, S 22, S 109) et nappe phréatique souvent à moins de 2 mètres (N 5).

En définitive, *Salsola vermiculata* var. *villosa* s'accomode de milieux très variés comme le montre également sa fiche écologique (annexe 5). Elle caractérise les sols halomorphes moyennement salés ; pour une multitude de sols, elle révèle la présence en profondeur d'une salure extrêmement variable : d'une bonne dizaine de mmhos-cm à 2-3 mmhos représentant éventuellement un faible pourcentage de gypse. Cette espèce vivace à enracinement profond, reste donc sous la dépendance des facteurs édaphiques bien qu'elle soit absente en altitude (hivers froids à température diurne basse : m 1 M'1) où il existe cependant des milieux édaphiques susceptibles de l'accueillir.

+ *ATRIPLEX HALIMUS*

La matrice de l'analyse ESP-REL. : *ATRIPLEX HALIMUS* comprend : 67 R x 41 E (FA $\geqslant$ 6).

L'axe 1 oppose les zones d'épandage (G 8) et les solonchaks de texture moyenne à très fine (S 115) aux formations éoliennes (G 5) c'est-à-dire les cryptosonchaks de texture grossière à très grossière (S 109). Dans les deux cas, la salure reste peu élevée en surface. D'autres milieux s'individualisent encore :

- hypersolonchaks dans les dépressions à nappe (G 11) et conductivité supérieure à 16 mmhos-cm en surface (axe 2).
- terrasses récentes et sols peu à moyennement salés à alcali (S 120) de texture fine à très fine (axe 3).
- dunes plus ou moins fixées et nappe en profondeur (axe 4) avec

le groupement V 55 à *Aristida pungens* et *Tamarix* sp.

- Dayas, marnes et argiles versicolores de l'aride inférieur (axe 5).

Les résultats précisent l'écologie d'*Atriplex halimus* telle qu'elle apparait dans les analyses précédentes. Cette espèce vivace à enracinement profond présente une grande adaptation pour se développer dans les milieux halomorphes de texture très variée. Elle marque une préférence pour les sols de salure moyenne (8 à 32 mmhos-cm) bénéficiant d'un profil hydrique favorable (nappe phréatique entre 2 et 6 mètres, apports d'eaux de ruissellement). Ces résultats s'accordent avec les données bibliographiques (FRANCLET et LE HOUEROU, 1971) et en particulier les récentes observations de ZID et BOUKHRIS (1977). Ainsi *Atriplex halimus* a besoin de sels pour assurer son développement optimum (10 à 20 g/l de Na Cl en solution pure, soit très approximativement l'équivalent d'une conductivité de 10-30 mmhos-cm pour l'extrait saturé d'un sol). La plante peut tolérer des salures encore plus élevées. Cependant, au stade de la germination des graines, le seuil de tolérance est nettement abaissé en raison d'une inhibition de nature osmotique ; il se situe aux environs de 10 g/l de Na Cl. Dans ces conditions, *Atriplex halimus* ne peut s'installer facilement dans les milieux hydro-halomorphes où la salure est très élevée dans les premiers centimètres. Par contre, l'installation et la croissance sont favorisées par une salure faible en surface, mais plus importante en profondeur ; il en est ainsi dans la plupart des relevés où la plante est présente. Les plus beaux peuplements d'*Atriplex halimus* se trouvent dans le Bassin du Zahrez Gharbi dans la zone d'épandage de l'oued Melah : sols peu évolués halomorphes et solonchaks de texture moyenne à très fine avec une nappe phréatique entre 2 et 5 mètres de profondeur.

+ *STIPA TENACISSIMA* 452 R x 141 E (FA $\geqslant$ 20)

En considérant l'ensemble des 452 relevés où l'alfa est présent, l'analyse fournit des résultats analogues à ceux déjà obtenus pour les steppes à alfa (cf. p. 262) : le couvert végétal reste sous la dépendance première des conditions climatiques (axe 1) et édaphiques générales opposant les versants aux surfaces plus ou moins encroûtées (axe 2); la texture très grossière à grossière de

l'horizon de surface intervient ensuite (Axe 3).

L'alfa caractérise donc l'étage aride, plus particulièrement les steppes climatiques dans les zones bien drainées : versants, surfaces plus ou moins encroûtées, etc.

+ *TELEPHIUM IMPERATI* : 109 R x 59 E (FA > 10).

Sur ces surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen (matorrals et steppes) le climat demeure bien évidemment le facteur essentiel (axe 1) alors que la texture presque toujours moyenne, contribue à une grande homogénéité de l'ensemble.

Telephium imperati est donc une espèce caractéristique des sols à croûte calcaire (ou encroûtement calcaire) dans les steppes climatiques de l'étage aride.

+ *THYMELEA MICROPHYLLA* : 222 R x 121 E (FA $\geqslant$ 10)

L'analyse montre, dans l'aride moyen et inférieur, une grande diversité de milieux où l'on distingue :

- les sols sableux plus ou moins profonds (A 5, A 20).
- les sols très divers de texture moyenne à fine (A 40, A 70) avec un recouvrement éolien sableux discontinu (R 2).

En définitive, *Thymelea microphylla* apparait comme une espèce psammophile indiquant éventuellement la présence d'un simple recouvrement éolien, même discontinu, sur des sols extrêmement variés de l'aride moyen et inférieur (P < 300 mm).

+ Conclusions

Pour chaque espèce étudiée, un panorama global de l'ensemble des milieux écologiques est donné par l'analyse qui en dégage les différences et les caractéristiques communes :

- milieux édaphiques bien tranchés et indépendants des facteurs climatiques (*Atriplex halimus, Salsola vermiculata* var. *villosa*).
- milieux édaphiques relativement homogènes et ordonnés selon les bioclimats (*Stipa tenacissima, Telephium imperati*).
- milieux édaphiques hétérogènes, non ordonnés par les bioclimats, mais présentant un ou plusieurs facteurs constants (*Thymelea microphylla*), etc.

La méthode permet de préciser l'écologie des espèces. Elle pourrait être intéressante pour guider et orienter l'étude détaillée des écotypes en individualisant les différents milieux écologiques. De plus, en attribuant à l'espèce un coefficient d'abondance ou une mesure quantitative quelconque (densité à l'hectare, biomane, etc) et en le reportant au lieu et place du relevé correspondant on serait en mesure de déterminer les conditions écologiques optimums de l'espèce considérée.

III – LES FACTEURS ÉDAPHIQUES

L'analyse globale ESP-REL montre qu'il existe plusieurs grands ensembles floristiques correspondants aux principaux axes factoriels d'ESP-REL. 1 et d'ESP-REL. 2. L'intégration "a posteriori" dans l'analyse des données de milieu comme variables supplémentaires permet de préciser la signification écologique de ces axes. Ainsi chaque grand ensemble floristique détermine un véritable milieu caractérisé par la nature et par l'importance relative des facteurs écologiques les uns par rapport aux autres. Il s'agit exceptionnellement d'un seul facteur ; c'est le cas de l'axe 6 d'ESP-REL. 1 avec les sols à encroûtement gypseux de surface. Les traitements successifs effectués dans l'analyse globale ESP-REL et les analyses partielles individualisent pour chaque milieu de nouveaux groupes d'espèces et précisent la nature des facteurs qui interviennent.

Les cartes factorielles montrent graphiquement les relations espèces-facteurs. Outre qu'elles ne sont pas toujours complètes en raison du grand nombre d'espèces, leur utilisation reste peu commode. D'ailleurs, l'AFC n'est pas un test statistique mais avant tout une méthode de réduction des données. Elle nécessite une interprétation et éventuellement une formulation plus accessible et plus précise des résultats. Pour cela, on établit des tableaux. Ces tableaux des facteurs édaphiques, dont il faut définir le principe et la réalisation pratique, vont faciliter la récapitulation des principaux facteurs édaphiques à l'intérieur de chaque grand ensemble écologique : milieux forestiers, milieux steppiques climatiques et édaphiques, milieux cultivés, milieux hydromorphes et halomorphes.

Une synthèse plus générale sur les facteurs édaphiques eux-mêmes est esquissée en conclusion de ce chapitre.

A - LES TABLEAUX DES FACTEURS EDAPHIQUES

1 - PRINCIPE DES TABLEAUX

L'objectif des tableaux est une présentation commode et suffisamment précise des principaux facteurs édaphiques et des

groupesd'espèces ayant contribué à les mettre en évidence dans les différents milieux écologiques.

Le principe des tableaux repose sur une double démarche :

- à partir des résultats de l'AFC, on isole les groupes d'espèces et les facteurs auxquels ils se rattachent. Ceci suppose d'accepter au départ un certain arbitraire pour trancher entre groupes d'espèces et facteurs dans la mesure où l'analyse respecte les transitions.
- on apprécie la liaison de chaque espèce pour les facteurs édaphiques les plus importants ; cette relation plus quantitative est fournie par le TFR de l'espèce pour les différentes classes des facteurs considérés.

On conçoit alors un tableau à double entrée où les lignes correspondent aux espèces végétales regroupées par l'AFC. Les colonnes correspondent aux classes des facteurs édaphiques. A l'intersection ligne-colonne sont indiquées les valeurs du TFR de chaque espèce pour les différentes classes.

Dans le cas le plus simple, un tel tableau ne comporte qu'un seul facteur édaphique correspondant à l'axe 1 dans une analyse AFC, par exemple la texture (axe "textural"). Suivant les lignes on dispose les groupes d'espèces en les ordonnant telles qu'elles se situent le long de cet axe, c'est-à-dire de la texture très grossière à très fine. Suivant les colonnes, on dispose les classes texturales dans le même ordre. A l'intersection ligne-colonne les valeurs du TFR indiquent un degré de présence des espèces dans les différentes classes. Pour faciliter la lecture, on peut considérer non plus les valeurs exactes du TFR mais un symbole représentant des classes de fréquence : 0,1-20 % ; 20-60 % ; 60-100 %. On observe dans ce cas un regroupement des valeurs élevées de TFR suivant une diagonale qui exprime certes un degré de présence mais aussi la valeur indicatrice des espèces et des groupes d'espèces pour les classes texturales dont on vérifie ainsi qu'elles correspondent bien à des seuils écologiques. On reconnait ici un type de tableau classique dans les études phytosociologiques et phytoécologiques

(cf. GOUNOT, 1969). Les résultats de l'AFC conduisent parfois à regrouper certaines classes d'un même facteur car, au départ, chacune d'elles ne correspond pas obligatoirement à un seuil écologique. On observe fréquemment de tels regroupements sur les cartes factorielles :

- regroupement de familles de sols avec les ensembles formés sur un même substratum géologique, les ensembles de sols à accumulation calcaire, etc.
- regroupement de classes de conductivités sur la carte 18 avec les salures très élevées, voisines ou supérieures à 32 mmhos-cm (C 99, C 64, C 32), les salures inférieures à 8 mmhos-cm (C 2, C 4, C 8), etc.
- regroupement de situations géomorphologiques pour les zones recevant des apports d'eaux de ruissellement (cf. cartes 4 et 4 bis, position de G 10, G 8, G 9, etc.).

Ces regroupements précisent l'influence des facteurs et font apparaître des seuils écologiques plus ou moins nets. Sur le tableau, on peut additionner les valeurs de TFR pour les différentes classes regroupées. Ainsi la valeur du TFR d'une espèce pour un type de substrat, les sols sur grés par exemple, correspond à la somme des TFR de l'espèce pour chacune des familles de sols sur grés.

Pratiquement, dans un milieu écologique, plusieurs facteurs interviennent selon une hiérarchie établie par l'AFC. Le tableau sera plus complexe et nécessite l'intégration de tous ces facteurs. L'exemple des steppes climatiques permet d'illustrer le principe et la réalisation pratique des tableaux des facteurs édaphiques.

2 - EXEMPLE DES STEPPES CLIMATIQUES

L'analyse AFC (cf. cartes 4, 4 bis, 5, 9, 12, etc.) individualise un ensemble de relevés effectués sur les versants et sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien à récent. Dans ces steppes, les facteurs climatiques sont dominants les espèces

se répartissent le long de l'axe 1 dans le sens d'une aridité croissante. L'axe 2 souligne l'influence des types de substrats comme le montre la disposition des relevés et des espèces suivant des séquences parallèles à l'axe 1. Ces séquences marquent l'opposition versants-surfaces encroûtées et indiquent un certain ordre dans les types de substrats avec d'un côté les sols formés sur grés et à l'opposé les sols à accumulation calcaire (croûte et encroûtement) ; les sols formés sur calcaires durs et formés sur marno-calcaires et marnes assurent la transition.

On dispose d'abord, suivant les lignes du tableau, les groupes d'espèces correspondants aux différents bioclimats dans le sens d'une aridité croissante. Selon les colonnes, on reporte les classes bioclimatiques (sous-étages, variantes et sous-variantes thermiques) et les types de substrats en regroupant les familles de sols. A l'intersection ligne-colonne un symbole indique les classes de TFR. Après quelques permutations de lignes, le tableau permet de constater que :

- les valeurs élevées de TFR pour les classes bioclimatiques se disposent selon une diagonale.
- du point de vue types de substrats, les espèces se répartissent en deux ensembles non ordonnés : les espèces présentes partout et les espèces liées à tel ou tel type de substrat.

Il est alors possible d'établir deux tableaux :

- le tableau II (cf. annexe 7) regroupe les espèces présentes sur l'ensemble des sols bien drainés, versants et surface plus ou moins encroûtées ; elles restent ordonnées en fonction d'une aridité croissante. Les valeurs de TFR se disposent selon une grande diagonale pour les sous-étages bioclimatiques, les variantes et sous-variantes thermiques.

Un encadré noir souligne ce regroupement des classes bioclimatiques. Pour préciser l'écologie, des espèces, les colonnes du tableau sont complétés par les différentes formations végétales, les deux principales situations géomorphologiques (VR versants et QA + QM ,surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien à récent)

et les classes de texture de l'horizon de surface.

- le tableau III (cf. annexe 7) regroupe l'ensemble des autres espèces. Il est obtenu par permutation des lignes pour faire apparaître une diagonalisation, non plus des bioclimats, mais des sols sur les différents types de substrat : grés, grés et calcaires durs, marnes et marno-calcaires, croûte ou encroûtement calcaire. Ceci correspond à la disposition des espèces suivant l'axe 2. Pour chaque type de substrat les espèces restent classées en fonction des bioclimats comme l'indique l'encadré noir pour les sous-étages bioclimatiques (petite diagonale). Les classes concernant les variantes et les sous-variantes thermiques n'ont pas été regroupées pour conserver au tableau une certaine clarté d'autant qu'elles apparaissent moins nettement que les sous-étages bioclimatiques.

En définitive, la réalisation pratique de ces tableaux procède d'une méthode certes empirique mais guidée et étayée par les résultats de l'analyse AFC et l'utilisation du TFR.

Il permet une présentation commode et suffisamment précise des principaux facteurs édaphiques et des groupes d'espèces ayant contribué à les mettre en évidence.

B - LES FACTEURS EDAPHIQUES DANS LES PRINCIPAUX MILIEUX ECOLOGIQUES

1. - LES MILIEUX FORESTIERS

Les forêts claires et les matorrals plus ou moins dégradés occupent les versants et les piedmonts encroûtés des régions les plus humides, les plus froides et souvent les plus élevées de l'Atlas saharien et de la bordure sud-tellienne, semi-aride et aride supérieur à hivers froids et température diurne basse.

Dans ces milieux forestiers caractérisés par des sols évolués à horizon humifère Ah, les facteurs édaphiques jouent un rôle important. Les analyses précédentes (cf. cartes 4, 5, 21, etc.) attestent l'influence de la nature du substrat et l'influence du gradient de calcaire total des horizons de surface.

En fonction de ces deux critères, on distingue plusieurs types de sols auxquels se rattachent plus ou moins fidèlement des

groupes d'espèces caractéristiques (cf. Tableau I des facteurs édaphiques, annexe 7) ; ce sont respectivement :

- les sols humifères non calcaires sur grés (pH neutre).
- les sols humifères non ou faiblement calcaires, généralement sur versants (grés, calcaires durs).
- les sols plus ou moins humifères calcaires sur les versants et les piedmonts encroûtés.
- les sols plus ou moins humifères calcaires à très calcaires sur marno-calcaires et surtout sur marnes.

En réalité, le gradient de calcaire total de l'horizon de surface, pour ces sols humifères, correspond sensiblement à un degré d'évolution pédologique : la décarbonatation est d'autant plus poussée que le climat est plus humide et froid, c'est-à-dire une altitude généralement plus élevée, et que la roche-mère est plus dure et perméable (grés, calcaires durs fissurés, etc.). Au contraire, les sols seront d'autant plus calcaires que le climat est moins humide et plus chaud, c'est-à-dire une altitude généralement moins élevée, et que la roche-mère est plus tendre et imperméable.

De fait, le gradient de calcaire total intègre à la fois des facteurs climatiques (pluviosité, températures, exposition) et des facteurs édaphiques (nature du substrat) ; ce sont ces facteurs qui interviennent réellement pour une très large part.

Pour ce type de végétation, l'importance des horizons de profondeur (nature du substrat) ne doit pas surprendre d'autant qu'en surface l'horizon humifère apparaît relativement homogène quant à la texture, structure, matière organique et rétention en eau.

2 - LES MILIEUX STEPPIQUES

a. Les steppes climatiques (cf. cartes 4, 4 bis, 5, 9, 12, 13, 22, 23, 24, etc.).

Dans l'aride supérieur, elles prennent progressivement le relaisdes milieux forestiers sur les versants et sur les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien et moyen.
Pour l'ensemble de ces steppes encore peu dégradées, steppes à alfa

et/ou à chamaephytes , les facteurs climatiques restent déterminants ; en l'absence d'apports d'eaux complémentaires, ruissellement ou nappe phréatique , la pluviosité joue un rôle majeur dans le bilan hydrique des sols. Le tableau II (annexe 7) indique les groupes d'espèces liées aux différents bioclimats sur l'ensemble des sols bien drainés de texture généralement moyenne et de profondeur variable. Il s'agit en fait des espèces steppiques "climatiques", les plus importantes physionomiquement et quantitativement puisqu'elles représentent une part considérable de la biomasse végétale totale : *Stipa tenacissima, Lygeum spartum, Artemisia herba-alba, Stipa parviflora, Arthrophytum scoparium,* etc.

Comme dans les milieux forestiers, la nature du substrat intervient et souligne l'influence des horizons de profondeur. Le tableau III (annexe 7) indique les groupes d'espèces liés aux différents types de substrats : grés, grés et calcaires durs, marnes et marno-calcaires, croûte calcaire (encroûtement ou amas et nodules) (1). Chaque groupe est nodulé par les bioclimats et l'on constate à nouveau l'absence d'espèces caractéristiques de l'aride moyen.

D'autres facteurs se surimposent éventuellement en relation avec des caractères particuliers de l'horizon de surface (texture très grossière à grossière et passage progressif aux steppes édaphiques, cf. Tableau IV) ou avec une dégradation plus poussée du couvert végétal sous l'influence de l'homme (passage aux milieux cultivés, cf. Tableau VIII). D'ailleurs, toutes les transitions sont possibles avec les autres milieux : forêts, steppes édaphiques, cultures, etc.

b. Les steppes édaphiques

Dans ces steppes, les facteurs édaphiques deviennent progressivement dominants ; l'influence du climat s'y trouve fortement concurrencée et devancée :

- soit par des caractéristiques inhérentes aux sols : texture très grossière, encroûtement gypseux de surface, salure en profondeur, marnes plus ou moins gypseuses et salées, etc.

(1) Les sols profonds de type siérozems se caractérisent simplement par la présence des espèces steppiques "climatiques" (tableau II)

- soit par des situations topographiques particulières qui tempèrent les conditions climatiques naturelles (zones bénéficiant d'apport d'eaux de ruissellement) ou qui modifient plus radicalement le milieu (dayas, nappe phréatique).

L'AFC individualise avec beaucoup de netteté les ensembles de relevés et d'espèces où l'influence de ces facteurs édaphiques est optimum, quasi exclusive parfois : dunes, sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux, dayas,avec des sols de texture très fine à fine (vertisols et sols peu évolués vertiques) ; ce sont les véritables steppes édaphiques. La transition s'opère progressivement avec les autres milieux écologiques : steppes climatiques, cultures, milieux hydromorphes et halomorphes. Quatre tableaux résument les principaux facteurs édaphiques : sols sableux (dunes et texture grossière), sols gyseux (encroûtement gypseux), dayas, milieux de transition steppes-cultures.

α. Les sols sableux (tableau IV)

La végétation dunaire représente un orthotype de steppe édaphique ; il marque un optimum écologique lié à un sol profond de texture grossière (sol minéral brut d'apport éolien sur sable siliceux).

La transition vers les autres milieux se fait progressivement par des sols sableux peu évolués de texture très grossière à grossière. Les sols sableux présentent une grande diversité entre deux types extrêmes :

- d'une part, les sols profonds de texture très grossière à grossière : sols peu évolués d'apport éolien, siérozems, etc. ; l'épaisseur de l'horizon sableux reste supérieure à 50/60 cm.
- d'autre part, les sols de texture très grossière à grossière sur les 10/20 centimètres supérieurs : sols sur grés, sols à croûte calcaire, etc. (1)

Pratiquement, tous ces sols sableux peuvent se caractériser par un "fond commun" d'espèces psammophiles subdivisé en plusieurs ensembles selon les bioclimats (cf. carte 8).

---

(1) IONESCO (1960) indique une épaisseur minimum nécessaire de 15 cm d'horizon sableux (80 - 95 % de sables totaux) pour les psammophiles *sl*.

Manifestement, certaines espèces (*Silene arenarioïdes, Nolettia chrysocomoides,* etc.) affectionnent particulièrement les textures très grossières et se rapprochent des espèces plus caractéristiques des dunes (cf. valeurs de TFR pour les textures sur le tableau IV).

Dans la plupart des sols sableux, le cortège psammophile s'accompagne d'autres groupes assurant la transition vers les différents milieux écologiques :

- espèces steppiques "climatiques" comme *Stipa tenacissima* pour les sols profonds (Tableau II) mais aussi espèces steppiques liées aux types de substrats pour les sols sur grés, sur croûte calcaire, etc. (tableau III).
- espèces plus ou moins halophiles (*Traganum nudatum, Atriplex halimus, Salsola vermiculata* var. *villosa*) indiquant une salure relativement importante (> 7/8 mmhos-cm) en profondeur avec une nappe phréatique et éventuellement un encroûtement gypseux de nappe.
- espèces des milieux cultivés, etc.

Enfin, un certain nombre d'espèces paraissent se satisfaire d'un simple "voile sableux" en surface (moins de 10 cm d'épaisseur), quelle que soit par ailleurs la nature du sol sous-jacent (*Plantago albicans, Loeflingia hispanica,* etc.).

β. Les sols gypseux (tableau V)

L'encroûtement gypseux de surface (sols calcimagnésiques gypseux) marque un optimum écologique par un groupe d'espèces gypsophiles très caractéristiques (cf. ESP-REL. 1). Malgré l'épaisseur relativement modeste de l'encroûtement (30-60 cm en moyenne) on constate une indépendance quasi totale de la végétation vis à vis des horizons sous-jacents ; aucune différence floristique ne permet de distinguer des encroûtements sur marnes gypseuses ou sur sable éolien gypseux. Une certaine indépendance s'observe également quant aux facteurs climatiques, tout au moins à l'intérieur de l'étage aride ; d'autres espèces caractéristiques apparaissent en effet dans les

régions sahariennes et le sud-Tunisien où les températures sont plus élevées.

L'analyse phytoécologique individualise encore :

- un groupe d'**espèces gypsohalophiles** (cf. carte 18) dans les milieux hydro-halomorphes sur des sols généralement salés (> 7/8 mmhos-cm) et très gypseux, présentant le plus souvent une accumulation importante de gypse en surface (encroûtement, amas).
- un groupe d'**espèces psammogypsophiles** sur des sols sableux très gypseux (> 25 % de gypse total en surface) plus ou moins salés. Le groupe assure la transition entre les sols à encroûtement gypseux de surface et les sols sableux (cf. ESP-REL. 1).

D'autre part, certaines espèces se caractérisent par une écologie plus spécifique : *Traganum nudatum* (sols sablo-gypseux et sols sableux présentant en profondeur un encroûtement gypseux de nappe ou éventuellement une nappe peu salée), *Reaumuria vermiculata* (sols à encroûtement gypseux de surface, sols très gypseux dés la surface mais faiblement salés).

Le tableau V indique ensuite un ensemble important d'**espèces gypsovagues** (LEMEE, 1978) généralement localisées sur les sols gypseux mais aussi sur d'autres types de sols. Plusieurs de ces espèces sont considérées comme des gypsophiles par de nombreux auteurs (LE HOUEROU, 1959, 1969 ; BOUKHRIS, 1973). Ce problème sera discuté à la fin du chapitre III (page 311).

γ. **Les dayas** (tableau VI).

L'optimum écologique correspond aux dayas non salées où les sols, de texture très fine à fine (vertisols, sols peu évolués vertiques), déterminent la présence d'espèces très caractéristiques : *Teucrium campanulatum*, *Polygonum patulum*, etc. La conjonction des facteurs texture et situation de dayas conditionne un milieux écologique bien spécifique (cf. cartes 10, 11, 19, 20) où les espèces doivent s'adapter :

- d'une part à une très mauvaise structure des sols en surface et en

profondeur; forte battance et structure finement lamellaire dans les premiers centimètres, devenant prismatique grossière à massive .

- d'autre part à des durées de submersion relativement longues étant donné la faible perméabilité des sols.

Même très spécifiques, ces espèces doivent bien évidemment céder leur place si la salure prend une certaine importance (> 7/8 mmhos-cm en surface et même en profondeur) ; les espèces halophiles et surtout pélohalophiles prennent le relais.

Pour une texture moyenne à fine, la structure encore finement lamellaire en surface devient polyédrique en profondeur (siérozems, sols bruns calcaires, etc). Il en résulte une meilleure perméabilité des sols et une réduction des durées de submersion. Ainsi les espèces caractéristiques ont tendance à disparaître aux dépens des espèces des milieux environnants, steppes et cultures, puisqu'elles peuvent s'installer compte-tenu des conditions moins sévères, voire même privilégiées (apport d'eaux de ruissellement). Pour toutes ces espèces, les facteurs climatiques et anthropiques reprennent de l'importance.

δ. Les milieux de transition steppes-cultures (tableau VII)

Ce sont très souvent des zones recevant des apports d'eaux de ruissellement : surfaces plus ou moins encroûtées, chenaux d'oueds alluvionnés, terrasses, etc. Parfois masqué par un certain état de dégradation, surpâturages et cultures, le couvert végétal souligne l'importance prise par la texture de l'horizon de surface. Une telle importance résulte de deux processus en fait très différents (cf. cartes 6, 7, 27, 28).

- d'une part, l'apport d'eaux de ruissellement entraîne la disparition des espèces liées aux croûtes ou aux encroûtements calcaires, pourtant peu profonds (< 50 cm), sur les surfaces plus ou moins encroûtées. Les espèces steppiques vivaces à enracinement plus superficiel (*Artemisia herba-alba*) et plus encore les espèces annuelles prennent une grande extension (cf. groupement V 46 à *Artemisia herba-alba* et *Poa bulbosa*).

- d'autre part, le second processus résulte de la mise en culture. détruisant les espèces vivaces, elle favorise les annuelles très dépendantes de l'horizon de surface. Le surpâturage conduit sensiblement au même résultat.

Les deux processus ont tendance à interférer d'autant plus que les cultures se localisent généralement sur les zones recevant des apports d'eaux de ruissellement.

Le tableau VII indique deux ensembles de sols fort divers, différenciés essentiellement par la texture de l'horizon de surface : texture moyenne (fine à grossière) et texture grossière (à très grossière) ; ils distinguent deux ensembles d'espèces relativement peu dépendantes des bioclimats.

3 - LES MILIEUX CULTIVES

Le tableau VIII souligne l'influence considérable de la texture, particulièrement en surface ; elle permet d'individualiser trois ensembles principaux de sols (cf. cartes 4 et 4 bis, 6 et 7, 27, 28) :

- les sols de texture très fine, généralement assez profonds (pélophiles *s.s.*) ; parmi ceux-ci, les vertisols et les sols régosoliques sur marnes, de l'aride supérieur au subhumide, se différencient assez nettement. De même, les sols faiblement salés en surface assurent la transition vers les milieux halomorphes.
- les sols de texture fine en surface mais de profondeur variable (pélophiles *s.l.*) : sols peu évolués, siérozems, sols à croûte calcaire, etc.
- les sols de texture moyenne à grossière en surface mais de profondeur variable : sols peu évolués, siérozems, sols à croûte calcaire, etc.

Pour la plupart des sols, les apports d'eaux de ruissellement modifient les conditions climatiques naturelles et dans ces milieux la distinction aride supérieur-aride moyen s'avère délicate. Les températures deviennent alors un élément essentiel dans la détermination des seuils bioclimatiques.

Pour ces espèces annuelles à enracinement peu profond, la rétention en eau du sol prend une grande importance. Elle dépend pratiquement de la teneur en éléments fins (argile + limons fins). La matière organique, toujours peu importante et relativement constante, ne joue en effet qu'un rôle limité et de toute façon non discriminant.

4 - LES MILIEUX HYDROMORPHES ET HALOMORPHES (tableau IX)

Les steppes crassulescentes à dominance d'halophytes restent sans aucun doute l'expression la plus visible et la plus évidente de l'influence de la salure. Elles se répartissent, pour l'essentiel, dans la classe des sols halomorphes mais aussi dans d'autres classes : sols hydromorphes, sols peu évolués, vertisols, etc. (cf. cartes 1, 10, 11, 18).

L'AFC révèle d'une manière claire les deux grands ensembles d'espèces correspondant aux deux principaux types de milieux : milieux hydro-halomorphes et halomorphes. Ils diffèrent essentiellement par l'intensité et la répartition de la salure (profil de salure).

a. Les milieux hydro-halomorphes (sols hydromorphes et hypersolonchaks)

Généralement excessive en surface mais nettement moins élevée en profondeur, la salure exerce une influence fortement dépendante de la nappe phréatique (< 2 m) et du gypse. L'importance respective de chacun des trois principaux facteurs édaphiques se manifeste d'autant plus que l'un se rapproche de son optimum alors que les deux autres au contraire s'en éloignent :

- l'influence de la nappe devient prépondérante si elle est proche de la surface pour une salure et une teneur en gypse minimum (sols hydromorphes à gley salés) : c'est l'optimum écologique des espèces phréatophiles.
- l'influence de la salure devient prépondérante si elle est très élevée pour une nappe relativement profonde et pour un sol peu gypseux, tout au moins sans horizon d'accumulation en surface.

C'est l'optimum écologique des espèces hyperhalophiles.

- l'influence du gypse devient prépondérante dans les sols à forte accumulation de gypse dés la surface : amas et surtout encroûtement gypseux de nappe (espèces gypsohalophiles).

Entre ces trois extrêmes, toutes les transitions existent avec un "noyau central" où l'influence des trois facteurs s'exercerait d'une façon sensiblement équivalente (espèces hydro-halophiles ou hygrohalophytes pour reprendre un terme de WALTER, 1973).

Salicornia arabica représenterait assez bien l'orthotype des milieux hydro-halomorphes.

b. Les milieux halomorphes

Ce sont les autres sols halomorphes (cryptosolonchaks, solonchaks, sols plus ou moins salés à alcali) caractérisés par une salure généralement plus élevée en profondeur qu'en surface où elle dépasse rarement 32 mmhos-cm.

Alors que la nappe, toujours assez profonde (> 2 m environ), et le gypse, toujours peu abondant, jouent un rôle nettement plus discret, l'influence de la texture se manifeste clairement et vient moduler les effets de la salure :

- l'influence de la salure devient prépondérante si elle est élevée sur l'ensemble du profil, particulièrement en surface, et si l'influence de la texture est minimum : soit qu'il s'agisse d'une texture moyenne (ni très fine, ni tros grossière), soit surtout que les espèces restent indifférentes à ce facteur. Il en est ainsi pour les espèces halophiles *s.s.* : *Suaeda fruticosa, Atriplex glauca, Atriplex halimus,* et *Salsola vermiculata* var. *villosa.* Peu sensibles à la texture comme le montrent leurs profils écologiques (fig. 32 d.), capables de se développer dans des sols salés et même très salés en surface et en profondeur, ces espèces vivaces représentent donc les véritables halophiles (1).

---

(1) *Salsola vermiculata* var. *villosa* ne semble pas tolérer une nappe à moins de 120 cm de la surface et des salures excessives (cf. carte 30) contrairement à *Suaeda fruticosa* relativement plus adaptée aux milieux hydro-halomorphes (cf. carte 18).

- L'influence de la texture devient d'autant plus importante qu'elle est "extrême" (très fine à très grossière) pour une salure qui diminue :

. les sols de texture fine à très fine dont la structure apparait le plus souvent dégradée en surface et en profondeur, sols à alcali par exemple, se caractérisent par les espèces pélophiles. La dégradation de l'état structural est accentuée par cette diminution de la salure et une teneur en gypse devenue négligeable. Les pélohalophiles sont des espèces annuelles à l'exception de *Salsola tetrandra* ; *Aizoon hispanicum* et *Spergularia diandra* font la transition avec les textures plus grossières.

Dés que la salure diminue encore (< 7/8 mmhos-cm) même sur quelques centimètres (chenaux de ruissellement, labours), les espèces pélophiles peuvent s'installer sur ces sols halomorphes ; la transition s'amorce ainsi avec les autres milieux.

. A l'opposé, pour les sols de texture très grossière à grossière, les espèces psammohalophiles paraissent moins caractéristiques. En effet, le cortége floristique comprend : d'une part, les psammophiles surtout annuelles, le sol est rarement salé dans les premiers centimètres au moins localement, et d'autre part les halophiles *s.s.* La structure n'étant pas défavorable comme précédemment, ces espèces vivaces peuvent s'implanter sans difficulté dans les horizons salés de profondeur, d'autant qu'elles y trouvent une certaine humidité avec la nappe phréatique (*Traganum nudatum*).

- l'influence de la nappe phréatique varie selon la texture des sols car la remontée de la frange capillaire, donc de la salure, est nettement moins importante dans un sol sableux que dans un sol argileux. Ce phénomène joue surtout pour une nappe aux environs de 2-3 mètres de profondeur. En effet, dans ce cas, le sol sableux restera relativement peu salé en surface car le front capillaire n'arrive pas jusqu'au sommet du profil (cf. ci-dessus). Au contraire, les sols argileux nettement plus salés et plus humides en surface pourra déjà être parmi les hypersolonchaks. Ceci rejoint les observations d'HAMID ULLAH ALIZAI et HULBERT (1970)

et expliquerait la présence d'une végétation plus mésophytique sur les sols de texture grossière dans des conditions analogues.

- l'influence du gypse dépend également de la texture :

. Dans les sols de texture fine à très fine, la teneur en gypse, toujours faible parfois nulle, ne peut guère éviter les processus d'alcalisation et de dégradation de la structure. En surface la battance et la structure finement lamellaire ou massive et en profondeur la structure prismatique grossière ou massive limitent la pénétration des racines.

La présence d'un encroûtement gypseux de nappe entre 1 et 2 mètres de profondeur n'est pas "révélé" par la végétation (cf. position de S 118 sur la carte 18) ; ceci confirme l'influence quasi exclusive des horizons supérieurs (salure et texture).

. Dans les sols sableux, la présence d'un tel encroûtement gypseux de nappe en profondeur est indiquée par *Traganum nudatum* et même *Salsola vermiculata* var. *villosa* ; les racines traversent aisément ces horizons sableux pauvres en éléments fertilisants.

c. Les milieux halomorphes de transition.

En fait, ils commencent déjà dans les milieux halomorphes dés que la salure devient inférieure à 7/8 mmhos-cm dans les premiers centimètres comme le montre notemment l'installation des espèces annuelles psammophiles et pélophiles. Ces milieux assurent un passage progressif vers les steppes climatiques et surtout édaphiques, mais aussi vers les cultures.

Ils se caractérisent par :

- la présence de la plupart des espèces halophiles *ss* en relation avec une salure relativement élevée à moyenne profondeur (> 7/8 mmhos-cm) : sols peu évolués d'apport halomorphes, régosols ou sols régosoliques sur marnes plus ou moins salées, siérozems avec nappe, etc. (cf. cartes 10, 11, 18, 19, 20).
- la présence d'un cortége floristique très varié d'espèces steppiques ou de cultures, annuelles et vivaces, dont la salure n'empêche pas le développement. Ce cortége témoigne de la diversité

des autres facteurs écologiques en présence : texture, dayas, climat, cultures, etc.

Cela étant, il importe de faire deux remarques :

- les espèces halophiles vivaces (*Suaeda fruticosa, Atriplex halimus, Atriplex glauca* mais aussi *Salsola tetrandra*) à l'exception de *Salsola vermiculata* var. *villosa*, se trouvent en limites d'extension puisqu'elles exigent une salure supérieure à 7/8 mmhos-cm, soit en surface, soit éventuellement en profondeur comme ici. Or, la salure peut dépasser largement ce seuil sans pour autant que ces espèces soient présentes. L'influence de la salure paraît conditionnée par le régime hydrique des sols dont l'humidité doit être suffisante pour permettre le développement des espèces halophiles vivaces : apports d'eaux de ruissellement (zones d'épandage, dayas, etc.), nappes phréatiques, apports d'eaux souteraines sur un versant (suintements, résurgences, etc.), pluviosité suffisante (marnes salées de l'aride supérieur).
- une autre remarque concerne les espèces halophiles annuelles et tout particulièrement les pélohalophiles. Contrairement aux vivaces, elles s'accommodent très souvent d'une salure inférieure à 7/8 mmhos-cm, en surface et en profondeur ; la texture reste très fine à fine, voire moyenne, pour une structure toujours plus ou moins dégradée surtout en surface. Ce facteur structure, associé à un même type de texture et à des salures souvent faibles, apparaît donc comme étant particulièrement important.

5 - CONCLUSIONS : "PANORAMA SYNTHETIQUE" DES MILIEUX ECOLOGIQUES

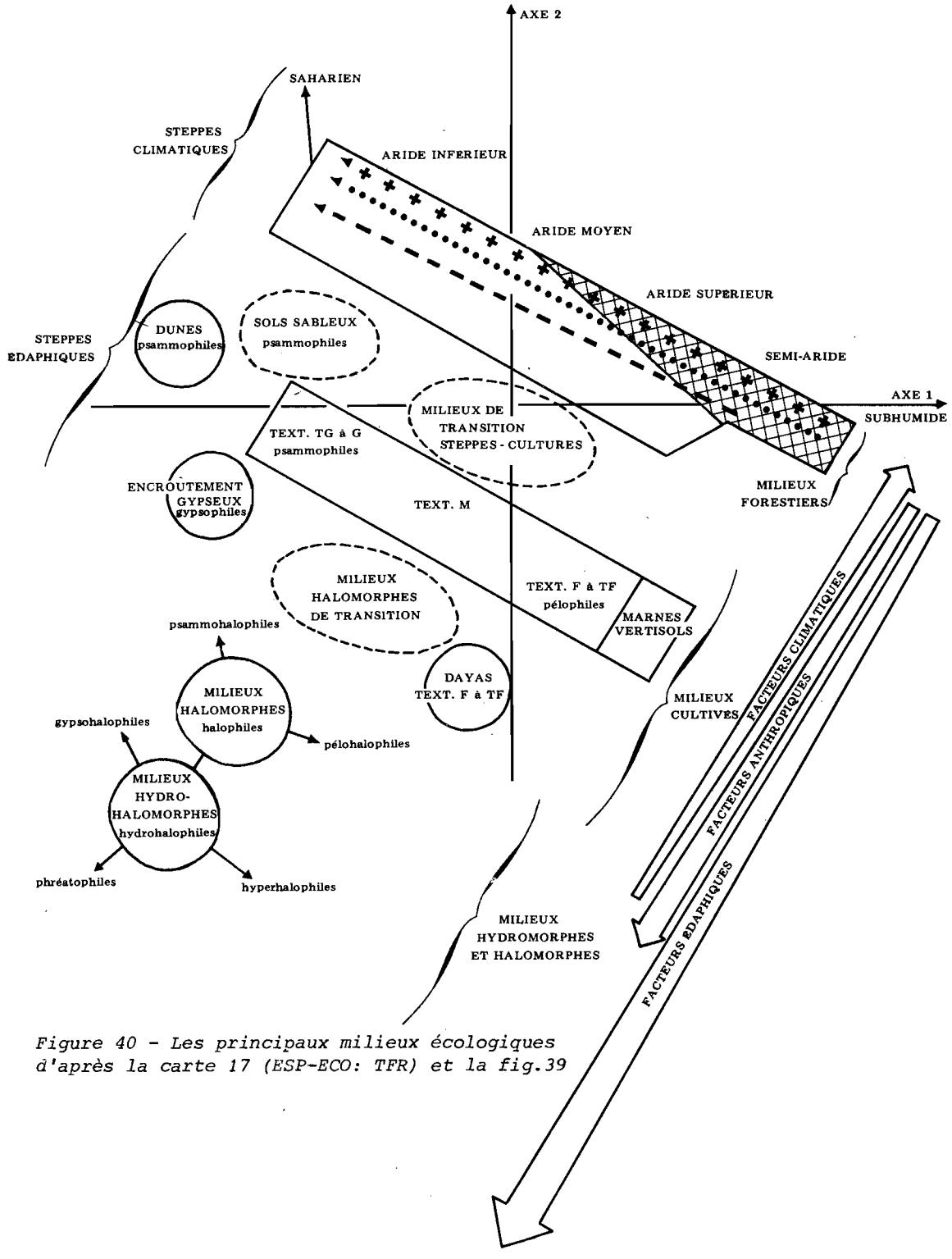


Figure 40 - Les principaux milieux écologiques d'après la carte 17 (ESP-ECO: TFR) et la fig.39

La figure 40 situe les principaux milieux écologiques dans un panorama synthétique végétation-milieu ébauché par l'analyse ESP-REL. 2 (cartes 4 et 4 bis, fig. 36), confirmé et complété ensuite par l'analyse ESP-ECO TFR (carte 17, fig. 39).

Le schéma représente une projection des milieux écologiques, c'est-à-dire des ensembles espèces-facteurs, dans le plan des deux principaux axes factoriels qui correspondent sensiblement à un axe climatique (axe 1) et à un axe anthropique et édaphique (axe 2). Seuls sont indiqués les principaux groupes d'espèces et facteurs. On distingue :

- les milieux forestiers organisés selon les bioclimats et selon les séquences sur les différents types de substrats ; ils passent directement aux cultures dans les zones les plus humides ou aux steppes climatiques dans les régions arides.
- les steppes climatiques sur les versants (grés, calcaires durs) et les surfaces plus ou moins encroûtées de l'aride supérieur au saharien avec des transitions vers les steppes édaphiques (sols sableux, sols gypseux) et les milieux cultivés.
- les steppes édaphiques : dunes et sols sableux, sols à encroûtement gypseux, milieux de transition steppes-cultures, milieux halomorphes de transition, dayas.
- les milieux cultivés organisés selon les bioclimats mais surtout selon la texture : des espèces pélophiles aux psammophiles.
- les milieux hydro-halomorphes et halomorphes bien distincts des autres milieux par des groupes d'espèces très caractéristiques : phréatophiles, hyperhalophiles, gypso-halophiles, hydrohalophiles, halophiles, pélohalophiles.

L'influence globale des principaux gradients écologiques est symbolisée par des flèches disposées suivant la diagonale SO-NE : l'importance des facteurs climatiques diminue au fur et à mesure qu'augmente celle des facteurs anthropiques et édaphiques.

C. ESSAI DE SYNTHÈSE SUR LES FACTEURS ÉDAPHIQUES.

1 - CLASSIFICATION DES FACTEURS EDAPHIQUES.

Les facteurs édaphiques n'exercent pas d'action directe sur la plante mais une action indirecte sur les facteurs physiologiques réellement actifs. Ils précisent les possibilités d'installation et de croissance de la plante dans un milieu donné.

L'analyse phytoécologique confirme très clairement :

- l'importance de l'alimentation en eau des sols qui conditionne tous les processus nécessaires à la vie végétale.
- l'importance de certaines caractéristiques chimiques qui exigent des plantes des adaptations parfois très spécifiques, en raison de la présence en excès d'éléments plus ou moins toxiques dans les sols et surtout les solutions du sol.

Ces résultats ne peuvent surprendre pour la végétation naturelle en zones arides. Les facteurs de fertilité, qui très souvent sont considérés comme les plus importants, ne jouent qu'un rôle secondaire compte-tenu de l'influence des autres facteurs édaphiques; compte-tenu aussi que dans leur quasi totalité, les sols sont calcaires (complexe absorbant saturé) et pauvres en éléments fertilisants.

Les facteurs édaphiques se subdivisent alors en deux types principaux : facteurs du bilan hydrique et facteurs chimiques.

+ **Les facteurs du bilan hydrique** conditionnent l'alimentation en eau des plantes. On distingue deux ensembles :

- en premier lieu les apports d'eaux complémentaires, liés à certaines conditions topographiques et géomorphologiques particulières, et dont l'influence contribue à modifier les conditions climatiques naturelles mais aussi les possibilités de drainage externe et interne des sols. Il s'agit essentiellement des eaux de ruissellement et de la nappe phréatique.
- en second lieu, la rétention en eau du sol et tout particulièrement les facteurs les plus influents : texture, matière organique, nature du substrat.

+ Les facteurs chimiques liés à des constituants parfois toxiques et généralement en excès dans les sols : calcaire, gypse et sels solubles. Une discussion plus détaillée à la fin de ce chapitre permettra de préciser l'influence du gypse.

2 - LES FACTEURS DU BILAN HYDRIQUE.

a. Les apports d'eaux complémentaires.

α. Les eaux de ruissellement.

- Elles contribuent à tempérer l'aridité du climat en augmentant de fait la pluviosité (compensation de facteurs). Certaines situations géomorphologiques rendent compte tout naturellement de ces apports d'eaux complémentaires : zones d'épandage, chenaux d'oueds alluvionnés, dayas. Que ce soit dans les steppes ou dans les cultures, la végétation souligne l'importance de l'horizon de surface, particulièrement sa texture et par là, la rétention en eau du sol.
- Dans les dayas, la submersion temporaire introduit un facteur supplémentaire qui se manifeste au delà d'un certain seuil, difficile à préciser quant au régime hydrologique (fréquence et durée des submersions). Néanmoins ce seuil correspond à la présence de sols de texture fine à très fine (vertisols, sols peu évolués vertiques) mal structurés et très peu perméables. De telles caractéristiques conditionnent fortement le drainage externe et interne des sols et influencent vraisemblablement la durée des périodes de submersion.

β. La nappe phréatique.

Elle contribue plus ou moins :

- à la dégradation temporaire ou permanente des conditions d'aération du sol entraînant l'asphyxie des racines et l'apparition des phénomènes d'hydromorphie (gley, pseudogley, sulfures).
- à la salure des profils en surface et en profondeur.
- à l'alimentation en eau des sols et des plantes.

Chacune de ces trois influences possibles prend tour à tour une importance variable en fonction des caractéristiques de la nappe phréatique (proximité de la surface, dynamique verticale et latérale, salure) mais aussi des sols (texture, teneur en gypse).

La végétation souligne plusieurs seuils écologiques déterminants, correspondant souvent à des critères de classification des sols. Ainsi la profondeur de la nappe permet d'individualiser trois grands ensembles :

+ Nappe peu profonde, en permanence à moins de 120-150 cm de profondeur; quelle que soit la texture du sol, la remontée de la frange capillaire se fait jusqu'en surface. Dans une très large mesure, la salure de la nappe devient alors un facteur essentiel permettant de distinguer divers types :

- les nappes faiblements salées (résidu sec < 3 g/l environ, faciès sulfaté à sulfaté-chloruré avec $Cl/SO_4 \leqslant 1$) : ce sont les sols hydromorphes à gley salés ou à encroûtement gypseux de nappe. Les phénomènes d'hydromorphie et surtout le profil hydrique, toujours excédentaire, favorisent une végétation spécialisée à dominance de phréatophiles; la présence d'espèces gypsohalophiles souligne l'influence plus spécifique de l'encroûtement gypseux faiblement salé.

- les nappes salées à très salées (résidu sec > 3 g/l, faciès chlorure avec $Cl/SO_4 > 1$) : elles contribuent à une salure excessive des horizons de surface (hypersolonchaks). Dans ces milieux hydrohalomorphes, l'influence de la nappe phréatique est largement modulée, souvent masquée, par la salure ou par la présence d'un encroûtement gypseux.

+ Nappe moyennement profonde de salure variable; aux environs de 2 mètres de profondeur, la remontée de la frange capillaire devient alors fonction de la texture. On distingue schématiquement trois cas :

- les sols dunaires (sols minéraux bruts d'apport éolien) où la nappe faiblement salée ne remonte que très peu et alimente en eau les espèces psammo-phréatophiles.

- les sols sableux à nappe de salure variable (cryptosalonchaks, sols peu évolués d'apport halomorphes, siérozems, etc.); dans ces sols, la nappe contribue à la salure des horizons de moyenne profondeur, parfois des horizons plus superficiels.

La présence de la nappe phréatique est révélée par la salure des sols (espèces halophiles *s.s.*) ou par un encroûtement gypseux de nappe qui se forme fréquemment dans de telles conditions (*Traganum nudatum*, *Salsola vermiculata* var. *villosa*).

- les sols de texture moyenne à fine où la remontée de la frange capillaire peut atteindre plus facilement les horizons supérieurs (hypersolonchaks, sols moyennement à très salés à alcali, etc.). Pratiquement la salure et la texture deviennent les facteurs les plus importants.

+ Nappe profonde (jusqu'à 6 m environ); son influence s'exerce faiblement sur les sols en augmentant la salure des horizons profonds et surtout du matériau sous-jacent. Certaines espèces halophiles vivaces, particulièrement *Atriplex halimus*, sont susceptibles d'aller puiser en profondeur l'eau et le sel indispensables à leur croissance. D'autres espèces steppiques vivaces y trouvent également un complément de leur consommation hydrique.

En définitive, l'influence de la nappe (pronfondeur et salure) reste sous la dépendance étroite des caractéristiques du profil de sol (texture, salure et gypse). L'action spécifique de la nappe phréatique apparaît d'autant plus importante qu'elle reste en permanence proche de la surface et qu'elle est faiblement salée, c'est-à-dire dans les sols hydromorphes. En intégrant la plupart de ces paramètres édaphiques, la classification pédologique s'avère très intéressante dans l'analyse phytoécologique.

b. Rétention en eau du sol.

α. Texture.

Facteur essentiel de la rétention en eau, la texture détermine aussi, avec la structure, les principales propriétés physiques des sols (battance, porosité, perméabilité). En intervenant sur les phénomènes de ruissellement, d'infiltration et d'évaporation, c'est sur l'ensemble du profil hydrique que peut agir la texture.

L'analyse phytoécologique fait apparaître trois niveaux d'intensité pour caractériser cette influence qui, selon les milieux, est déterminante, limitée ou quasi nulle.

+ L'influence est déterminante lorsqu'elle souligne deux optimums écologiques(1) correspondant aux classes extrêmes de texture,très grossière et très fine, sur l'ensemble du profil ou tout au moins sur une profondeur de quelques dizaines de centimètres (50/60 cm environ) :

- dans les sols sableux profonds, l'absence presque complète d'éléments fins (A + LF < 5-10%) marque un double effet:

. d'une part, un effet favorable sur l'alimentation en eau des plantes dans la mesure où la très faible capacité de rétention des sols est compensée par une infiltration totale des eaux de pluie (pas de ruissellement) et par une évaporation réduite (self-mulching).

. d'autre part, un effet défavorable sur la nutrition des plantes en raison d'un niveau trophique insuffisant. Ce facteur serait le plus déterminant pour des sables essentiellement siliceux (FLORET *et al*,1978).

- dans les vertisols et les sols peu évolués vertiques (versants marneux, dayas) la texture très fine intervient directement sur le profil hydrique : forte rétention en eau mais peu disponible pour les plantes, dessèchement rapide du profil, etc. Elle intervient aussi indirectement avec la structure, souvent instable en surface (battance), massive et en plaquettes obliques en profondeur (faible perméabilité, compacité, etc). Toutes ces caractéristiques sont défavorables aux espèces vivaces à enracinement profond.

Finalement, outre une influence directe de la texture sur la rétention en eau des sols, ces optimums écologiques indiquent également une influence indirecte :

- sur la nutrition des plantes avec une carence en éléments minéraux et fertilisants dans les sols trop sableux.

---

(1) Comme le note WALTER(1973), l'optimum écologique ne correspond pas forcément à l'optimum physiologique.

- sur le développement du système racinaire par le biais de la structure particulièrement défavorable dans les horizons de profondeur des sols plus ou moins vertiques.

+ L'influence est limitée à la texture de l'horizon de surface :

- dans les steppes climatiques où les facteurs climatiques sont prépondérants ainsi que la nature des horizons de profondeur (horizons d'accumulation calcaire, types de substrats).

- dans les milieux halomorphes et surtout dans les milieux cultivés où la texture joue un rôle essentiel dans l'écologie des espèces annuelles, directement (rétention en eau) et indirectement par le biais de la structure (état de la surface).

+ L'influence est quasi nulle dans les milieux dominés par des facteurs écologiques plus importants ou exclusifs :

- dans les milieux forestiers, la matière organique devient l'élément déterminant de la rétention en eau et de la structure; ceci d'autant que la texture reste peu différenciée au moins dans l'horizon humifère de surface. Au-dessous, l'influence de la matière organique s'estompe aux dépens de la nature du substrat caractérisé en l'occurrence par sa texture (grès, marnes, etc.).

- dans les steppes édaphiques (encroûtement gypseux de surface) et dans les milieux hydro-halomorphes, l'influence de la texture apparaît totalement occultée par des facteurs édaphiques plus importants et exclusifs (encroûtement gypseux, salure, nappe).

En conclusion, la texture joue un rôle important dans le profil hydrique des sols et l'alimentation en eaux des plantes. Dans un milieu donné, cette influence de la texture sera d'autant plus grande :

- que le profil hydrique est lui même un facteur écologique déterminant.

- que la rétention en eau et la structure des sols sont sous la dépendance quasi exclusive de la texture; l'autre facteur, la matière organique, étant alors sensiblement constant(milieux cultivés) ou au contraire devenant de plus en plus faible, c'est-à-dire pratiquement au fur et à mesure de la dégradation du couvert végétal et de l'aridification du climat.

La présence d'éléments grossiers (blocs, cailloux et graviers), à la surface du sol et dans le profil, modifie l'influence de la texture en améliorant l'infiltration et en assurant une meilleure protection contre l'érosion (EPSTEIN *et al*, 1966).

β. Matière organique.

A l'inverse de la texture, l'influence de la matière organique sur les propriétés physiques des sols, rétention en eau et structure, devient maximum dans les milieux forestiers et dans les steppes climatiques les moins dégradées et les plus favorisées par la pluviosité (aride supérieur). A cette influence sur les propriétés physiques des sols, et donc sur l'alimentation en eau des plantes, s'ajoutent de meilleures conditions de nutrition (azote, éléments fertilisants). Avec l'aridification du climat et la dégradation du couvert végétal dans les steppes climatiques le rôle de la matière organique diminue très rapidement aux dépens de la texture.

γ. Nature du substrat.

La nature du substrat revêt d'autant plus d'importance qu'il est un facteur par lui-même et qu'il conditionne les caractéristiques de l'ensemble du profil. Il souligne en particulier l'influence des horizons de profondeur dans les milieux forestiers et dans les steppes climatiques où dominent les espèces vivaces. Il s'agit d'une double influence exercée par les facteurs du bilan hydrique comme la texture et par les facteurs chimiques, horizons d'accumulation calcaire, gypse, sels solubles.

La nature du substrat intègre également une certaine continuité de la couverture pédologique permettant de distinguer :

- les sols discontinus localisés dans les poches et les diaclases de la roche qui affleure en surface avec de nombreux blocs (grès et calcaires durs).
- les sols continus formés sur les roches calcaires tendres (marnes, marno-calcaires) et sur les surfaces plus ou moins encroûtées.

Cette distinction apparaît d'autant plus nettement qu'augmente l'importance des blocs et des affleurements rocheux; c'est-à-dire dans les steppes climatiques de plus en plus arides et dégradées sur grès et calcaires durs; un grand nombre d'espèces caractéristiques de ce type de substrat sont en fait des chasmophiles.

3 - LES FACTEURS CHIMIQUES.

a. Calcaire.

La quasi totalité des sols étant calcaires, sinon saturés en calcium (sols calciques), la plupart des espèces peuvent donc être considérées comme calcicoles. La composition floristique des relevés ne semble guère affectée par le présence de calcaire sauf dans deux cas précis, bien différents; ils marquent, soit l'absence de calcaire (en fait de calcium), soit un "excès" de carbonate de calcium dans les horizons d'accumulation calcaire situés à faible profondeur :

+ les sols non calcaires, sableux et faiblement acides, se localisent dans les régions subhumides et semi-arides (sols fersialliti-ques lessivés sur grès). La présence d'espèces calcifuges caractérise ce type de milieu.

+ les sols à horizon d'accumulation calcaire (croûte, encroûtement, amas et nodules) se distinguent par des groupes d'espèces caractéristiques dans les milieux forestiers et surtout dans les steppes climatiques : l'horizon d'accumulation calcaire est alors à moins de 50 cm de la surface. Ces groupes d'espèces et les espèces steppiques "climatiques" (cf. tableaux III et II, annexe 7), qui disparaissent dans les milieux cultivés, révèlent sans ambiguité une implantation du système racinaire dans les horizons d'accumulation (cf. aussi chapitre IV). La présence de très fins cristaux de calcite en bâtonnets témoigne d'une dynamique active du carbonate de calcium, donc d'une quantité importante d'ions Ca^{++} dans les solutions du sol au moins à certaines périodes. Le taux de calcaire total et la morphologie des horizons d'accumulation ne semble pas intervenir.

b. Salure.

La présence de sels solubles en excès dans les solutions du sol exerce une influence directe sur la croissance des plantes : toxicité des sels (chlorures) provoquant des troubles nutritionnels, "sécheresse physiologique" entraînant des difficultés d'alimentation en eau en raison de l'augmentation de la pression osmatique des solutions du sol.

Dans certains sols halomorphes, la présence de sodium fixé sur le complexe absorbant, en modifiant les propriétés physiques des sols, entraîne une dégradation de la structure qui devient défavorable à la vie végétale : battance, diminution de la perméabilité, élargissement de la structure, etc. La salure et surtout l'ion Na^+ exercent ainsi une influence indirecte sur la végétation par le biais d'une modification de la structure des sols.

+ L'influence directe de la salure se manifeste essentiellement dans les milieux hydro-halomorphes et dans les milieux halomorphes (cf. p.295 et suivantes). Le seuil de 7/8 mmhos-cm, en surface ou en profondeur, paraît important puisqu'il correspond, généralement à une prédominance des chlorures sur les sulfates ($Cl/SO_4 \leqslant 1$) dans les extraits de saturation. Il correspond surtout à la salure minimum nécessaire, mais non suffisante, au bon développement des espèces halophiles *s.s.* vivaces comme *Atriplex halimus*; dans les sols trop secs, la salure peut en effet ne pas être "révélée" par la végétation halophile vivace. (cf. argiles versicolores, plages de salure sur les surfaces encroûtées, etc.).

Le seuil de 32 mmhos-cm dans l'horizon de surface paraît aussi très important, en particulier pour la germination des graines et le développement des jeunes plantules qui résistent difficilement à ces salures excessives (hypersolonchaks à profil salin ascendant).

En définitive trois facteurs relatifs à la salure s'avèrent importants pour la végétation : intensité, composition ionique et répartition dans le profil (type de profil salin).

+ L'influence indirecte, c'est-à-dire la dégradation de la structure, est d'autant plus marquée :

- que la salure diminue, l'effet floculant des sels étant réduit.

- que le taux de gypse est faible et la texture plus fine.

Ainsi, cette influence devient plus prononcée dans les sols peu à moyennement salés à alcali, très peu gypseux et de texture fine. Avec les espèces pélohalophiles, la végétation souligne l'importance de la structure, même pour les salures inférieures à 7/8 mmhos dans les sols de texture fine (sols peu évolués halomorphes ou même modaux).

En intégrant les principaux seuils d'intensité de la salure, les types de profils salins, la texture et pour une part la présence de gypse (horizons d'accumulation), la classification pédologique s'avère très utile pour l'étude des relations sol -végétation.

4 - LE GYPSE.

Les termes de gypse, de terrain ou sols gypseux restent peu précis et surtout n'ont pas exactement la même signification pour les pédologues et pour les phytoécologistes. Un certain nombre de confusions deviennent inévitables et se retrouvent dans l'appréciation de l'écologie des espèces végétales et la définition des facteurs édaphiques. Une mise au point s'avère nécessaire en précisant d'abord les termes utilisés.

a. Gypse et sols gypseux.

+ Pour les pédologues, le gypse se caractérise d'abord par une description morphologique, tel qu'il apparaît dans le profil : taille et disposition des cristaux (roses de sables par exemple), amas et nodules, encroûtement, croûte.

Néanmoins, pour des teneurs généralement plus faibles, le gypse peut ne pas être perçu à l'examen visuel et être seulement révélé par l'analyse chimique. Un examen micromorphologique confirme éventuellement sa présence sous forme de très fins cristaux disséminés dans la masse du sol ou localisés dans les pores; ceci est fréquent pour des sols de texture fine à très fine. Parfois les cristaux de gypse forment le "squelette" du sol, c'est-à-dire constituent la fraction sableuse, avec quelques grains de quartz, dans les sables des bourrelets éoliens en bordure des sebkhas (Zahrez Gharbi et Chergui, Chott el Hodna, etc.).

Sous cette forme, le gypse peut passer inaperçu même avec un pourcentage très élevé. A l'inverse, un encroûtement même très induré et compact reste relativement peu gypseux (20-30 %); le gypse forme alors le ciment consolidant les grains de quartz d'un sable siliceux.

Quoiqu'il en soit, le terme de gypse se réfère au sulfate de calcium hydraté plus ou moins finement cristallisé et abondant, tel qu'on peut le voir dans le profil ou le doser par une analyse. Ceci se traduit par une description morphologique et un pourcentage de gypse total.

Le terme de sols gypseux est utilisé dans la classification française pour désigner une sous-classe des sols calcimagnésiques avec les deux groupes : sols bruns gypseux et sols à encroûtement gypseux. (cf. chapitre II). En réalité, il est d'usage courant parmi les pédologues de considérer le terme dans un sens plus large : les sols gypseux étant des sols contenant du gypse. Certains sont très riches en gypse dès la surface :

- sols formés sur une roche-mère gypseuse: sables éoliens gypseux (sols peu évolués d'apport éolien, S 23), marnes plus ou moins gypseuses (régosols, sols régosoliques), etc .
- sols hydromorphes et halomorphes avec des horizons d'accumulation (amas et encroûtement) en relation avec l'action d'une nappe phréatique peu profonde (S 104, S 111, S 112, S 113).

Enfin, pour de nombreux types de sols, le gypse apparaît beaucoup plus discrêt en très fins cristaux peu visibles , et se localise uniquement dans les horizons de profondeur.

+ Pour les phytoécologistes, l'importance de la présence du gypse est soulignée depuis longtemps pour distinguer des espèces et des groupes plus ou moins spécifiques. On considère habituellement (LE HOUEROU, 1959, 1969; BOUKHRIS, 1973), que les espèces présentes sur les terrains gypseux (espèces gypsicoles) peuvent se subdiviser en :

- gypsophytes, plantes inféodées au gypse et ne poussant dans les conditions naturelles que dans un milieu gypseux (groupe gypsophile) souvent salé (groupe gypsohalophile).

- **gypsoclines** (ou gypsovagues pour LEMEE, 1978), plantes tolérant le gypse mais n'en ayant pas besoin pour croître.

Comme il normal, la référence est faite ici à la tolérance des plantes, c'est-à-dire implicitement à la présence en excès d'ions Ca^{++} et surtout SO_4^{--} dans les solutions du sol. A la différence des pédologues, les phytoécologistes envisagent donc le gypse au-delà de ses aspects morphologiques et quantitatifs mais ils ne le précisent pas au préalable. La notion de gypse englobe en fait l'influence plus générale des ions sulfates SO_4^{--}. Or le gypse n'est pas le seul facteur qui détermine la quantité d'ions SO_4^{--} (et Ca^{++}) dans les solutions des sols. Il convient donc de préciser les influences respectives des ions sulfates et du gypse en tant que tel.

b. **Influence des ions sulfates SO_4^{--}.**

La quantité et a fortiori l'excès, d'ions SO_4^{--} dans les solutions du sol n'est pas liée exclusivement à la présence de gypse; de toute façon , même si cette quantité reste toujours importante dans les sols gypseux, elle n'est pas fonction d'un quelconque pourcentage de gypse total.

La quantité d'ions SO_4 dépend :

- d'une part, du produit de solubilité du sulfate de calcium qui régle la quantité de gypse dissous dans la solution et qui dépend de la présence des autres sels.
- d'autre part, de la présence d'autres sulfates en solution, sulfate de magnésium et sulfate de sodium .

On est amené à distinguer schématiquement deux cas : les sols non ou très peu salés et les sols salés à très salés.

+ **Dans les sols non à très peu salés** (conductivité < 7/8 mmhos) il faut considérer les sols gypseux et les sols non gypseux :

- dans les sols gypseux, quelque soit le pourcentage de gypse total, les solutions du sol sont saturées en sulfate de calcium dissous avec une quantité d'ions SO_4^{--} sensiblement constante (entre 30 et 40 me/litre) mais légèrement supérieure à celle mesurée dans l'eau pure (environ 2,1 g/litre, soit 31 me/litre à 20°C).

Le tableau 34 montre une différence de quelques me/litre au bénéfice de l'encroûtement gypseux (horizon n°2) sur un horizon très faiblement gypseux (horizon n°1).

- dans les sols non gypseux on constate que cette quantité d'ions SO_4^{--} dépend de la salure :

. pour les très faibles salures (< 2-3 mmhos), elle est nettement inférieure aux exemples précédents (horizon n°3).

. pour les faibles salures, comprises entre 3/4 et 7/8 mmhos-cm, elle se rapproche beaucoup de celle des sols gypseux (horizon n° 7).

N°	TYPES D'HORIZONS	GYPSE %	EXTRAIT DE SATURATION (me/l)								
			Cond. mmhos-cm	CO_3H^-	SO_4^{--}	Cl^-	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl/SO_4
1	Horizon de surface (Sol peu évolué d'apport alluvial)	1,0	2,9	4,0	30,1	0,7	32,1	1,3	1,8	0,1	0,02
2	Encroûtement gypseux (Sol calcimagnésique)	88,0	2,8	2,8	33,6	6,3	38,5	1,9	1,4	0,2	0,19
3	Horizon de surface (Sol à croûte calcaire)	0,0	2,2	7,7	12,6	0,8	13,2	6,0	1,6	0,3	0,06
4	Horizon de surface (Hypersolonchak)	1,2	60,4	8,1	99,1	1022,6	75,0	125,6	945,1	10,3	10,32
5	Horizon à amas gypseux (Hypersolonchak)	33,1	51,8	10,5	117,3	696,5	54,0	142,5	596,4	16,5	5,94
6	Encroûtement gypseux de nappe (Hypersolonchak)	84,4	56,9	7,1	127,0	680,8	64,4	62,2	681,3	23,3	5,36
7	Horizon de surface (Sol peu évolué d'apport alluvial)	0,0	3,6	7,7	29,6	12,5	41,8	7,4	2,9	3,5	0,42
8	Horizon de profondeur (Sol peu évolué halomorphe)	0,0	7,2	7,1	30,2	36,7	35,1	12,9	23,8	0,2	1,21
9	Horizon de surface (Solonchak à complexe sodique)	0,0	31,0	21,8	48,5	247,1	64,2	17,9	225,1	12,1	5,10

Tableau 34 Extraits de saturation et teneur en gypse pour différents horizons de sols

En définitive, dans les encroûtements gypseux de surface la quantité d'ions SO_4^{--} en solution n'apparaît pas significativement plus élevée que dans les sols peu gypseux ou même non gypseux mais faiblement salés. Ce facteur ne saurait donc justifier, au moins à lui seul, la présence d'un ensemble d'espèces caractéristiques, sinon exclusives, sur les sols à encroûtements gypseux de surface.

Inversement, si un excès d'ions SO_4^{--} est susceptible d'intervenir, il peut le faire dans un sols peu gypseux et à la limite, dans un sol non gypseux mais faiblement salé (cf.horizon 7). On entrevoit ainsi l'extension possible du terme de gypse si on considère l'influence des ions SO_4^{--} comme étant déterminante sur l'écologie de certaines espèces.

+ Dans les sols salés à très salés (> 7/8 mmhos-cm), la quantité d'ions SO_4^{--} en solution augmente considérablement :

- dans les sols gypseux, quelque soit le pourcentage de gypse total, la solubilité du sulfate de calcium est fortement accrue en présence de chlorures(RICHARD *et al*, 1954; POUGET, 1968; etc.). La quantité de gypse dissous peut atteindre 7 g/l au maximum (cf. horizons 4, 5, 6). Il s'y ajoute les ions SO_4^{--} provenant des autres sulfates en solution.

- dans les sols non gypseux, l'augmentation de salure se traduit aussi par la présence d'une quantité importante d'ions SO_4^{--} provenant essentiellement des sulfates de magnésium et de sodium (cf. horizons 8 et 9).

Pour l'ensemble de ces sols, l'influence de la salure s'avère déterminante et le gypse intervient à partir du moment où il s'agit d'un horizon d'accumulation (amas et surtout encroûtement) situé en surface; encore faut-il que la salure ne soit pas excessive et que la morphologie de l'encroûtement se rapproche de celle des sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux. (cf. ESP-REL : SOLS HALOMORPHES).

En outre, il est important de noter la valeur du rapport Cl/SO_4 toujours supérieure à 1 pour les conductivités élevées (> 7/8 mmhos-cm).

Par contre, le rapport s'inverse, devenant inférieur à 1 et même à 0,2, pour les salures plus faibles, soulignant ainsi la prédominance des sulfates sur les chlorures. (1).

+ Conclusions.

En reprenant l'hypothèse d'une influence possible des ions SO_4^{--}, il ne peut s'agir d'un excès. En effet les teneurs maximums correspondent aux sols salés et très salés où le facteur salure devient prépondérant et où la morphologie des horizons d'accumulation gypseuse peut jouer aussi un certain rôle.

Cependant, pour les salures faibles (< 7/8 mmhos-cm), les ions SO_4^{--} restent relativement importants et de toute façon dominants par rapport aux ions plus toxiques. Leur influence est susceptible de s'exercer sur la nutrition des plantes mais une telle composition ionique caractérise davantage un type de salure que des teneurs en gypse de sols très variés: sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux, sols très peu gypseux, sols non gypseux mais faiblement salés, etc.

Il est probable que certaines espèces (*Lygeum spartum, Moricandia arvensis, Sisymbrium coronopifolium, Gymnocarpos decander* etc.), qualifiées de gypsophiles par LE HOUEROU, soient en réalité liées à une faible salure de type sulfaté ($Cl/SO_4 < 1$); le sol pouvant ne pas être gypseux pour autant.

Quoiqu'il en soit, cette influence des ions SO_4^{--} ne peut suffire à expliquer la spécificité des encroûtements gypseux de surface. Il est nécessaire de considérer le gypse dans ses aspects morphologiques et quantitatifs, tel qu'il se présente dans les principaux types de sols.

---

(1) En fait, Cl/SO_4 peut parfois dépasser 1 pour des salures inférieures à 7/8 mmhos-cm; tout dépend du type de salure et en particulier de l'origine des sels. Dans le Bassin des Zahrez à l'aval du Rocher de Sel, on observe ainsi des steppes halophiles sur des sols dont la salure ne dépasse pas 7/8 mmhos-cm, en surface et en profondeur; par contre le rapport Cl/SO_4 reste très nettement supérieur à 1 en raison de la proximité d'une source abondante et quasi inépuisable de chlorure de sodium (Rocher de Sel).

c. Influence du gypse dans les principaux types de sols gypseux.

+ Les encroûtements gypseux de surface (sols calcimagnésiques) se caractérisent par une teneur élevée de gypse total (25 à 95 % environ) et surtout par la très petite taille des cristaux, pratiquement toujours inférieurs à 20 µ, c'est-à-dire inférieurs aux limons fins (planche IX, 1). Les propriétés physiques sont marquées par une grande compacité, éventuellement induration, et une très faible perméabilité.

Ainsi au cours de deux années de mesures en 1972-1974, dans le Sud-Tunisien, BOURGES *et al* (op.cité) ont constaté que les cycles d'humectation et de dessèchement n'ont pratiquement intéressé qu'une tranche de sol épaisse de 40 cm dans des sols de ce type.

En outre, les horizons encroûtés représentent des milieux fort déficients en éléments nutritifs, particulièrement en phosphates, potassium mais aussi nitrates et autres éléments ou oligoéléments (FLORET et PONTANIER, 1978). Les minéraux argileux restent très discrets alors que l'espace est occupé par les microcristaux de gypse et par un "squelette" plus ou moins important de grains de quartz selon la nature du matériau originel.

Dans ces conditions, les racines et les radicelles rencontrent beaucoup de difficultés pour s'implanter dans un milieu aussi défavorable et difficile à traverser. L'encroûtement gypseux constitue un véritable "tampon stérile" et les plantes doivent donc faire preuve avant toute chose d'une très grande frugalité. Il est intéressant de noter que deux espèces, sur les trois composant le groupe gypsophile des encroûtements gypseux de surface, appartiennent au groupe biogéochimique des thiophores : *Erodium glaucophyllum* et *Helianthemum lipii* var. *intricatum* (BOUKHRIS, op.cité); elles accumulent beaucoup de soufre, calcium et magnésium dans leurs tissus. La troisième espèce, *Lepidium subulatum*, comme de nombreuses crucifères, se rapproche vraisemblablement du même groupe biogéochimique.

En conclusion, ici aussi le taux de gypse n'intervient pas; seule la présence de l'encroûtement et l'ensemble de ses propriétés physiques et chimiques apparaissent déterminantes pour l'écologie des espèces végétales.

Son influence spécifique se trouve encore confirmée par l'étude des autres types de sols gypseux.

+ Les marnes gypseuses.

Dans une marne même très gypseuse en surface (régosols et sols régosoliques), la matrice argileuse reste encore bien visible entre les nombreux cristaux de gypse généralement plus grossiers que précédemment (planche IX, 2). Cette matrice crée une certaine "richesse chimique" et offre aux plantes un milieu d'accueil plus substantiel. Les racines peuvent s'immiscer en profondeur et l'analyse phytoécologique montre l'influence effective des caractéristiques pétrographiques de la marne : texture, salure, gypse (faible salure), etc. Les espèces telles que *Moricandia arvensis* ssp. *suffruticosa*, *Astragalus tenuifolius*, *Reaumuria vermiculata*, etc, indiquant des marnes gypseuses dans le contexte de l'analyse ESP-REL : MARNES, se trouvent en fait dans d'autres milieux même non gypseux mais faiblement salé (cf. supra). Seule *Reaumuria vermiculata* reste toujours liée à la présence de gypse (gypsophile).

Dès que l'horizon de surface acquiert la morphologie et les caractéristiques d'un encroûtement, l'influence de la marne disparaît peu à peu.

+ Les sables gypseux.

Contrairement aux marnes, l'analyse phytoécologique individualise assez nettement le groupe d'espèces psammogypsophiles liées à des sables gypseux souvent plus ou moins salés.

Ils constituent en effet un milieu chimiquement très pauvre relativement spécifique, proche des sables grossiers (dunes) mais aussi des encroûtements gypseux. Les plantes doivent s'adapter à un niveau trophique très bas et à la présence de sels : sulfates pour les faibles salures, relayés ensuite par les chlorures pour les salures plus élevées.

+ Encroûtement gypseux en profondeur.

Dès que l'encroûtement gypseux ne se trouve plus en surface (cf. sols bruns gypseux, p.111) son influence devient quasi nulle, les horizons supérieurs étant alors déterminants.

Très souvent l'encroûtement s'indure et ne constitue qu'un simple obstacle physique à la pénétration des racines.

+ Les sols hydromorphes et halomorphes gypseux.

Dans les milieux hydro-halomorphes, il suffit de rappeler que le groupe gypsohalophile s'individualise d'autant mieux que les autres facteurs écologiques sont minimums (nappe et salure) et que l'encroûtement gypseux a comme origine un ancien sol calcimagnésique. Dans les horizons d'amas et d'encroûtement gypseux de nappe, la taille des cristaux reste en effet généralement plus grande, de l'ordre des dizaines et centaines de microns (planche IX, 3) et les propriétés physiques sont donc sensiblement différentes.

d. Conclusions.

+ Il est possible de distinguer effectivement deux grands ensembles d'espèces liées au gypse : les gypsophiles (ou gypsophytes) et les gypsovagues (cf. tableau V, annexe 7).

- les espèces gypsophiles sont des plantes inféodées au gypse. Dans les conditions naturelles, elles ne poussent que dans les sols très gypseux où elles se répartissent en plusieurs groupes : gypsophiles des encroûtements gypseux de surface, gypsohalophiles, psammogypsophiles, gypsophiles.

- les espèces gypsovagues (ou gypsicoles), tolèrent les sols riches en gypse, car elles peuvent vivre parmi les gypsophiles, mais elles n'en ont pas besoin pour croître. On les retrouve en effet dans des milieux très variés et non gypseux.

+ Les espèces gypsophiles correspondent à une double influence :

- influence indirecte du gypse sur les propriétés physiques et chimiques des sols en relation avec la morphologie, la taille et la disposition des cristaux dans les encroûtements gypseux de surface ; les encroûtements jouent le rôle de véritables "tampons stériles" qu'il est nécessaire de démanteler pour rétablir l'influence des horizons sous-jacents et envisager une éventuelle mise en valeur (reforestation).

- influence des ions SO_4^{--} sur la nutrition des plantes ;

cette influence s'exerce d'autant plus nettement que les ions SO_4^{--} sont dominants dans les solutions des sols, c'est-à-dire dans des sols peu salés ($Cl/SO_4 < 1$ et conductivité < 7/8 mmhos-cm) et dans les sols très pauvres chimiquement (sables gypseux). Inversement, l'influence des ions SO_4^{--} diminue et s'estompe rapidement :

. dans les sols salés avec la prédominance des chlorures.

. dans les sols non ou peu salés avec l'importance prise par la matrice non gypseuse qui favorise une nutrition plus équilibrée et plus complète en même temps qu'interviennent d'autres facteurs écologiques, édaphiques (texture, structure, etc.), climatiques ou anthropiques. Il en est ainsi dans les marnes gypseuse peu salées et plus généralement dans la plupart des sols plus ou moins gypseux et faiblement salés.

+ Les espèces gypsovagues correspondent à une influence plus spécifique des ions SO_4^{--}, mais aussi Ca^{++}, sur la nutrition des plantes dans les sols généralement peu salés, gypseux ou non gypseux. Il est intéressant de constater, en se référant aux travaux de BOUKHRIS (op.cité), qu'il s'agit le plus souvent d'espèces appartenant aux groupes biogéochimiques des thiophores (*Gymnocarpos decander, Plantago albicans*, etc.), des thiohalophores (*Moricandia arvensis* ssp. *suffruticosa, Nitraria retusa, Diplotaxis harra, Pteranthus dichotomus*, etc.), des calciphores (*Astragalus armatus* ssp. *tragacanthoides, Herniaria fontanesii, Atractylis serratuloides*, etc.), des oligophores (*Lygeum spartum, Stipa tenacissima*, etc.) et éventuellement des halophores. En présence d'une quantité importante d'ions SO_4^{--} et Ca^{++}, l'adaptation de ces espèces se fait différemment : soit elles accumulent dans leurs tissus les sulfates (thiophores) ou le calcium (calciphores), soit au contraire elles en limitent l'accès (oligophores). La plupart des espèces caractéristiques des sols à accumulation calcaire se retrouvent parmi les gypsovagues (*Herniaria fontanesii, Atractylis serratuloides, Helianthemum kahiricum*, etc.). Ceci souligne l'influence des ions Ca^{++} dont l'importance paraît augmenter au fur et à mesure que diminuerait l'influence des ions SO_4^{--} en particulier dans les sols non gypseux. Une analyse plus fine permettrait vraisemblablement d'établir de nouvelles distinctions à l'intérieur de cet ensemble des espèces gypsovagues.

Chapitre IV

LA VÉGÉTATION, FACTEUR DE PÉDOGENÈSE

I – VÉGÉTATION ET MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES SOLS

La végétation exerce une influence directe sur le sol en lui fournissant la matière organique, l'un de ses constituants essentiels; que se soit sous forme de litière ou que se soit par la décomposition sur place du système racinaire. La quantité et la nature de la matière organique fraîche, ainsi restituée au sol, dépend largement des bioclimats et du type de végétation, forestière ou steppique.

En outre, l'évolution dans le sol de la matière organique est sous la dépendance non seulement du climat atmosphérique, mais aussi de la végétation elle-même qui conditionne le pédoclimat, compte tenu des autres caractéristiques du profil comme la présence de calcaire, le taux et la nature des argiles, la structure, etc... La végétation est donc susceptible d'exercer une influence indirecte sur les processus d'évolution de la matière organique.

Pour apprécier cette influence directe et indirecte, il convient d'enregistrer dans l'espace, et non dans le temps, les variations des deux principales caractéristiques de la matière organique, c'est-à-dire :

- d'une part, sa répartition dans les horizons de surface et dans l'ensemble du profil (profil organique).
- d'autre part, sa nature.

Ces variations peuvent mettre en évidence l'influence de tel ou tel type de végétation à condition que les autres facteurs du milieu restent sensiblement constants. Les observations doivent donc être effectuées dans une même zone bioclimatique, sur des sols identiques quant à leur âge, roche-mère et situation géomorphologique.

L'analyse phytoécologique précédente fournit le cadre de ces observations :

- elle délimite les bioclimats dans la séquence climatique d'aridité croissante.

- elle précise la nature du couvert végétal avec les principales formations végétales : forêts-matorrals, steppes à alfa, steppes secondaires à chamaephytes, jachères et cultures. Celles-ci rendent compte de la nature de la matière organique fraîche fournie au sol, dominance d'espèces ligneuses pour la végétation forestière, dominance d'espèces herbacées pour les steppes, etc... Elles expriment aussi un état de la dégradation du couvert végétal et par là une certaine appréciation du pédoclimat.

Le choix des sols à observer s'avère particulièrement important pour se situer dans des conditions comparables. A cet égard, les sols où la végétation est de type "climatique" paraissent les plus indiqués. Le climat y joue en effet un rôle essentiel dans le déterminisme du couvert végétal compte tenu de la nature des sols et de l'influence humaine. Ce sont les milieux bien draînés avec les différentes séquences de sols formés sur les versants (calcaires durs, grès, marno-calcaires) et sur les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien à récent (sols à croûte calcaire, siérozems). Sur ces sols, la végétation naturelle est installée depuis longtemps, même si elle subit les effets d'une dégradation par l'homme, plus ou moins ancienne et importante. De tels milieux reflètent le mieux les conditions climatiques actuelles et sont donc susceptibles de définir correctement les facteurs du complexe sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Ils permettent de se situer dans des conditions comparables de climat, de roche-mère et de situation géomorphologique. Ils excluent en particulier les zones recevant des apports d'eaux de ruissellement qui modifieraient l'ensemble des facteurs en présence.

Les résultats présentés maintenant reprennent dans une large mesure une récente communication au congrès de l'AISS à Edmonton (POUGET et AUBERT, 1978).

A - REPARTITION DE LA MATIERE ORGANIQUE.

L'étude de cette répartition est envisagée successivement:

- en surface, avec la teneur en matière organique dans les horizons de surface qui représentent le plus souvent, tout ou partie des horizons A (10-30 cm environ).

- dans l'ensemble du profil avec le profil organique.

1 - LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES HORIZONS DE SURFACE.

Globalement pour l'ensemble des différents milieux (cf. ESP-REL 2), la teneur en matière organique totale des horizons de surface diminue avec l'aridité du climat.

Il s'agit là d'une constatation bien banale depuis les travaux des premiers pédologues soviétiques et surtout de JENNY(1941). D'autres auteurs, comme RICHE (1967) en Ethiopie, précisent que les variations du taux de matière organique pouvent être quantifiées en fonction de certains éléments du climat : corrélation linéaire entre la teneur en matière organique et l'indice d'aridité de DE MARTONNE ou le rapport P/ETP (ETP THORNTHWHAITE).

Le résultat global, fournit par ESP-REL 2 et concernant des milieux très variés, ne tient compte ni de la texture, ni des modifications du bilan hydrique (eaux de ruissellement, nappe phréatique), ni des formations végétales. Il ne permet guère une appréciation de l'influence plus spécifique de la nature du couvert végétal.

Pour cela, il faut se placer dans des conditions stationnelles comparables en envisageant successivement chacune des séquences de sols formés :

- sur les versants : calcaires durs, grès et marno-calcaires.
- sur les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien à récent : sols profonds (siérozems modaux et siérozems à amas et/ou granules calcaires), sols à encroûtement calcaire et sols à croûte calcaire.

La figure 41 montre l'exemple des sols à croûte calcaire. Chaque profil est représenté par la teneur en matière organique de son horizon de surface (en abscisses). En ordonnées, il se place en fonction des types de formations végétales, des bioclimats et de la texture (A + LF).

Toutes conditions du milieu égales par ailleurs, la teneur en matière organique est en effet fonction de la texture :

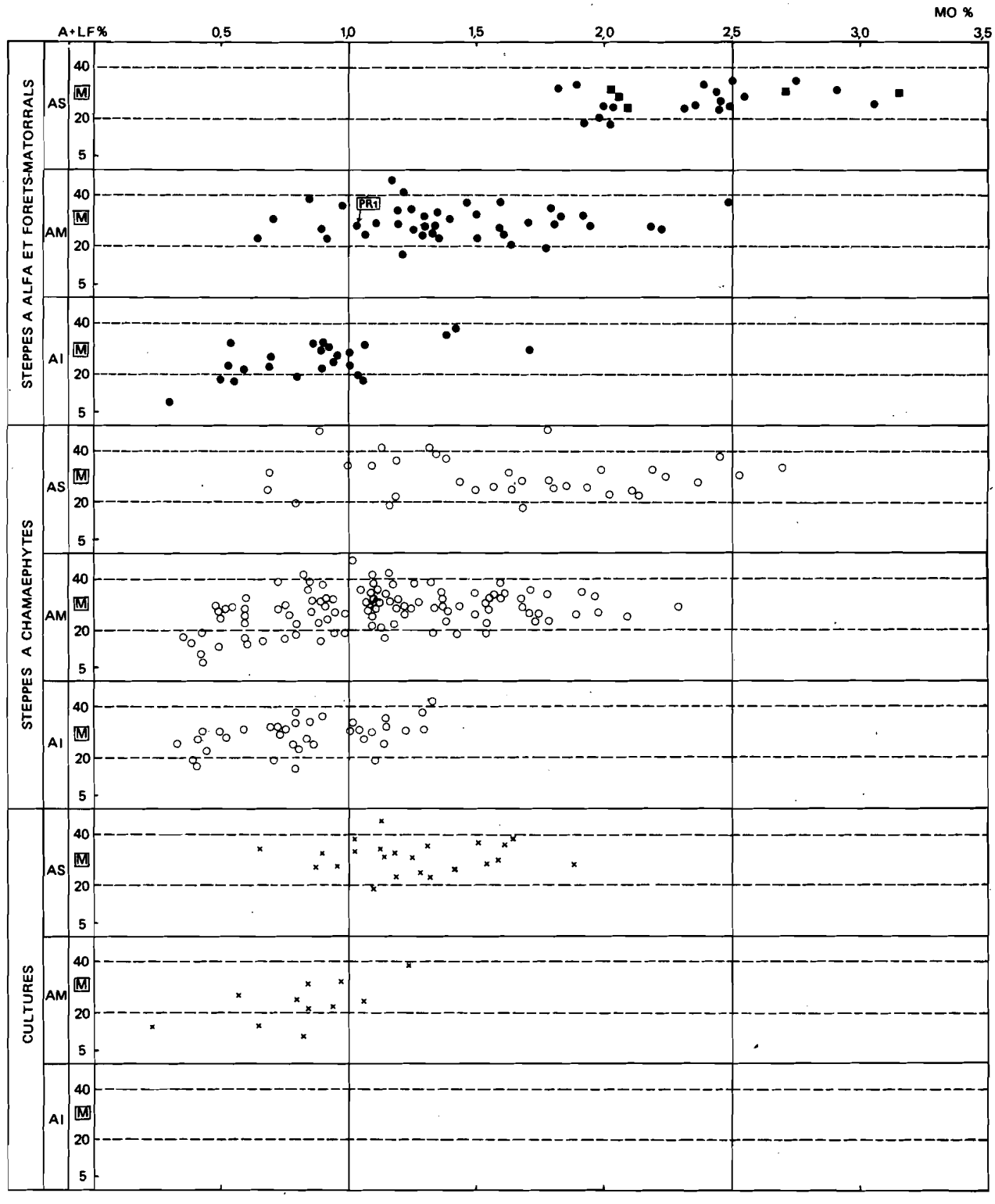


Figure 41 - Teneur en matière organique des horizons de surface (sols à croûte calcaire) en fonction des formations végétales, des bioclimats et de la texture (A + LF)

les sols de texture fine étant plus riches en matière organique que les sols de texture grossière (DREGNE and MAKER, 1955; COMBEAU *et al*, 1961; DE BOISSEZON, 1973; etc...).

L'examen visuel de la figure 41 permet de constater :

- l'influence des bioclimats : pour une même formation végétale et une même texture (par exemple la texture moyenne : 20 < A + LF < 40) la teneur en matière organique décroît avec l'aridité du climat.
- l'influence de la nature du couvert végétal : pour un même bioclimat et une même texture la teneur en matière organique décroît dans le sens d'une dégradation du couvert végétal.

En superposant les différents graphiques obtenus pour chaque séquence de sols on complète ainsi la figure 41. Il est alors possible, pour l'ensemble des sols de texture moyenne, de schématiser les résultats sur une seule figure qui indique les principales "fourchettes" du taux de matière organique des horizons de surface en fonction des bioclimats et des types de formations végétales (fig.42).

La dégradation du couvert végétal va dans le même sens que l'aridification du climat; les deux processus se traduisent par une diminution du taux de matière organique dans les horizons de surface. (1).

L'influence du climat s'apprécie également d'une façon très simple en mesurant la teneur en matière organique du matériau sableux constituant la touffe d'alfa. On constate, pour une texture généralement grossière, une diminution progressive mais importante du taux de matière organique :

- 3 à 2 % dans l'aride supérieur.
- 2 à 1 % dans l'aride moyen.
- 1 à 0,5 % dans l'aride inférieur.

(1) Les horizons de surface ont tendance à être moins riches en matière organique dans les sols profonds (siérozems) que dans les sols plus superficiels.

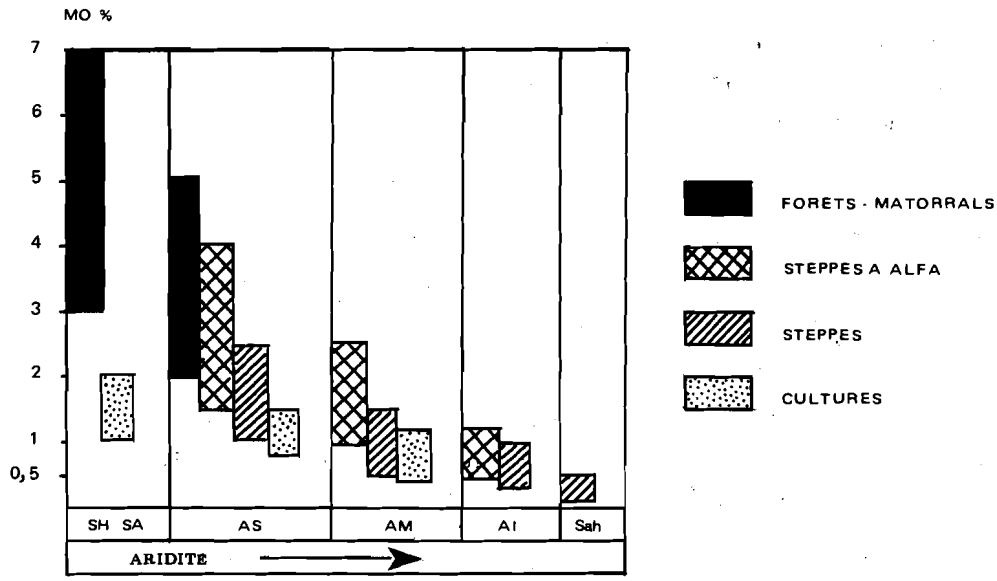


Figure 42 - Horizons de surface (20 < A + LF < 40)
Teneurs en matière organique en fonction du couvert végétal et des bioclimats

Localement, la présence d'un tapis très dense de petites graminées, comme *Poa bulbosa*, détermine une concentration de matière organique dans les 5 premiers centimètres.

2 - LE PROFIL ORGANIQUE.

La répartition de la matière organique dans le profil est étudiée, comme précédemment, en fonction des bioclimats et des formations végétales sur les mêmes types de sols.

a. les sols formés sur les versants (substratum géologique).

α. sur les calcaires durs et grès. Dans l'Atlas tellien et les plus hauts sommets de l'Atlas saharien (subhumide et semi-aride), les sols fersiallitiques présentent des profils organiques typiques sous végétation forestière (fig.43);

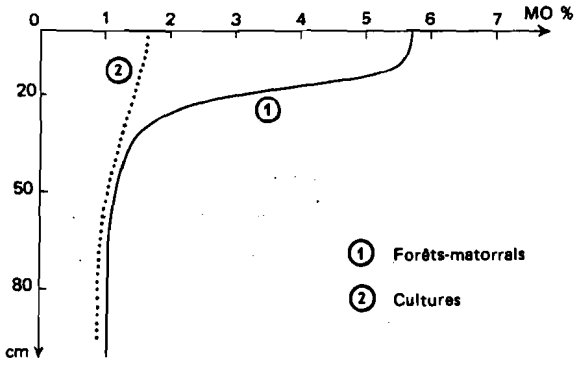


Figure 43 - Profils organiques de sols fersiallitiques sur calcaires durs.(S 94)

Les profils se caractérisent par :

- une concentration importante de matière organique dans l'horizon humifère Ah, pratiquement toujours surmonté d'un horizon Ao (litière).
- une décroissance très rapide de la matière organique dont le taux peut se maintenir aux environs de 1 %, au delà de 50 cm de profondeur, d'autant plus que la texture est plus fine.

Sous cultures, l'horizon de surface nettement moins humifère contribue à donner un profil organique de type isohumique (fig.43). Il s'agit souvent d'un sol tronqué dont l'horizon humifère a été entraîné par l'érosion consécutive au défrichement et à la mise en culture sur des pentes élevées (POUGET, 1973).

Cependant pour un grand nombre de sols très peu profonds, le profil organique n'a guère de signification : rendzines (S 35), sols bruns calciques (S 59), sols calcimagnésiques xériques sur calcaires (S 47) ou sur grès (S 48), etc. Pratiquement, le profil organique se réduit ici à l'horizon de surface dont l'épaisseur atteint rarement 30 cm. Au-dessous, les racines et radicelles s'immiscent plus ou moins profondément dans les diaclases où l'on observe souvent des dépôts de calcaire.

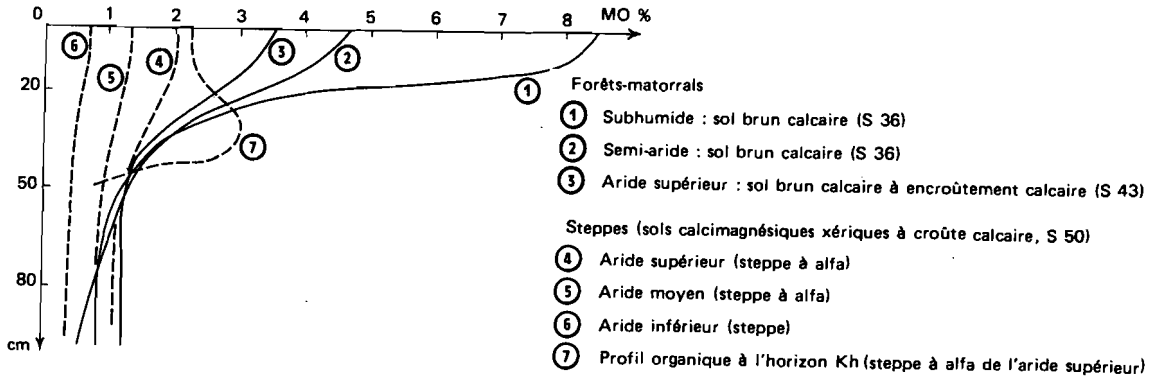


Figure 44 - Profils organiques de sols formés sur marno-calcaires

β. sur marno-calcaires.

La figure 44 illustre quelques exemples de profils organiques sous végétation forestière et steppique.

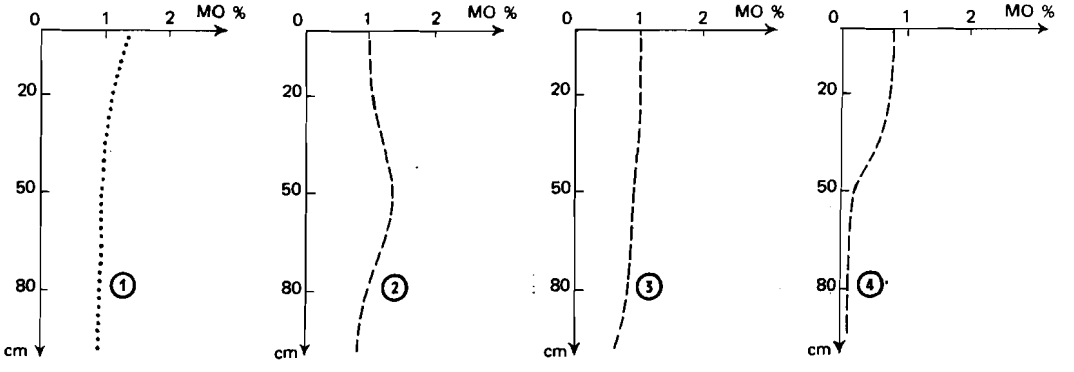
- sous végétation forestière, l'horizon Ah apparaît d'autant moins humifère que le climat devient plus aride. En profondeur, ce serait l'inverse avec des horizons relativement plus organiques dans l'aride supérieur où l'alfa s'installe presque partout dans les matorrals et même les forêts claires de Pin d'Alep; en même temps, les horizons d'accumulation calcaire se généralisent (encroûtements et croûtes).
- sous végétation steppique, les sols sont dans leur quasi totalité à croûte calcaire (S 50); l'horizon Ah disparait progressivement, le profil organique devenant de type isohumique. Avec l'aridité du climat, la teneur en matière organique diminue dans l'ensemble du profil.

Localement, on observe la formation d'un horizon Kh (cf. infra).

γ. sur marnes.

Sous végétation forestière, les sols bruns calcaires, souvent à caractères vertiques, présentent un horizon humifère Ah.

Sous végétation de steppe ou sous cultures, le profil organique est de type isohumique : des vertisols de l'Atlas tellien aux siérozems de steppes plus arides. (fig. 45).



① Vertisol (S 30) : cultures de semi-aride, texture très fine
② Siérozem modal (S 80) : steppe à alfa de l'aride moyen, texture moyenne à fine
③ Siérozem à encroûtement calcaire (S 90) : steppe de l'aride moyen, texture moyenne
④ Sol régosolique (S 8) : steppe à alfa de l'aride moyen, texture moyenne à fine

Figure 45 - Profils organiques de sols formés sur marnes

b. Les sols formés sur les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien à récent.

On distingue :

- d'une part, les sols profonds : sols marrons et surtout siérozems modaux et à amas et/ou granules calcaires .
- d'autre part, les sols à encroûtement calcaire (siérozems) et les sols à croûte calcaire.

α. Les sols profonds.

Comme l'indique implicitement leur classification (sols isohumiques), ils se caractérisent par une incorporation profonde de la matière organique dans le profil.

Les sols marrons, très peu représentés dans la zone étudiée, sont pratiquement toujours cultivés; il est rare de les observer sous végétation forestière dans les régions semi-arides. Leur profil organique se rapproche alors beaucoup de celui des sols fersiallitiques ou calcimagnésiques sous végétation analogue. (fig. 46). Ils paraissent constituer une catégorie intermédiaire entre ces deux types de sols.

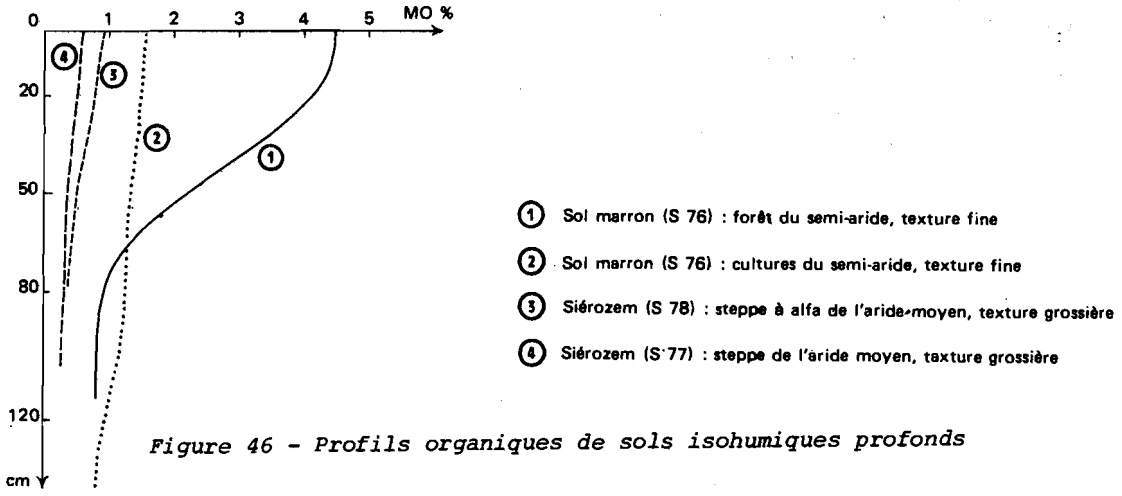


Figure 46 - Profils organiques de sols isohumiques profonds

- Malgré une grande diversité de texture (grossière à fine), les siérozems présentent un profil isohumique typique dans les steppes mais aussi les cultures. Dans ce dernier cas, les sols bénéficient très souvent d'apports d'eaux de ruissellement (chenaux d'oueds alluvionnés, dayas, etc.). Pour les siérozems que nous envisageons ici, c'est-à-dire sous végétation de steppe sans apport important d'eaux de ruissellement, l'examen de très nombreux profils montre que, compte-tenu de la texture :

. La teneur en matière organique de l'ensemble du profil et sa profondeur d'incorporation diminuent avec l'aridité du climat. (fig. 47).

. La nature du couvert végétal intervient relativement peu : les steppes à alfa restant légèrement plus riches en matière organique sur l'ensemble du profil.

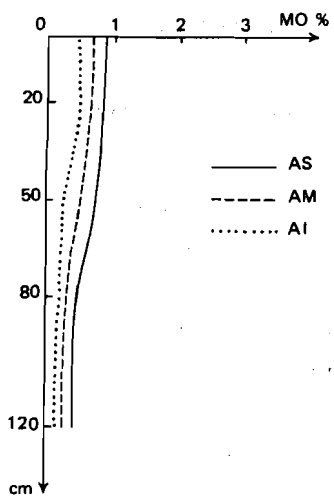


Figure 47 - Siérozems (texture grossière à moyenne) : profils organiques moyens pour les trois principaux bioclimats sous végétation de steppe

L'interprétation des profils organiques est parfois rendue très délicate par la présence d'horizons plus ou moins noircis et humifères (hydromorphie ancienne); c'est le cas de certains sols (S 79, S 83)formés sur alluvions anciennes (sols polycycliques).

β. Les sols à encroûtement calcaire (siérozems) et les sols à croûte calcaire.

Les profils organiques se regroupent en trois types principaux avec tous les intermédiaires (fig. 48).

- les profils à horizon Ah.
- les profils isohumiques.
- les profils à horizon Kh.

+ **Les profils à horizon Ah** caractérisent les sols sous végétation forestière du semi-aride et aride supérieur. (planche VI, 4). En surface, l'horizon plus humifère Ah reste peu épais (20-30 cm au maximum); il surmonte les horizons encroûtés composés de feuillets de croûte, parfois indurés en dalle, entre lesquels s'immisce profondément le puissant système racinaire des arbres et arbustes forestiers. Comme pour les sols formés sur marno-calcaires, la présence de l'alfa contribue à diminuer la teneur en matière organique de l'horizon de surface et semble-t-il à l'augmenter dans les horizons sous-jacents; le passage se fait progressivement à un profil isohumique.

+ **Les profils de type isohumique** caractérisent les sols à encroûtement calcaire (siérozems), mais aussi les sols à croûte calcaire, de type I (cf. page 97), sous végétation de steppe. La morphologie des horizons encroûtés permet une installation convenable du système racinaire. Dans les sols à croûte calcaire, les espaces interfeuillets sont largement investis par les racines et les radicelles qui traversent assez aisément la croûte (planche VI).

La teneur en matière organique, non seulement de l'horizon de surface mais de l'ensemble du profil, reste plus élevée sous steppe à alfa que sous steppe secondaire à chamaephytes; elle diminue également avec l'aridité du climat.

+ **Les profils à horizon Kh** s'observent dans les sols à croûte calcaire de type II à horizon laminaire K1 (cf. page 98). La matière organique se concentre, non plus dans l'horizon de surface, mais au-dessous, dans l'horizon Kh (fig. 48).

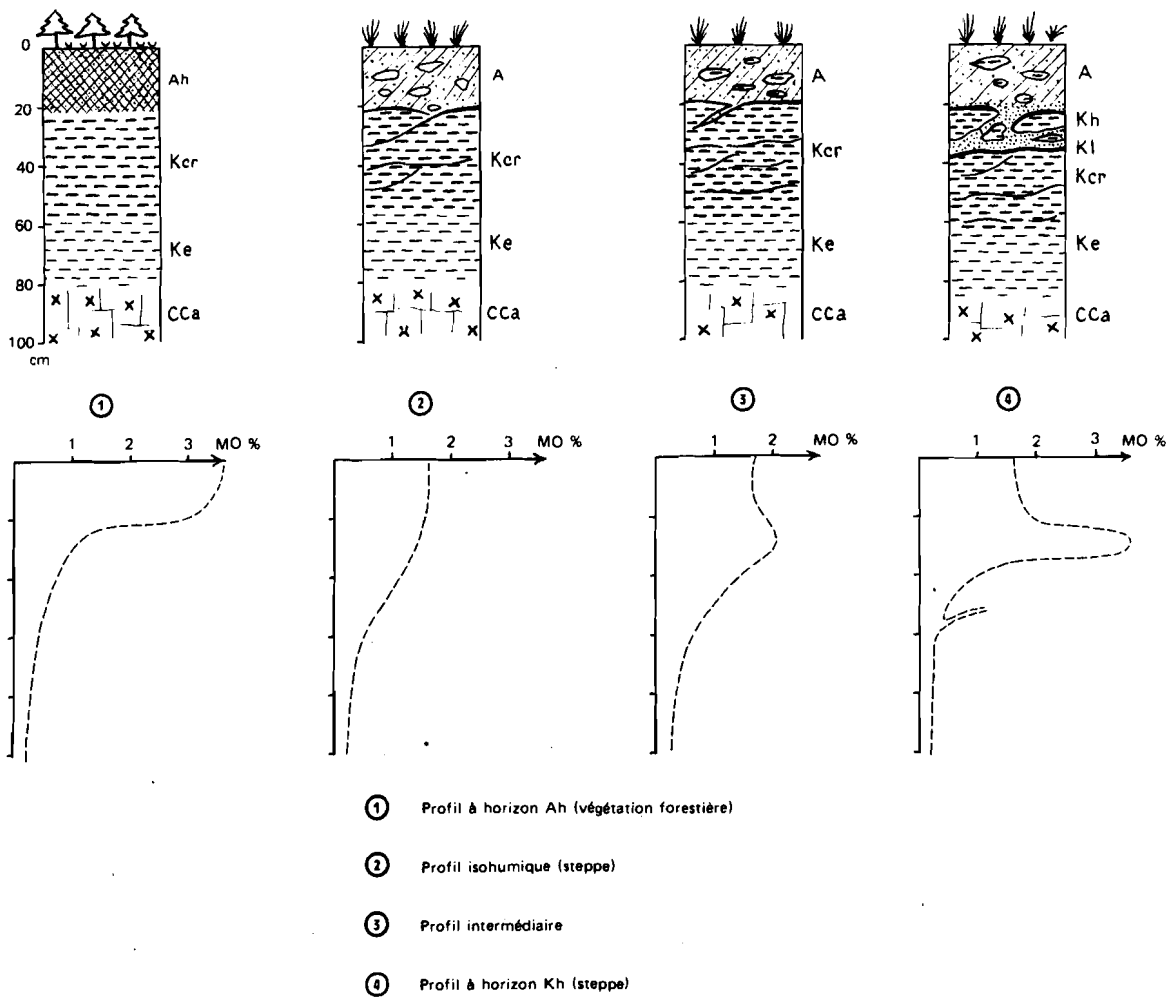


Figure 48 - Les principaux types de profils organiques dans les sols à croûte calcaire

- L'horizon Kh, d'épaisseur variable (0 à 30 cm), comprend des fragments plus ou moins importants de croûte dans un limon sableux "pulvérulent", très calcaire (40 à 70 %), colonisé par un chevelu racinaire dense formant tapis sur l'horizon laminaire Kl (planches VI et VII).

L'examen micromorphologique (cf. infra) montre une matrice pulvérulente constituée d'une multitude de sphérolithes (oolithes) de calcite, de quelques dizaines de microns, provenant de l'altération de la croûte. En outre, la matrice se caractérise par une assez forte rétention en eau (pF 2,5 = 20 à 30 % et pF 4,2 = 10 à 15 %) et un pH toujours inférieur à celui de la croûte et de l'horizon A, soit entre 7,5 et 8,0; il peut encore diminuer lorsque la teneur en matière organique augmente (CALLOT *et al* 1978).

La croûte KCr sous-jacente, parfois indurée en dalle, conserve généralement une structure en feuillets subhorizontaux avec des espaces interfeuillets empruntés par les racines; ils prolongent l'horizon Kh qui arrive ainsi difficilement à s'incruster en profondeur.

L'horizon Kh apparaît d'autant plus nettement que l'horizon laminaire Kl est continu. On observe tous les stades de passage depuis le profil à horizon Ah et le profil isohumique (fig. 48). La formation de l'horizon laminaire semble être précédée par une certaine concentration de matière organique (cf. profil intermédiaire 3 fig. 48). Cette concentration se fait en relation avec le système racinaire qui commence, lui aussi, à se concentrer dans les espaces interfeuillets à la partie supérieure de la croûte alors que l'horizon laminaire s'individualise peu à peu.

- Les principales variations de Kh concernent sa profondeur et la teneur en matière organique.

. Pratiquement inexistant sous végétation forestière, il apparait tout d'abord assez profondément (> à 50 cm) dans les matorrals steppisés (avec alfa) et les steppes à alfa de l'aride supérieur. D'une façon générale, l'horizon Kh est d'autant plus proche de la surface que le climat est aride (fig. 49).

D'autres facteurs interviennent et seront discutés ultérieurement (cf. infra).

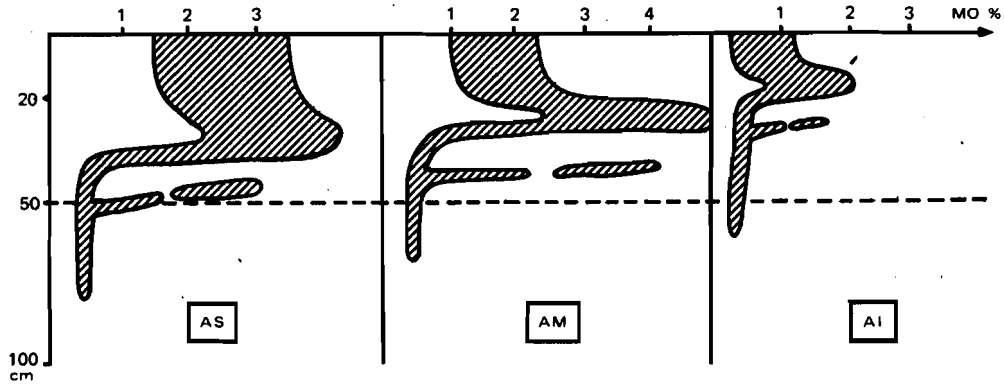


Figure 49 - Variations des profils organiques à horizon Kh (profils moyens sous steppes) en fonction des bioclimats (POUGET et AUBERT,1978)

. La teneur en matière organique de l'horizon Kh varie en fonction des bioclimats (fig. 49). Sous végétation de steppe (alfa et/ou chamaephytes) elle passe par un maximum dans l'aride moyen et atteint 5-7 %. Dans l'aride supérieur, la teneur relativement élevée dans l'horizon A et une profondeur plus importante de sol disponible peuvent expliquer une concentration moindre de matière organique dans l'horizon Kh. Dans l'aride inférieur, cette teneur diminue en relation avec la faible densité du couvert végétal.

Contrairement aux horizons de surface, on ne constate pas de différence sensible entre les steppes à alfa et les steppes à chamaephytes; cela signifie que l'horizon Kh est relativement plus riche en matière organique dans les steppes secondaires que dans les steppes à alfa, il est aussi plus proche de la surface.

3 - CONCLUSIONS.

Une telle étude de la répartition de la matière organique dans les sols présente au moins deux difficultés :

- la première tient à la diversification et à la variabilité des caractères lithologiques du substratum géologique et de la roche-mère d'une façon plus générale.
- la seconde difficulté réside dans la définition et l'étude des profils organiques dans des sols aussi complexes et hétérogènes que les sols à croûte calcaire.

Plusieurs conclusions se dégagent néanmoins et montrent l'influence de la nature du couvert végétal sur le taux de matière organique et sa répartition dans les profils.

+ Comme l'aridité croissante du climat, la dégradation du couvert végétal s'accompagne d'une diminution progressive du taux de matière organique dans les horizons de surface et dans l'ensemble du profil. Dans les deux cas, ceci correspond à une réduction de la biomasse végétale. Ainsi pour le semi-aride et l'aride supérieur, la biomasse aérienne d'une forêt claire de Pin d'Alep se situe entre 40 et 50 t/MS/ha (CLAUDIN *et al*, 1975). Elle diminue très vite dans les matorrals pour atteindre 2 t/MS/ha dans les steppes à alfa peu dégradées et moins de 1,5 t/MS/ha dans l'aride inférieur. Beaucoup plus variables, les biomasses de steppes à chamaephytes restent généralement inférieures à celles des steppes à alfa dans les mêmes conditions de milieu. Il serait très intéressant de connaître la quantité de matière organique fraîche restituée au sol chaque année. Malheureusement on ne dispose pas de données précises à ce sujet. Seule une estimation pourrait se concevoir à partir des valeurs de la productivité annuelle moyenne qui reste faible : 0,5 à 1,5 t/MS/ha/an pour les forêts claires de Pins d'Alep et pratiquement toujours moins de 0,8 t/MS/ha/an pour les steppes (CLAUDIN *et al*, op.cité). Quoiqu'il en soit on ne peut que constater une certaine relation entre la biomasse végétale et la teneur en matière organique des sols.

Cependant, il parait important de souligner l'écart entre la biomasse végétale totale (aérienne et souterraine) d'une formation steppique et le stock de matière organique du sol. En effet, un taux de 2 % de matière organique, pour un horizon épais de 20 cm et une densité apparente de 1,5, correspond approximativement à une masse de 60 t/MS/ha; or la biomasse totale d'une steppe à alfa se situe aux environs de 4 t/MS/ha pour une biomasse racinaire représentant 80 % de la biomasse totale . Le stock de matière organique du sol, par rapport à la biomasse végétale totale des formations steppiques, apparaît donc élevé, surtout pour les steppes à alfa et les steppes peu dégradées de l'aride supérieur. Il diminue très vite avec la dégradation du couvert végétal et l'aridification du climat.

+ Sous végétation de steppe, on constate une relation assez étroite entre le profil racinaire et le profil organique généralement de type isohumique. Par contre, il n'en est pas de même sous végétation forestière avec l'horizon Ah où les apports de matière organique fraîche proviennent pour une large part de la litière. Une certaine évolution s'observe dans les matorrals steppisés et se poursuit dans les steppes à alfa avec le changement de système racinaire : le taux de matière organique diminue peu à peu dans l'horizon Ah alors qu'il tend à augmenter dans les horizons sous-jacents; on passe ainsi progressivement à un profil organique de type isohumique dans tous les sols où le système racinaire des espèces steppiques peut s'implanter aisément : siérozems profonds ou à encroûtement calcaire, sols à croûte calcaire de type I.

+ Les profils organiques de type isohumique peuvent résulter d'autres processus en relation avec une influence prépondérante de l'homme. Ainsi, dans les zones telliennes subhumides et semi-arides, la destruction de la végétation forestière et la mise en culture provoquent un appauvrissement du profil organique en surface (cf. RUELLAN, 1970); l'érosion peut aussi entraîner la totalité de l'horizon humifère. On observe également des profils isohumiques sous des pelouses de dégradation (BOTTNER, 1970).

+ Dans les sols à croûte calcaire, l'évolution du profil isohumique se poursuit par la formation éventuelle d'un horizon Kh ;

Il souligne une double concentration, du système racinaire et de la matière organique au-dessus de l'horizon laminaire K1.

B - NATURE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.

Une première indication est donnée par le rapport C/N (1) qu'il convient de compléter par l'étude plus précise de la nature des principaux composés humiques.

1 - RAPPORT C/N.

+ **Horizons de surface.** On constate une décroissance assez régulière du rapport C/N en fonction : (fig. 50).

- **de la dégradation du couvert végétal,** pour un même bioclimat avec un palier très net marquant le passage de la végétation forestière à la steppe.

- **de l'aridité croissante du climat,** pour un même couvert végétal (sauf pour les cultures où le rapport C/N oscille entre 11 et 8 en moyenne).
  Il s'agit là de résultats très classiques en zones semi-arides et arides.

+ **Ensemble du profil.**

Globalement, pour la plupart des sols, le rapport C/N aurait tendance à diminuer très progressivement en profondeur.

Les exceptions les plus remarquables concernent les horizons d'accumulation calcaire où le rapport devient supérieur à celui de l'horizon A.

Notons que les prélèvements n'ayant pas été effectués à la même époque, il est difficile de conclure en raison des variations saisonnières sans doute importantes.

---

(1) c = carbone organique total.

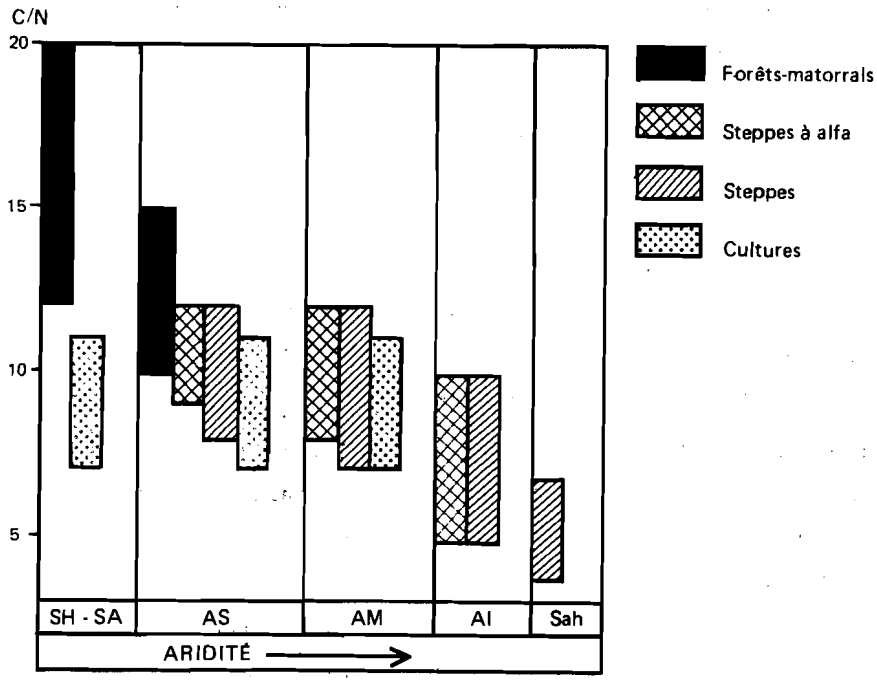


Figure 50 - Horizons de surface (20<A+LF<40)
Rapports C/N en fonction du couvert végétal et des bioclimats

2 - LES MATIERES HUMIQUES.

L'étude des matières humiques se base sur 93 échantillons analysés à l'ORSTOM (Bondy). Il s'agit d'horizons de surface (horizons A, Ap, Ah, Ao) et de profils complets de sols, y compris les horizons d'accumulation calcaire. Ils se répartissent en fonction :

- des bioclimats : du subhumide à l'aride inférieur. Les prélèvements du subhumide et du semi-aride se rattachent au domaine méditérranéen sur lequel on possède des données (BOTTNER, 1970).
- des formations végétales : des forêts aux cultures. Pour trois profils de matorrals, un prélèvement complémentaire est fait au niveau d'une touffe d'alfa.

- des types de sols : sur versants (sols fersiallitiques et calci-magnésiques sur calcaires durs, grès et marno-calcaires), surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien à récent (siérozems, sols à encroûtement calcaire, sol à croûte calcaire) et même dayas (siérozems).

Compte-tenu de tous les facteurs à étudier, d'autres analyses auraient été nécessaires avec un plan d'échantillonnage plus systèmatique pour une étude réellement quantitative et statistique. Cependant, cet ensemble de résultats concerne des sols peu étudiés jusqu'à présent, surtout de ce point de vue.

· La méthode DABIN (1971-1976) est utilisée pour l'extraction des matières humiques. Un rappel succinct me paraît indispensable pour préciser les principales caractéristiques de l'analyse et les types de matières humiques extraits :

- prétraitement à l'acide phosphorique 2M, de densité voisine de 1,2, pour séparer les matières organiques légères qui surnagent et dont on dose le carbone organique (combustion par voie sèche dans un coulomètre) : MOL.
- dans le liquide phosphorique, dosage par oxydation sulfo-chromique du carbone organique des acides fulviques mis en solution : acides fulviques "libres" (AFL).

L'avantage de l'acide phosphorique dans les sols calcaires est de donner avec les ions Ca^{++} un phosphate monocalcique plus soluble et plus facile à éliminer que le sulfate de calcium obtenu si l'on utilise l'acide sulfurique. De plus, le dosage du carbone par oxydation sulfo-chromique limite les interférences carbone minéral-carbone organique. Ceci est important dans les sols très calcaires et en général pauvres en matière organique.

- extractions successives au pyrophosphate de soude M/10, puis à la soude N/10. On obtient l'ensemble : acides humiques (AH) et acides fulviques extraits au pyrophosphate de soude et à la soude (AFPS). Les acides humiques sont précipités par H_2SO_4 à pH1; les acides fulviques sont obtenus par différence.

- on sépare ultérieurement par électrophorèse les acides humiques en acides humiques gris (AHG), acides humiques intermédiaires (AHI) et acides humiques bruns (AHB).
- la fraction insoluble constitue l'humine (H). Le dosage de l'azote permet de connaître la valeur du rapport C/N.

Les résultats sont reportés sur deux tableaux avec les principales caractéristiques des horizons de surface et des 10 profils analysés (annexe 8, tableaux A et B).

a. Horizons de surface (annexe 8, tableau A).

Pour une gamme de sols de texture généralement grossière à moyenne ($10 < A + LF < 40$) et des teneurs en calcaire total inférieures à 30 %, on constate un certain nombre de différences plus ou moins sensibles dans la composition du stock de matières humiques.

Plus que les variations quantitatives, ce sont les rapports entre les divers composants qui peuvent faire apparaître des différences stationnelles et par là, montrer l'influence de tel ou tel facteur et éventuellement le sens d'une évolution possible.

Parmi ces rapports, on en retient trois, habituellement utilisés :

- le taux d'extraction $TE\ \%_o = \dfrac{C\%_o\ (AFL + AFPS + AH)\ 100}{C\%_o\ Total}$

  exprime le pourcentage des matières humiques (AF + AH) extractibles par rapport au carbone organique total. Il donne ainsi une indication sur l'importance de l'humine dont la nature n'est pas précisée.
- le rapport AH/AF fournit une première appréciation sur la nature des composés extratibles, en particulier sur le degré de polymérisation.
- le rapport AHG/AH précise ce degré de polymérisation et montre l'importance plus ou moins grande prise par les acides humiques gris fortement polymérisés.

+ Taux d'extraction.

Il diminue assez régulièrement en fonction de la dégradation du couvert végétal et de l'aridité croissante du climat, passant de 40-30 % (végétation forestière) à 30-25 % (steppes de l'aride inférieur).

Corrélativement, le taux d'humine, par rapport au carbone total, augmente de 30-50 % jusqu'à plus de 80 %, des forêts aux steppes les plus arides (fig. 51).

Sur cette figure, on vérifie aussi l'influence de la nature du couvert végétal avec les prélèvements effectués dans trois matorrals de l'aride supérieur. Le taux d'humine est plus élevé sous une touffe d'alfa que sous pin d'Alep (*Pinus halepensis*) ou sous genévriers (*Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea*) :

- 8K 355 (*Pinus halepensis*) et 8K 353 (*Stipa tenacissima*).
- K 1221 (*Juniperus phoenicea*), K 1222 (*Juniperus oxycedrus*) et K 1223 (*Stipa tenacissima*).
- H 331 (*Juniperus phoenicea*) et H 332 (*Stipa tenacissima*).

La différence entre végétation forestière et végétation steppique apparaît aussi avec les valeurs du rapport C/N de l'humine (prédominance soit de lignine, soit de cellulose) : 15-10 pour les forêts et 7-10 pour les steppes.

+ Rapport AH/AF. Il est pratiquement toujours inférieur à 1 sauf pour certains sols fersiallitiques plus ou moins lessivés sur grès et sous végétation forestière dans les zones subhumides. On constate une diminution assez progressive depuis les forêts jusqu'aux steppes de l'aride inférieur sur les autres types de sols : de 0,8 - 0,7 à 0,6 - 0,5.

Les acides fulviques restant sensiblement constants (12 à 25 % du carbone total), les acides humiques diminuent donc de 15 à 5 % du carbone total, depuis la végétation forestière jusqu'aux steppes les plus arides.

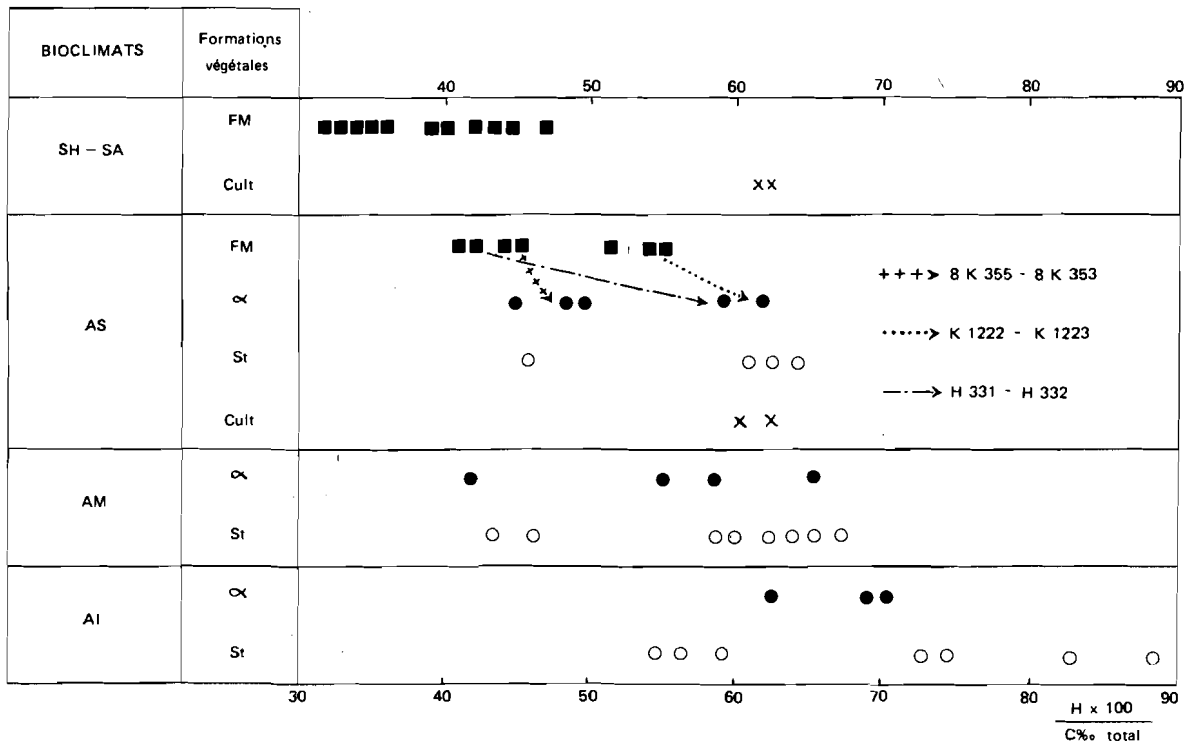


Figure 51 - Horizons de surface : taux d'humine (% au carbone total) en fonction des bioclimats et des formations végétales

+ Rapport AHG/AH. (fig. 52).

Le rapport AHG/AH montre une proportion toujours importante d'acides humiques gris (> 45-50 %) même sous végétation forestière dans les régions telliennes subhumides et semi-arides. Ceci confirme les résultats de BOTTNER (1970), pour les sols du Midi de la France et de RUELLAN (1971) au Maroc.

Dans l'aride supérieur, le passage forêts-steppes s'accompagne d'une augmentation sensible du rapport AHG/AH. Les prélèvements sous les touffes d'alfa dans les trois matorrals confirment nettement cette augmentation des acides humiques gris; elle paraît se poursuivre au fur et à mesure de l'aridification du climat (jusqu'à plus de 70 % des acides humiques dans les steppes les plus arides).

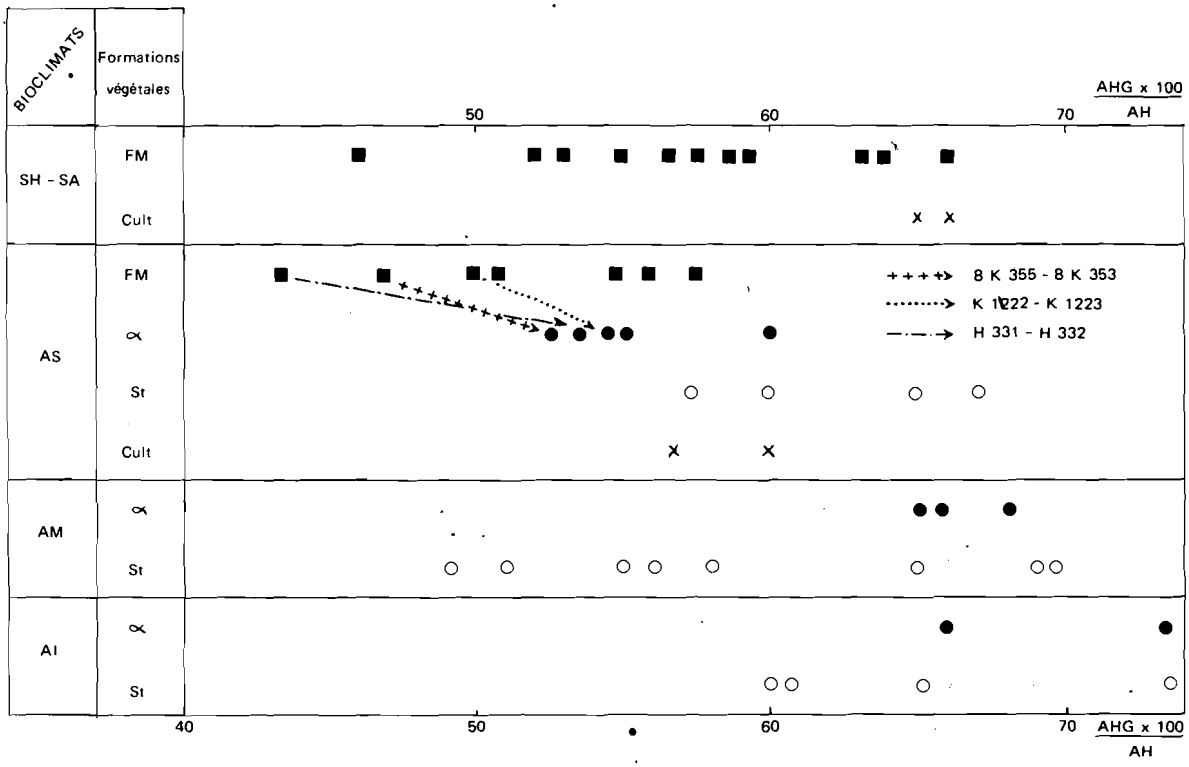


Figure 52 - Horizons de surface :
AHG/AH en fonction des bioclimats et des formations végétales

+ Représentation synthétique et discussion des résultats.

Il est commode de représenter schématiquement la composition humique d'un horizon par un cercle, certains utilisent un demi-cercle, où chaque tranche (arc de cercle) est proportionnelle à un composé humique exprimé en % du carbone organique total. Le diamètre du cercle est sensiblement proportionnel à la teneur en carbone total.

La figure 53a montre ainsi trois types de compositions humiques représentant chacune un horizon moyen :

- sous végétation forestière de l'aride supérieur.
- sous steppes à alfa de l'aride supérieur.
- sous steppes de l'aride inférieur.

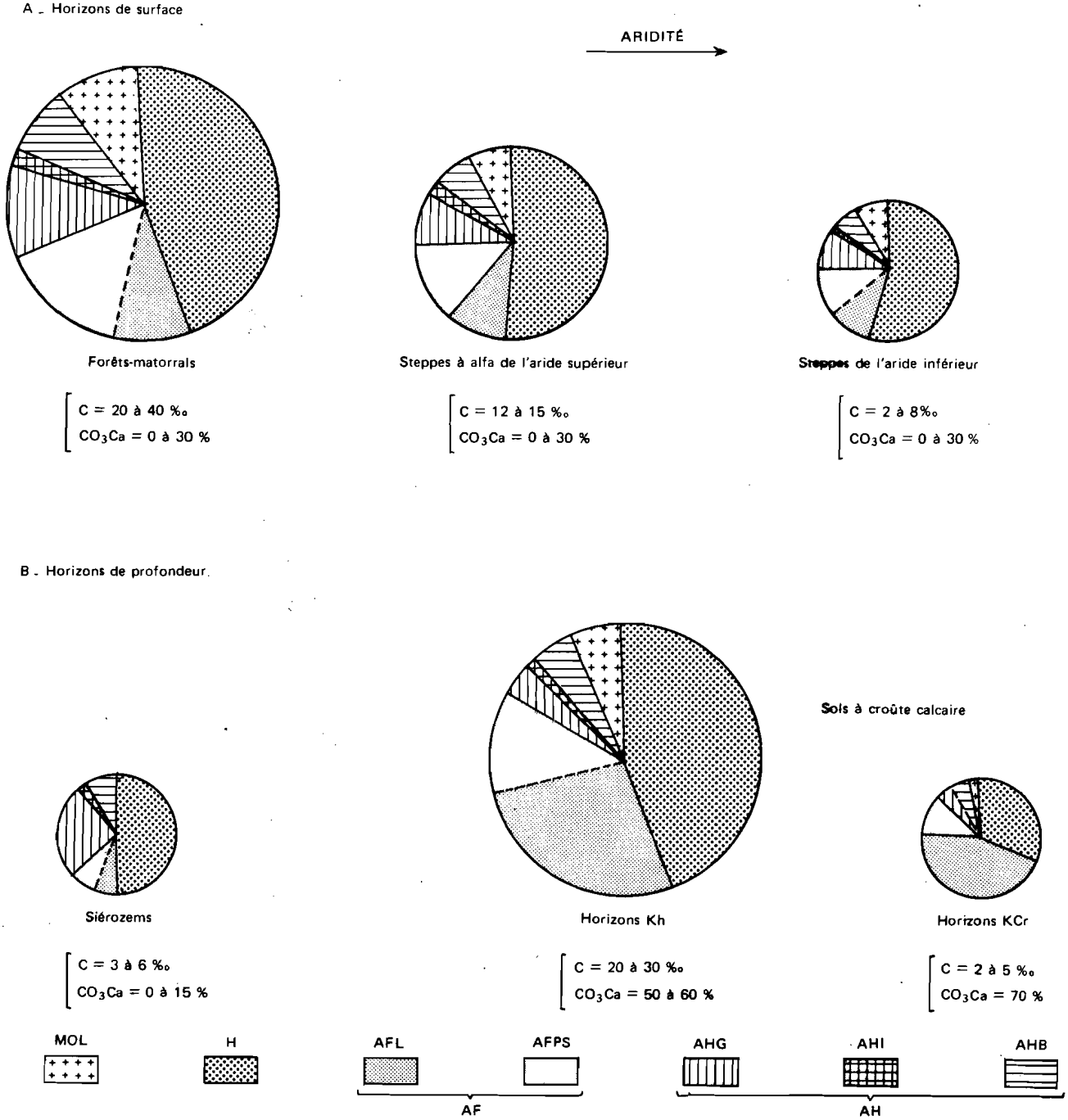


Figure 53 - Les matières humiques : représentation synthétique des résultats pour les horizons de surface et de profondeur (POUGET et AUBERT, 1978)

La figure illustre la composition et l'évolution des matières humiques en fonction d'une aridité croissante du climat et d'une dégradation du couvert végétal:

- les humus sont dominés par une proportion croissante de composés stables, fortement polymérisés : acides humiques gris et surtout humine; il s'agit vraisemblablement d'humine très évoluée. Ceci n'est pas pour surprendre sous un climat aussi contrasté (AUBERT, 1960; BOTTNER, 1970; DUCHAUFOUR, 1965, 1968, 1977; etc.).
- les acides humiques bruns sont relativement abondants dans les humus forestiers et surtout dans les horizons Ao. Ils diminuent très vite dans les steppes de plus en plus arides. Ces composés humiques subiraient un "turn-over" rapide; peu abondants, ils ne peuvent constituer un "volant d'azote" bien important et jouer un grand rôle dans la nutrition azotée (DUCHAUFOUR, 1970) sauf peut être à certaines périodes de l'année.
- la teneur en acides fulviques, tout en étant sensiblement constante, reste relativement élevée quel que soit le taux de calcaire total qui se situe entre 0 et 30% environ.

+ Conclusions.

- Dans les horizons de surface, la nature des composés humiques est déterminée par les types de formations végétales et par les bioclimats; les caractéristiques du sol (texture, teneur en calcaire, roche-mère) paraissent exercer une influence beaucoup plus discrète.

Les horizons de surface montrent une "évolution convergente" vers un même type de matière organique pour des conditions analogues de végétation et de climat.

- Les formations forestières se différencient par un humus de type "mull calcique".
- Le passage aux formations steppiques se fait avec l'individualisation d'un humus de steppe. Il présente à la fois les caractéristiques des "mull calciques de steppe" par l'importance des acides humiques gris et les caractéristiques des "mull calcaires" de rendzines par l'importance des acides fulviques.

Le terme de "mull calcaire de steppe" pourrait être retenu pour caractériser ce type d'humus.(cf.infra p. 356).

- L'influence de la végétation apparaît le plus nettement dans l'aride supérieur par le palier marquant le passage des formations forestières aux steppes mais aussi par la série complète de dégradation : steppes à alfa, steppes à chamaephytes, et cultures.

Elle se poursuit dans les zones plus arides et paraît s'estomper peu à peu aux dépens d'une influence grandissante du climat, particulièrement dans l'aride inférieur ($P < 200$ mm).

- Quoiqu'il en soit, la dégradation du couvert végétal et l'aridité croissante du climat agissent dans le même sens pour influencer la nature des composés humiques; les deux phénomènes se manifestent par une augmentation des composés stables et fortement polymérisés, acides humiques gris et humine évoluée; corrélativement la proportion d'acides humiques bruns diminue.

b. Ensemble du profil. (annexe 8, tableau B).

Les analyses portent sur 10 profils situés dans des conditions climatiques très voisines, aride moyen et aride inférieur pour deux profils . Il s'agit de steppes à alfa et à chamaephytes sur des sols variés :

- siérozems modaux de texture moyenne à fine, peu calcaires sur marnes (S 80) ou recevant des apports d'eaux de ruissellement (dayas, S 78).
- siérozems à amas et/ou granules calcaires (S 84) et siérozems à encroûtement calcaire (S 87).
- sols calcimagnésiques xériques à croûte calcaire (S 51) et à horizon Kh.

En fait, il s'agit de deux types de profils : les siérozems modaux de texture moyenne à fine, peu calcaires et les sols à horizons d'accumulation calcaire : amas et granules (Kn), encroûtement (Ke) et croûte (KCr).

α - Les siérozems modaux

+ Taux d'extraction.

Il augmente nettement en profondeur et peut atteindre 45-60 %; corrélativement le taux d'humine par rapport au carbone total diminue (fig. 54) ainsi que le rapport C/N de l'humine.

+ Rapport AH/AF . Avec la profondeur, le rapport devient supérieur à 1 (jusqu'à 2 ou 3); il exprime une prédominance des acides humiques sur les acides fulviques qui ne varient pratiquement pas.

+ Rapport AHG/AH. Toujours supérieur à 60 %, le rapport atteste d'une proportion élevée et constante d'acides humiques gris. En valeur absolue, ils augmentent aux dépens de l'humine, puisqu'ils passent de 15 à 30 % du carbone total (fig. 54, profils K 92 et K 865). Cette importance particulière des acides humiques gris indique certes une minéralisation rapide du système racinaire mais surtout, en milieu calcique, une liaison très forte des composés humiques avec l'argile dont l'influence paraît ainsi prépondérante.

Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus pour des sols de type "chernozems" avec une différence importante concernant les horizons de surface car le rapport AH/AF reste ici pratiquement toujours inférieur à 1, à l'exception des deux profils de dayas (K 865 et K 1078). Dans ce cas, les apports d'eaux de ruissellement modifient les conditions climatiques naturelles en atténuant l'aridité.

Il faut souligner également une autre différence avec les siérozems décrits par de nombreux auteurs (ROZANOV, 1961; ASSING, 1968; MURAV'EVA et SELITRENNIKOVA, 1968; NEGARESTAN, 1970; etc.); en effet, dans ce type de siérozem très peu calcaire, les acides fulviques restent largement moins abondants que les acides humiques (AH/AF > 1). L'étude des sols à accumulation calcaire permettra de formuler une hypothèse à ce sujet.

β - Sols à accumulation calcaire.

La présence d'une quantité excessive de calcaire oblige à une très grande prudence dans l'interprétation des analyses.

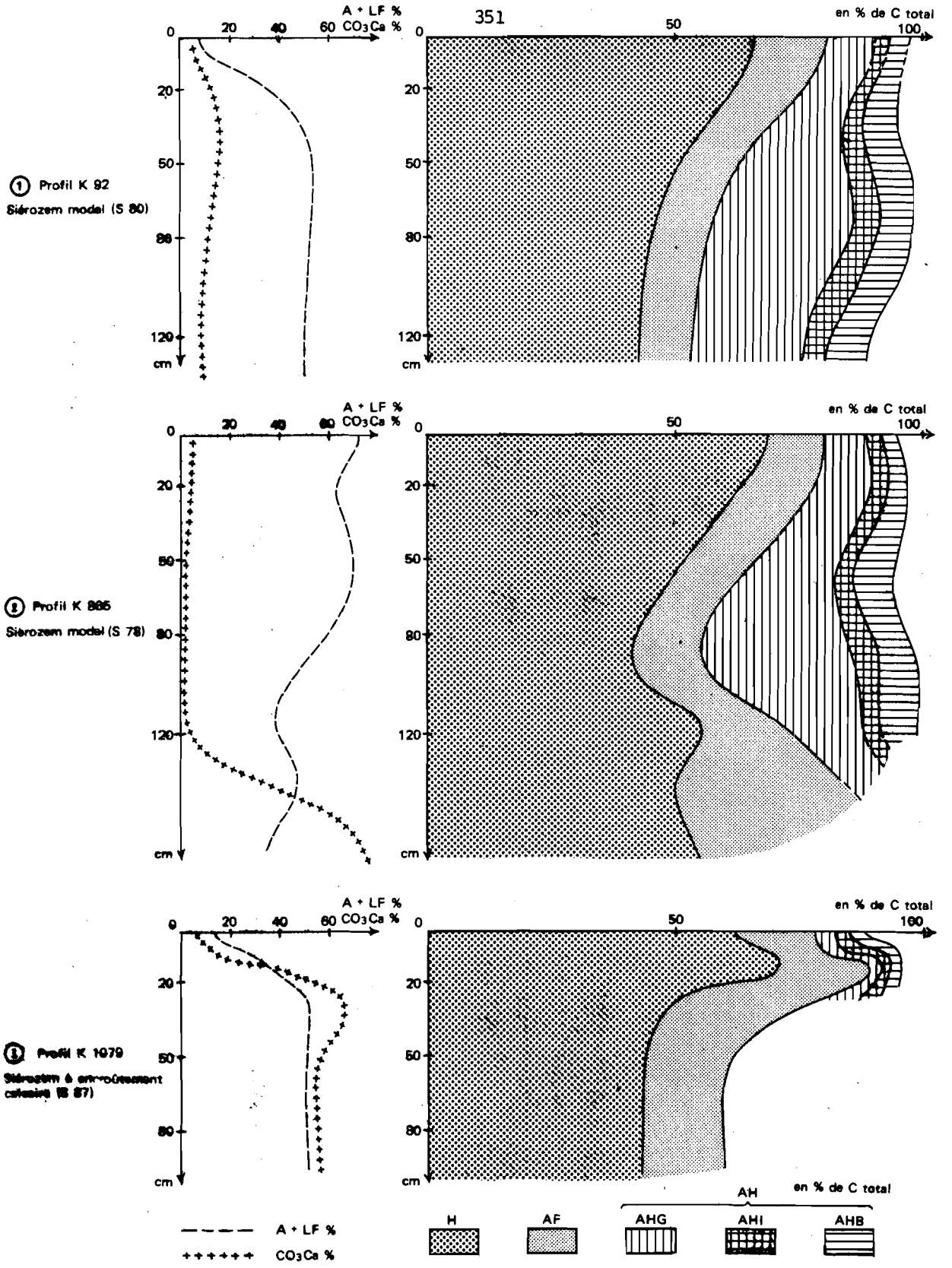


Figure 54 - Les composés humiques dans trois types de siérozems

+ **Taux d'extraction.** Comme précédemment, le taux d'extraction tend à augmenter en profondeur mais surtout en fonction de la nature des horizons d'accumulation calcaire :

- TE = 20 à 50 % pour les horizons à amas et nodules (Ke), les horizons Kh et les encroûtements (Ke).

- TE = 50 à 70 % pour les croûtes calcaires (KCr).

Corrélativement, le taux d'humine diminue (fig. 54, profil K 1079).

+ **Rapport AH/AF.** Il diminue de 0,5-0,3 à moins de 0,1, soulignant ainsi une proportion considérable d'acides fulviques, particulièrement dans les horizons d'accumulation calcaire.

+ **Rapport AHG/AF.** Le rapport (> 60 %) montre une proportion sensiblement équivalente d'acides humiques gris et bruns. L'ensemble des acides humiques devient d'ailleurs difficile à doser dans les horizons d'accumulation où il ne représente guère plus de 10 % du carbone total.

γ - **Représentation synthétique et discussions des résultats.**

La figure 53b montre trois types de compositions humiques représentant chacune un horizon moyen (horizons de profondeur) :

- horizons de siérozems, peu calcaires, texture moyenne à fine.

- horizons Kh.

- horizons KCr (croûte calcaire).

A l'évidence, ils apparaissent bien différents des horizons de surface comme l'indique également la figure 54 :

- taux d'humine plus faible en profondeur.

- taux d'acides humiques gris plus élevé dans les horizons de siérozems peu calcaires.

- taux d'acides fulviques excessif dans certains horizons d'accumulation calcaire.

Mais la différence serait encore plus marquée entre horizons de profondeur où s'opposent les horizons peu calcaires des siérozems et les horizons d'accumulation calcaire.

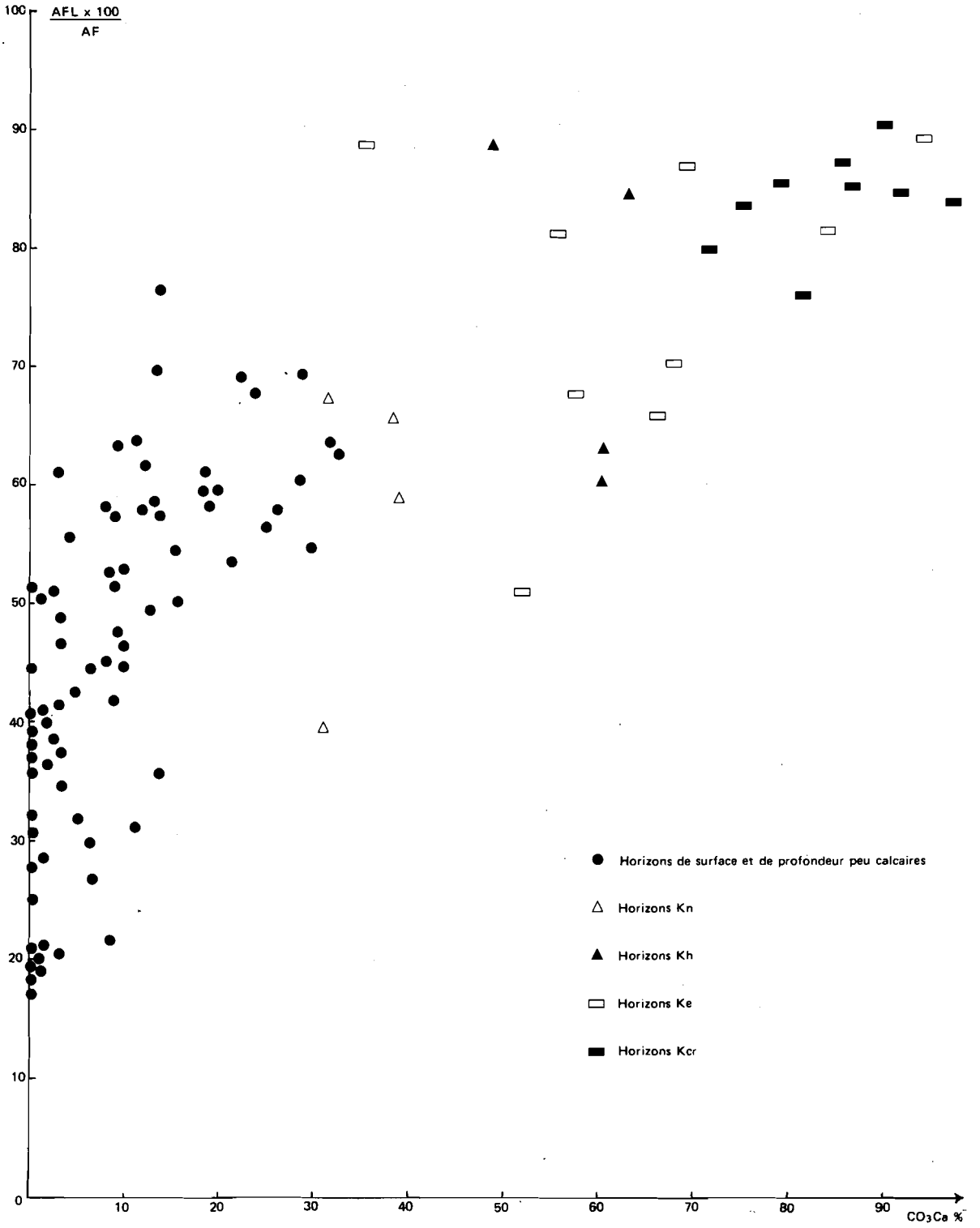


Figure 55 - Les acides fulviques "libres" $\frac{(AFL \times 100)}{AF}$ en fonction de la teneur en calcaire total et des types d'accumulation calcaire

+ Ces derniers se caractérisent en effet par une quantité très importante d'acides fulviques; elle dépend du type d'accumulation calcaire, passant de 15-40 % (horizons Kh, Ke, Kn) à plus de 60-70 % du carbone total dans les croûtes calcaires (KCr). De plus, on constate (fig. 55) que les acides fulviques "libres" (ALF), extraits par le prétraitement à l'acide phosphorique 2M, représentent par rapport aux acides fulviques totaux, une part sensiblement proportionnelle à la teneur en calcaire total. Les acides fulviques libres constituent plus de 60 % des acides fulviques dans les horizons d'accumulation calcaire.

Des travaux récents (JACQUIN et LE TACON, 1970; CHOULIARAS *et al*, 1975; CHOULIARAS et JACQUIN, 1976; JACQUIN et CHOULIARAS, 1976; MULLER et VEDY, 1978) ont montré que la présence de calcaire actif, en particulier d'ions Ca^{++}, entraîne une saturation des groupements fonctionnels des composés transitoires précoces peu polymérisés (surtout acides fulviques); l'humification est bloquée avec l'insolubilisation des précurseurs solubles. A la différence de ceux immobilisés par le fer, ceux immobilisés par les ions Ca^{++} restent extractibles après une simple décarbonatation. Il en est effectivement ainsi dans le prétraitement à l'acide phosphorique 2M qui "libère" les acides fulviques (AFL) bloqués par les ions Ca^{++}. La proportion de ces acides (AFL) est effectivement très importante dans les horizons d'accumulation (> 60 %) (cf. fig. 55); elle reste élevée pour la plupart des échantillons et pratiquement toujours supérieure à 20 %, même en l'absence de calcaire total (milieu calcique).

De plus, selon ces mêmes auteurs, il peut se produire une véritable gangue de carbonate de calcium qui séquestre et protège de la biodégradation des fragments de lignine oxydée (humine résiduelle ou héritée).

Quoiqu'il en soit, dans ces horizons, la présence en excès de calcaire et surtout d'ions Ca^{++} induit fortement le type d'humus.

+ Dans les horizons peu calcaires des siérozems, la formation de composés stables et très fortement polymérisés, acides humiques gris et humine, serait en relation avec les alternances humectation-dessiccation. La présence assez importante d'argile (texture moyenne à fine) dans ce milieu calcique favorise la formation d'un complexe argilo-humique très stable où les acides humiques gris prennent une grande importance.

δ - Conclusions.

Dans la partie inférieure des profils on constate une évolution "divergente" des humus en fonction de la présence ou de l'absence d'horizons d'accumulation calcaire.

Les échantillons analysés offrent, semble-t-il, les deux cas extrêmes de cette évolution :

- d'une part, les horizons encroûtés (croûte calcaire) où l'influence maximum du carbonate de calcium, se traduit par une quantité élevée d'acides fulviques, en particulier d'acides fulviques "libres"; les ions Ca^{++} précipitent les précurseurs solubles faiblement polymérisés.
- d'autre part, les horizons peu calcaires et argileux des siérozems où l'influence maximum des facteurs pédoclimatiques (alternances humectation-dessiccation) et de l'argile se traduit par la prédominance de composés stables et très fortement polymérisés : humine de surévolution et surtout acides humiques gris, typiques des sols isohumiques.

Entre ces deux extrêmes, les transitions se font vraisemblablement en fontion, soit des formes d'accumulation calcaire, soit des teneurs en argile. On constate ainsi une diminution des acides fulviques dans les encroûtements calcaires (Ke), dans les horizons à amas (Kn) et surtout dans les horizons Kh; corrélativement la fraction humine augmente. Une étude plus détaillée serait nécessaire pour en préciser la nature(humine héritée ou humine de surévolution ?).

En outre, il est probable que les siérozems de texture grossière ou moyenne, présentant à moyenne profondeur un début d'accumulation calcaire sous forme diffuse, doivent se situer en position

intermédiaire avec des proportions sensiblement équivalentes d'acides fulviques et d'acides humiques; le rapport AH/AF pouvant être ici aussi inférieur à 1. Ceci expliquerait les valeurs de ce rapport obtenues pour de nombreux siérozems (cf. supra).

3 - LE MULL CALCAIRE DE STEPPE.

Pour l'ensemble des sols bien drainés à végétation de type "climatique" plus ou moins dégradée, l'étude des composés humiques permet d'établir deux faits importants :

- les horizons de surface montrent une évolution "convergente" des humus, sous la seule dépendance de la nature du couvert végétal et du climat.
- les horizons inférieurs montrent au contraire une évolution "divergente" des humus en fonction de la nature du matériau.

Il s'agit donc de "sols analogues" au sens de PALLMANN (in DUCHAUFOUR, 1976) : "sols formés par une même végétation climatique sur des matériaux d'origine différente : la partie supérieure des profils montre une évolution convergente vers le même type d'horizon humifère, alors que la partie inférieure, liée plus étroitement au matériau minéral, offre des propriétés différentes selon le type de matériau".

Les formations forestières se différencient assez nettement des steppes par un humus de type mull calcique forestier caractérisé par une proportion relativement importante d'acides humiques bruns mais aussi d'acides humiques gris.

Le passage à la végétation steppique se fait par l'individualisation d'un humus de steppe dont la formation et l'évolution restent sous la dépendance du climat et du couvert végétal, en particulier de sa dégradation.

Cet humus présente à la fois des caractères d'un mull calcique de steppe et d'un mull calcaire de rendzines. Le terme de mull calcaire de steppe pourrait être retenu pour le désigner.

+ En surface, l'évolution convergente des humus se traduit :

- par une proportion importante de composés stables très fortement polymérisés : acides humiques gris et humine (humine de surévolution), en relation avec les alternances très contrastées d'humectation et de dessiccation. Elles sont particulièrement marquées dans les 10/20 premiers centimètres comme peuvent le laisser supposer les variations considérables de températures dans cette tranche de sol. La formation de ces composés humiques, typiques des mull calciques de steppe, correspond au processus de "maturation" de l'humus (DUCHAUFOUR, 1970).

- par une proportion relativement importante et constante d'acides fulviques en relation avec la présence de calcaire ou tout au moins d'ions Ca^{++} (acides fulviques "libres"). L'influence du calcaire ne devient pas excessive car dans l'horizon de surface le bilan global est à une certaine lixiviation du carbonate de calcium; les figures d'accumulation calcaire sont rares, l'horizon étant davantage un horizon de transit (cf. infra).

Les deux principaux facteurs de formation et d'évolution restent donc le climat et le couvert végétal. De fait, ils jouent un rôle antagoniste; tout se passe comme si la végétation s'opposait à l'influence du climat dans la mesure où la dégradation du couvert végétal exerce le même effet sur les composés humiques qu'une aridité croissante du climat à laquelle elle s'ajoute.

+ En profondeur, l'évolution divergente des humus se manifeste par deux processus différents :

- c'est d'une part, en milieu peu calcaire, le processus de maturation. Par rapport à l'horizon de surface, l'influence du climat paraît atténuée avec une proportion plus grande d'acides humiques gris formés aux dépens de l'humine; l'influence de l'argile s'exerce donc fortement par une liaison très étoite avec les composés humiques (acides humiques gris). Certes, les alternances humectation-dessiccation continuent à jouer un rôle mais elles se trouvent relativement "tamponnées" par rapport à l'horizon de surface, plus directement soumis à l'influence du climat : l'horizon de surface apparaît donc plus "aride" que les horizons de profondeur.

- d'autre part, en milieu très calcaire, il s'agit du processus de carbonatation (DUCHAUFOUR, 1976). Dans ces horizons d'accumulation calcaire, l'influence du carbonate de calcium est prépondérante en bloquant l'humification à un stade précoce; l'insolubilisation des précurseurs solubles faiblement polymérisés par les ions Ca^{++} se traduit par une quantité importante d'acides fulviques, en particulier les acides fulviques "libres". Il est possible qu'une partie de l'humus soit séquestrés sous forme d'humine résiduelle ou héritée par le carbonate de calcium et semble-t-il davantage dans certains horizons (Kh, Ke, Kn) que dans les croûtes où la dynamique du calcaire est moins active. Néanmoins, en l'absence de détermination précise toutes les hypothèses sont possibles quant à la nature de l'humine.

L'interférence des deux processus maturation et carbonatation se fait en fonction de la nature des horizons : taux et types d'argiles, taux et surtout formes d'accumulations calcaires. Une gamme plus variée d'échantillons et une étude plus détaillée permettraient de préciser les transitions et les seuils éventuels.

En définitive, on constate ici un certain antagonisme entre l'influence du climat et de l'argile (maturation) et l'influence du calcaire (carbonatation).

+ Conclusions.

Aussi bien en surface qu'en profondeur, la tendance générale est à une stabilisation d'une fraction très importante de la matière organique pour deux précessus différents : maturation et carbonatation.

La maturation traduit l'influence des facteurs climatiques (contrastes prononcés humectation-dessiccation). En surface, la végétation s'oppose à cette action du climat. (fig. 56).

En profondeur, dans les milieux peu calcaires, la maturation se continue, atténuée cependant par rapport à la partie supérieure du profil. Dans les horizons d'accumulation calcaire, elle est relayée par le processus de carbonatation.

Le mull calcaire de steppe possède effectivement à la fois les caractères d'un mull calcique de steppe et d'un mull calcaire de rendzine . Il existe tous les intermédiaires entre ces deux types de mull en fonction de la prédominance de l'un ou de l'autre des deux facteurs contribuant à la stabilisation de la matière organique.

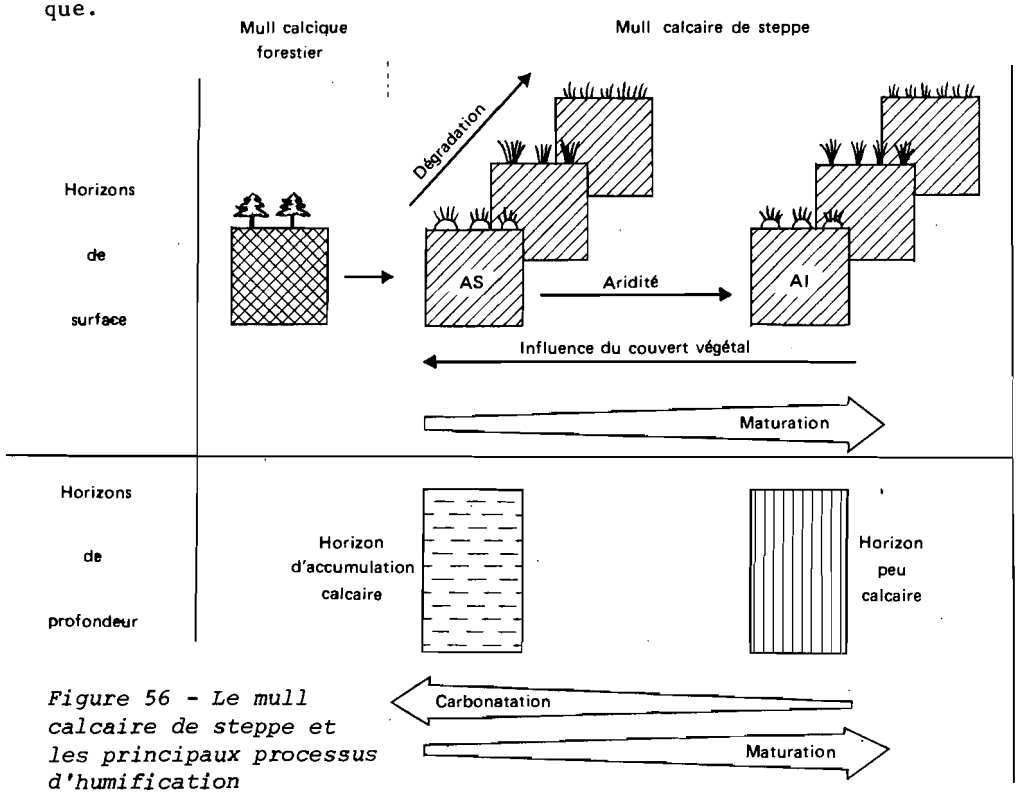


Figure 56 - Le mull calcaire de steppe et les principaux processus d'humification

C. CONCLUSIONS : INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION.

L'influence de la végétation sur les sols s'exerce directement comme source de matière organique et indirectement en agissant sur les facteurs du milieu réglant les processus de transformation de cette matière organique (minéralisation et humification).

+ Influence directe.

Compte-tenu des autres facteurs du milieu la nature du couvert végétal conditionne en grande partie le taux, la répartition et la nature de la matière organique. A cet égard, la différence est essentielle entre végétation forestière et végétation steppique.

- Sous les forêts et matorrals, les apports se localisent principalement en surface (litière) et se concrètisent par la présence d'un horizon humifère Ah, bien structuré, généralement peu ou pas calcaire et à pH neutre ou faiblement acide. Il s'agit d'un mull calcique forestier de région méditerranéenne caractérisé par une proportion relativement importante d'acides humiques gris (alternances humectation-dessiccation) et d'acides humiques bruns faiblement polymérisés et labiles. Les rapports C/N de la matière organique totale et de l'humine restent plus élevés que sous steppes; ils soulignent la différence entre végétation arbustive (prédominance de lignine) et végétation plus herbacée.
- Sous végétation de steppe, les apports de matière organique fraîche proviennent essentiellement de la décomposition sur place du système racinaire.

Le taux de matière organique des horizons de surface et de l'ensemble du profil diminue avec la dégradation du couvert végétal et l'aridité croissante du climat. Cette diminution apparaît particulièrement importante dans l'aride supérieur avec la série complète de dégradation : forêts-matorrals, steppes à alfa, steppes à chamaephytes, cultures.

Le profil organique, de type isohumique, évolue souvent vers un profil à horizon Kh dans certains sols à croûte calcaire où la matière organique se concentre au-dessus de l'horizon laminaire.

La nature de la matière organique dans les horizons de surface est sous la seule dépendance du couvert végétal (état de dégradation) et du climat; en profondeur, la nature du matériau intervient. La végétation "climatique" de steppe plus ou moins dégradée détermine ainsi la formation des "sols analogues" : bien que formés sur des roches-mères différentes, la partie supérieure des profils montre une évolution convergente vers un même type d'humus, la partie inférieure restant plus étroitement liée à la nature du matériau.

Le mull calcaire de steppe se caractérise par une proportion importante de composés stables très fortement polymérisés :

acides humiques gris et humine en relation avec les alternances très contrastées d'humectation et de dessiccation. Il comprend de plus une proportion relativement élevée et constante d'acides fulviques en raison de la présence de calcaire ou tout au moins d'ions Ca^{++}. En profondeur, le processus de maturation de l'humus se poursuit si le milieu reste peu ou pas calcaire; la proportion d'acides humiques gris augmente encore aux dépens de l'humine (influence de l'argile). Dans les horizons d'accumulation calcaire l'influence du carbonate de calcium et des ions Ca^{++} devient prépondérante et se traduit par une prédominance d'acides fulviques "libres" et peut-être aussi d'humine héritée ou résiduelle.

En définitive, dans le mull calcaire de steppe, la tendance générale correspond à une stabilisation d'une fraction de plus en plus importante de la matière organique par deux processus différents : maturation et carbonatation.

+ Influence indirecte.

La dégradation du couvert végétal joue un grand rôle sur le taux et la nature de la matière organique, le même que celui d'une aridité croissante du climat. Tout se passe comme si la végétation "retardait" les effets des rigueurs climatiques en agissant sur les caractéristiques du milieu et sur le pédoclimat en particulier :

- amélioration du bilan hydrique des sols en limitant le ruissellement, en augmentant la capacité de rétention et la perméabilité par une meilleure structure, etc...
- protection du sol contre l'influence du climat en "tamponnant" l'effet des alternances humectation-dessiccation et des différences de températures.

Ainsi les processus de transformation de la matière organique, minéralisation et humification, sont réglés essentiellement par l'action conjuguée du climat et de la végétation.

Les processus de minéralisation deviennent particulièrement importants dans l'aride supérieur où la dégradation du couvert végétal s'accompagne d'une dégradation des caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols, le taux de matière organique diminue considérablement. On assiste à une véritable "liquidation du stock" de matière organique emmagasiné par la végétation forestière et encore assez bien conservé dans les steppes à alfa. En zones plus arides, le "capital disponible" étant plus modeste au départ, les pertes par minéralisation résultant de la dégradation du couvert végétal restent donc limitées d'autant que les apports de matière organique fraîche vont en diminuant.

L'influence de la végétation sur les processus de minéralisation de la matière organique apparaît d'autant plus grande que le climat est moins aride.

A l'inverse les processus d'humification deviennent alors relativement plus importants pour conserver et stabiliser une fraction toujours plus grande de matière organique au fur et à mesure que les conditions de milieu se détériorent. Il se forme une proportion toujours plus élevée de composés stables fortement polymérisés et résistants à la biodégradation microbienne tels que les acides humiques gris et l'humine. Ce processus de maturation indique une action prépondérante du climat aux dépens de la végétation dont l'influence diminue avec la dégradation du couvert végétal et une aridité croissante.

II – VEGETATION ET MORPHOLOGIE DES SOLS A CROÛTE CALCAIRE

Pour les sols à croûte calcaire, l'analyse phytoécologique montre l'influence déterminante des horizons d'accumulation; influence qui se traduit par la présence d'espèces caractéristiques dans certaines conditions de milieu (forêts-matorrals et steppes climatiques). La morphologie des horizons encroûtés ne paraît jouer aucun rôle sur la composition floristique des relevés.

Or, l'étude de la matière organique vient de montrer l'importance de cette organisation morphologique qui conditionne le type de profil organique, profil isohumique ou profil à horizon Kh, lui-même en relation avec le profil racinaire.

Dans les steppes climatiques, les horizons encroûtés sont en effet plus ou moins colonisés par les racines et les radicelles de la quasi totalité des espèces annuelles et surtout vivaces : aussi bien espèces caractéristiques qu'espèces steppiques "climatiques", de loin les plus importantes (*Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba*, etc. cf. annexe 7, tableau II).

Pour apprécier l'influence éventuelle du sytème racinaire sur la morphologie des horizons d'accumulation, l'observation est ici aussi le seul moyen disponible :

- observation détaillée, dans un premier temps, de l'implantation du sytème racinaire mais aussi de la morphologie des deux principaux types de sols à croûte calcaire.
- extension du champ d'observation par l'étude de la distribution dans l'espace de ces types morphologiques en fonction des principaux facteurs susceptibles d'avoir une influence : topographie , nature du matériau, bioclimats et végétation.

A. LES DEUX PRINCIPAUX TYPES DE SOLS A CROUTE CALCAIRE.

La morphologie des sols à croûte calcaire présente une très grande diversité en fonction de nombreux facteurs : âge de la surface encroûtée, nature du matériau, topographie, etc...

Néanmoins, l'importance accordée au système racinaire permet de distinguer deux types principaux en fontion de la présence ou de l'absence de l'horizon laminaire Kl.

Pour faciliter leur comparaison, les profils décrits se situent sur un même matériau homogène et très répandu (argiles sableuses rouges du Tertaire continental).

1 - ETUDE DU PROFIL PR 2 : PROFIL DE TYPE II à HORIZON LAMINAIRE KL.

a. Situation (X = 0°36'E; Y = 33°27'N).

- Hauts-Plateaux sud-oranais, à environ 80 km au Sud du Chott Chergui. (1).
- Altitude : 1280 m.
- Bioclimat : P ≋ 300 mm, c'est-à-dire en zone de transition entre l'aride moyen et l'aride supérieur (m ≋ 1°C).
- Géomorphologie : surface encroûtée du Quaternaire moyen formée sur les argiles sableuses rouges du Tertaire continental. Sur cette bordure Nord de l'Atlas saharien, le relief général, peu accentué est dominé par quelques massifs montagneux isolés dont l'altitude relative reste faible, ne dépassant pas plusieurs centaines de mètres. Entre ces reliefs s'étendent de très vastes surfaces encroûtées parsemées de dépressions endoréïques plus ou moins grandes (dayas) avec localement un début d'organisation du réseau hydrographique qui reste peu agressif (chenaux d'oueds alluvionnés).

Le profil est situé dans une zone sensiblement plane, au tiers amont d'une surface polygénique dont la pente n'excède pas 0,5 %.

- Végétation : steppe d'alfa très dégradée passant au groupement à *Artemisia herba-alba* et *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum* (V 43).
- Sol : sol calcimagnésique xérique à croûte calcaire sur argiles sableuses rouges (S 51).

---

(1) Le choix de ce profil, comme d'ailleurs des suivants, dans les Hauts-Plateaux sud-oranais, est motivé par le seul fait qu'il m'a été possible de faire une étude micromorphologique sur ces échantillons.

b. Caractéristiques morphologiques (fig. 57).

Les touffes d'alfa forment de véritables coussinets, plus ou moins ensablés, de sable éolien brun-rougeâtre (7,5 YR 5/8, sec) dans un réseau très dense de racines et de radicelles.

Entre les touffes d'alfa, la surface du sol est battante avec un horizon peu épais, discontinu, à structure finement lamellaire : c'est l'horizon Asl.

0-3 cm **Horizon Asl**: rouge-jaunâtre (5 YR 5/8, sec), texture grossière à moyenne (sablo-limoneuse); quelques rares fragments de croûte; très rares racines.

3-15 cm **Horizon A** : même couleur rouge-jaunâtre (5 YR 5/8, sec); texture moyenne, fragments de croûte "salis", peu abondants (10-15 % environ), souvent applatis et ayant 10-15 cm de diamètre au maximum; structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse moyenne à fine; poreux; nombreuses racines fines à moyennes; transition nette ondulée.

15-42/45 cm **Horizon Kh** comprenant :

- des feuillets et fragments de croûte calcaire.
- une matrice pulvérulente.

La figure 57 montre la disposition des feuillets de croûte calcaire; certains sont encore bien individualisés avec une pellicule rubanée à la partie supérieure et des plages plus indurées (dalle); la partie inférieure apparaît plus ou moins altérée par de véritables golfes de corrosion où s'infiltrent les racines et la matrice pulvérulente; à ce niveau la croûte est alors friable, poreuse et très légère. Certains feuillets ne subsistent qu'à l'état de fragments à peine reconnaissables.

La matrice pulvérulente est de couleur variable : jaune-rougeâtre (7,5 YR 7/6, sec) à brun très pâle (10 YR 8/4, sec) parfois grisâtre vers la base où les racines et radicelles forment un chevelu abondant au-dessus de l'**horizon laminaire Kl** lui aussi grisâtre (2 à 8 mm d'épaisseur).

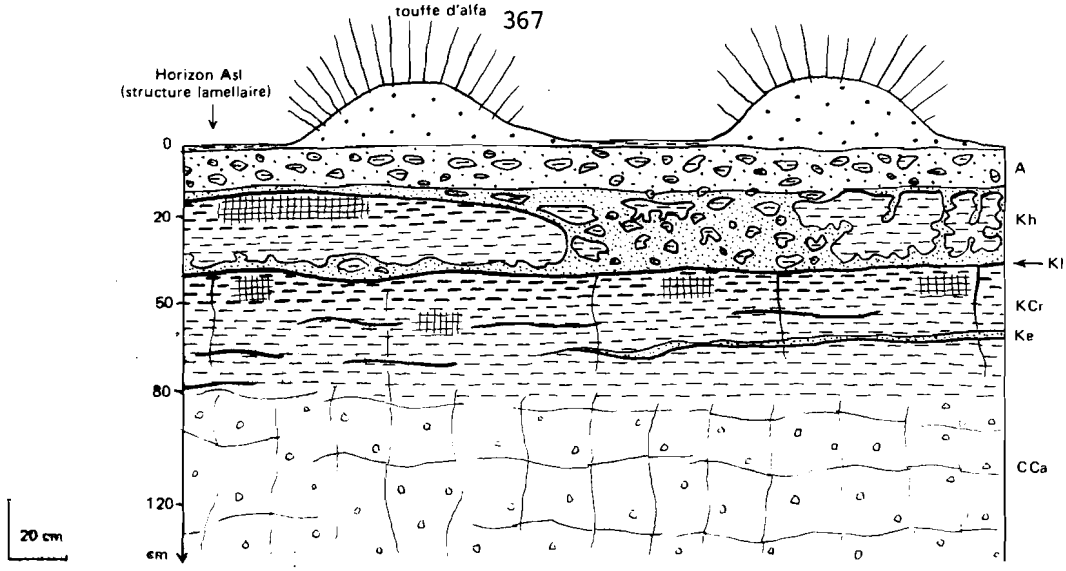
42/45-65 cm **Horizon KCr** : croûte calcaire de couleur hétérogène blanc-rosâtre (5 YR 8/2, sec) à rosée (5 YR 7/4, sec); localement indurée en dalle grisâtre; structure en feuillets subhorizontaux peu nets; les feuillets sont recoupés par des fissures plus ou moins verticales, individualisant de gros polyédres, même au niveau des zones indurées en dalle;

L'induration décroît vers le bas avec un passage progressif à l'encroûtement sous-jacent; les racines et radicelles s'immiscent difficilement dans les fissures verticales mais elles se concentrent dans les espaces interfeuillets, qui ont tendance à s'anastomoser, et former un filon continu et subhorizontal à la base de la croûte.

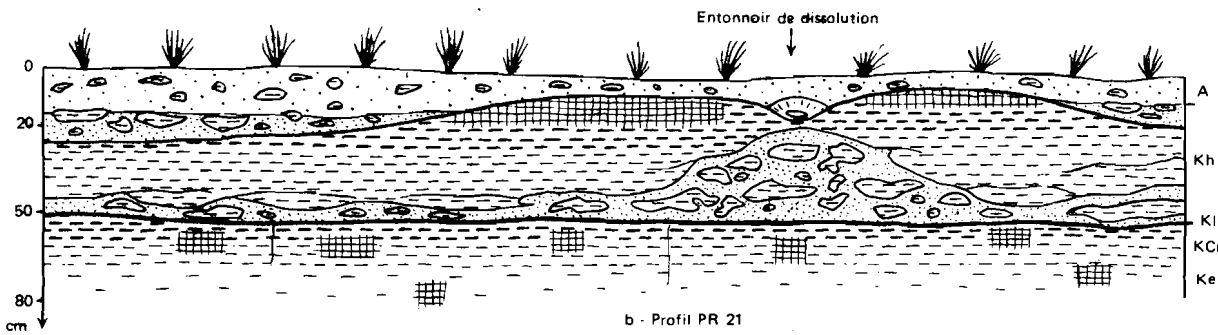
65-85 cm **Horizon Ke** : encroûtement calcaire de couleur également hétérogène, rosé (5 YR 7/4, sec) à jaune-rougeâtre (5 YR 7/6, sec) avec des nodules plus indurés; structure peu nette, en très fins polyédres aplatis et recouverts d'un très fin dépot de calcaire blanc; quelques racines et radicelles.

85-140 cm **Horizon CCa** : argile sableuse rougeâtre (5 YR 5/6 à 6/6, sec) avec des plages plus claires (5 YR 7/4, sec) et plus calcaires, souvent indurées en formant un nodule; quelques taches noirâtres d'oxydes de fer et manganèse; structure fragmentaire très nette polyédrique moyenne à plus grossière, les parois des polyédres sont tapissées d'un très fin dépôt de calcaire blanc ; très rares racines et radicelles dans les espaces intéragrégats.

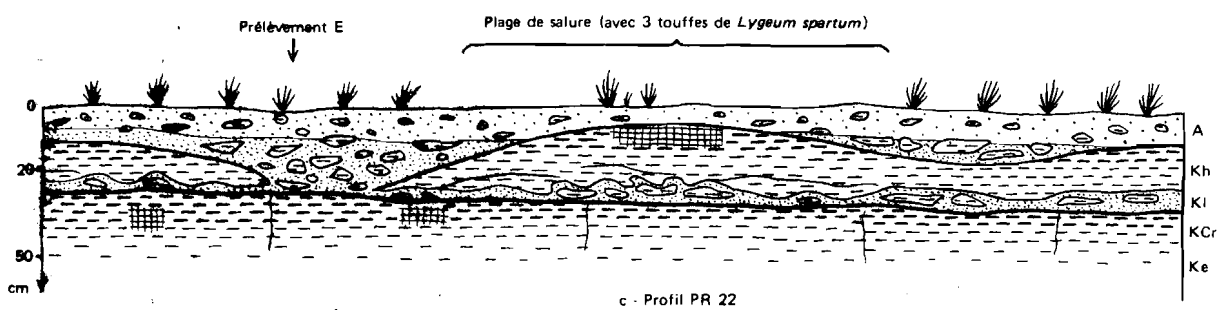
c. **Données analytiques** (Tableau 35).



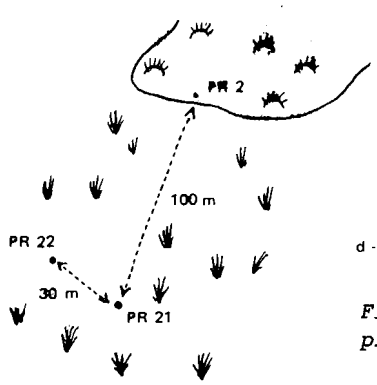
a - Profil PR 2



b - Profil PR 21



c - Profil PR 22



d - Schéma de localisation des profils

Figure 57 - Les sols à croûte calcaire : profils de type II à horizon laminaire Kl

Tableau 35 : Principales données analytiques du profil PR 2.

PROF. en cm	NOM.	GRANULOMETRIE % A	LF	LG	SF	SG	pH	CO_3Ca %	M.O. %	T me/100g	Cond. en mmhos	pF 4,2	pF 2,5	Is	K en cm/h
15-0	(Alfa)	5	3	10	70	9	7,9	5	1,07	3	1,1	3,7	7,2	—	—
0-3	Asl	9	9	9	62	9	8,0	4	0,57	6	0,7	4,3	10,8	31,4	2,7
3-15	A	17	17	6	45	11	7,8	15	1,37	13	1,0	11,1	18,1	5,1	6,0
15-25	Kh	16	14	9	37	20	7,8	56	1,70	—	1,5	15,0	23,2	—	—
25-42	Kh	13	9	7	49	18	7,8	79	2,13	—	2,5	14,6	23,3	—	—
42-65	KCr	—	—	—	—	—	7,9	76	0,26	—	3,4	—	—	—	—
65-85	Ke	—	—	—	—	—	8,0	70	0,17	—	2,6	—	—	—	—
85-140	CCa.	19	12	5	30	34	8,0	51	0,06	6	2,4	—	—	—	—

- le profil organique à l'horizon Kh, offre une concentration de matière organique relativement importante au-dessus de l'horizon laminaire. En surface, l'horizon finement lamellaire (Asl), peu favorable au développement du système racinaire, est pauvre en matière organique; la valeur élevée de l'indice d'instabilité structurale Is confirme sa mauvaise structure et la battance qui favorise les phénomènes de ruissellement.
- le profil calcaire montre également une augmentation du taux de calcaire total depuis l'horizon Asl jusqu'à l'horizon Kh toujours très calcaire.
- le profil de salure indique une très faible accumulation saline à la base de l'horizon Kh et dans la croûte; il reste toutefois peu différencié.

d. Etude microscopique.

α. Caractéristiques micromorphologiques (étude de lames minces).

+ Horizon Asl. Il est constitué essentiellement de quartz plus ou moins arrondis de taille variable dans une matrice argileuse peu importante.

Çà et là, on note la présence :

- de lithoreliques de croûte calcaire très dense (dalle et pellicule rubanée) et dont la taille n'excède pas celle des sables grossiers (0,2 à 2 mm).
- et de sphérolithes (20 à 100 µ de diamètre environ) de calcite microcristallisée.

+ Horizon A. Les grains de quartz (20 à 150 µ occupent ici aussi une place importante et sont entourés d'une gangue argileuse (tendance à assemblage plasmique de type squelsépique). Localement, le plasma argileux se concentre dans certaines zones plus denses.

Les lithoreliques de croûte calcaire présentent une zone corticale externe plus colorée par des oxydes de fer et surtout par les particules argileuses. On a ainsi un véritable "cortex d'altération"; à l'oeil nu, il donne aux fragments de croûte cet aspect "sali" et terreux que l'on retrouve aussi à l'intérieur des fragments eux-mêmes, sur la paroi des nombreux vides.

Très souvent, les débris de croûte correspondent aux accumulations calcaires les plus denses et les plus indurées : pellicules rubanées, dalle et certains fragments de croûte ou nodules. Leur taille va de quelques centimètres à quelques dizièmes de millimètre et l'on passe alors aux sphérolithes de calcite réparties çà et là dans l'horizon. (planche IX, 4).

+ Horizon Kh.

- La matrice pulvérulente est constituée presque exclusivement de sphérolithes de calcite microcristallisée souvent bordées d'une gangue rougeâtre (oxydes de fer et argiles), de reliques de croûte calcaire et de quelques rares quartz. (planche IX, 5).

Les reliques de croûte présentent des facies variés selon leur emplacement dans le feuillet initial. Le plus souvent, ce sont des fragments peu denses et très poreux correspondant à la partie inférieure des feuillets. Il s'agit alors d'un cristalliplasma micritique apparaissant comme un tissu assez lache de calcite microcristallisée avec des "noyaux" plus individualisés qui semblent se "libérer" peu à peu pour rejoindre les sphérolithes constituant la

matrice pulvérulente. (planche IX, 6).

On observe aussi que certaines zones plus indurées de la croûte (aspect cristallin translucide à l'oeil nu) et formées de gros cristaux de calcite (microsparite de 10 à 30 µ) se "désagrègent" en libérant les cristaux de calcite que l'on retrouve souvent dans la matrice pulvérulente. Ces cristaux isolés se recouvrent parfois d'une gangue de calcite micritique analogue à celle qui entoure ou constitue les sphérolithes elles-mêmes.

- les feuillets de croûte, encore bien individualisés, présentent, surtout à leur partie inférieure, une altération comparable à celle observée sur les fragments de croûte dans la matrice pulvérulente. On note, çà et là dans les vides, des cristaux de calcite en aiguilles de 20 à 100 µ de long (lublinite). La partie supérieure (pellicule rubanée) est souvent taraudée par de nombreux vides. (planche IX, 7).

+ Horizon laminaire K1.

Très dense, avec quelques rares vides et non moins rares grains de quartz, l'horizon laminaire offre l'aspect typique des pellicules rubanées : succession de strates diversement colorées de calcite très finement microcristallisée (micrite).

+ Croûte calcaire KCr.

Sans entrer dans les détails d'un ensemble très complexe, on peut distinguer trois types de zones :

- les plages les plus denses mais aussi les plus indurées et les plus colorées (rougeâtres) où dominent les quartz auréolés de calcite : quartz à bords anguleux souvent fragmentés ou corrodés (épigénisation). Localement, cette masse est traversée par un réseau de fentes, soit comblées par un dépôt de gros cristaux de calcite transparente (microsparite), soit appartenant à un réseau de vides dont les parois sont tapissées de calcite aciculaire ou micritique.
- les plages les plus poreuses, souvent plus claires, avec très peu de quartz et de nombreux vides (calcite en aiguilles). La calcite omniprésente forme un tissu assez lâche avec des zones plus denses. (cristalliplasma micritique).
- les plages intermédiaires.

+ Dalle calcaire.

La lame mince montre une masse très dense de calcite microcristallisée (micrite); les quartz sont rares, sauf localement par plages. Cette masse relativement homogène est traversée par un réseau de fentes qui se recoupent assez régulièrement en individualisant les gros polyédres observés lors de la description du profil.

+ Encroûtement Ke.

L'encroûtement est très complexe avec cependant la dominance d'un cristalliplasma de type micritique; il paraît se transformer et évoluer en recristallisant sous des formes très variées dans des géodes et des vides (sparite, lublinite, etc.).

+ Horizon CCa.

On reconnaît dans cet horizon les principaux processus d'épigénie calcaire décrits récemment par MILLOT *et al* (1977) :

- altération argileuse.
- calcitisation dans les lumières de microfissures (calcite en aiguilles, micrite) (planche IX, 8).

Planche IX

QUELQUES ASPECTS MICROMORPHOLOGIQUES DES SOLS GYPSEUX ET DES SOLS A CROÛTE CALCAIRE

LES SOLS GYPSEUX

1 - **ENCROÛTEMENT GYPSEUX DE SURFACE** : gypse très finement microcristallisé ($< 20\ \mu$) avec très rares micropores (a) et grains de quartz (b),

2 - **MARNE GYPSEUSE** : cristaux de gypse (zones claires) et matrice argileuse (zones foncées),

3 - **ENCROÛTEMENT GYPSEUX DE NAPPE** : cristaux lenticulaires de gypse et quelques grains de quartz.

LES SOLS A CROÛTE CALCAIRE

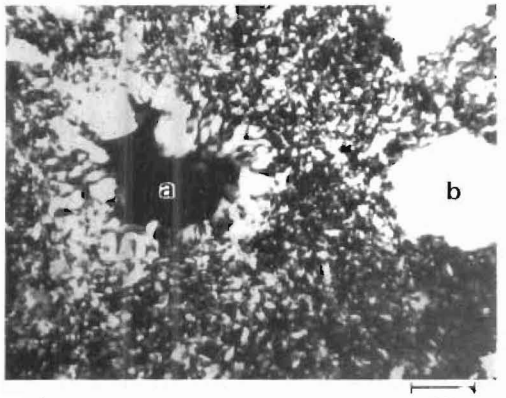
4 - **HORIZON A** : rares sphérolithes de calcite microcristallisée (a) et nombreux grains de quartz (b),

5 - **MATRICE PULVÉRULENTE DE L'HORIZON Kh** : très nombreuses sphérolithes de calcite microcristallisée (a) et rares grains de quartz (b),

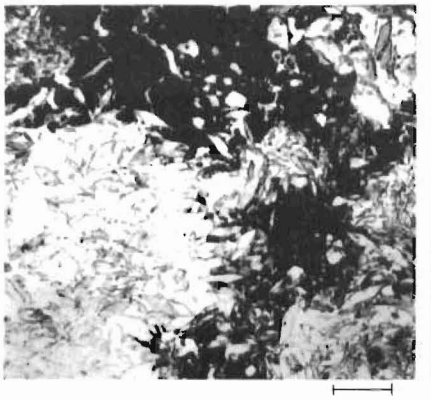
6 - **FEUILLET DE CROÛTE DANS L'HORIZON Kh** : sphérolithes de calcite microcristallisée et nombreux vides (croûte légère et poreuse),

7 - **FEUILLET DE CROÛTE DANS L'HORIZON Kh** : altération de la partie supérieure de la pellicule rubanée «taraudée» par de nombreux vides.

8 - **HORIZON C Ca** : calcite aciculaire (lublinite) dans une microfissure.

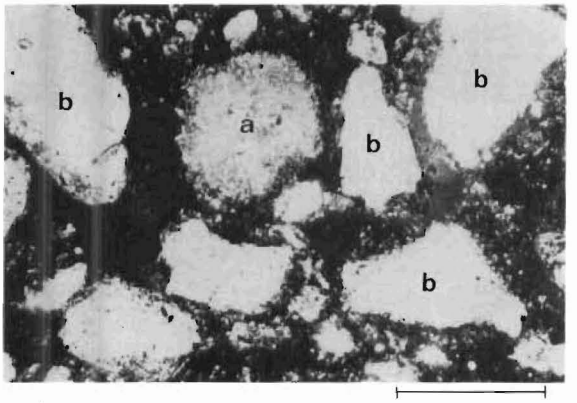


1 100μ

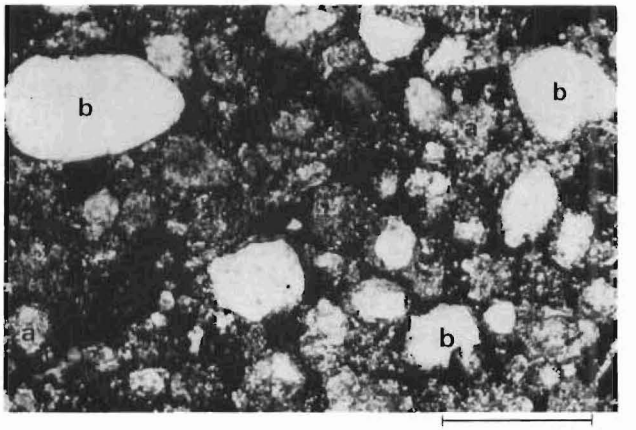


2 1000 μ

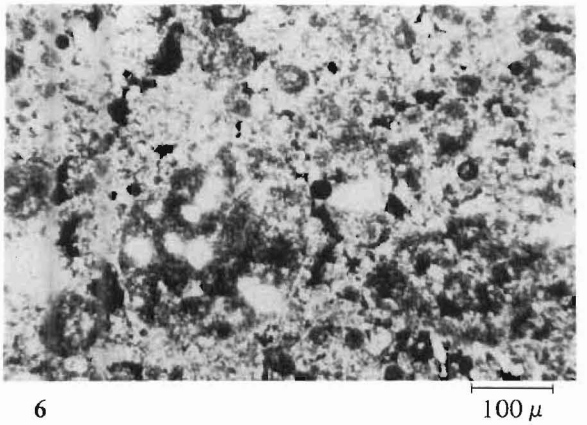
3 100 μ



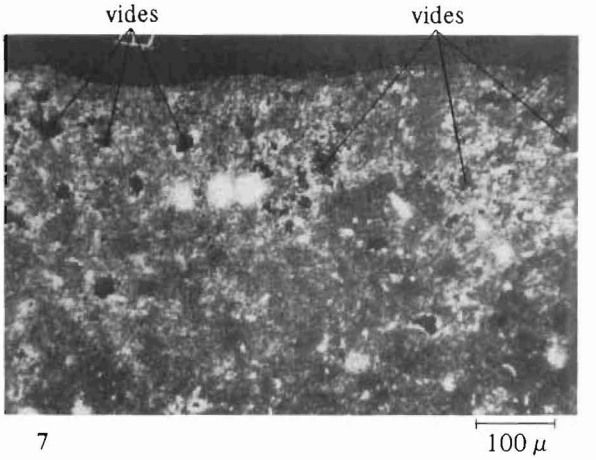
4 50 μ



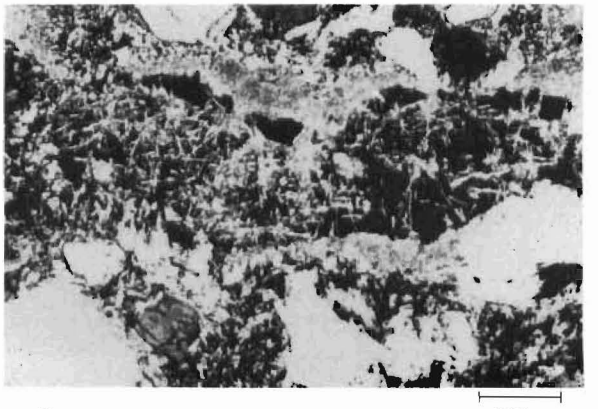
5 50 μ



6 100 μ



7 100 μ

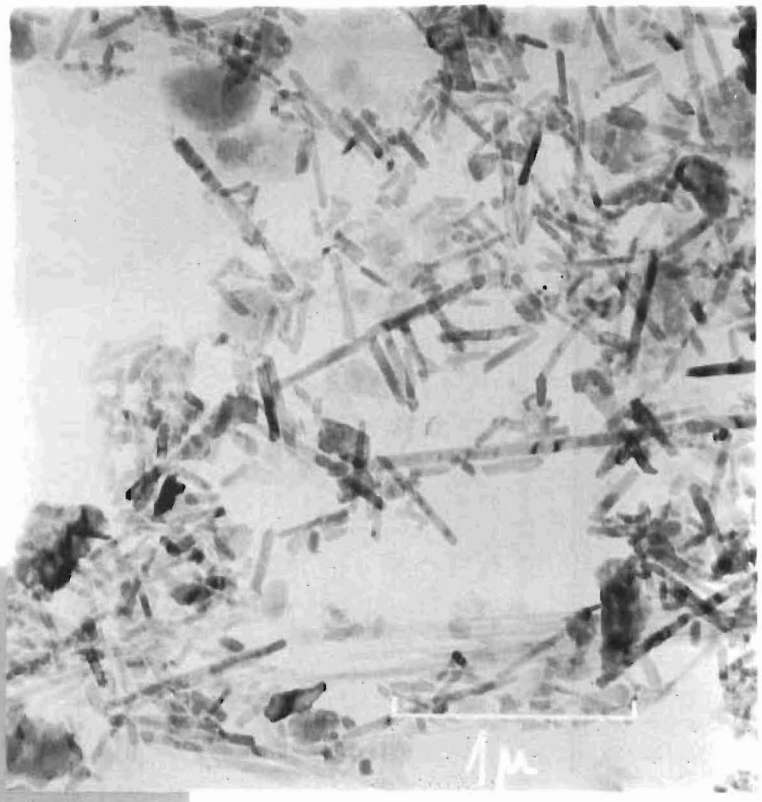


8 100 μ

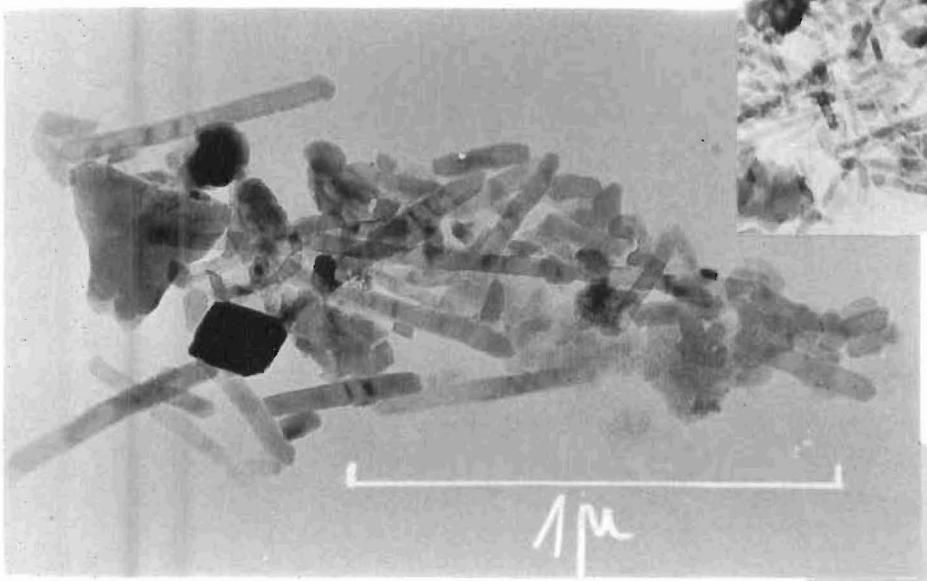
Planche X

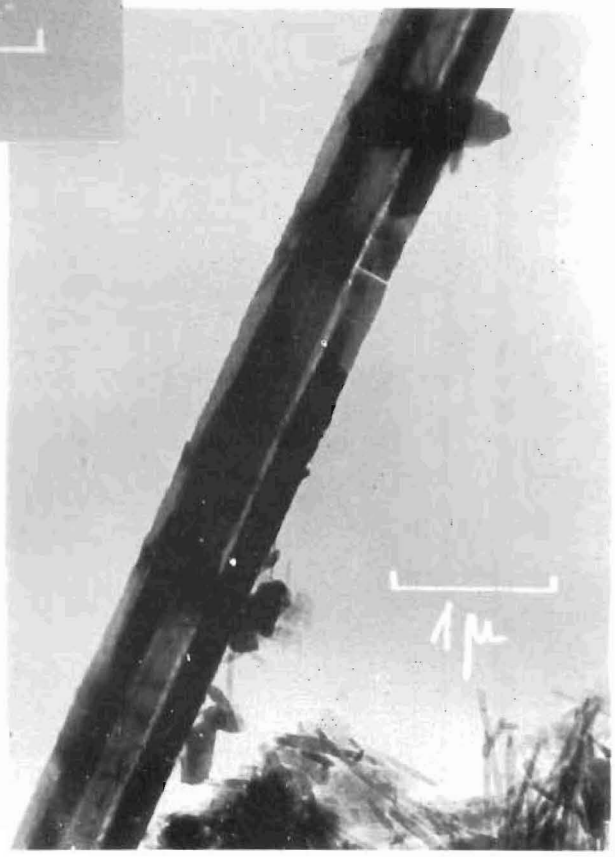
OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE (MET) : FACIÈS DE CRISTALLISATION DE LA CALCITE DANS LES SOLS A CROÛTE CALCAIRE

1 - **Calcite en bâtonnets** *(ci-contre)*
dans horizon Kh



2 - **Calcite en bâtonnets** *(ci-dessous)*
dans horizon Kh





3 - **Fragment d'aiguille de calcite (lublinite) et calcite en bâtonnets**
dans feuillet de croûte (KCr)

- épigénisation des quartz et de la masse de l'horizon avec des "nuages de micrite" qui s'installent à la place des quartz, etc.

β. Observations complémentaires au microscope électronique de transmission (MET).

L'observation de nombreux échantillons (PR 2 et autres profils) permet de préciser quelques faciès de calcite microcristalline dans les principaux horizons d'accumulation calcaire et surtout dans les principaux traits pédologiques mis en évidence dans l'étude micromorphologique.

La liaison entre les observations au microscope optique ordinaire et celles au microscope électronique de transmission (MET) est en fait difficile, au moins pour deux raisons : grossissement très élevé du METet surtout perturbation de l'échantillon occasionnée par le broyage et la mise en suspension (possibilité de recristallisation) (1).

Quoiqu'il en soit, on distingue ainsi trois faciès de calcite microcristalline (planche X); les deux premiers sont classiques alors que le troisième apparaît plus original (POUGET et RAMBAUD, 1979).

- la calcite en aiguilles (lublinite) correspond à des cristaux de quelques dizaines de microns, visibles au microscope ordinaire. Leur localisation se fait exclusivement dans les vides de la croûte, de l'encroûtement, etc. Ils constituent aussi le très fin dépôt de calcaire blanc observé sur les parois des polyèdres dans les espaces intéragrégats (horizon CCa, encroûtement, etc.).

- la calcite en rhomboèdres : plus ou moins nets et de taille variable (souvent de l'ordre du micron), ils caractérisent les dalles très indurées, les pellicules rubanées les plus anciennes et plus généralement les "noyaux" les plus indurés et surtout compacts dans les horizons d'accumulation. C'est le faciès le plus polymorphe et le plus répandu de calcite micritique.

---

(1) L'observation au microscope électronique à balayage (MEB) est en cours.

- la calcite en bâtonnets correspond à des cristaux allongés, très petits (de 0,1 à 2-3 µ, rarement davantage), souvent striés ou tachés de noir. On les observe parfois regroupés et enchevêtrés les uns dans les autres pour former des amas de quelques microns (aspect de "nids de pie").

Très abondants dans les sphérolithes de calcite et plus généralement dans la matrice pulvérulente de l'horizon Kh, ils sont aussi présents dans les croûtes poreuses et légères, les encroûtements et surtout les horizons laminaires grisâtres les plus récents comme celui de PR 2 (les bâtonnets sont alors plus courts et irréguliers). Par contre, on ne les observe jamais dans les dalles très compactes, ni dans les horizons de profondeur (CCa). Au microscope ordinaire, ce type de calcite ne se distingue pas de la calcite en rhomboédres dans le cristalliplasma micritique.

Les récents travaux de DURAND (1978) permettent de préciser, au niveau des hypothèses, les conditions de dépôt des deux premiers faciès de calcite microcristalline :

- la calcite en aiguilles supposerait une vitesse très rapide de cristallisation dans des solutions fortement sursaturées : il en serait ainsi dans les macropores ($\Phi > 10\mu$) où l'évaporation est intense et où la diffusion est rapide vers la microporosité ($\Phi < 0,2\ \mu$). Il y aurait donc une certaine indépendance vis à vis de l'activité racinaire. En outre, la forme allongée des cristaux serait peut être à rattacher à la présence d'ions étangers, en particulier le magnésium (FOLK, 1974).
- la calcite en rhomboédres indiquerait par contre une vitesse très lente de cristallisation en dehors de l'influence racinaire directe et sans interférence d'ions étrangers (dalles et croûtes compactes, intérieur d'un agrégat, etc.) La diffusion des solutions se fait donc lentement et les équilibres sont longs à s'établir à travers la microporosité. La concentration des solutions est lente et régulière; elle s'effectue pour la calcite dans une solution proche de la saturation. Quant à la calcite en bâtonnets, elle s'observe le plus fréquemment dans la zone d'activité du système racinaire, dans un milieu à la fois très poreux et très calcaire.

Trois facteurs seraient susceptibles d'intervenir pour expliquer la taille et la forme des cristaux :

- les alternances rapides dissolution-dépôt pour créer les conditions favorables à une cristallisation en petits cristaux d'autant qu'il existe de nombreux sites de croissance; l'influence du système racinaire pourrait donc jouer un rôle à ce niveau.
- la présence d'ions étrangers comme le magnésium pour favoriser la formation de cristaux allongés; le magnésium peut en effet être assez abondant (destruction de l'attapulgite, salure souvent élevée, cf. infra).
- la présence de composés organiques qui pourraient être adsorbés sur les sites de croissance (DURAND, 1978).

Une étude plus détaillée est nécessaire pour préciser la morphologie des bâtonnets. Mais une chose est certaine : ce type de calcite en bâtonnets est liée à l'activité du système racinaire dans un milieu très calcaire et généralement poreux; de plus, il se retrouve dans les horizons laminaires et les pellicules rubanées les plus récentes.

e. Synthèse des observations et discussion.

Le profil se subdivise en deux parties de part et d'autre de l'horizon laminaire Kl :

- les horizons supérieurs : A et Kh où se localise la quasi totalité du système racinaire.
- les horizons inférieurs : de la croûte calcaire KCr à l'horizon CCa (argiles sableuses rouges du Tertiaire continental).

α. Les horizons supérieurs.

Dans les deux horizons, on constate une véritable litholyse (destruction) de la croûte calcaire (RUELLAN, 1970). A et Kh représentent des milieux très différents, en fait deux stades dans cette destruction.

+ Dans l'horizon A, la croûte a presque complètement disparu, il n'en subsiste préférentiellement que les fragments les plus compacts et les plus indurés (pellicules rubanées, dalles et croûtes

denses); la présence d'un cortex d'altération semble encore souligner cette lente dissolution des éléments calcaires. Entre les reliques de croûtes et quelques sphérolithes de calcite micritique, la terre fine (minéraux résiduels) reste peu calcaire; on n'observe pas de figures de recristallisation secondaire de calcite. L'ambiance physico-chimique apparaît comme étant davantage celle d'un milieu calcique que calcaire. A cet égard, la nature des composés humique le confirme dans la mesure où ils dépendent essentiellement des bioclimats et de l'état du couvert végétal; la présence de calcaire se marque simplement par un taux presque constant et relativement élevé d'acides fulviques.

Globalement, la tendance serait à une lixiviation du carbonate de calcium. Dans l'horizon à structure lamellaire Asl, ce phénomène est encore plus net (taux de calcaire total très faible, fragments de croûte très petits, etc.).

+ Dans l'horizon Kh, la croûte est encore bien représentée par des feuillets dont la disposition générale est conservée. A l'oeil nu, les figures de dissolution et d'altération s'observent très nettement à la partie inférieure des feuillets où la croûte, plus légère et plus poreuse (1), est creusée de golfes de corrosion envahis par la matrice pulvérulente et le système racinaire.

Dans certains profils comme PR 21, situé à une centaine de mètres de PR 2, on observe (fig. 57b) de petits "entonnoirs de dissolution" qui transpercent les feuillets; l'eau et le système racinaire y pénètrent, l'altération se développe et la matrice pulvérulente progresse peu à peu vers le bas et latéralement au-dessus de l'horizon laminaire. La couleur de la matrice pulvérulente est généralement blanche (10 YR 8/1) comme la croûte dans un premier stade.

---

(1) KULKE (1974) a mesuré une porosité de 1 à 12 % en volume et une perméabilité de 1,5 à 6 md pour les parties les plus denses et les plus indurées des feuillets. La porosité se situe aux environs de 35 % en volume (perméabilité de 8 à 17 md) dans les parties les plus légères et les plus tendres des feuillets.

Elle devient nettement plus grisâtre entre les feuillets (matière organique) ou nettement plus rougeâtre (5 YR 5/3 à 5/6; 7,5 YR 5/6 à 6/6) à l'entrée de l'entonnoir où l'altération est maximum : le taux de calcaire diminue et les minéraux argileux sont libérés (transition avec l'horizon A).

La dissolution de la croûte prend alors l'allure de véritables phénomènes karstiques : la pellicule rubanée, à la partie supérieure des feuillets, joue le rôle d'une roche calcaire dure dans laquelle peuvent se creuser des poches de dissolution (stade préliminaire aux entonnoirs) s'il n'existe pas de fissuration. Le plus souvent, la présence de fissures facilite la pénétration de l'eau et du système racinaire à travers le feuillet de croûte. Au microscope optique, les figures de dissolution apparaissent clairement dans les feuillets de croûte : porosité, "libération" des sphérolithes et des cristaux sparitiques, taraudage de la pellicule rubanée, etc.

Au microscope électronique (MET), la matrice pulvérulente se révèle particulièrement riche en calcite en bâtonnets qui serait en relation avec l'activité du système racinaire.

En définitive, l'ambiance physico-chimique de l'horizon serait celle d'un milieu très poreux et riche en calcaire très fin. Le bilan global est incontestablement à un départ de calcaire qui, pour l'essentiel, ne peut se faire que latéralement au-dessus de l'horizon laminaire K1.

Dans cette dynamique du calcaire, le système racinaire paraît jouer un rôle très important en favorisant alternativement :

- soit la dissolution du carbonate de calcium en augmentant la tension du gaz carbonique (respiration des racines et minéralisation de la matière organique).
- soit au contraire, la précipitation des bicarbonates dissous en augmentant la concentration des solutions (évapotranspiration).

β. Les horizons inférieurs.

Le système racinaire, nettement plus discret, se localise presque uniquement dans les espaces interfeuillets.

A la base de la croûte, vers 70 cm, une concentration plus importante des racines dans un espace subhorizontal tend à isoler, une partie de la croûte des horizons sous-jacents.

Morphologiquement, l'intérieur de cet espace interfeuillet est comparable à la matrice pulvérulente de l'horizon Kh dont il constitue un stade préliminaire; en outre, le plancher s'indure peu à peu en pellicule rubanée grisâtre mais encore peu épaisse.

A la base du profil, dans l'encroûtement et surtout dans l'horizon CCa, on pénètre dans le domaine de l'épigénie calcaire où l'activité du système racinaire n'intervient pas,au moins directement.

f. Conclusions.

Deux faits importants sont à retenir :

- le système racinaire de la végétation steppique participe activement à une décalcarification des horizons supérieurs A et surtout Kh où les feuillets de croûte sont peu à peu détruits.
- la présence de très fins cristaux de calcite en bâtonnets paraît être liée à l'activité du système racinaire dans les horizons d'accumulation calcaire.

2 - ETUDE DU PROFIL PR 3: profil de type I (sans horizon laminaire).

a. Situation. (X = 0°15'E; Y = 33°07'N).

Comme PR 2, il se localise dans les Hauts-Plateaux sud-oranais, à proximité d'Aïn Tazina.

- Altitude : 1210 m.
- Bioclimat : P # 200 mm, c'est-à-dire en zone de transition entre l'aride moyen et l'aride inférieur (m # 2°C).
- Géomorphologie : surface encroûtée du Quaternaire ancien (sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental).

Le profil est situé dans une zone sensiblement plane, à l'amont d'une surface polygénique dont la pente n'exède pas 0,2 - 0,5 %.

- Végétation : steppe à *Arthrophytum scoparium* et *Artemisia herba-alba* (V 48) avec quelques touffes d'alfa rélictuel.

- Sol : sol calcimagnésique xérique à croûte calcaire sur argiles sableuses rouges (S 51).

b. Caractéristiques morphologiques (fig. 58 et planche VI, 5) et données analytiques (tableau 36).

0 - 2 cm : sables grossiers et débris de croûte calcaire, le vannage des éléments fins par le vent laisse en place les éléments les plus grossiers, ceci est très fréquent dans l'aride inférieur.

2-15/25 cm Horizon A : rouge jaunâtre (5 YR 5/6, sec, 2,5 YR 4/6 humide); texture moyenne; très abondants fragments de croûte calcaire (souvent dalle) disposés subhorizontalement et généralement recouverts d'une pellicule rubanée; ces fragments "salis" et creusés de cavités, surtout la partie inférieure (golfe de corrosion), représentent plus de 50 % de l'horizon; structure finement lamellaire dans le premier centimètre devenant polyèdrique subanguleuse peu nette, moyenne à fine; très nombreuses racines moyennes à fines; transition nette ondulée.

15/25 - 60 cm Horizon KCr (croûte calcaire), il comprend :

- des feuillets de dalle et croûte calcaire avec une pellicule rubanée très nette à la partie supérieure; leur dimension diminue avec la profondeur : au sommet, ce sont de véritables blocs (60/80 cm de large et 10/15 cm d'épaisseur) et à la base de modestes feuillets peu indurés de quelques centimètres seulement, assurant un passage progressif à l'encroûtement.

- entre les feuillets, la matrice pulvérulente paraît s'éclaircir peu à peu avec la profondeur : du jaune-rougeâtre (5 YR 6/6 et 7,5 YR 6/6, sec) à brun très pâle (10 YR 7/3, sec), puis blanchâtre; néanmoins, la couleur reste hétérogène avec des variations latérales en fonction de l'importance et de la disposition des feuillets;

très nombreuses racines moyennes et surtout fines.

60 - 100 cm **Horizon Ke** : encroûtement calcaire de couleur rosée (5 YR 7/6, sec), structure à tendance lamellaire avec de très fins feuillets peu indurés ni encore bien individualisés; très fin dépôt de calcaire blanc sur les parois subhorizontales et verticales des polyèdres aplatis; quelques racines fines et moyennes.

100 - 150 cm **Horizon CCa** : matériau limono-sableux rougeâtre (2,5 YR 6/6, sec); structure fragmentaire très nette, polyèdrique moyenne devenant plus grossière à la base; quelques concentrations calcaires en amas blanchâtres faiblement individualisés; très fin dépôt de calcaire blanc sur les parois des polyèdres; pas de racines.

PROFIL	Prof. en cm	Nom.	GRANULOMETRIE %					pH	CO_3Ca %	M.O %	T me/100g	Cond en mmhos	pF 4,2	pF 2,5
			A	LF	LG	SF	SG							
PR 3	2-20	A	14	10	5	48	17	8,0	14	0,81	8	0,6	7,1	14,3
	20-60	KCr(1)	—	—	—	—	—	7,7	85	0,95	—	0,6	10,8	31,7
	60-100	Ke	—	—	—	—	—	7,8	60	0,18	—	6,3	6,3	20,7
	100-150	C	8	22	21	33	12	7,7	45	0,09	—	7,0	——	——
PR 31	0-20	A	21	10	10	43	14	7,9	13	0,77	9	0,7	8,8	14,9
	20-30/50	Kh	—	—	—	—	—	7,8	77	1,65	—	2,0	12,3	25,6

Tableau 36 : Principales caractéristiques des profils PR 3 et PR 31.

(1) Le prélèvement correspond à la matrice pulvérulente de l'horizon KCr.

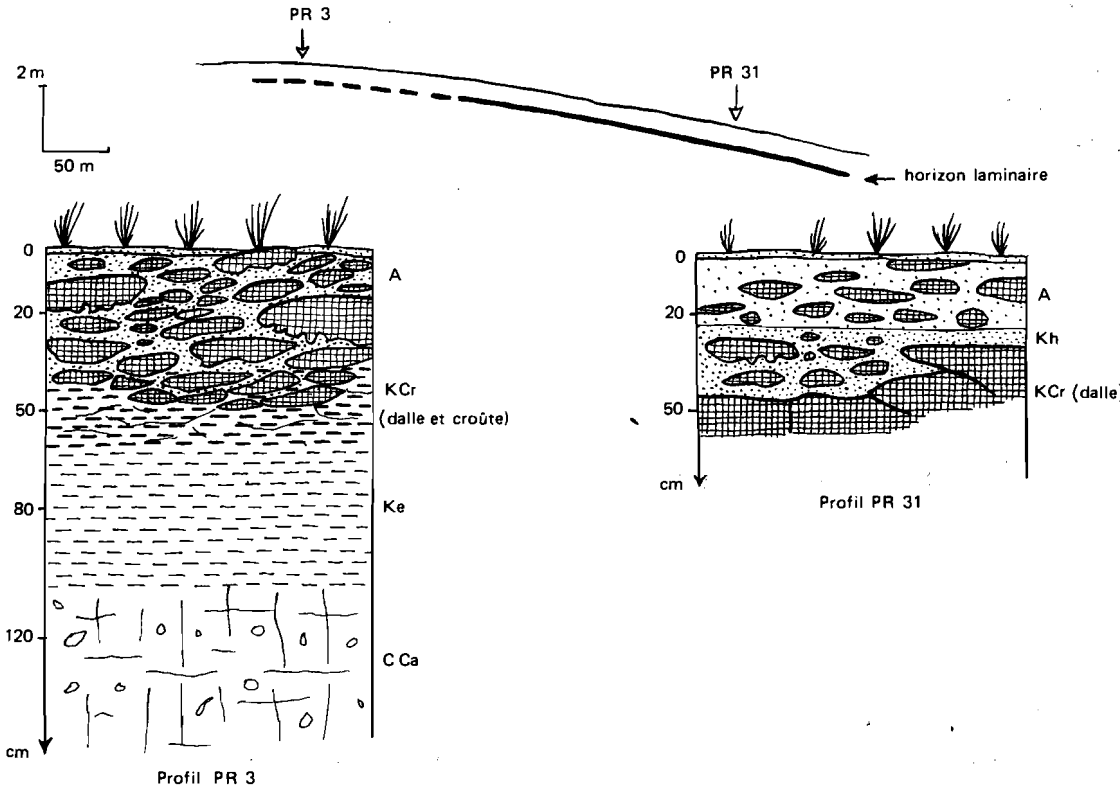


Figure 58 - Les sols à croûte calcaire : profil PR3 (type I)
profil PR31 (type II)

Le profil organique, d'apparence isohumique, correspond à une implantation relativement profonde du système racinaire qui colonise plus particulièrement les espaces interfeuillets dans la croûte calcaire jusqu'à l'encroûtement. La matrice pulvérulente est analogue à celle d'un horizon Kh (cf. PR 2).

L'horizon A reste relativement peu calcaire malgré la présence de très nombreux fragments de dalle et de croûte disposés subhorizontalement; ils apparaissent en continuité avec les feuillets sous-jacents et tout se passe comme si l'horizon A "s'enfonçait" peu à peu dans la croûte.

Il est intéressant de constater que, malgré l'importance des horizons encroûtés (dimension et induration des feuillets, épaisseur de l'accumulation, etc.), le système racinaire ne paraît pas être géné dans sa progression jusqu'à la base de la croûte.

c. Variations autour de PR 3.

Quelques 300 mètres en aval de PR 3 sur la même surface polygènique (pente 0,5 % environ), le profil PR 31 se présente très différemment malgré une végétation comparable (groupement V 48 à *Arthrophytum scoparium*) : il s'agit en effet d'un profil à horizon Kh. (fig.58).

En surface, sables grossiers et débris de croûte calcaire sur 1 cm.

1 - 20 cm **Horizon A,** identique à PR 3 sauf la texture légèrement plus fine et les fragments de dalle et croûte moins nombreux.

20 - 30/50 cm **Horizon Kh** d'épaisseur discontinue avec des fragments de dalle et de croûte dans une matrice pulvérulente colonisée par un chevelu racinaire très abondant.

> 30 / 50 cm **Horizon laminaire Kl** formé de plusieurs strates de pellicule rubanée diversement colorées; elles épousent toutes les infractuosités des blocs de dalle calcaire très fortement indurée, mais fragmentée par d'étroites fissures verticales où s'immiscent quelques racines et radicelles.

Outre la contentration de matière organique dans l'horizon Kh (tableau 36), les données analytiques confirment la similitude entre les horizons A des deux profils PR 3 et PR 31.

d. Conclusions.

+ L'implantation du système racinaire de la végétation steppique semble se faire sans trop de difficulté dans des sols à dalle calcaire très épaisse et indurée (Quaternaire ancien); les espaces interfeuillets forment alors un réseau parfaitement anastomosé et assurent un drainage interne convenable au moins jusqu'à la base de la croûte.

+ Le système racinaire de la végétation steppique participe à une décalcarification de l'horizon A et de la croûte elle-même dans les espaces interfeuillets (analogues à des horizons Kh).

+ Une simple variation topographique et la morphologie de la croûte se trouve modifiée avec la présence d'un horizon laminaire K1; très épais et induré, il bloque la progression des racines et focalise ainsi la destruction de la croûte dans l'horizon Kh.

+ Ce faciès d'horizon laminaire, extrêmement induré et complexe, caractérise généralement les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien; il apparaît différent de l'horizon laminaire de PR 2, plus spécifique des formations récentes (Quaternaire moyen à récent).

3 - DYNAMIQUE DES SOLS A CROUTE CALCAIRE. (horizons supérieurs).

L'importance accordée au système racinaire, pour distinguer les deux principaux types de sols à croûte calcaire, revient en fait à rendre compte, en zones arides, d'une certaine dynamique de l'eau. L'absence ou la présence d'un horizon laminaire conditionne en effet le développement des racines mais aussi le régime hydrique du profil et par là, les processus de décalcarification des horizons supérieurs.

+ Dans les profils de type I, le drainage vertical, comme l'implantation du système racinaire, se fait en profondeur par les espaces interfeuillets : la dynamique de l'eau est verticale et profonde. Le front de décalcarification reste diffus à la partie supérieure de la croûte, son enfoncement paraît progressif.

Latéralement, le passage à un profil de type II se fait dans certaines conditions qu'il convient de définir pour préciser le rôle de la végétation.

+ Dans les profils de type II, le drainage vertical, comme le système racinaire, est bloqué par l'horizon laminaire : la dynamique de l'eau devient latérale et subsuperficielle (dans l'horizon Kh). Le front de décalcarification se trouve nettement limité, sa progression en profondeur considérablement ralentie.

Cependant la présence de fissures verticales permet au système racinaire de s'immiscer plus ou moins à l'intérieur de la croûte. Il dégage des espaces interfeuillets, d'autant plus facilement que la masse encroûtée n'est pas trop indurée (Quaternaire moyen) et qu'il est lui-même suffisamment "agressif". Une évolution verticale de l'horizon laminaire apparaît possible et doit être précisée.

B. FORMATION ET ÉVOLUTION DE L'HORIZON LAMINAIRE

1 - DISTRIBUTION DES PROFILS à HORIZON LAMINAIRE DANS L'ESPACE.

Un certain nombre de facteurs s'avèrent favorables à la formation des horizons laminaires : âge de la surface encroûtée, nature du matériau, position dans le paysage, etc. Ainsi toutes choses étant égales par ailleurs, l'horizon laminaire est d'autant mieux développé, plus épais et plus induré que :

- la surface est ancienne (cf. PR 31).
- le matériau est graveleux ou présente une différence texturale (STUART et DIXON, 1973).
- le profil est situé dans les zones aval des glacis, en particulier au niveau des talus de raccordement où la circulation des solutions est plus rapide (fig.59). Comme le note judicieusement FOURNET (1969), la forme des feuillets est fonction de la position topographique sur la surface encroûtée :

. dans les zones de ruissellement ou de changement de pente topographique (sommet de glacis, bordure de thalweg) les feuillets sont relativement aplatis et imbriqués ("amygdales") favorisant ainsi la formation de l'horizon laminaire.

. dans les parties planes des glacis, ce sont des feuillets plus épais et moins imbriqués ("pavés").

Compte-tenu de ces facteurs, il est intéressant de préciser la distribution des profils à horizon laminaire en fonction des conditions écologiques actuelles : bioclimats et végétation.

+ Bioclimats.

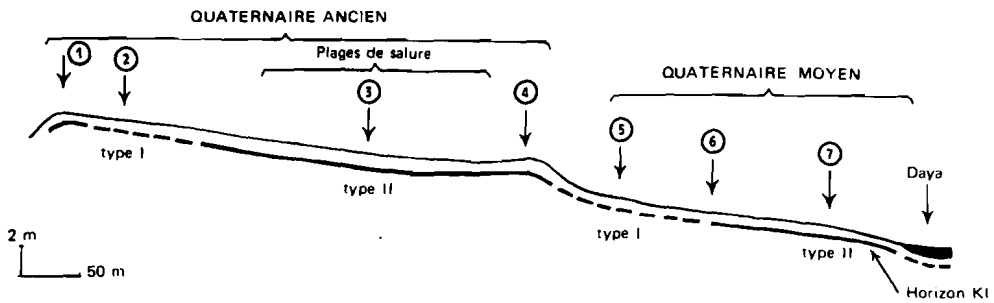
Les horizons laminaires sont rares dans les zones semi-arides où ils se localisent de préférence sur les surfaces du Quaternaire moyen. On les observe par contre dans tout l'étage aride, y compris les zones sahariennes au Sud de l'Atlas saharien sur les surfaces les plus anciennes. Il semble qu'il y ait un maximum de développement dans l'aride supérieur et dans l'aride moyen car l'horizon laminaire se retrouve, certes différent, sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien mais aussi du Quaternaire moyen à récent. Dans l'aride inférieur, l'horizon laminaire s'observe plus rarement sur les formations du Quaternaire moyen, alors qu'il est omniprésent sur les surfaces du Quaternaire ancien.

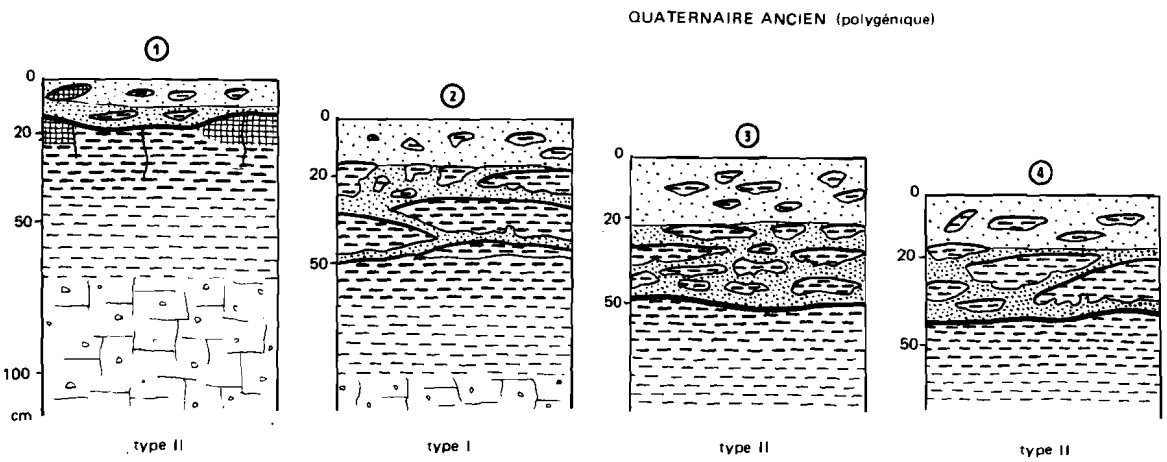
+ Végétation.

D'emblée, une première constatation s'impose : sous végétation forestière, il est rare d'observer un horizon laminaire. Il n'apparaît qu'assez profondément (> 50 cm) dans les matorrals steppisés (avec alfa) et les steppes à alfa.

Deux cas sont à distinguer pour la végétation steppique :

- sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien plus ou moins polygéniques, l'horizon laminaire reste généralement plus profond et surtout moins fréquent sous steppe à alfa que sous steppes à chamaephytes. Il suffit en effet de remarquer la répartition préférentielle des steppes à alfa dans les zones où la croûte, même très épaisse et fortement indurée en dalle, ne possède pas d'horizon laminaire : amont des glacis et des collines encroûtées, auréoles en bordure des buttes-témoins de la Haute-surface moulouyenne, etc.
- sur les surfaces encroûtées du Quaternaire moyen, les profils à horizon laminaire s'observent aussi bien dans les steppes à alfa que dans les steppes à chamaephytes (PR 1, PR 2), l'horizon laminaire étant parfois double (fig.59).





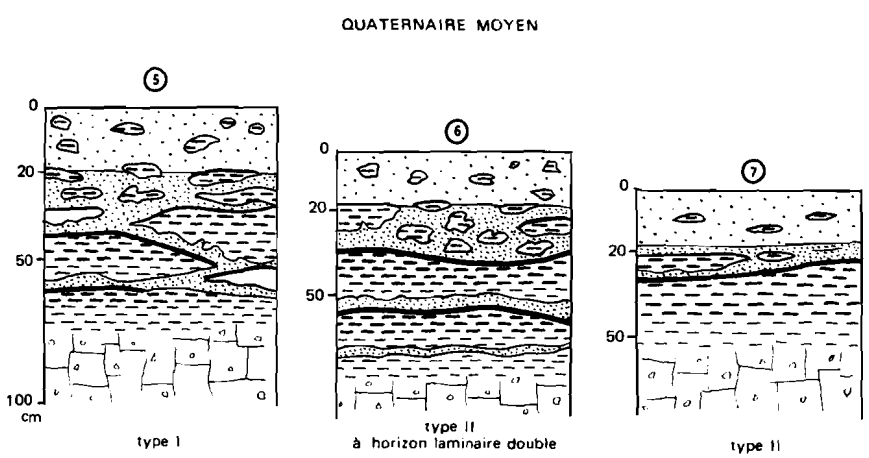


Figure 59 - Exemple de distribution des sols à croûte calcaire (types I et II) en fonction de l'âge des surfaces encroûtées et de la position topographique (steppe à chamaephytes et alfa relictuel)

2 - FORMATION DE L'HORIZON LAMINAIRE.

Les observations précédentes montrent que l'horizon laminaire se forme sous végétation de steppe, steppe à alfa ou à chamaephytes, au sein des sols à croûte calcaire de type I comme le prouvent les passages latéraux d'un type de profil à l'autre (fig.59).

+ Sous végétation forestière on observe rarement d'horizon laminaire :

- soit qu'elle n'ait pu s'installer sur ce sol trop superficiel, l'horizon laminaire s'étant formé avant.
- soit au contraire, que ce type d'horizon se soit formé après, sous l'influence notamment de la végétation de steppe.

Dans ce dernier cas, la végétation forestière aurait simplement permis une mobilisation importante du calcaire pour former un sol à croûte calcaire à horizon humifère Ah. De nombreux auteurs ont insisté sur ce rôle de la forêt (1) (AUBERT, 1947, 1960; MULLER, 1954; BOULAINE, 1957, 1961; RUELLAN, 1970; BEAUDET, 1972; etc.).

+ Le passage à la steppe d'alfa se traduit par un changement de profil racinaire et de profil organique : profil à horizon Ah, profil isohumique, profil à horizon Kh (fig.48). Ceci modifie le système d'évaporation du sol et le niveau de dépôt des solutions carbonatées verticalement et latéralement. A la base de ce système racinaire très dense et relativement peu profond, par rapport à la végétation arbustive, les espaces interfeuillets ont tendance à être colmatés par des dépôts de carbonate de calcium; plus exactement, la calcite microcristallisée en bâtonnets contribue à former le "plancher" des espaces interfeuillets.

Ces pellicules rubanées grisâtres forment un réseau plus ou moins continu, surtout si la pente favorise la formation de feuillets aplatis.

---

(1) Sans entrer dans le problème complexe de la formation des croûtes, il faut souligner que ce rôle n'est pas exclusif; d'autres facteurs et d'autres processus peuvent intervenir, y compris la végétation steppique elle-même.

L'horizon laminaire s'individualise peu à peu dans les matorrals steppisés et dans les steppes à alfa, puis dans les steppes à chamaephytes. Il se forme préférentiellement et en priorité au niveau des ruptures de pente ou au niveau d'une discontinuité texturale du matériau.

+ Sur les surfaces du Quaternaire moyen à récent, l'horizon laminaire s'observe le plus souvent dans l'aride supérieur et moyen. Le système racinaire très abondant (cf. horizon Kh) joue ici un rôle important qui ne se retrouve pratiquement pas dans l'aride inférieur, trop sec. La formation, relativement récente, de l'horizon laminaire se fait dans les conditions bioclimatiques de l'aride supérieur et moyen (P > 200 m); elle semble se poursuivre actuellement. GILE *et al* (1966) ont montré que les couches les plus hautes, en contact avec l'horizon Kh, sont les plus récentes (environ 4500 ans pour des profils du Nouveau-Mexique aux Etats-Unis). VERMEIRE *et al* (1974) ont obtenu des résultats comparables aux Iles Canaries.

+ Sur les surfaces du Quaternaire ancien, l'horizon laminaire apparait complexe, bien que sa partie supérieure soit souvent constituée par une pellicule rubanée grisâtre, analogue aux précédentes. L'essentiel est formé d'une série de rubans diversement colorés et "pétrifiés". Au microscope électronique (MET), les cristaux de calcite sont des rhomboèdres opaques et non de très fins bâtonnets comme dans les horizons laminaires et dans les pellicules rubanées les plus récentes et non pétrifiées. Les rubans les plus anciens résulteraient peut être d'une longue évolution avec recristallisation très lente de la calcite et transformation des bâtonnets en rhomboèdres plus ou moins jointifs.

3 - EVOLUTION DE L'HORIZON LAMINAIRE.

Cette évolution dans le temps est conditionnée :

- par la nature de l'horizon laminaire, c'est-à-dire pratiquement par l'âge de la surface encroûtée.
- par les bioclimats et par la végétation.

+ Sur les surfaces encroûtées du Quaternaire moyen à récent et pour un matériau homogène, argiles sableuses rouges du Tertiaire continental, la figure 60 schématise les principaux stades de formation et d'évolution dans le temps. Ils correspondent à des types de profils observés dans les toposéquences de l'aride supérieur et moyen sous végétation de steppe :

1. stade initial à horizon humifère Ah (stade facultatif).

2. et 3. stades de sols à croûte calcaire de type I et profil isohumique.

4. et 5. individualisation progressive de l'horizon laminaire Kl1 et de l'horizon Kh1. L'érosion en nappe continue le décapage de l'horizon A et accentue la "pression" du système racinaire dans Kh1.

6. stade du profil type à horizon laminaire.

7. formation d'un second horizon laminaire Kl 2 par le système racinaire qui s'est immiscé en profondeur.

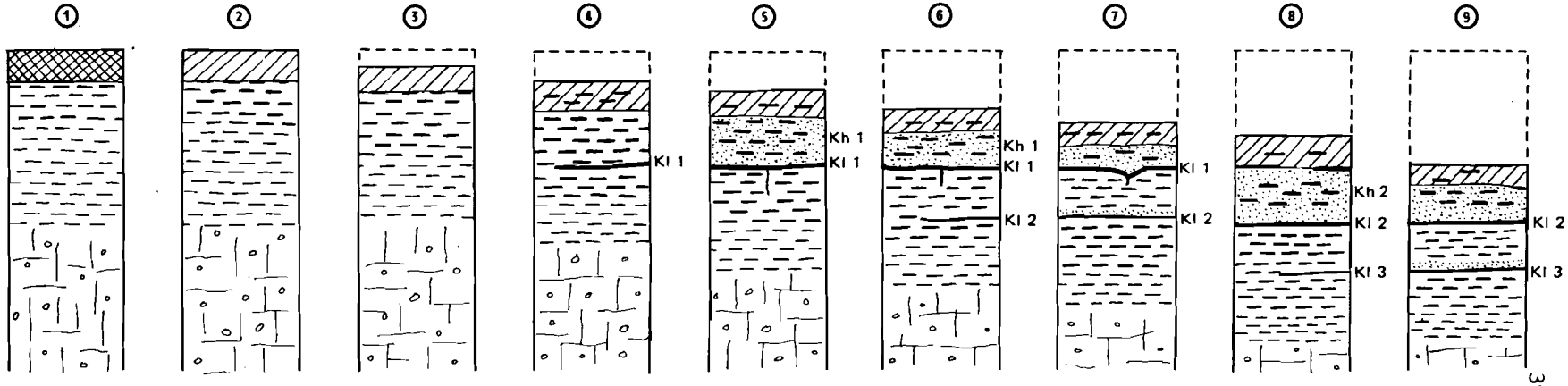
8. l'horizon laminaire Kl1 et les feuillets sous-jacents sont progressivement détruits pour former Kh 2 (cf. PR 21).

9. l'évolution se poursuit avec l'individualisation d'un troisième horizon laminaire.

En définitive, ce schéma illustre, pour les profils à croûte calcaire, une dynamique d'ensemble déjà envisagée par RUELLAN *et al*, (1977). Elle se caractérise par deux processus très différents dont seul le premier nous intéresse :

- décalcarification des horizons supérieurs avec destruction de la croûte.
- épigénie calcaire dans les horizons inférieurs avec reformation en profondeur de l'accumulation calcaire.

Avec le temps, les profils à croûte calcaire s'enfoncent peu à peu dans le paysage :



① Stade initial à l'horizon humifère Ah (végétation forestière)

② et ③ Stade de sols à croûte calcaire (type I) et profil isohumique

④ et ⑤ Stade de transition avec formation de l'horizon laminaire Kl 1 et de l'horizon Kh1

⑥ Profil type de sol à l'horizon laminaire (idem PR 2)

⑦ Stade à horizon laminaire double Kl 1 et Kl 2

⑧ Profil type de sol à horizon laminaire Kl 2

⑨ Stade à horizon laminaire double Kl 2 et Kl 3

Figure 60 - Schématisation de la formation et de l'évolution dans le temps des sols à croûte calcaire à horizon laminaire (quaternaire moyen) sur un matériau homogène (argiles sableuses rouges du Tertiaire continental) et végétation de steppe

L'horizon A, décapé en permanence par l'érosion en nappe, se développe aux dépens des feuillets supérieurs de la croûte et plus précisément de l'horizon Kh, après la formation de l'horizon laminaire. Alors que la destruction de l'horizon Kh se poursuit, le système racinaire prépare une nouvelle "tranche" de croûte en individualisant un autre horizon laminaire. Comme pour les feuillets de croûte, l'épaisseur des "tranches" est plus faible au niveau des zones de drainage (rupture de pente, bordure de thalwegs, etc.) et plus importante dans les zones planes.

L'enfoncement du front de décalcarification ne se fait pas régulièrement comme dans un profil à croûte calcaire de type I. La présence de l'horizon laminaire détermine une dynamique différente; la progression du front de décalcarification se fait par "tranches" successives.

+ Sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien (et polygénique) l'épaisseur et l'induration de l'horizon laminaire limitent considérablement l'évolution des profils (1).

Le système racinaire profite des moindres fissures pour pénétrer en profondeur mais son influence devient ici bien modeste (cf. PR 31).

Le front de décalcarification se trouve pratiquement bloqué alors que l'horizon A continue à être décapé par l'érosion. L'épaisseur des horizons meubles (A et Kh) diminue progressivement et irrémédiablement.

+ Dans l'aride inférieur, l'activité du système racinaire devient insuffisante pour exercer une influence efficace, (cf. taux de matière organique dans l'horizon Kh). Le régime hydrique n'autorise qu'une décalcarification limitée pratiquement à l'horizon A. La dynamique latérale dans les horizons Kh reste très faible, sinon très épisodique. En Iraq, BARZANGI (1973) note un arrêt des mouvements de la calcite pour $P < 200$ mm.

---

(1) Il en est souvent de même avec des matériaux caillouteux, la croûte présente alors un faciès conglomératique plus ou moins massif, difficilement altérable.

+ La dégradation du couvert végétal, plus particulièrement la destruction des espèces steppiques vivaces, provoque un arrêt de l'activité du système racinaire et vraisemblablement un ralentissement important de l'évolution de la croûte. Celle-ci tend à devenir davantage un support pour le sol dont l'épaisseur diminue sans que le système racinaire puisse participer à l'approfondissement du profil.

Certes, dans l'aride inférieur, une telle destruction des espèces vivaces n'aura pas d'incidence notable de ce point de vue car, de toute façon le régime hydrique est insuffisant; seul le décapage de l'horizon A sera accéléré.

Par contre, dans l'aride moyen, l'arrêt de l'activité du système racinaire aura une bien plus grande importance, d'autant plus grande s'il s'agit d'une surface du Quaternaire moyen où l'influence de la végétation s'exerce efficacement (fig.60).

C - CONCLUSIONS : INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION.

Dans les sols à croûte calcaire, l'influence de la végétation steppique s'exerce :

- soit directement par l'activité du système racinaire.
- soit indirectement en agissant sur les facteurs du milieu qui conditionnent cette activité des racines.

D'une façon générale, l'influence de la végétation dépend des caractéristiques des horizons encroûtés et des bioclimats. Cette influence diminue considérablement :

- si les horizons encroûtés sont déjà très fortement indurés, compacts, caillouteux et épais. Il s'agit souvent des surfaces les plus anciennes.
- si la pluviosité est inférieure à 200 mm (aride inférieur).

+ Influence directe de la végétation.

Le système racinaire des espèces steppiques s'implante plus ou moins profondément dans les horizons encroûtés. Il participe activement :

- à la destruction des feuillets supérieurs de la croûte dans les horizons A et Kh, mais aussi plus généralement dans les espaces interfeuillets.

- à la formation et à l'évolution dans le profil des horizons laminaires et des pellicules rubanées.

- à la formation de calcite très finement microcristallisée en bâtonnets qui jouerait un rôle dans la genèse de l'horizon laminaire et des pellicules rubanées les plus récentes. Ce type de cristaux serait à étudier en détail.

+ Influence indirecte de la végétation.

Les effets de la dégradation du couvert végétal mettent en évidence l'influence indirecte de la végétation; ainsi le régime hydrique des sols devenant plus "aride" tend à diminuer l'activité du système racinaire. Ceci est particulièrement sensible dans les zones les moins humides de l'aride moyen où la pluviosité est proche de 200 mm/an.

III – VÉGÉTATION ET PLAGES DE SALURE DANS LES SOLS A CROÛTE CALCAIRE

Reconnues et décrites pour la première fois dans les steppes algériennes (POUGET, 1973, 1976), les plages de salure caractérisent de très nombreuses surfaces encroûtées de l'aride moyen, aussi bien dans le Sud-algérois que dans le Sud-oranais.

Après une description rapide et l'étude de leur distribution dans l'espace, une hypothèse sur le mécanisme de leur formation est envisagée; dans ce mécanisme, la végétation, et en particulier le système racinaire, joue un rôle non négligeable.

A. DESCRIPTION DES PLAGES DE SALURE.

Sur de vastes surfaces encroûtées de l'aride moyen (P compris entre 200 et 300 mm environ), on repère, disséminées parmi les touffes d'alfa ou d'armoise blanche, des plages de quelques décimètres à plusieurs mètres carrés pratiquement dépourvues de végétation et présentant un horizon A dont la salure peut être excessive (8 à 80 mmhos-cm), sans commune mesure avec la steppe environnante (0,5 à 2-3 mmhos-cm). Leur densité est très variable : quelques plages à plusieurs centaines à l'hectare.

1 - ASPECTS MORPHOLOGIQUES.

+ En surface, lorsque le sol est sec, elles se repèrent d'autant mieux qu'elles apparaissent comme des taches plus "brunes" et plus "humides" avec parfois de fins efflorescences salines blanchâtres et même des pseudosables. Généralement sans végétation pour les salures très élevées (> 40-50 mmhos-cm) elles peuvent être colonisées par des espèces annuelles plus ou moins halophiles telles que : *Frankenia pulverulenta, Pholiurus incurvus, Spergularia diandra, Limonium echioides, Aizoon hispanicum, Bupleurum semicompositum*. Dans certains cas, on observe au niveau des plages des espèces steppiques complètement desséchées et "grillées" par le sel (*Artemisia herba-alba, Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum*, etc.). Si la salure est moins élevée, les touffes de *Lygeum spartum* peuvent subsister (cf. PR 22 fig. 57c).

Il est certain qu'après une pluie, avant le ressuyage du sol, les plages ne peuvent pas se repérer. Paradoxalement par temps très sec, il en est souvent de même. Cependant du jour au lendemain, une simple variation de l'humidité atmosphérique peut les faire réapparaître. A deux reprises, dans les steppes sud-oranaises, j'ai pu constater le fait sans aucune ambiguité :

- des plages non visibles le 25 octobre 1974, (temps très sec depuis une dizaine de jours) apparaissent nettement le lendemain, le ciel s'étant simplement couvert pendant la nuit.
- même observation dans un secteur voisin le 13 novembre 1974; les plages "se dévoilent" seulement le 14 après une très faible pluie de quelques millimètres pendant la nuit.

Autre exemple avec le profil PR 22 (fig.61); les efflorescences blanches présentes en Mai 1974, ont disparu en octobre à la fin de la saison sèche (planche VII, 3 et 4).

+ **Le profil**, est pratiquement dans tous les cas un profil de type II à horizon laminaire.

Au niveau de la plage, l'horizon A paraît plus brun et plus "humide", il en est de même pour Kh, pour l'horizon laminaire, presque toujours aussi pour la croûte sous-jacente.

L'horizon A présente un aspect "tassé", massif, mal structuré avec parfois d'anciennes racines et radicelles en voie de décomposition.

Très souvent, les plages se localisent directement au-dessus d'un feuillet de croûte de l'horizon Kh (fig.57c) mais il n'en est pas toujours ainsi (fig.62).

2 - DONNEES ANALYTIQUES (Tableau 37).

L'horizon A présente une **salure excessive** dominée par une très forte proportion de chlorures, particulièrement les **chlorures alcalino-terreux hygroscopiques** (chlorures de magnésium et surtout calcium), d'où l'aspect "humide" observé. Il présente en outre une alcalisation importante avec un taux élevé de sodium fixé sur le complexe absorbant.

PROFILS	HORIZONS		GRANULOMETRIE %					pH	CO_3Ca	Gypse	M.O.	C.A.en meq /100g			Cond.	Extrait de saturation en meg/litre							Is.	$K_{cm/h}$ (Henin)
	Prof. en cm	Nom.	A	LF	LG	SF	SG		%	%	%	Mg^{++}	Na^{+}	T	mmhos	CO_3H^{-}	SO_4^{--}	Cl^{-}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}		
PR 22	0-10(1)	A	17	9	4	57	16	7,7	17	0,6	1,32	—	1,8	6	17,9	2,3	68,5	136,2	45,6	38,7	123,7	2,2	—	—
	10-30(1)	Kh(Cr)	—	—	—	—	—	7,8	79	0,6	0,60	—	—	—	13,5	0,8	40,2	107,8	39,0	32,1	71,9	1,1	—	—
	0-10(2)	A	12	10	5	55	15	7,7	13	0,2	1,00		1,5	6	13,9	0,0	37,5	96,9	46,9	21,9	68,8	0,0	—	—
K1073 bis	0-15	A	24	11	6	43	12	7,3	9	0,6	1,41	5,3	4,5	11	59,6	0,0	36,4	919,3	319,2	257,9	311,5	1,8	11,5	13,7
	15-50	Kh	—	—	—	—	—	7,5	78	1,0	1,42	—	—	—	30,0	3,7	28,0	350,4	129,2	96,9	143,6	0,5	—	—
	15-50	Kh(Cr)	—	—	—	—	—	—	90	1,0	0,79	—	—	—	43,7	0,0	27,2	642,4	237,5	163,9	214,5	1,2	—	—
	50-80	KCr	—	—	—	—	—	—	86	1,2	0,77	—	—	—	30,0	0,0	39,3	208,0	95,3	53,1	88,7	0,5	—	—
K1073 ter	0-10	A	18	12	7	45	12	7,6	8	0,0	0,84	5,2	2,8	9	62,7	0,0	19,0	908,6	572,0	207,4	180,7	1,0	9,7	4,5
	10-40	Kh	—	—	—	—	—	7,2	47	0,3	2,67	—	—	—	32,8	6,4	14,0	417,0	210,0	127,7	111,4	2,3	—	—
	10-40	Kh(Cr)	—	—	—	—	—	7,6	72	0,5	0,57	—	—	—	14,4	0,9	9,5	144,7	69,9	38,2	45,4	1,2	—	—
	40-70	KCr	—	—	—	—	—	7,9	74	0,1	0,55	—	—	—	10,7	0,0	12,6	105,2	48,7	29,1	39,6	0,4	—	—
K866 bis	0-3	As1	19	14	10	40	16	7,1	7	0,3	0,81	4,0	7,3	13	59,5	0,0	21,4	916,1	462,2	205,0	311,1	2,7	—	—
	3-25	A	22	16	6	38	15	7,1	10	0,8	1,34	7,0	9,4	18	65,5	0,0	19,5	982,0	478,3	193,6	352,6	4,6	27,9	7,6
	25-50	Kh(Cr)	—	—	—	—	—	7,2	74	0,4	0,74	—	—	—	46,5	12,1	16,3	695,9	348,1	104,7	239,5	0,0	—	—
K872	0-10	A	—	—	—	—	—	7,5	18	0,0	0,64	—	—	—	73,0	4,4	50,7	547,4	121,9	120,8	300,2	9,7	—	—
	10-40	Kh	—	—	—	—	—	7,6	56	0,0	1,05	—	—	—	25,9	0,0	8,8	157,5	40,2	30,4	80,6	3,6	—	—

(1) Prélèvement du 26 octobre 1974.

(2) Prélèvement du 19 mai 1974.

Tableau 37 : Données analytiques de quelques profils au niveau d'une plage de salure. (cf. aussi POUGET 1973).

La salure de l'horizon Kh et de la croûte, souvent très forte, reste pratiquement toujours inférieure à celle de l'horizon A. Par contre, l'encroûtement et les horizons sous-jacents sont moins salés, sinon très faiblement salés.

Latéralement, la salure de l'horizon A chute assez brutalement à l'extérieur de la plage. Dans l'horizon Kh et la croûte, la transition latérale reste plus nuancée et progressive. Un exemple de variation latérale de salure est illustré par le profil PR 22 (fig.57c) :

- pour l'horizon A, la conductivité passe de 17,9 mmhos-cm au niveau de la plage (1) à 3,9 mmhos-cm dans le prélèvement E situé à une vingtaine de centimètres dans la steppe environnante à *Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum*, *Herniaria fontanesii*, *Plantago albicans*, etc.; quelques mètres plus loin, la salure n'est plus que de 0,8 mmhos-cm et 1,3 mmhos-cm au niveau de PR 21.
- pour l'horizon Kh, la conductivité des feuillets de croûte passe de 13,5 mmhos-cm au niveau de la plage à 1,2 dans PR 21. Par contre la matrice pulvérulente reste relativement salée : 6,8 mmhos-cm au prélèvement E et 5 mmhos dans PR 21 (directement sous le petit entonnoir de dissolution).

En définitive, on observe en certains sites de la croûte et de l'horizon Kh une accumulation saline importante; elle s'extériorise et s'amplifie en surface dans l'horizon A au niveau des plages de salure.

B. DISTRIBUTION DES PLAGES DE SALURE DANS L'ESPACE.

A défaut de pouvoir suivre dans le temps les variations du régime hydrique et de la salure, l'étude de la distribution des plages dans l'espace doit permettre un inventaire et une meilleure connaissance des facteurs susceptibles d'intervenir dans leur genèse, en particulier les facteurs relatifs à la végétation.

---

(1) Il s'agit du prélèvement d'octobre 1974. En Mai 1974, la salure était de 13,9 mmhos-cm avec des efflorescences salines blanches très visibles mais totalement disparues en octobre.

La distribution des plages de salure se fait selon certaines conditions relativement précises de bioclimats, de situations géomorphologiques et de sols, de topographie et de végétation.

1 - BIOCLIMATS.

Les plages de salure s'observent quasi exclusivement dans l'aride moyen (P compris entre 200 et 300 mm environ). Elles sont absentes, ou tout au moins extrèmement rares, si le climat devient trop aride (aride inférieur) ou au contraire trop humide comme dans l'aride supérieur.

2 - GEOMORPHOLOGIE ET SOLS.

Les surfaces polygéniques encroûtées du Quaternaire ancien, moins souvent moyen, formées sur les argiles sableuses rouges du Tertiaire continental (S 51) et sur les calcaires lacustres (S 52) constituent les sites de prédilection pour les plages de salure. Cependant, elles s'observent également sur les collines encroûtées (versants-glacis) formées sur les marno-calcaires et autres roches calcaires tendres (S 50).

Elles restent plus rares, voire absentes, sur les autres types de glacis, particulièrement s'il s'agit d'un matériau très grossier (cônes de piedmont, alluvions-colluvions plus ou moins caillouteuses, etc.).

Le sol est pratiquement toujours un profil à horizon laminaire dont l'horizon A n'excède pas 30 cm d'épaisseur, habituellement moins de 20 cm; de même, la texture n'est jamais franchement grossière, mais généralement moyenne.

L'épaisseur des horizons d'accumulation reste faible, souvent moins de 1 mètre, au-dessus de substratum géologique. Ce dernier est indifféremment, soit très salé, soit peu salé avec une grande hétérogénéité dans la répartition et l'intensité de la salure en relation avec ses caractéristiques lithologiques et stratigraphiques.

Malgré la faible épaisseur du sol à croûte calcaire on ne retrouve pas en surface une répartition des plages telle qu'il soit possible d'établir une relation directe entre les plages et la salure de telle ou telle strate géologique sous-jacente. L'hypotèse envisagée un moment (POUGET, 1973) ne peut être retenue; il ne s'agit pas en effet d'une simple remontée "per ascensum" des solutions salines traduisant l'hétérogénéité de la salure du substratum géologique. La répartition des plages en fonction de la topographie en est la meilleure preuve.

3 - TOPOGRAPHIE.

Les plages de salure s'observent en effet dans les zones moyennes et surtout aval des toposéquences dont la pente reste faible (fig.61) :

- collines encroûtées (versants-glacis) sur roche calcaire tendre (pente < 2-3 %).
- surfaces encroûtées convexes et concaves (pente < 1 %).

Dès que la pente augmente, les plages disparaissent à l'extrémité aval (rupture de pente).

Néanmoins, on constate la présence de plages, parfois très nombreuses sur des surfaces subhorizontales : surfaces polygéniques du Quaternaire ancien et moyen formées sur les argiles sableuses rouges et surtout sur le calcaire lacustre du Tertiaire continental. Il semble qu'il y ait une localisation préférentielle sur le flanc des très faibles ondulations topographiques dont le fond est occupé par une daya ou un chenal de ruissellement.

4 - VEGETATION.

Les plages de salure s'observent pratiquement toujours dans les steppes à chamaephytes plus ou moins dégradées, avec ou sans alfa rélictuel : groupements de l'aride moyen à *Artemisia herba-alba*, *Noaea mucronata*, etc., (V 44, V 45). Elles persistent dans les maigres et épisodiques cultures de céréales (bordure Nord du Zahrez Gharbi); la salure, alors relativement moins élevée et moins localisée, se manifeste souvent par la présence d'espèces annuelles faiblement halophiles, différentes selon la texture :

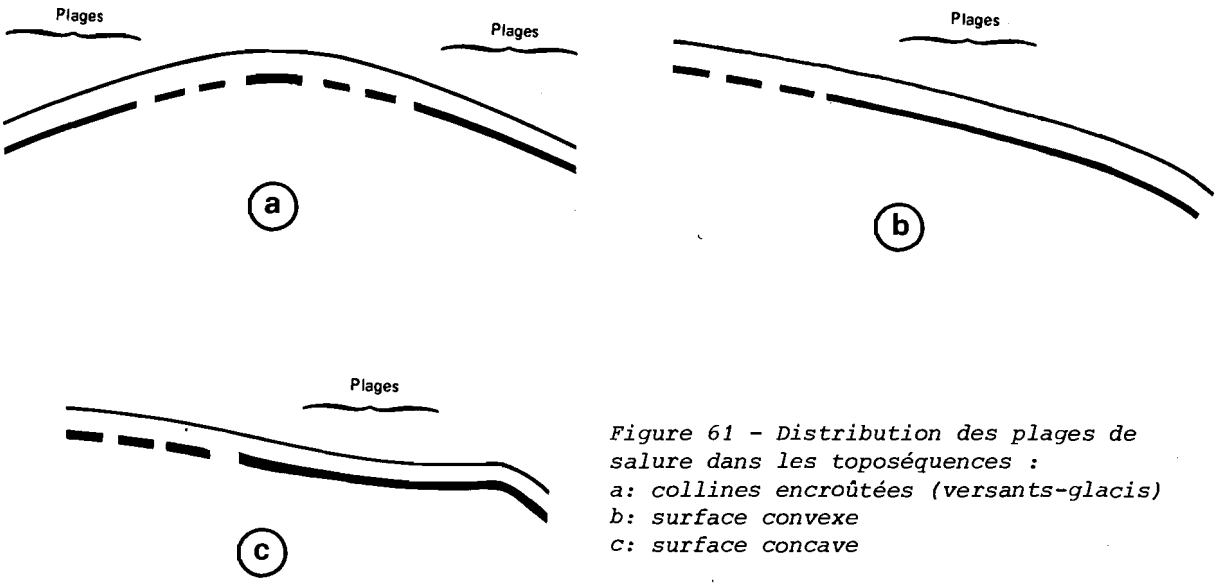


Figure 61 - Distribution des plages de salure dans les toposéquences :
a: collines encroûtées (versants-glacis)
b: surface convexe
c: surface concave

Spergularia diandra, Pholiurus incurvus, Aizoon hispanicum, Bupleurum semicompositum, etc.

Deux points importants retiennent l'attention :

- les zones situées à l'amont des plages de salure sur les surfaces encroûtées sont des steppes à alfa peu dégradées, éventuellement des steppes à chamaephytes à alfa rélictuel. Il est rare d'observer des plages dans une steppe à alfa; leur densité, alors faible, augmente vers l'aval dans les steppes à chamaephytes.
- la structure de la végétation dans la zone des plages de salure apparaît très hétérogène. On observe ainsi des espaces dénudés, correspondant aux plages elles-mêmes ou peut-être à d'anciennes plages actuellement non salées. Le tapis végétal s'organise en grands ensembles plus ou moins circulaires et imbriqués soulignant une répartition hétérogène et surtout une densité différente des principales espèces steppiques vivaces : *Artemisia herba-alba, Lygeum spartum, Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum, Atractylis serratuloides, Noaea mucronata,* etc.(cf. planche VII, 3 et 4).

C. HYPOTHÈSES SUR LA FORMATION DES PLAGES DE SALURE.

La distribution des plages dans les toposéquences prouve que leur formation résulte bien d'un processus pédologique aboutissant à des accumulations salines localisées et excessives. La dynamique des sels est étroitement dépendante de la dynamique de l'eau qui assure leur dissolution et leur transfert dans (et sur) le sol (1); bien plus solubles que le carbonate de calcium, ils sont encore plus sensibles à toutes les variations du régime hydrique.

En se plaçant dans les conditions de formation des plages de salure, c'est-à-dire dans le cadre d'une toposéquence de l'aride moyen (matériau faiblement salé, steppe, etc.), il est possible de formuler une hypothèse sur le mécanisme de leur formation.

L'hypothèse, étayée par les observations précédentes, consiste tout d'abord à envisager, dans ce cadre bioclimatique, une dynamique des sels en trois points de la toposéquence : (fig.63)

- point A à l'amont.
- point B à l'extrémité aval (rupture de pente).
- point C au niveau des plages de salure.

1 - DYNAMIQUE DES SELS ET FORMATION DES PLAGES DE SALURE.

+ Point A. Dans le tiers amont, les sols à croûte calcaire sans horizon laminaire, permettent une bonne infiltration de l'eau comme en témoignent le profil organique et le profil racinaire (dynamique de l'eau verticale et profonde). Les solutions empruntent préférentiellement les espaces interfeuillets qui forment un réseau plus ou moins anastomosé avec des rétrécissements et des "voies sans issues" se terminant en "coins" dans la masse encroûtée. La dissolution des sels est donc possible au moins jusqu'à la base de la croûte, même au delà en certaines occasions; une quantité relativement importante de sels est susceptible d'être ainsi mise en solution, surtout si le milieu est salé.

---

(1) La nappe phréatique, toujours à plusieurs dizaines de mètres, n'intervient en aucune façon.

Il ne s'agit évidemment pas d'entrer dans le détail de la dynamique des sels mais de constater un bilan global au niveau de l'horizon : dans les conditions bioclimatiques de l'aride moyen, la croûte présente effectivement une salure généralement plus élevée que les horizons sous-jacents (encroûtement, CCa) et que l'horizon A, toujours très peu salé.

+ Point B. A l'extrémité aval de la toposéquence, l'horizon laminaire très proche de la surface, réduit la profondeur effective du sol en bloquant la pénétration de l'eau et des racines, il réduit de ce fait les possibilités de mobilisation des sels. De plus, la pente contribue à accélérer la dynamique latérale des solutions sur le sol (ruissellement) et dans l'horizon Kh très poreux (dynamique subsuperficielle). Ainsi dans cet horizon, la macroporosité favorise l'écoulement par gravité d'une partie des solutions; en raison de la pente et de l'horizon laminaire, la direction de ce flux oblique vers l'aval. L'amplitude des déplacements latéraux dépend de nombreux facteurs (précipitations, pente, perméabilité, etc.).

Quoiqu'il en soit, les sels ne peuvent guère s'accumuler ni en surface, ni en profondeur. On constate effectivement à ce niveau de la toposéquence, les salures les plus faibles, aussi bien en surface que dans les horizons profonds.

+ Point C (plage de salure).

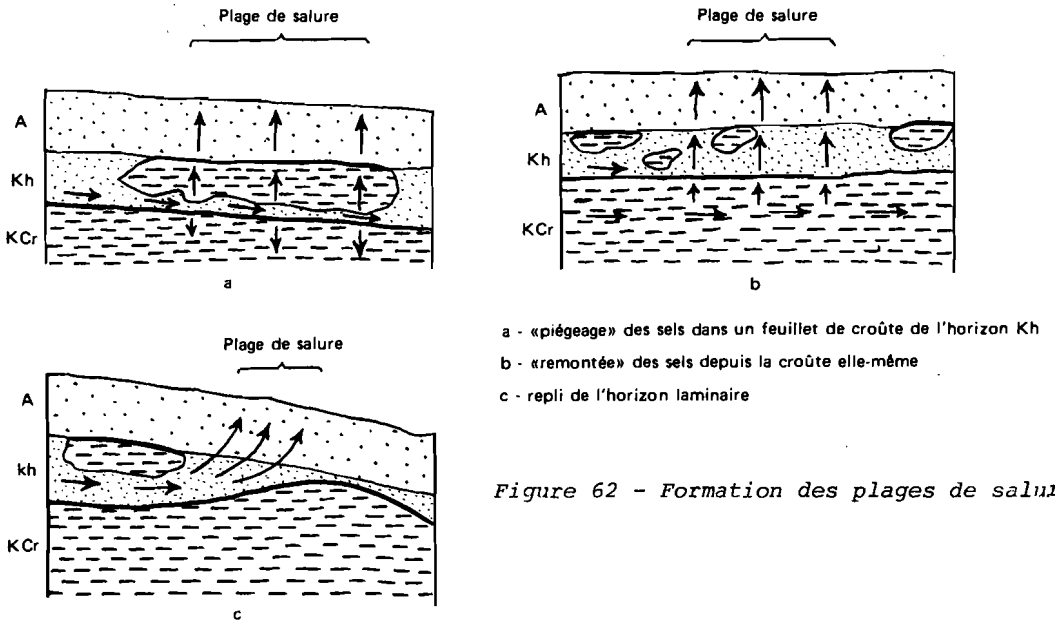
La présence de l'horizon laminaire limite tout autant les possibilités de mobilisation des sels aux dépens des horizons profonds. La dynamique des solutions reste latérale et subsuperficielle mais la pente devenant plus faible, le transit se ralentit alors que l'activité du système racinaire se maintient; les solutions ont tendance à se concentrer dans la matrice pulvérulente de l'horizon Kh où la densité racinaire est maximum et où transitent les sels venus de l'amont (1).

---

(1) Aux sels transitant depuis l'amont, s'ajoutent les sels provenant de l'altération des feuillets de croûte dans l'horizon Kh.

Dans un milieu aussi hétérogène, les concentrations salines comme les déplacements de solutions se font selon des chenaux préférentiels de la matrice pulvérulente. On y constate effectivement une très grande hétérogénéité dans la répartition de la salure qui peut devenir excessive.

En outre, les solutions diffusent lentement à travers la microporosité des feuillets de croûte; les sels se trouvent alors "piégés" et quittent pour un temps le circuit des espaces interfeuillets, leur dynamique plus ou moins gravitaire et surtout l'influence du système racinaire. Ils se concentrent dans les feuillets de croûte de Kh (fig.62 a et b).



a - «piégeage» des sels dans un feuillet de croûte de l'horizon Kh
b - «remontée» des sels depuis la croûte elle-même
c - repli de l'horizon laminaire

Figure 62 - Formation des plages de salure

Pour finir, certaines concentrations salines localisées dans la matrice pulvérulente, mais semble-t-il le plus souvent dans les feuillets de croûte, se retrouvent directement à proximité de la surface. Sous l'effet de l'évaporation,en début de saison sèche ou simplement après une période pluvieuse, les solutions peuvent traverser l'horizon A où la concentration se poursuit. Dans cet horizon peu calcaire, plus ou moins argileux, très différent de Kh, un échange de cations se fait : le sodium remplace le calcium sur le complexe absorbant. Il en résulte :

- d'une part, une augmentation du taux des chlorures alcalino-terreux, dont le chlorure de calcium très hygroscopique.
- d'autre part, une certaine dégradation de la structure devenant plus massive.

SERVANT (1975) souligne que ce processus d'échange de cations avec formation de chlorures alcalino-terreux dans les horizons de surface caractérise les mouvements "per ascensum" des solutions salines.

En définitive, les plages de salure apparaissent comme des "mèches évaporantes" qui révèlent jusqu'en surface les hétérogénéités de la salure de l'horizon Kh.

L'amorçage de cette mèche n'est pas toujours possible; il dépend de l'horizon A dont la texture ne doit pas être trop grossière (mulch), ni l'épaisseur trop grande (> 30 cm environ). Au niveau des chenaux de ruissellement, les apports d'eaux complémentaires limitent aussi les possibilités de remontée des sels.

Au contraire, tout ce qui tend à diminuer l'épaisseur de l'horizon A favorise l'apparition des plages (1) : érosion éolienne et surtout hydrique (ruissellement en nappe). Certains détails morphologiques sont déterminants comme un repli de l'horizon laminaire (fig.62c).

+ Conclusions.

En définitive, dans les conditions bioclimatiques de l'aride moyen, les sels, mobilisés en partie à l'amont, transitent le long de la toposéquence dans l'horizon Kh où ils s'accumulent en certains sites. Sous l'effet de l'évaporation, les solutions salines traversent l'horizon A et se concentrent en donnant naissance aux plages de salure. A l'extrémité aval de la toposéquence, les solutions salines transitent trop rapidement pour pouvoir s'accumuler, même localement.

---

(1) Les plages sont très nombreuses sur les pistes où l'horizon A est peu épais et surtout fortement tassé.

2 - DISCUSSION.

Si un tel schéma, ébauché pour la dynamique des sels, est plausible, il est en mesure de rendre compte de l'absence de plages de salure dans l'aride supérieur et dans l'aride inférieur, les conditions de sol, végétation et topographie étant sensiblement les mêmes.

+ Dans l'aride supérieur. (fig.63).

Dans les zones amont le régime hydrique se caractérise par une dynamique verticale plus accentuée que dans l'aride moyen. De fait, on constate une salure maximum, non plus dans la croûte, mais dans les horizons sous-jacents c'est-à-dire l'encroûtement et CCa. Les sels susceptibles de transiter le long de la toposéquence sont donc moins abondants alors que vers l'aval, dans l'horizon Kh, la dynamique latérale est à la fois moins superficielle et plus rapide. Les accumulations salines ne sont guère favorisées, les plages ne peuvent se former. D'ailleurs on vérifie que la salure de l'horizon Kh est plus faible et surtout moins hétérogène comparativement à l'aride moyen.

+ Dans l'aride inférieur. (fig.63).

Bien évidemment, la mobilisation des sels s'avère moins profonde et moins importante dans les zones amont. Le stock de sels disponibles pour migrer vers l'aval reste faible d'autant que l'altération des feuillets de croûte ne fournit qu'un appoint limité.

La dynamique latérale, certes plus superficielle, est surtout moins rapide. L'activité racinaire fortement ralentie diminue encore les possibilités de concentration des solutions salines; activement sollicitées par un déficit hydrique quasi permanent, les solutions paraissent "livrées à elles-mêmes", sans axes privilégiés qui puisse les canaliser. On constate ainsi des salures hétérogènes y compris dans l'horizon A, parfois importantes mais jamais excessives comme dans les plages étudiées ici.

+ Dans l'aride moyen, en définitive, tout se passe comme s'il existait à la fois :

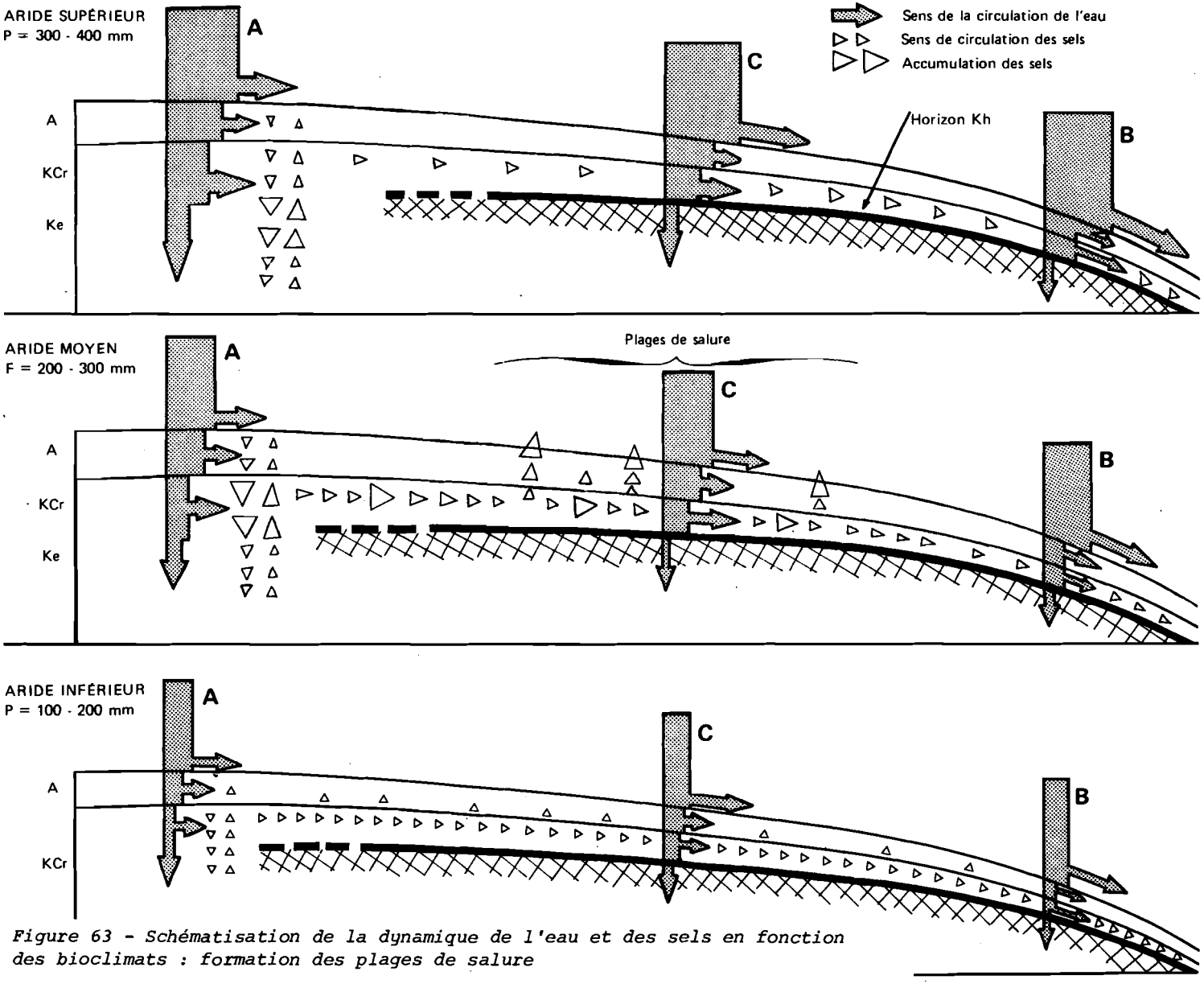


Figure 63 - Schématisation de la dynamique de l'eau et des sels en fonction des bioclimats : formation des plages de salure

- un optimum dans la quantité de sels disponible correspondant à un certain équilibre entre mobilisation et lixiviation verticale. Dans l'aride supérieur, le régime hydrique favorise une mobilisation importante des sels mais aussi leur lixiviation. Dans l'aride inférieur, au contraire, malgré une faible lixiviation, la mobilisation est trop faible pour assurer une disponibilité suffisante.
- une vitesse de transit des solutions ni trop rapide, ni trop lente pour permettre une accumulation localisée des sels dans l'horizon Kh.

Ni trop "humide", ni trop "sec" l'aride moyen présente un ensemble de caractéristiques climatiques bien spécifiques quant à la dynamique des sels et la formation des plages de salure. Il présente par conséquent un ensemble assez homogène de régimes hydriques que la végétation souligne effectivement en individualisant un sous-étage bioclimatique.

S'il en est réellement ainsi, il reste à expliquer pourquoi, dans l'aride moyen, les plages de salure sont absentes dans certaines conditions pédologiques et topographiques :

- la quantité de sels disponible est insuffisante :

. si l'horizon laminaire se trouve sur l'ensemble de la surface encroûtée, y compris les zones amont, tout en étant très épais et induré . Ceci est souvent le cas pour les surfaces les plus anciennes, presque horizontales, où les dalles sont pratiquement continues et imperméables.

. si le matériau encroûté est très caillouteux. En effet, il s'agit d'un milieu soit imperméable aux racines et aux solutions (croûte conglomératique massive très peu feuilletée) soit au contraire trop perméable et trop hétérogène pour permettre une accumulation saline en surface.

Ceci montre la nécessité d'un matériau relativement homogène et fin.

- la vitesse de transit est trop rapide si la pente dépasse un certain seuil (environ 2-3 %, parfois plus). Si, au contraire, la vitesse est trop lente (surfaces concaves), les sels s'accumulent alors dans la croûte au-dessous de l'horizon laminaire (fig.62b).

D. CONCLUSIONS.

De cette étude, se dégagent deux séries de conclusions concernant la formation des plages et les conséquences d'une telle manifestation de la salure sur la végétation et les sols.

1 - FORMATION DES PLAGES DE SALURE.

Outre les facteurs liés aux sols (types de matériau, morphologie de la croûte, nature de l'horizon A, etc.) et à la situation topographique, les bioclimats et la végétation jouent un rôle déterminant.

+ L'influence des bioclimats s'avère particulièrement importante. En individualisant aussi nettement l'aride moyen, les plages de salure apportent un argument pédologique pour confirmer les seuils bioclimatiques établis par l'analyse phytoécologique. Ceci ne constitue pas une surprise car les plages expriment et surtout révèlent un certain type de régime hydrique ni trop "humide", ni trop "sec" par lequel la végétation "climatique" se trouve concernée. Ce type de régime hydrique correspond à une pluviosité comprise entre 200 et 300 mm environ, c'est-à-dire la zone "centrale" des steppes, la plus importante en superficie et semble-t-il la plus caractéristique, entre les régions semi-arides et les régions sahariennes.

+ L'influence de la végétation steppique se manifeste par son système racinaire dont le rôle est essentiel dans la mobilisation, le transit et l'accumulation des sels.

Ce rôle de la végétation s'exerce aussi indirectement en "préparant" les voies de transit privilégiées empruntées par les solutions salines : espaces interfeuillets et horizon Kh.

En définitive, sur ces sols à croûte calcaire les plages de salure traduisent un certain niveau d'équilibre quant à l'influence des bioclimats et l'influence de la végétation.

2 - CONSEQUENCES SUR LES SOLS ET LA VEGETATION.

+ Facteur et preuve de pédogénèse.

Les plages révèlent une très grande hétérogénéité de la salure dans les sols à croûte calcaire de l'aride moyen; non seulement dans l'horizon A mais surtout dans l'horizon Kh et les espaces interfeuillets. Sur quelques dizaines de centimètres la conductivité passe de 1-3 à 10-30 mmhos-cm, souvent plus, sans pour autant qu'elle se manifeste en surface. Ces différences sont particulièrement sensibles dans la matrice pulvérulente. Des salures aussi élevées augmentent la solubilité du carbonate de calcium et favorisent sa dynamique actuelle (1). Elles amplifient l'influence du système racinaire dans les horizons Kh et les espaces interfeuillets (litholyse de la croûte, formation de l'horizon laminaire, etc.).

Sur les surfaces encroûtées de l'étage aride, les plages de salure apportent la preuve d'une dynamique des sels, donc aussi de l'eau et du carbonate de calcium, largement modulée par les bioclimats :

- dans l'aride supérieur (P > 300 mm), les sels s'accumulent à la partie inférieure de la croûte ou sont entraînées latéralement vers les axes de drainage.
- dans l'aride moyen, les plages soulignent un ralentissement de cette dynamique verticale et latérale : les sels s'accumulent à la partie supérieure de la croûte et se sont pas complétement évacués de la surface des glacis.
- dans l'aride inférieur (P < 200 mm), la dynamique des sels, comme celle de l'eau, est fortement ralentie; elle ne parvient pas à se hiérarchiser et à s'organiser.

---

(1) La présence de magnésium peut favoriser la formation de cristaux allongés de calcite.

+ Facteur de dégradation du couvert végétal et des sols.

Si au niveau de la composition floristique des groupements végétaux, les plages de salure n'ont pas d'incidence marquée, malgré la présence éventuelle de quelques espèces annuelles plus ou moins halophiles, il n'en est pas de même pour la structure et la dynamique du couvert végétal. Incontestablement on observe une destruction localisée de la végétation au niveau des plages elles-mêmes et son absence au niveau de certains espaces actuellement non salés (anciennes plages de salure ?). En outre, la répartition des principales espèces steppiques se fait d'une façon très hétérogène sur ces surfaces encroûtées.

La réduction, même localisée, du couvert végétal et la dégradation des propriétés physico-chimiques de l'horizon A (salure, dégradation de l'état structural, compacité, etc.) constituent un ensemble de conditions propices à l'action de l'érosion hydrique; le ruissellement en nappe tend à réduire peu à peu l'épaisseur de l'horizon A. Ce faisant, il favorise la manifestation de la salure en surface.

Les plages de salure créent donc les conditions de leur formation ou tout au moins de leur maintien, sinon de leur extension. On entrevoit un mécanisme auto-entretenu dans le sens d'une dégradation croissante des sols et de la végétation qui doit s'adapter à une péjoration des conditions de milieu (salure, profondeur moindre des sols, mauvaise structure, etc.).

Dans l'aride moyen, le remplacement de la steppe à alfa, dans les zones aval des toposéquences, par les steppes à chamaephytes (*Artemisia herba-alba, Helianthemum hirtum* ssp. *ruficomum, Noaea mucronata,* etc.) pourrait être en relation avec ce processus mais aussi en relation avec la présence de l'horizon laminaire sur les surfaces encroûtées du Quaternaire ancien et polygénique.

De toute façon les plages de salure apparaissent comme un stade dans un processus de dégradation localisée, mais pratiquement irréversible, des sols et du couvert végétal; ce sont des caractéristiques majeures des phénomènes de désertisation qu'il serait dangereux des sous-estimer d'autant qu'ils intéressent des superficies importantes.

Chapitre V

RESUME ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES

RÉSUMÉ

Le but de ce mémoire était de préciser les deux volets classiques de la problèmatique des relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises où la végétation naturelle apparaît comme une composante majeure du milieu : le sol exerce une influence sélective sur la végétation et inversement la végétation influence le sol. Pour atteindre ces objectifs une double démarche est utilisée au terme d'une longue série d'études cartographiques à 1/100.000 (pédologie, géomorphologie, groupements végétaux, aptitudes du milieu à la mise en valeur) :

- la démarche phytoécologique a pour but de mettre en évidence les variables édaphiques actives, c'est-à-dire les facteurs édaphiques dont l'action est déterminante sur la répartition des espèces dans les communautés végétales. Cette recherche des facteurs édaphiques ne peut se concevoir que dans un cadre général végétation-milieu tenant compte de l'ensemble des facteurs écologiques, climatiques et anthropiques en particulier.
- la démarche pédogénétique, moins évidente au départ surtout en milieu aride, conduit à déceler les processus actuels de pédogénèse qui expriment plus particulièrement une influence de la végétation sur les sols, au-delà de son action bien connue de protection contre l'érosion éolienne et hydrique. A défaut de pouvoir cerner directement dans le temps les processus de pédogénèse, l'observation du milieu naturel permet d'enregistrer dans l'espace les variations morphologiques et analytiques des sols provoquées par différents types de végétation, les autres facteurs du milieu restant sensiblement constants.

L'une et l'autre démarches ont nécessité une bonne connaissance des sols et de la végétation mais aussi du milieu physique dans lequel il évoluent et dont ils sont tributaires : que ce soit le climat, la géologie ou la géomorphologie sans oublier pour autant l'influence humaine, autre composante majeure qui devient de plus en plus déterminante.

1 - LE SOL, FACTEUR EDAPHIQUE.

La mise en évidence des facteurs édaphiques par la démarche phytoécologique s'effectue en trois étapes successives: collecte des données végétation-milieu, constitution d'un fichier de données et traitement en ordinateur par différentes méthodes (analyses fragmentaires et analyses multidimensionnelles).

+ Collecte des données végétation-milieu.

Sur le terrain l'observation conjointe du sol et de la végétation se fait par l'intermédiaire d'un relevé associé systématiquement à un profil de sol. Le choix de l'emplacement du relevé procède d'un triple accord d'homogénéité et de représentativité concernant la situation géomorphologique, le sol et la végétation.

L'échantillonnage, réalisé dans le cadre d'une cartographie, est de type exhaustif. Il en résulte un inventaire relativement complet des principaux milieux écologiques composant les steppes sud-algéroises avec des références aux zones telliennes plus humides et aux zones désertiques sahariennes. L'ensemble des relevés s'inscrit ainsi dans une vaste séquence bioclimatique Nord-Sud d'aridité croissante.

+ Constitution d'un fichier végétation-milieu (1210 relevés).

Chaque relevé est caractérisé par des variables concernant la végétation et le milieu.

- la végétation est prise en compte par deux séries de données très différentes :

. les données générales, types de formations végétales et de groupements végétaux, ne participent pas directement à l'analyse dans la mesure où elles ne sont pas suffisamment définies.

. les données floristiques, correspondent à la composition floristique de chaque relevé avec une restriction importante. En effet, seulement 350 espèces sont retenues sur plus d'un millier que contient effectivement l'ensemble des relevés. Plusieurs raisons motivent ce choix " à priori" contraire à la démarche phytoécologique:

nombre important de relevés incomplets dus à des périodes de prospections défavorables, objectifs de l'étude axée sur les facteurs édaphiques. Quant au choix lui-même des 350 espèces, il est guidé par une priorité accordée aux espèces vivaces, aux espèces de détermination claire sinon commode et aux espèces dont la bibliographie a montré l'intérêt dans une étude des facteurs édaphiques.

- le milieu est décrit par 16 variables qualitatives représentant les données climatiques (3 variables) et édaphiques (13 variables).

. les données climatiques comprennent la pluviosité (P), et les températures (m, M'). Chaque relevé est ainsi intégré dans des classes de pluviosité et de températures. Il s'agit le plus souvent d'une interpolation basée à la fois sur les gradients de variations (altitude, exposition, etc.) et sur la végétation elle-même.

. les données édaphiques sont représentées par :

= des données synthétiques avec 2 variables, la situation géomorphologique et la famille de sol.

= et par des données plus analytiques soit 11 variables correspondant aux caractéristiques morphologiques (nomenclature) et physico-chimiques de l'horizon de surface: texture, matière organique, pF 4,2, pF 2,5, conductivité, calcaire, gypse et pH . On ajoute également deux variables qui précisent la présence éventuelle d'un recouvrement éolien et d'une nappe phréatique.

La situation géomorphologique comprend 11 classes ou unités géomorphologiques facilement identifiables sur le terrain et représentatives de milieux écologiques bien tranchés. Les unités retenues intègrent pour une part un panorama du relief allant progressivement des zones hautes bien drainées (djebels) aux zones basses mal drainées avec en intermédiaires les piedmonts encroûtées et les zones alluviales : versants de pente élevée à faible formés sur le substratum géologique, surfaces encroûtées du Quaternaire ancien, surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire moyen à récent, formations éoliennes, terrasses anciennes, terrasses récentes, zones d'épandage et de débordement des oueds, chenaux d'oueds alluvionnés, dayas et dépressions à nappe phréatique.

Ces unités expriment donc un gradient de drainage externe mais aussi une certaine chronologie des formations et dépôts quaternaires. Le système s'articule et se complète avec les familles de sols qui précisent de nombreuses caractéristiques géomorphologiques, telles que les types de glacis ou de formations, et lithologiques comme la nature du substratum géologique.

La famille de sol exprime une double indication :

- elle précise les caractères du sol hérités de la roche-mère (texture,calcaire, etc.), et la situation géomorphologique.
- elle intègre les caractères des unités taxonomiques supérieures auxquelles elle se rattache dans la classification française des sols.

Cette double indication synthétise l'ensemble du profil sans pour autant être sous une dépendance trop étroite d'un système de classification qui reste discutable.

Les variables analytiques concernant l'horizon de surface sont découpées en classes déterminées en fonction de leur influence présumée sur l'écologie des espèces, telles que l'expérience et la bibliographie peuvent l'indiquer, et de certaines limites utilisées en pédologie et qu'il est commode de reprendre.

- l'influence humaine, difficile à qualifier d'une façon précise, apparaît indirectement par les types de formations végétales, classés en fonction d'une dégradation croissante des forêts-matorrals aux cultures, et par la nomenclature de l'horizon de surface (horizon de labour Ap).

+ Traitement des données.

A partir d'observations stationnelles, les 1210 relevés, le traitement a pour but d'établir les relations entre espèces, ou mieux groupes d'espèces, et telle ou telle variable écologique matérialisant en l'occurence l'action de tel ou tel facteur écologique en particulier édaphique.

Une étape préliminaire consiste à apprécier la répartition de chaque espèce dans les différentes formations végétales et dans les différentes classes des variables climatiques et édaphiques caractérisant le milieu. Pour cela le taux de fréquence relative (TFR) s'avère très intéressant. Le TFR d'une espèce pour une classe d'une variable correspond au pourcentage de sa fréquence relative par rapport à la somme totale des fréquences relatives de l'espèce pour l'ensemble des classes de la variable considérée.

En fait l'essentiel des traitements repose sur l'analyse factorielle des correspondances (AFC).Les données écologiques sont intégrées de deux façons très différentes dans l'analyse AFC :

- soit on les intègre comme variables supplémentaires dans une matrice ESPECES-RELEVES (ESP-REL). Les espèces se regroupent uniquement sur le critère de la composition floristique des relevés. On se place ainsi dans le cadre d'une étude phytosociologique. Les données écologiques permettent une "interprétation" écologique des axes factoriels et la mise en évidence des relations groupes d'espèces-variables écologiques.
- soit on les intègre directement dans une matrice ESPECES-ECOLOGIE (ESP-ECO). Les espèces se regroupent, non plus en fonction de leur affinité sociologique, mais de leur écologie.

Plusieurs analyses de ce type sont effectuées en prenant soit les familles de sols soit la totalité des 16 variables écologiques climatiques et édaphiques. Chaque espèce est alors représentée par sa fréquence absolue (ESP-SOL; ESP-ECO FA) ou par son taux de fréquence relative (ESP-ECO TFR). Bien que séduisante une telle méthode offre de sérieux inconvénients. Elle permet toutefois de valider le choix des variables écologiques retenues pour décrire le milieu.

Par contre, l'analyse ESP-REL conduit aux résultats les plus intéressants en particulier l'analyse globale. Elle consiste à prendre au départ la totalité des relevés et à effectuer ensuite une "cascade" d'analyses successives sur les sous-ensembles qui s'individualisent au cours de l'analyse : ESP-REL 1, ESP-REL 2, etc.

Le fichier végétation-milieu permet aussi d'effectuer des analyses partielles en prenant des ensembles de relevés représentant par exemple, une séquence sur un même substratum géologique (calcaires durs, grès, etc.), une même unité géomorphologique, une même formation végétale ou encore les relevés contenant tous une même espèce végétale, etc. Ces analyses partielles complètent utilement les résultats des analyses précédentes et illustrent par des exemples les possibilités d'utilisation du fichier végétation-milieu.

+ Résultats.

- La végétation se répartit en de grands ensembles floristiques, correspondant à de véritables milieux écologiques caractérisés par la nature et par l'importance relative des facteurs écologiques les uns par rapport aux autres. Ceci n'est pas pour surprendre. On retrouve ainsi : les milieux forestiers, les milieux steppiques avec les steppes climatiques et les steppes édaphiques (sols sableux, sols gypseux, dayas), les milieux cultivés, les milieux hydromorphes et halomorphes.
- Dans chaque milieu, l'individualisation d'espèces mais le plus souvent de groupes d'espèces (groupes écologiques) souligne l'influence exercée par tel ou tel facteur écologique, climatique, anthropique ou édaphique. Cette influence varie selon les milieux c'est-à-dire selon le niveau auquel se situent les autres facteurs. En conséquence, une récapitulation des facteurs édaphiques ne se conçoit qu'à l'intérieur des différents milieux.
- Pour chaque milieu écologique, les facteurs édaphiques et les groupes d'espèces ayant contribué à les mettre en évidence sont présentés sur un ou plusieurs tableaux : les tableaux des facteurs édaphiques. Leur réalisation procède d'une méthode certes empirique mais guidée et étayée par les résultats de l'analyse AFC et l'utilisation du TFR qui sert en outre à établir une fiche écologique pour chaque espèce végétale.
- Les facteurs édaphiques se subdivisent en deux ensembles principaux :

. les facteurs du bilan hydrique conditionnent les possibilités de réserves hydriques des sols et tous les processus nécessaires à la vie végétale. Ils sont de deux types : les apports d'eaux complémentaires, liés à certaines conditions topographiques et géomorphologiques particulières (eaux de ruissellement et nappe phréatique), et la rétention en eau du sol liée à des caractéristiques plus pédologiques (texture, matière organique, type de substrat).

. les facteurs chimiques soulignent l'influence du calcaire et surtout des horizons d'accumulation calcaire, de la salure et du gypse.

L'influence de chacun des facteurs est précisée dans les différents milieux écologiques : niveaux d'intensité de l'action du facteur et principaux seuils écologiques.

- Globalement les résultats obtenus concordent assez largement avec les travaux antérieurs réalisés en Algérie, mais aussi en Tunisie dans les zones analogues, par les phytosociologues et les phytoécologistes. Ceci est important pour lever l'hypothèque de l'utilisation d'une liste floristique restreinte. Dans le détail, les comparaisons s'avèrent difficiles car les critères édaphiques, habituellement retenus, sont formulés différemment ou le plus souvent de façon moins précise.

2 - LA VETETATION, FACTEUR DE PEDOGENESE.

L'analyse phytoécologique précédente fournit le cadre de l'observation du milieu en délimitant les bioclimats et en précisant la nature du couvert végétal. Elle facilite la démarche pédogénétique.

+ Végétation et matière organique dans les sols.

La répartition et la nature de la matière organique sont étudiées dans les sols bien drainés où la végétation naturelle est de type "climatique" : séquences de sols formés sur les versants (calcaires durs, grès, marno-calcaires) et sur les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien à récent, sols à croûte calcaire et siérozems. Sur ces sols la végétation naturelle est installée depuis longtemps même si elle subit les effet d'une dégradation par l'homme plus ou moins ancienne et importante.

Pour chacun de ces ensembles de sols on étudie, dans une séquence bioclimatique d'aridité croissante, l'influence de la végétation sur la matière organique : répartition dans les horizons de surface et dans l'ensemble du profil (profil organique), nature des composés humiques.

- Répartition de la matière organique.

. Dans les horizons de surface, on vérifie que le taux de matière organique diminue avec l'aridité du climat et la dégradation du couvert végétal dans le sens : forêts-matorrals, steppes à alfa, steppes à chamaephytes, cultures.

. Le profil organique, à horizon humifère Ah sous végétation forestière passe progressivement à un profil de type isohumique sous végétation de steppe.

Dans les sols à croûte calcaire, on observe que les espaces interfeuillets sont largement investis par les racines et les radicelles des espèces steppiques. Il en résulte un profil organique de type isohumique dont l'évolution se poursuit par la formation éventuelle d'un profil à horizon Kh qui souligne une double concentration, du système racinaire et de la matière organique, au-dessus de l'horizon laminaire Kl.

- Nature des composés humiques. L'étude se base sur 93 échantillons, horizons de surface et profils complets, analysés par la méthode DABIN. Les rapports entre composants (taux d'extraction, AH/AF, AHG/AH) font apparaître les différences stationnelles et montrent l'influence de tel ou tel facteur, et éventuellement le sens d'une évolution.

. Dans les horizons de surface, la nature des composés humiques est déterminée par les types de formations végétales et par les bioclimats : on met ainsi en évidence une évolution "convergente" des humus. La dégradation du couvert végétal et l'aridité croissante du climat agissent dans le même sens en favorisant la formation de composés stables et fortement polymérisés, acides humiques gris et humine (humine vraisemblablement de surévolution).

. Les horizons inférieurs montrent au contraire une évolution "divergente" des humus en fonction de la nature du matériau, en particulier de la présence ou de l'absence d'horizons d'accumulation calcaire. Dans ces horizons, l'influence du carbonate de calcium et des ions Ca^{++} devient prépondérante et se traduit par une prédominance d'acides fulviques "libres". Dans les horizons non ou peu calcaires, la proportion d'acides humiques gris devient très importante.

Les sols bien draînés à végétation steppique "climatique" plus ou moins dégradée sont des "sols analogues" et se caractérisent par un mull calcaire de steppe.

En définitive on montre une influence directe et indirecte de la végétation de steppe dans ces sols :

- comme source de matière organique, les différents types de formations végétales conditionnent en grande partie le taux, la répartition et la nature de cette matière organique.
- en agissant sur les caractéristiques du milieu et sur le pédoclimat, la végétation conditionne pour une part les processus de transformation de la matière organique, minéralisation et humification. Tout se passe comme si la végétation "retardait" les effets des rigueurs climatiques. Cette influence de la végétation diminue avec la dégradation du couvert végétal et une aridité croissante.

+ Végétation et morphologie des sols à croûte calcaire.

L'importance accordée au système racinaire conduit à distinguer deux types principaux de sols à croûte calcaire en fonction de la présence ou de l'absence d'un horizon laminaire Kl.

- La description détaillée de deux profils pédologiques, situés sur un même matériau homogène, permet :

. de préciser les caractéristiques morphologiques et micromorphologiques des deux types de sols à croûte calcaire.

. de confirmer la destruction des feuillets de croûte dans les horizons supérieurs, en particulier dans l'horizon Kh.

. de mettre en évidence dans les horizons d'accumulation calcaire un type de cristallisation de calcite en très fins bâtonnets, de l'ordre du micron, qui serait en relation avec l'activité du système racinaire.

Elle suggère enfin, compte-tenu de l'implantation du système racinaire, une dynamique de l'eau bien différente dans les deux types de profils : dynamique verticale et profonde dans les profils de type I, dynamique latérale et subsuperficielle dans les profils de type II à horizon laminaire.

- L'étude de leur distribution dans l'espace met en évidence les facteurs qui conditionnent la formation de l'horizon laminaire K1: âge de la surface encroûtée, nature du matériau, situation topographique, bioclimat et végétation. Ces observations permettent ensuite de préciser la formation de l'horizon laminaire et de proposer un schéma de son évolution dans le temps.

La végétation steppique exerce une influence importante dans ce processus. La nature des horizons encroûtées (âge de la surface encroûtée, nature du matériau) et les bioclimats modulent cette influence.

+ Végétation et plages de salure dans les sols à croûte calcaire.

Après une description rapide des plages de salure et l'étude de leur distribution dans l'espace, une hypothèse sur le mécanisme de leur formation est envisagée. Dans un tel mécanisme, la végétation steppique et en particulier son système racinaire joue un rôle non négligeable.

Sur ces sols à croûte calcaire, les plages de salure traduisent un certain niveau d'équilibre quant à l'influence des bioclimats et à celle de la végétation. Elles caractérisent la zone "centrale" des steppes, la plus importante en superficie, entre les régions semi-arides et les régions sahariennes. Cette zone correspond au sous-étage de l'aride moyen (P compris entre 200 et 300 mm). Les seuils bioclimatiques établis par l'analyse phytoécologique se trouvent donc confirmés par des critères pédologiques.

L'influence de la végétation steppique se manifeste par son système racinaire dont le rôle est essentiel dans la mobilisation, le transit et l'accumulation des sels.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Dès l'origine, cette étude sur les relations sol-végétation dans les steppes algéroises a eu pour but d'apporter une réponse à deux questions précises :

- quelles sont les caractéristiques du sol et de son environnement immédiat (topographie en particulier) qui exercent une influence déterminante sur la répartition des espèces dans les communautés végétales ?
- quelle est l'influence exercée par la végétation sur les processus actuels de pédogénèse en milieu steppique de plus en plus aride ?

Au terme de ce travail, il convient de récapituler les principaux résultats concernant, d'une part les facteurs édaphiques et d'autre part, les facteurs de pédogénèse relatifs à une action spécifique de la végétation. Ces résultats conduisent à proposer des conclusions plus générales qu'il est possible de regrouper en trois rubriques : la végétation, les sols et la dynamique du complexe sol-végétation.

LA VÉGÉTATION.

1 - LES GROUPES ECOLOGIQUES EDAPHIQUES.

Ces groupes d'espèces matérialisent l'action des facteurs édaphiques sur la composition floristique des communautés végétales. Pour la plupart, ils correspondent sensiblement aux groupes reconnus par de nombreux auteurs. Toutefois ils sont définis ici dans les différents milieux écologiques en fonction de critères édaphiques précis, compte tenu des autres facteurs écologiques climatiques et anthropiques. Ainsi les groupes liés aux sols à horizon d'accumulation calcaire situé à moins de 50 cm de profondeur sont indiqués, d'une part dans les milieux forestiers, et d'autre part dans les steppes climatiques en fonction des différents bioclimats. Il en est de même pour les groupes psammophiles, etc.

2 - FACTEURS EDAPHIQUES.

Les résultats obtenus ont permis de dresser un inventaire et d'esquisser une classification des principaux facteurs édaphiques dont l'influence est précisée dans les différents milieux écologiques.

Le mode d'action des facteurs édaphiques peu être illustré par quelques exemples :

+ Chaque facteur est caractérisé par des classes qui marquent des seuils d'activité, c'est-à-dire des seuils écologiques.
  - Classes de profondeur de la nappe phréatique :
    . nappe peu profonde : < 120-150 cm.
    . nappe moyennement profonde : # 2 m.
    . nappe profonde : 2-6 m.
  - Classes texturales en fonction du pourcentage d'éléments fins (A + LF %).
    . texture très grossière : A + LF < 5.
    . texture grossière : 5 < A + LF < 20.
    . texture moyenne : 20 < A + LF < 40.
    . texture fine : 40 < A + LF < 70.
    . texture très fine : 70 < A + LF < 100.
  - Classes de salure :
    . salure très faible : < 2-3 mmhos-cm.
    . salure faible : 2/3 à 7/8 mmhos-cm.
    . salure élevée : 7/8 à 32 mmhos-cm environ.
    . salure très élevée : > 32 mmhos-cm.
  - Classes de profondeur des horizons d'accumulation calcaire (0-50 cm, > 50 cm), etc.

+ Certains facteurs se manifestent à un niveau d'intensité parfois très élevé contribuant à masquer plus ou moins complètement l'influence des autres facteurs écologiques :

salure très élevée et profil salin ascendant (hypersolonchaks), encroûtement gypseux de surface, texture très grossière (dunes).

+ Plus généralement l'action d'un facteur est conditionnée par les niveaux auxquels se situent les autres facteurs :
  - L'action d'une nappe peu profonde dépend de sa salure; celle d'une nappe moyennement profonde varie en fonction de la texture du sol.
  - L'influence d'une texture très fine à fine diffère selon la situation géomorphologique (dayas, versants marneux), l'intensité de la salure, le type de profil salin, etc.
  - Une salure même supérieure à 7/8 mmhos-cm peut ne pas être révélée par le groupe des halophiles vivaces si le profil est trop "sec".
  - Bien que très proches de la surface, à moins de 50 cm, les horizons d'accumulation calcaire ne se manifestent pas dans la composition floristique des communautés végétales si les sols bénéficient d'apports d'eaux de ruissellement, etc.

+ L'influence des ions dépend de leur toxicité et de leurs proportions relatives :
  - Les ions Cl^- jouent un rôle important et limitant pour les espèces non halophiles dès que le rapport Cl/SO_4 dépasse l'unité, ce qui dans la région étudiée s'observe habituellement pour les conductivités supérieures à 7/8 mmhos-cm.
  - Par contre, les ions SO_4^{--} se manifestent si $Cl/SO_4 < 1$ pour des conductivités comprises entre 2/3 et 7/8 mmhos-cm, même si le sol n'est pas gypseux.

+ Un facteur est susceptible d'en remplacer un autre ce qui permet de pallier une insuffisance du bilan hydrique par exemple. Outre l'alfa, les cas sont nombreux :
  - Le sparte (*Lygeum spartum*) se localise sur les versants marneux bien drainés des régions telliennes subhumides et semi-arides alors qu'il tend à se cantonner dans les stations les plus humides de l'aride inférieur : sols sableux et zones recevant des appoints d'eaux de ruissellement, dayas et chenaux d'oueds alluvionnés notamment.

- Les "betoums" (*Pistacia atlantica*) se "perchent" sur les versants gréseux de l'aride supérieur pour "redescendre" dans les chenaux d'oueds alluvionnés de l'aride moyen et les dayas de l'aride inférieur.

3 - ASPECTS METHODOLOGIQUES.

Cette étude apporte un exemple d'acquisition, d'organisation et de traitement informatique de données végétation-milieu relatives à un domaine écologique très vaste et varié, représentatif des steppes sud-algéroises et, pour une large part des steppes algériennes.

Plusieurs aspects méthodologiques s'avèrent particulièrement importants à souligner dans la démarche phytoécologique utilisée :

+ Il apparaît qu'à ce niveau de perception, celui de la station écologique, la prise en compte des critères édaphiques est possible avec un nombre réduit de variables. De ce point de vue, l'apport du pédologue a été déterminant pour définir deux variables synthétiques et complémentaires, la famille de sol et la situation géomorphologique. Elles permettent d'intégrer les conditions topographiques générales et les principales caractéristiques de l'ensemble du profil pédologique, en particulier celle des horizons de profondeur. Elles complètent les données concernant l'horizon de surface, qui, habituellement, sont les seules à être prises en compte. Il reste que le problème de l'intégration des données relatives aux différents horizons d'un profil n'est pas pour autant résolu dans les analyses phytoécologiques.

+ En permettant de se situer d'emblée dans le cadre d'une étude phytosociologique, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) offre la possibilité d'une interprétation écologique des résultats, sans le préalable d'une connaissance précise des groupements végétaux. Dans l'analyse, les variables écologiques intégrées en variables supplémentaires, n'altèrent pas les regroupements d'espèces, ni de relevés; ils servent d'ailleurs aux phytosociologues pour mettre en évidence les groupements végétaux eux-mêmes.

+ L'utilisation des méthodes multidimensionnelles, rendue possible par l'ordinateur, fait apparaître les relations entre les grands ensembles floristiques et par voie de conséquence entre les différents milieux écologiques. Elle les situe dans un vaste "panorama synthétique" (BONIN, 1978) qui englobe la totalité des steppes sud-algéroises et permet de visualiser les principaux gradients et facteurs écologiques (fig.40).

+ Avec des ensembles à traiter aussi importants et aussi variés, l'analyse globale doit être complétée par des analyses partielles portant sur un nombre plus restreint de relevés choisis en fonction des résultats déjà obtenus et des objectifs de l'étude.

+ L'utilisation du taux de fréquence relative (TFR) apporte des précisions intéressantes sur l'autoécologie des espèces végétales. Les fiches écologiques facilitent une première comparaison rapide et commode de l'écologie de plusieurs espèces.

+ On constate qu'un seul type de traitement reste insuffisant pour obtenir une expression satisfaisante de l'influence des facteurs édaphiques. La combinaison des résultats de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et du taux de fréquence relative (TFR) conduit à une construction graphique de tableaux des facteurs édaphiques.Pour chaque milieu écologique ils synthétisent et indiquent :

- la nature des facteurs édaphiques.
- la composition des groupes écologiques ayant permis de mettre en évidence ces facteurs.
- les principales caractéristiques écologiques des espèces végétales appartenant à ces groupes.

LES SOLS.

1 - LES PROCESSUS ACTUELS DE PEDOGENESE.

Dans les zones où la végétation naturelle, plus ou moins dégradée par l'homme, est de type climatique, les processus actuels de pédogénèse se rapportent à des processus liés au régime hydrique des sols.

J'ai montré ainsi;

- une évolution de la matière organique dans l'ensemble de ces sols bien drainés, de texture généralement moyenne, formés sur les versants (séquences sur calcaires durs, grès et marno-calcaires) et sur les surfaces plus ou moins encroûtées du Quaternaire ancien à récent, sols calcimagnésiques xériques à accumulation calcaire et siérozems.

- une dynamique du carbonate de calcium et des sels dans les horizons supérieurs des sols à croûte calcaire.

+ Les processus d'évolution de la matière organique, minéralisation et humification, sont réglés par l'action conjuguée du climat, de la végétation et de la nature du matériau, en particulier la présence d'horizons d'accumulation calcaire.

- Les processus de minéralisation diminuent avec l'aridité du climat qui réduit peu à peu les apports de matière organique fraîche, surtout lorsque la pluviosité devient inférieure à 200 mm/an. Ils diminuent également dans certains horizons de sols à croûte calcaire, horizons Kh et espaces interfeuillets, où la matière organique, comme le système racinaire, a tendance à se concentrer.

- Les processus d'humification deviennent au contraire plus importants pour conserver et stabiliser une faction croissante de la matière organique du sol, de moins en moins disponible pour la nutrition des plantes.

. Les horizons de surface se caractérisent par une évolution convergente des composés humiques sous la dépendance des bioclimats et des types de formations végétales. Au fur et à mesure que les conditions de milieu se détériorent, en raison de la dégradation du couvert végétal et d'une aridité croissante, le processus de maturation s'accentue avec une proportion toujours plus élevée d'acides humiques gris et surtout d'humine vraisemblablement de surévolution.

. Dans les horizons de profondeur, l'évolution divergente des composés humiques souligne l'influence de la nature du matériau :

- les siérozems peu ou non calcaires se caractérisent par un humus de type "chernozémique" avec une très forte proportion d'acides humiques gris.

- dans les horizons à accumulation calcaire des sols calcimagnésiques le processus de "carbonatation" de l'humus indique une influence prépondérante du carbonate de calcium et des ions Ca^{++}.

+ Dynamique du carbonate de calcium et des sels dans les sols à croûte calcaire.

- L'évolution morphologique des sols à croûte calcaire se poursuit actuellement dans les zones où la pluviosité dépasse 200 mm/an. On constate à la partie supérieure du profil les effets d'une dynamique verticale et latérale du carbonate de calcium :

. les feuillets supérieurs de la croûte sont en cours de destruction dans les horizons A et Kh, mais aussi dans les espaces interfeuillets.

. les horizons laminaires se forment et évoluent à l'intérieur des sols, préférentiellement dans les parties aval des toposéquences.

Il en résulte un approfondissement du profil aux dépens des horizons supérieurs de la croûte qui paraît se reformer en profondeur par le processus d'épigénie calcaire que j'ai pu observer au moins localement. Ceci confirmerait donc le schéma proposé par RUELLAN *et al* 1977.

Le système racinaire de la végétation steppique vivace contribue efficacement à la dynamique du calcaire. Dans les horizons d'accumulation calcaire je montre que l'activité du système racinaire est associée à la présence d'un type particulier de calcite en très fins cristaux, de l'ordre du micron. Ces cristaux, qu'il conviendrait d'étudier plus en détail, joueraient un rôle important dans le colmatage des espaces interfeuillets, la formation des pellicules rubanées et des horizons laminaires.

La dynamique du calcaire est modulée par d'autres facteurs du milieu : âge de la surface encroûtée, nature du matériau et situation topographique.

- Les processus de salinisation, mis en évidence sur de très nombreuses surfaces encroûtées, confirment les principaux seuils bioclimatiques établis par l'analyse phytoécologique :

. dans l'aride supérieur (P compris entre 300 et 400 mm) les sels s'accumulent à la partie inférieure de la croûte ou sont entrainés latéralement vers les axes de drainage.

. dans l'aride moyen (P compris entre 200 et 300 mm) les plages de salure soulignent un ralentissement de cette dynamique latérale; les sels s'accumulent localement à la partie supérieure de la croûte au-dessus de l'ahorizon laminaire, et ils ne sont pas complètement évacués de la surface des glacis.

. dans l'aride inférieur (P compris entre 100 et 200 mm) la dynamique des sels, fortement ralentie comme celle de l'eau, ne parvient pas à se hiérarchiser.

2 - CLASSIFICATION DES SOLS.

+ La nature des composés humiques dans les horizons d'accumulation calcaire conduit à rattacher les siérozems encroûtés (à encroûtement calcaire) aux sols calcimagnésiques xériques à accumulation calcaire malgré un profil organique de type isohumique.

+ Les sols isohumiques tels que les siérozems se caractérisent surtout par la nature des composés humiques et non par le profil organique, l'isohumisme n'étant pas spécifique, ni de la végétation de steppe, ni de ce type de sol. Le terme de "sols isohumiques" ne paraît donc pas satisfaisant pour désigner cette classe.

+ Dans les steppes sud-algéroises, les siérozems représentent le terme extrême de la succession climatique des sols isohumiques. Fortement marqués par l'aridité du climat, particulièrement dans les horizons de surface, ils se rapprochent ainsi des sols calcimagnésiques xériques (sols analogues).

+ La classification des sols salsodiques (halomorphes) paraît satisfaisante; elle est utile pour l'étude des relations sol-végétation puisqu'elle intègre les facteurs édaphiques les plus importants : seuils d'intensité de salure, types de profils salins, texture et pour une part la présence de gypse.

LA DYNAMIQUE DU COMPLEXE SOL-VÉGÉTATION.

Dans les steppes sud-algéroises, les sols et la végétation se présentent comme un ensemble qu'il est possible de percevoir globalement. Le terme de complexe sol-végétation n'est pas trop fort pour désigner un faisceau de relations et d'interactions permanentes

En un lieu et à un instant donné, la végétation et le sol expriment d'une façon tangible un certain état d'équilibre, le plus souvent précaire, entre :

- les facteurs écologiques climatiques,anthropiques, édaphiques.
- et les facteurs de pédogénèse : climat, végétation, nature de la roche-mère, topographie et action de l'homme.

La dynamique du complexe sol-végétation correspond à la succession dans le temps de ces équilibres. Comme pour les groupements végétaux (cf. LE HOUEROU 1969), l'étude de la contiguité entre des états d'équilibres différents sur un substrat édaphique comparable permet d'apprécier dans l'espace la dynamique du complexe sol-végétation. L'étude conjointe des facteurs édaphiques et des facteurs de pédogénèse conduit à distinguer dans cette région deux ensembles de substrats où les équilibres du complexe sol-végétation sont soit de type stationnel soit de type climatique pour reprendre les termesde DUCHAUFOUR (1977), l'influence de l'homme étant partout sous-jacente, plus ou moins importante parfois déterminante.

1 - EQUILIBRES DE TYPE STATIONNEL.

Ces équilibres du complexe sol-végétation sont déterminés essentiellement par les conditions stationnelles plus que par le climat. Ils caractérisent les milieux dominés par les facteurs édaphiques et où les facteurs de pédogénèse sont en relation très étroite avec la nature de la roche-mère, une situation topographique particulière ou la présence de sels en excès.

- Dans les milieux hydro-halomorphes et halomorphes, c'est-à-dire essentiellement les sols hydromorphes et les sols halomorphes, l'équilibre sol-végétation est généralement stable en accord avec les conditions édaphiques.

Il peut être rompu par des variations d'ordre pédologique provoquées par des conditions climatiques saisonnières ou surtout exceptionnelles et par l'action de l'homme : fluctuations de niveau et de salure de la nappe phréatique, travaux de drainage ou d'irrigation, etc.

- Sur les sols à encroûtement gypseux de surface, la stabilité est telle que seule une intervention énergique de l'homme est en mesure de modifier profondément la dynamique du complexe sol-végétation. Le démantèlement de l'encroûtement gypseux pourrait en effet rétablir l'influence des horizons sous-jacents.
- Dans les dayas, l'équilibre sol-végétation reste aussi stable, surtout pour les sols de texture fine à très fine où les groupements végétaux très spécialisés ne varient guère. Chaque daya représente un milieu spécifique sous la dépendance du régime hydrologique, de la texture du sol et dans une certaine mesure des bioclimats.
- Dans les zones recevant des apports d'eaux de ruissellement la dynamique du complexe sol-végétation dépend des caractéristiques du sol (texture, profondeur, salure), de l'importance des apports, des bioclimats et enfin de l'homme. Son influence peut être déterminante pour améliorer le bilan d'eau et pour lutter contre l'érosion hydrique par des travaux appropriés.
- Sur les sols dunaires et sableux, l'équilibre très précaire dépend pour une large part de l'homme. En protégeant et en restaurant le couvert végétal il peut agir dans le sens d'une évolution progressive. En détruisant les espèces vivaces, il favorise au contraire une érosion des sols et une évolution régressive.

2 - EQUILIBRES DE TYPE CLIMATIQUE.

Les équilibres du complexe sol-végétation, conditionnés tout d'abord par le climat, caractérisent les milieux où la végétation naturelle est de type climatique ; les facteurs de pédogénèse tels que le climat, la végétation, l'action de l'homme mais aussi la nature du substrat exercent une influence déterminante.

+ Pour l'ensemble des sols, l'influence du climat se manifeste tout au long de la séquence bioclimatique par les effets d'une aridité croissante qui rend de plus en plus précaire l'équilibre sol-végétation :

. changement de la composition floristique.

. réduction de la biomasse végétale aérienne et souterraine.

. diminution du taux de matière organique en surface et dans l'ensemble du profil.

. stabilisation de plus en plus grande des composés humiques de moins en moins disponibles pour la nutrition des plantes.

. réduction de la rétention en eau des sols consécutive à la diminution du taux de matière organique et à la détérioration des caractéristiques de surface (battance, généralisation de la structure lamellaire, etc.) qui augmentent le ruissellement diffus et réduisent la profondeur des sols.

. généralisation de l'érosion éolienne pour les sols les plus sableux.

La dégradation du couvert végétal sous l'influence humaine produit des effets comparables à ceux d'une aridité croissante : réduction de la biomasse végétale, diminution du taux de matière organique, réduction de la rétention en eau des sols, etc. Ces effets seront d'autant plus grands que les différences sont plus importantes entre les termes extrêmes de la série de dégradation, des forêts-matorrals ou des steppes à alfa aux cultures. De ce point de vue les sous-étages bioclimatiques mis en évidence par l'analyse phytoécologique constituent des seuils remarquables :

- Dans l'aride supérieur, l'amplitude est maximum; la dégradation du couvert végétal par l'homme entraîne de profondes modifications des sols et de la végétation. Sur un même substrat, la composition floristique des groupements végétaux correspondant aux steppes à alfa se différencie nettement des steppes secondaires à chamaephytes. Inversement, une action de l'homme dans le sens d'une restauration ou tout au moins d'une conservation du couvert végétal aura un maximum d'efficacité.

Le climat "autorise" en effet une certaine influence de la végétation sur les sols et par là un certain niveau d'évolution progressive du complexe sol-végétation.

- Dans l'aride moyen, l'influence de la dégradation du couvert végétal s'avère relativement moins importante sur les sols et sur la végétation compte-tenu des différences entre les deux termes extrêmes de la série, steppes à alfa et cultures. La composition floristique des steppes à alfa se rapproche beaucoup de celle des steppes à chamaephytes sur un substrat comparable. Par contre, cette dégradation tend à devenir irréversible précisément à cause d'une influence accrue du climat. De ce fait, la marge d'intervention de l'homme, dans le sens d'une restauration se réduit peu à peu.

- Dans l'aride inférieur, y compris pour les steppes à alfa, les caractéristiques des sols sont telles (profondeur, matière organique, etc.) qu'une dégradation du couvert végétal n'a relativement que peu d'effets. Elle devient pratiquement irréversible, le climat ne permettant qu'une très faible influence de la végétation sur les sols. Les possibilités de restauration apparaissent très limitées et très longues.

+ Dans les sols à croûte calcaire les sous-étages bioclimatiques marquent également des seuils fondamentaux dans la dynamique du complexe sol-végétation.

- Dans l'aride supérieur le système racinaire de la végétation steppique vivace participe activement à l'approfondissement du profil de ce sol à croûte calcaire : destruction des feuillets supérieurs, formation et évolution des horizons laminaires encore relativement profonds. Cet approfondissement compense sensiblement les effets du ruissellement diffus (en nappe) qui décape la partie supérieure de l'horizon A. Pour la végétation de steppe, surtout une steppe d'alfa, le complexe sol-végétation représente un véritable système biogéodynamique en équilibre relatif. La mise en culture a pour conséquence un ralentissement important de l'évolution de la croûte. Celle-ci tend à devenir davantage un support pour le sol dont l'épaisseur diminue sans que le système racinaire puisse participer à l'approfondissemnet du profil.

Dans ces termes extrêmes de dégradation le sol est encore susceptible de permettre un retour à la végétation de steppe à chamaephytes, et même davantage si l'action de l'homme est suffisamment "volontaire" dans ce sens.

- Dans l'aride moyen, vers les zones plus arides, les processus de pédogénèse deviennent de plus en plus superficiels: l'horizon A est moins épais et l'horizon laminaire plus proche de la surface. Les sels s'accumulent localement à la partie supérieure de la croûte et se manifestent parfois en surface avec les plages de salure. Dans les zones aval des toposéquences, le remplacement des steppes à alfa par les steppes à chamaephytes (*Artemisia herba-alba, Helianthemum hirtum* ssp.*ruficomum, Noaea mucronata,* etc.) apparaît à la fois comme un effet et une cause des processus de salinisation et de la présence d'horizons laminaires, toujours plus proches de la surface en raison du décapage de l'horizon A par le ruissellement diffus. La destruction du couvert végétal par l'homme accentue encore cette dégradation pratiquement irréversible des sols.

  Le complexe sol-végétation exprime un système biogéodynamique en déséquilibre et en voie de désertisation particulièrement dans les zones de plages de salure qui représentent le stade le plus avancé d'un processus quasiment irréversible.Dans ces conditions, l'action de l'homme devient impérative et urgente pour freiner, sinon arrêter, une telle dégradation des sols et de la végétation.

- Dans l'aride inférieur, l'activité du système racinaire est insuffisante pour exercer une influence efficace sur la dynamique du calcaire et des sels. Seul le décapage de l'horizon A sera accéléré avec éventuellement des phénomènes de "steppe tigrée"qui soulignent l'importance du ruissellement en nappe. Le complexe sol-végétation arrive à un équilibre relatif grâce à un "système de défense" contre l'action de l'homme avec la généralisation des steppes à "Remt" (*Arthrophytum scoparium)* qui ne sont guère appréciées des animaux, à l'exception des dromadaires.

Bibliographie

ABROL I.P., KHOSLA B.K., BHUMBLA D.R., 1968 - Relationships of texture to some important soil moisture constants.
Géoderma (Amsterdam), 2,1 : 33-99.

AFANAS'YEVA Y.A., 1966 -
Pochvovedeniye, 6,1 (in DUCHAUFOUR, 1968).

ALCARAZ C., 1969 - Etude géobotanique du Pin d'Alep dans le Tell oranais.
Thèse de spécialité, Montpellier, 184 p.

ASSING I.A., 1968 - Serozems soils on the piedmont plains of Northern Tien Shan (Low-carbonate soils).
In Geography and Classification of soils of Asia (Translated from Russian).
Israel Program for Scientific translations, Jerusalem : 132-141.

AUBERT G., 1947 - Les sols à croûtes calcaires.
Conf. Pédol. medit., Montpellier-Alger : 330-332.

AUBERT G., 1960 - Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leur caractères, de leur utilisation et de leur conservation.
Actes Coll. UNESCO de Paris sur les problèmes de la zone aride : 127-150.

AUBERT G., 1965 - Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM.
Cah. ORSTOM sér. Pédol., III, 3 : 269-288.

AUBERT G. et BOULAINE J., 1972 - La Pédologie.
P.U.F. "que sais-je" n°352, 128 p.

BAGNOLD R.A., 1953 - The surface movement of blown sand in relation to meteorology.
Desert Research, Nat. Res. Council, Res. Public., Jerusalem n°2 : 89-93.

BAGNOULS F. et GAUSSEN H., 1957 - Les climats biologiques et leur classification.
Ann. Géogr. Fr., 355 : 193-220.

BALDY CH., 1965 - Climatologie de la Tunisie Centrale.
FAO-UNDP, TUN 8; I, 84 p; *II, Atlas : 20 cartes couleurs 1/1.000.000; III, Annexes.*

BARRY J.P., FAUREL L. et coll., 1968 - Carte de la végétation de l'Algérie, Ghardaïa (1/500.000).
Publiée par l'Inst. de Cart. de l'Univ. d'Alger.

BARRY J.P., FAUREL L. et coll., 1973 - Notice de la feuille de Ghardaïa : Carte de la végétation de l'Algérie à 1/500.00.
Mém. Soc. Hist. nat. Afr. N., 11, 125 p.

BARZANGI A.F., 1973 - Gypsiferous soils of Iraq.
Thèse State Un. of Gent, Belgium, 199 p.

BASSETO D. et COUMES F., 1967 - Série lithologique de Djebel El Azereg de Laghouat : Etude stratigraphique de la zone de passage Jurassique-Crétacé.
Publ. Serv. Géol. de l'Algérie; Bull., 35 : 13-20.

BASSETO D. et GUILLEMOT J., 1971 - Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000 d'Aïn Rich.
Publ. Serv. Géol. de l'Algérie, 74 p.

BAUDOIN R., BISCHLER H., JOVET-AST S., 1979 - Exemple d'exploitation informatique des données sur la végétation hépaticologique méditerranéenne.
Colloque Informatique et Biosphère, Paris, Mars 1979.

BAUDOIN R. et POUGET M. - à paraître 1979 - De l'utilisation du Taux de Fréquence Relative (TFR) dans l'analyse des correspondances appliquée aux données phytoécologiques.

BEAUDET G., MAURER G. et RUELLAN A., 1967 - Le Quaternaire marocain : observations et hypothèses nouvelles.
Rev. Géogr. Phys. Géol. dyn., IX, 4 : 269-309.

BEAUDET G., 1971 - Le Quaternaire marocain : état des études.
Rev. Géogr. du Maroc, 20 : 3-56.

BEAUDET G., 1972 - Le Plateau Central Marocain.
Rev. de Géogr. Phys. et de Géol. Dyn., XIV, 2 : 107-133.

BELAID R., 1967 - Les formations quaternaires du bassin versant du moyen Miliane.
*Soc. Sci. Nat. de Tunisie, Bull.*1.

BELKHODJA K., 1972 - Origine, évolution et caractères de la salinité dans les sols de la plaine de Kairouan (Tunisie centrale). Contribution à l'étude de leur mise en valeur.
Sols de Tunisie n°4, 105 p.

BELOUAM N., 1971 - Contribution à la connaissance des sols de la région de Souk Ouled Nadja (Hodna, Algérie).
Thèse Université de Gand, Belgique, 221 p.

BELOUAM N., BERAUD Fr., et CLAUDIN J., 1974 - Le synclinal d'El Bayadh. Etude écologique et propositions de mise en valeur.
Etude D.E.M.R.H., Alger, 22 p.

BELOUAM N., BERAUD Fr., et CLAUDIN J., 1975 - Etude écologique de la Z.D.I.P. d'El Biod (Méchéria).
Etude D.E.M.R.H., Alger, non diffusée.

BENZECRI J.P., 1964 - Sur l'analyse factorielle des proximités.
I.S.U.P. Paris.

BENZECRI J.P., et coll., 1973 - L'analyse des données.
Dunod, Paris, 2 tomes, 615 et 619 p.

BERAUD Fr., CLAUDIN J. et POUGET M., 1975 - Etude écologique de la Z.D.I.P. des Arbaouets.
Etude D.E.M.R.H., Alger, non diffusée.

BERSTEIN L., 1972 - Les sols halomorphes et leur végétation.
Actes Coll. UNESCO de Paris sur les problèmes de la zone aride: 151-190.

BIROT P., 1970 - Les régions naturelles du globe.
Masson, Paris, 380 p.

DE BOISEZON P., 1973 - Les matières organiques des sols ferrallitiques.
Doc. Tech. ORSTOM n°21 : 9-66.

BONIN G., 1978 - Contribution à la connaissance de la végétation des montagnes de l'Apennin centro-méridional.
Thèse Doc. Etat, Marseille, 318 p.

BORTOLI L., GOUNOT M. et JACQUINET J.C., 1969 - Climatologie et bioclimatologie de la Tunisie septentrionale.
Ann. Inst. nat. Rech. agron. Tunisie, 42,1 : 235 p.

BOTTNER P., 1970 - La matière organique des principaux types de sols sous l'étage bioclimatique du Chêne-vert dans le Midi de la France.
Sci. du Sol 1 : 3-18.

BOTTNER P., 1972 - Evolution des sols en milieu carbonaté. La pédogénèse sur roches calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du Sud de la France.
Sciences géologiques, Inst. de Géol. Strasbourg, Mém. n°37 : 156 p.

BOUHKRIS M. et LOSSAINT P., 1972 - Spécificité biogéochimique des plantes gypsophiles de Tunisie.
Oecol. Plant. Gauthiers-Villars, 7 : 45-68.

BOUKHRIS M., 1973 - Recherches écologiques et physiologiques sur les plantes gypsicoles de Tunisie.
Thèse Doct. Etat., Montpellier, 215 p.

BOULAINE J., 1953 - Les lunettes des basses plaines oranaises, formations éoliennes liées à l'extension des sols salins, la sebkha de Ben Ziane, la dépression du Chantrit.
Comm. au IV Congrès de l'INQUA, Rome-Pise.

BOULAINE J., 1957 - Etude des sols des Plaines du Chéliff.
Thèse Doct. Etat, Alger : 582 p.

BOULAINE J., 1961 - Sur le rôle de la végétation dans la formation des carapaces calcaires méditerranéennes.
C.R. Acad. Sc., 253 : 2568-2570.

BOULAINE J., 1961 - Observations sur les carapaces du piedmont saharien.
Travaux de l'Inst. Rech. Sah. Alger, XX, 1-2 : 79-89.

BOURGES J., FLORET C. et PONTANIER R., 1977 - Etude d'un milieu représentatif du Sud-Tunisien : "Citerne Telman".
Dir. des Ress. en Eau et en Sol, Tunis : 147 p.

BOYADGIEV T.G., 1975 - Les sols du Hodna.
PNUD/FAO Rome, Rapport tech. n°5 : 141 p.

BRIANE J.P., LAZARE J.J., ROUX M. et SASTRE C., 1974 - L'analyse factorielle des correspondances et l'arbre de longueur minimum; exemples d'application.
Adansonia, sér. 2, 14 (1) : 111-137.

BUOL S.W., 1965 - Present soil-forming factors and processes in arid and semi-arid regions.
Soil Sc. (Baltimore), 99,1 : 45-49.

BUREAU P. et ROEDERER P., 1961 - Contribution à l'étude des sols gypseux de la partie Sud du Golfe de Gabès.
Bull. Ass. Fr. Et. Sols, n°spec. : 150-176.

CALLOT G., CHAMAYOU H. et DUPUIS M., 1978 - Variations du pH de la solution de matériaux calcaires en relation avec la dynamique de l'eau. Eléments d'analyse d'un système carbonaté.
Ann. agron., 29 (1) : 35-37.

CAPOLINI J. et SARY M., 1969 - Etude géomorphologique du Chott Hodna: Zone Nord et Zone Sud.
Etude S.E.S. Alger, non diffusée.

CAPOT-REY R., 1939 - Pays de Mzab et région des Dayas. Etude sur le relief de la dorsale saharienne.
Ann. Géo., 271 : 41-62.

CARATINI C.L., 1967 - Evolution paléogéographique et structurale de la région de Chellala-Reibell.
Bull.de la Soc.Géol.de France, 7, IX, 6 : 850-858.

CARATINI C.L., 1970 - Etude géologique de la région de Chellala-Reibell.
*Publ.du Serv.Géol.de l'Algérie, Bull.n°*40, 307 p.

CELLES J.C.,1975 - Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie).
Thèse Doct.Etat, Nice, 364 p.

C.E.P.E.(oeuvre collective), 1966-1968- Carte phyto-écologique de la Tunisie septentrionale: Echelle 1/200.000; 5 feuilles ; 3 notices.
Ann.Inst.nat.Rech.agron. Tunisie, 39 (5), 40 (1) et 41.

C.E.P.E., 1968 - Relevé méthodologique de la végétation et du milieu.
CNRS, Paris, 292 p.

CHADENSON L., 1952 - Essai morphologique et tectonique sur le Pliocène supérieur en Afrique du Nord et sur les steppes nord sahariennes.
*Trav.IRS, VIII :*49-69.

CHAUMONT M.et PAQUIN C., 1971 - Carte pluviométrique de l'Algérie à 1/500.000 et notice explicative.
Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.du Nord, Alger, notice 24 p.

CHAVAILLON J., 1964 - Les formations quaternaires du Sahara Nord-occidental.
Publication du CNRS, Paris.

CHOULIARAS N., VEDY J.C. et JACQUIN F., 1975 - Fractionnement et caractérisation de la matière organique dans les rendzines.
Bull.de l'E.N.S.A.I.A., Nancy, XVII, 1 : 45-53.

CHOULIARAS N.et JACQUIN F., 1976 - Biodégradation et humification.
Bull.de l'E.N.S.A.I.A, Nancy, I et II, 18 : 61-70 et 71-80.

CLAUDIN J., LE HOUEROU H.N. et POUGET M.- à paraître 1979 - Etude bioclimatique des steppes algériennes (avec carte 1/1.000.000).
Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.du Nord, Alger.

CLAUDIN J., LE HOUEROU H.N.et HAYWOOD M., Etude phytoécologique du Hodna (Direction H.N. LE HOUEROU)
Publ. FAO, Rome, 154 p. *et 2 cartes couleurs 1/200.000.*

COMBEAU A., OLLAT C. et QUANTIN P., 1961 - Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrallitiques. Relations entre les rendements et les résultats d'analyses des sols.
Fertilité, 13 : 27-40.

CONRAD G., GEZE B. et PALOC H., 1967 - Phénomènes karstiques et pseudokarstiques au Sahara.
Revue Géog. phys. Géol. dyn., IX, 5 : 357-369.

COQUE R., 1962 - La Tunisie présaharienne (étude géomorphologique).
Thèse Fac. Let. Paris, Armand Colin, 488 p.

COQUE R., JAUZEIN A., 1965 - Le Quaternaire moyen de l'Afrique du Nord.
Bull. Ass. Fr. Et. Quat., Paris, 3 : 117-132.

CORDIER B., 1965 - Sur l'analyse factorielle des correspondances.
Thèse spécialité, Rennes ; 66 p.

CORNET G., 1952 - Etude hydrogéologique du bassin fermé des Zahrez Gharbi et Chergui.
XIX Congrés Géol. international d'Alger, II : 71-88.

C.P.C.S., 1967 - Commission de Pédologie et de Cartographie des sols.
Labo. de Géologie-Pédologie de l'E.N.S.A. Paris-Grignon, 87 p.

DABIN B., 1971 - Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol.
Sc. du Sol, 1 : 47-64.

DABIN B., 1976 - Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Applications à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux.
Cah. ORSTOM, série Pédologie, XIV, 4 : 287-297.

DAGET P.H., 1977 - Le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, modes de caractérisation.
Vegetatio, 34,1 : 1-20.

DAGNELIE P., 1960 - Contribution à l'étude des communautés végétales par l'analyse factorielle.
Bull. Serv. Carte phytogéogr., 5, (1) *et* (2) : 7-69 et 93-135.

DEKKICHE B., 1974 - Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique des eaux de la nappe.
Thèse Univ. Gand, Belgique, 210 p.

DEMOLON A., 1952 - Dynamique du sol.
Dunod, Paris, 520 p.

DESPOIS J., 1963 - Le Hodna.
P.U.F. Paris, 490 p.

DESPOIS J., 1964 - L'Afrique du Nord.
P.U.F. Paris. 622 p.

DJEBAILI S., 1970 - Etude phytoécologique des parcours de Tadmit.
Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, 61, 3 *et* 4 : 175-227.

DJEBAILI S., 1978 - Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des Hautes-Plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien.
Thèse Doct. Etat, Montpellier.

DREGNE H.E. and MAKER H.J., 1955 - Fertility levels of New Mexico soils.
N.N. Agric. Exp. Stn., Bull n°396.

DREGNE H.E., 1976 - Soils of Arids regions.
Elseviers scientific publishing compagny, Amsterdam, 237 p.

DRESCH H., 1949 -Sur les pédiments en Afrique Méditerranéenne et tropicale.
*Congrès Int.Géogr.Lisbonne.*t II : 19-28

DRESCH H., 1954 - Formes et limites climatiques et paléoclimats en Afrique du Nord.
Annales géographiques n°335; 56-59

DRESCH H., 1957 - Pédiments et glacis d'érosion, pédiplaines et inselberg.
Information géographique, XXI, 5; 183-196.

DUBIEF J., 1959 - Le climat du Sahara : tome I.
Inst. Rech. Sah. Mém. h.s., 314 p.

DUBIEF J., 1963 - Le climat du Sahara : tome II.
Inst. Rech. Sah. Mém. h.s, 275 p.

DUBUIS A. et SIMONNEAU P., 1954 - Contribution à l'étude de la végétation de la région d'Aïn Skrouna (Chott Chergui Oriental).
S.E.S., Alger, 124 p.

DUCHAUFOUR P.H., 1968 - L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils.
Masson, Paris, 93 p.

DUCHAUFOUR P.H., 1970 - Précis de Pédologie.
Masson et Cie, Paris, 481 p.

DUCHAUFOUR P.H., 1976 - Principes d'une classification écologique des sols.
Agrochimica, XX, 4-5 : 313-323.

DUCHAUFOUR P.H., 1977 - Pédologie. Tome I : pédogénèse et classification.
Masson, Paris, 477 p.

DURAND J.H., 1953 - Etude hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie.
Publ. Couv. Gén. Algérie; S.E.S., Alger, 209 p.

DURAND J.H., 1954 - Les sols d'Algérie.
S.E.S., Alger, 243 p.

DURAND J.H., 1959 - Les sols rouges et les croûtes en Algérie.
S.E.S., Alger, 188 p.

DURAND R., 1978 - La pédogénèse d'une rendzine encroûtée développée sur la craie à poches de cryoturbation en Champagne.
Thèse Doct. Etat, Strasbourg.

DUTIL P., 1971 - Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara.
Thèse Doct. Etat, Strasbourg, 346 p.

EMBERGER L., 1930 - La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux.
Revue gén . Bot . 42 : 641-662 et 705-721.

EMBERGER L., 1951 - Rapport sur les régions arides et semi-arides de l'Afrique du Nord. Bases écologiques de la régénération de la végétation des zones arides.
U.I. Sc. Biol., Stockholm.

EMBERGER L., 1955 - Une classification biogéographique des climats.
Trav. Inst. Bot., Montpellier, 7 : 3-43.

EMBERGER L., 1957 - Les études phytosociologiques entreprises en Afrique du Nord sous le contrôle scientifique et technique du Service de la Carte des Groupements Végétaux de la France.
Bull. serv. Carte Phytogéogr. B, II, 2 : 25-36.

EMBERGER L., 1971 - Travaux de botanique et d'écologie.
Masson et Cie, Paris, 520 p.

EHRWEIN J., 1956 - Les sols du périmètre irrigable de Rocher de Sel.
Etude S.E.S., Alger.

EPSTEIN E., GRANT W.J. et STRUCHTEMEYER R.A., 1966 - Effects of stones on runoff, erosion and soil moisture.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (Madison), 30,5 : 638-640.

ESTORGES P., 1959 - Morphologie du Plateau Arba.
Travaux de l'I.R.S., XVIII : 21-56.

ESTORGES P., 1961 - Morphologie du Plateau Arba.
Travaux de l'I.R.S., XX : 29-77.

ESTORGES P., 1965 - La bordure saharienne du Djebel Amour.
Travaux de l'I.R.S., XXIV : 31-46.

ESTORGES P. et GUILLEMOT J., 1973 - Notice explicative de la carte géologique de Brézina à 1/200.000.
Document provisoire d'auteur.

FLANDRIN J., 1952 - Les chaînes atlasiques et la Bordure Nord du Sahara.
XIX Congrés Géol. Int. Alger, monographie n°14.

FLORET C.H. et LE FLOC'H E., 1973 - Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie présaharienne.
Doc. C.E.P.E. n°71, Montpellier, 45 p.

FLORET C.H., et LE FLOC'H E., 1975 - L'évaluation de la production des parcours et de la sensibilité de la végétation naturelle, élément de l'aménagement rationnel des zones présahariennes de la Tunisie.
Options méditerranéennes, 26 : 51-61.

FLORET C.H., LE FLOC'H E., PONTANIER R. et ROMANE F., 1977 - L'étude de cas sur la désertification. Région d'Oglat Merteba, Tunisie.
Extrait et adapté du document : A/CONF.74/12 (Conf.Nairobi), 143 p.

FLORET C.H. et PONTANIER R., 1978 - Relations climat-sol-végétation dans quelques formations végétales spontanées du Sud-Tunisien (Production végétale et bilan hydrique des sols).
Doc. tech. n°1, Tunis, 96 p.

FOLK R.L., 1974 - The natural history of cristalline calcium carbonate. Effect of magnesium content and salinity.
Journal of Sedimentary Petrology, 44,1 : 40-53.

FOURNET A., 1969 - Etude pédologique de la dorsale tunisienne (transversale Kebir-Bargou-Serj-Ousseltia).
Service Pédologie. Tunis, 116 p.

FOURNIER F., 1969 - L'érosion hydrique et le climat.
Bull. Tech. Inf., 237 : 111-115.

FRANCLET A. et LE HOUEROU H.N., 1971 - Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du Nord.
FAO, Rome, Division des Forêts, 247 p.

GAUSSEN H., 1949 - Cartographie de la végétation et développement économique.
Gouv. Général de l'Algérie, Doc. et Rens. agri. n°12, 7 p.

GAUSSEN H. et BAGNOULS M.F., 1958 - Carte des précipitations de l'Algérie, échelle 1/500.000.
I.G.N., Paris.

GAUSSEN H. et VERNET A., 1958 - Carte internationale du tapis végétal: Tunis-Sfax au 1/1.000.000.
I.G.N., Paris.

GAUSSEN H. et VERNET A., 1958 - Notice de la feuille Tunis-Sfax (carte internationale du Tapis Végétal à 1/1.000.000).
Bull. Serv. Carte Phytogéogr., A, III, II : 3-34.

GILE L.H., PETERSON F.F. and GROSSMAN R.B., 1965 - The K horizon. A master soil horizon of carbonate accumulation.
Soil Science (Baltimore), 99,2 : 74-82.

GILE L.H., PETERSON F.F. and GROSSMAN R.B., 1966 - Morphological and genetics sequences of carbonate accumulation in deserts soils.
Soils Science (Baltimore), 101,5 : 347-360.

GODRON M., 1968 - Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale.
Oecol. Plant., III, 3 : 185-212.

GOUNOT M., 1958 - Contribution à l'étude des groupements végétaux messicoles et rudéraux de la Tunisie.
Ann. serv. Bot. et Agro. Tunisie, 31, 275 p.

GOUNOT M., 1969 - Méthode d'étude quantitative de la végétation.
Masson et Cie, Paris, 314 p.

GRAS F., 1975 - Les sols très calcaires du Liban. Evolution et mise en valeur.
Thèse Doct. Ing., Strasbourg, 191 p.

GUERASSIMOV I.P., 1956 - Sols des régions méditerranéennes de l'Afrique (Tell).
VI Congrés de la Science du Sol, Paris, 30 : 189-193.

GUILLEMOT J., 1952 - La bordure Sud-tellienne dans le Titteri.
XIX Congrés Géol. Int., Alger, 1, 9, 61 p.

GUINOCHET M., 1951 - Contribution à l'étude phytosociologique du Sud-Tunisien.
Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger, 42 : 131-153.

GUINOCHET M., 1973 - Phytosociologie.
Masson et Cie, Paris, 228 p.

GUYOT G., 1969 - L'érosion éolienne.
Bull. Tech. Inf., 237 : 116-124.

HAMID ULLAH ALIZAI et LLOYD C. HULBERT, 1970 - Effects of soil texture on evaporative loss and available water in semi-arid climates.
Soil Science, 110,5 : 328-332.

HENIN S. et AUBERT G., 1945 - Relation entre le drainage, la température et l'évolution des sols.
C.R. Ac. Sc., 220 : 330-334.

HILLS E., 1940 - The lunette, a new land form of eolian origin.
The Australian Geogr., III, 7 : 15-21.

IONESCO T.H., 1960 - La valeur indicatrice des espèces psammophiles en pays semi-aride des Doukkala.
In Rapport du Sol et la Végétation,
Masson et Cie, Paris : 177-179.

IONESCO T.H. et SAUVAGE C.H., 1962 - Les types de végétation du Maroc : essai de nomenclature et de définition.
Rev. Géog. Maroc, 1-2 : 75-86.

IONESCO T.H., 1965 - Considérations bioclimatiques et phytoécologiques sur les zones aride du Maroc.
Cah. Rech. Agro. INRA, Rabat, 19, 130 p.

IONESCO T.H., 1968 - Remarques méthodologiques concernant l'étude des ressources pastorales du Maroc.
El Awania, Rabat, 29 : 35-67.

JACQUIN F. et LE TACON F., 1970 - Influence des formes de calcium sur l'évolution des résidus ligneux sous climats tempérés.
Bull. E.N.S.A.N., XII, 1-2 : 12-20.

JACQUIN F. et CHOULIARAS N., 1976 - Evolution de la matière organique dans une rendzine et son interférence sur une classification génétique des humus.
Sc. du Sol, 4 : 241-247.

JENNY H., 1941 - Factors of soil formation.
Mc Graw-Hill, New York, 281 p.

JOLY F., 1962 - Etudes sur le relief du Sud-Est Marocain.
Trav. Inst. Scient. Chérif., serv. Géol. et Géogr. Phys., 10, 578 p.

JOVET-AST S., BISCHLER H. et BAUDOIN R., 1976 - Essai sur le peuplement hépaticologique de la région méditerranéenne.
Journ. Hattori Bot. Lab., 41 : 87-94.

JURDANT M., BEAUBIEN J., BELAIR J.L., DIONNE J.C. et GERARDIN V., 1972 - Carte écologique de la région de Saguenay-Lac St-Jean. Notice explicative.
Environnement Canada. Centre de Rech. Forest. des Laurentides. Rap. Inf. QFX-31 (3 vol.).

KACHKAROV D.N. et KOROVINE E.P., 1942 - La vie dans les déserts.
Edition française par Th. Monod; Payot, Paris, 361 p.

KIEKEN M., 1962 - Notice explicative de la carte géologique à 1/50.000 Er Rebibia (Algérie).
Service de la carte géol. de l'Algérie, Alger.

KILLIAN C.H., 1936 - Etude sur la biologie des sols des Hauts-Plateaux algériens.
Ann. Agro, Juillet-Août et Sept.-Oct. : 1-40.

KILLIAN C.H., 1948 - Conditions édaphiques et réactions des plantes indicatrices de la région alfatière algérienne.
Ann. Agro. 18,I : 4-27.

KILLIAN C.H., 1950 - Les bases écologiques pour l'utilisation des zones arides.
V. Inst. des Sc. Biol. Stockholm.

KILLIAN C.H., 1953 - La végétation autour du Chott el Hodna, indicatrice des possibilités culturales et son milieu édaphique.
Gouv. Gén. de l'Algérie, Publ. de l'Insp. Gén. de l'Algérie, n° 5.

KULKE H., 1974 - Zur geologie und Mineralogie der Kalk-und Gipskrusten Algeriens.
Geolog. Rundschau, 63,3 : 970-998.

LACOSTE A. et ROUX M., 1971 - 1972 - L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et écologie : applications à des données de l'étage subalpin des Alpes Maritimes.
Oecol. Plant. 6 : 353-369 et 7 : 125-146.

LAMOUROUX M., 1972 - Etude des sols formés sur roches carbonatées; Pédogénèse fersiallitique au Liban.
*Mémoires ORSTOM n°*56, 266 p.

LEBART L. et FENELON J.P., 1971 - Statistique et informatique appliquée.
Dunod, Paris, 424 p.

LE FLOC'H E., 1973 - Etude des parcours du Sud-Tunisien. I - Carte phytoécologique de Oglat Merteba et Mareth (1/100.000).
Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, 46,5; 92 p.

LE HOUEROU H.N., 1955 - Contribution à l'étude de la végétation de la région de Gabès.
Ann. Serv. Bot. Agron. Tunisie, 28 : 141-180 *et 1 carte couleur 1/200.000.*

LE HOUEROU H.N., 1959 - Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie Méridionale.
Inst. de Rech. Sah. Alger Mémoire h.s., 510 p.

LE HOUEROU H.N., 1960 - Contribution à l'étude des sols du Sud-Tunisien.
Ann. Agro., Paris, 11,3 : 241-309.

LE HOUEROU H.N., 1969 - La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie, de Lybie et du Maroc).
Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, 42,5 : 624 p *et 1 carte couleur 1/500.000.*

LE HOUEROU H.N., 1969 - Problèmes et potentialités des terres arides de l'Afrique du Nord.
Conf. int. sur les terres arides, Tucson, 39 p.

LE HOUEROU H.N., 1975 - Le cadre bioclimatique des recherches sur les herbages méditerranéens.
Georgofili, Florence, XXI : 57-67.

LE HOUEROU H.N. and HOSTE C.M., 1977 - Relationship beetween rangeland production and average annual rain fall. Part I : The Mediterranean Basin.
Document d'auteur : 20 p.

LEMEE G., 1978 - Précis d'écologie végétale.
Masson et Cie, Paris, 285 p.

LE TACON F., 1976 - La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'Epicea commun (*Picea excelsa*, Link) et du Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra nigricans* Host).
Thèse Doct. Etat, Nancy I, 214 p.

LHOTE H., 1970 - Les gravures rupestres du Sud-oranais.
Mémoires du C.R.A.P.E., XVI, 210 p.

LONG G., 1954 - Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie Centrale.
Ann. Serv. Bot. Agron., Tunisie, 27 : 388 p. *et 1 carte couleur 1/200.000.*

LONG G., DELPECH R., DAGET P.H., POISSONET J., ROMANE F., GUILLERM J.L. et WACQUANT J.P., 1972 - Contribution de la phytosociologie au diagnostic des conditions hydriques des sols.
Bull. Tech. Inf. n°271-272 : 749-803.

LONG G., 1974 - Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. Tome I : Principes généraux et méthodes.
Masson et Cie, Paris, 256 p.
et Tome II : Application du diagnostic phytoécologique, 222 p.

MAHROUR M., 1965 - Le versant méridional des Monts des Ouled Naïl (du Djebel Azereg au Djebel Bou Kahil).
Inst. Rech. Sah., XXIV : 1-8.

MAIRE G., 1926 - Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie (Notice).
Gouv. Gal de l'Algérie, Direct. de l'Agric. du Commerce et de la Col., Service Carto. 78 p. *et 1 carte.*

MARLANGE M. et GIMILIO R., 1972 - Ordination et groupement des profils écologiques.
Recueil des méthodes phyto., 3, C.E.P.E. Montpellier.

MILLOT G., NAHON D., PAQUET H., RUELLAN A. et TARDY Y., 1977 - L'épigénie calcaire des roches silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride, Antiatlas, Maroc.
Sci. Geol., Bull., Strasbourg, 30,3 : 129-152.

MONJAUZE A., FAUREL L. et SCHOTTER G., 1955 - Note préliminaire sur un itinéraire botanique dans la steppe et le Sahara septentrional algérois.
Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger, 46 : 206-230.

MONJAUZE A., 1965 - Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie.
Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger, 56 : 5-128.

MONOD Th., 1973 - Les déserts.
Horizons de France, Paris, 247 p.

DE MONTARD F. et ROUX M., 1972 - Une application de l'analyse factorielle des correspondances : le classement des paturages des Monts-Dore.
Comm. au Coll. d'Orléans sur les Méthodes numériques dans les Sc. Biol. et de la Terre, 7 p.

MULLER S., 1954 - Beobachtungen an rezenten kalkarindenböden in nördlichen Algerien.
Zeitsch. f. Pflanz. u. Bodenk, 65 : 107-117).
(in DUCHAUFOUR Ph. - 1970 - p 264).

MULLER J.C. et VEDY J.C., 1978 - Morphoscopie et fractionnement des matières organiques des rendzines sur craie.
Bull. de l'Ass. Fr. pour l'Etude du Sol, 2 : 129-144.

MURAV'EVA M.G. and SELITRENNIKOVA Z.B., 1968 - Peculiarities of Humus formation in the principal soils of Uzbekistan.
In Geography and Classification of Soils of Asia (Translated from Russian).
Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem : 141-153.

NEGARESTAN A., 1970 - Contribution à l'étude comparative de la matière organique dans quelques sols isohumiques ou à tendance isohumique d'Iran, du Maroc, du Niger et de Tunisie.
Thèse Doct.-Ing., Paris, 361 p.

NEGRE R., 1959 - Recherches phytogéographiques sur l'étage de végétation méditerranéen aride (sous-étage chaud) au Maroc occidental.
Trav. de l'Inst. Sci. Cherifien, série Bota. n°13, 385 p.

NOTICE EXPLICATIVE (ouvrage collectif) des cartes géologiques à 1/500.000. Feuilles Alger-Nord et Alger-Sud.
Bull. du Serv. de la Carte Géol. de l'Algérie, 201 p.

NOVIKOFF G., 1961 - Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile de Tunisie.
Ann. de l'Inst. Nat. Rech. Agron., Tunis, 339 p.

OPPENHEIMER H.R., 1956 - Pénétration active des racines de buissons méditerranéens dans les roches calcaires.
Bull. Res. Counc. of Israel, 5 D : 219-224.

OZENDA P., 1954 - Observations sur la végétation d'une région semi-aride : les Hauts Plateaux du Sud-algérien.
Bull. Soc. Hist. Nat. d'Afr. du Nord, Alger, 45, 3-4 : 189-223.

OZENDA P., 1958 - Flore du Sahara Septentrional et Central.
C.N.R.S., Paris. 490 p.

OZENDA P. et KERAUDREN J., 1960 - Carte de la végétation d'Algérie 1/200.000. Feuille de Guelt es Stel-Djelfa.
Publ. du Gouv. Gal. de l'Algérie.

OZENDA P., 1964 - Biogéographie végétale.
Doin, Paris, 374 p.

PEDRO G., 1972 - Les sols développés sur roches calcaires : Nature, originalité et cadre général de leur évolution à la surface du globe.
Suppl. au Bull. de l'Ass. Fr. pour l'Etude du Sol, 1 : 5-19.

PERICHAUD L. et BONIN G., 1973 - L'analyse factorielle des correspondances appliquée aux groupements végétaux d'altitude du Gran Sasso d'Italia.
Not. Fitosoc., 7 : 29-43.

POUGET M., 1968 - Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le Sud-Tunisien.
Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, VI, 3-4 : 309-365.

POUGET M., 1969 - Etude agropédologique de la région de Si Lakdar (Berrouaghia), échelle à 1/50.000.
Etude 6/14, S.E.S., Alger, 51 p.

POUGET M., 1971 - Etude agropédologique du Bassin du Zahrez Gharbi à 1/100.000.(Feuille Rocher de Sel).
Etude D.E.M.R.H., Alger, 160 p. *et 5 cartes couleur* (cartes des groupements végétaux et aptitudes du milieu en collaboration avec H.N. LE HOUEROU).

POUGET M., 1972 - Etude agropédologique du Plateau du Sersou, échelle 1/100.000.
Etude D.E.M.R.H., Alger, 47 p. *et 2 cartes.*

POUGET M., 1973 - Etude agropédologique de la région d'Ouzera (Médéa), échelle 1/50.000.
Etude D.E.M.R.H., Alger, 71 p. *et 3 cartes.*

POUGET M., 1973 - Une manifestation particulière et méconnue de la salure dans les steppes du Sud-algérois : les plages de salure sur les glacis quaternaires à croûte calcaire.
Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger, 64, 1-2 : 15-24.

POUGET M., 1976 - Les plages de salure sur les glacis quaternaires à croûte calcaire (steppes algériennes).
4° Réunion Sc. de la Terre, Paris. p.340.

POUGET M., 1973 - 1977 - Cartographie des zones arides : géomorphologie, pédologie, groupements végétaux et aptitudes du milieu à la mise en valeur. Echelle 1/100.000. Région de Messaad-Aïn el Ibel (Algérie).
Notice ORSTOM n°67, 89 p. et 4 cartes couleurs.

POUGET M. et AUBERT G., 1978 - La matière organique dans les steppes algériennes.
Comm. au XI Congrès de l'I.S.S.S., Edmonton. p.386.

POUGET M. et RAMBAUD D. - à paraître 1979 - Quelques types de cristallisation de la calcite dans les sols à accumulation calcaire des steppes algériennes : observations au microscope électronique (MET).

PUJOS A. et RAYNAL R., 1959 - La géomorphologie appliquée au Maroc.
Revue Géom. dyn. X, 5-12 : 103-105.

QUEZEL P., 1951 - De l'application de méthodes statistiques à l'étude des groupements d'animaux. Essai sur les groupements de Tenebrionides et Carabiques dans la région de Sidi Bou Zid, Tunisie Centrale. Leurs rapports avec le sol et sa couverture végétale.
Ann. du Serv. Bot. et Agro. de Tunisie, 23 : 125-138.

QUEZEL P., 1957 - Le peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord.
Le Chevalier, Paris, 463 p.

QUEZEL P. et MARTINEZ C., 1959 - Le dernier interpluvial au Sahara; essai de chronologie palynologique et paléoclimatique.
Libyca, VI et VII : 211-227.

QUEZEL P. et SANTA S., 1962 - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales.
Editions CNRS, Paris, 2 tomes : 565 p. et 605 p.

QUEZEL P., SIMONNEAU P., DUTIL P. et KILIAN J., 1969 - Contribution à l'étude phytosociologique du Sahara oriental sud-constantinois.
Louis Jean, Gap, 55 p.

QUEZEL P., 1979 - "Matorrals" méditerranéens et "Chaparrals" californiens. Quelques aspects comparatifs de leur dynamique, de leurs structures et de leur signification écologique.
Ann. Sci. forest., 36,1 : 1-12.

RAYNAL R., 1961 - Plaines et piedmonts du Bassin de la Moulouya (Maroc oriental) : étude géomorphologique.
Thèse Lettres, Rabat, 573 p.

RAYNAL R., 1966 - Place de la géomorphologie dans l'inventaire des vocations régionales du sol en Afrique du Nord.
Bull. Fac. Lettres, Strasbourg, 7 : 703-712.

REY E., 1971 - Etude géologique de la région de Messaad et projet d'exploitation des ressources en eau.
Etude D.E.M.R.H., Alger, 15 p.

RICHARDS et al., 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.
*U.S.Dept. of Agric.Handb.*60. 160 p.

RICHE G., 1976 - Les processus de la formation des sols dans le bassin du Wabi Shebellé (Ethiopie).
Cah.ORSTOM, sér.Pédologie, XIV, 3 : 227-245.

RITTER E.,1901 - Le djebel Amour et les Monts des Oulad Naïl.
Bull.du Serv.de la Carte Géol.de l'Algérie, 3.

RODIN L.E. and BAZILEVITCH N.I., 1968 - World distribution of plant biomass.
Actes du Coll.UNESCO de Copenhague,V : 45-52.

RODIN L.E.,BOTSCHANTZEV V., KALENOV H., MIROCHNITCHENKO Yu., PELT N. et VINOGRADOV B., 1970 - Etudes géobotaniques des pâturages, du secteur ouest du Département de Médéa de la République Algérienne Démocratique et Populaire.
Editions "Naouka", Léningrad, 124 p.*et 2 cartes couleurs 1/200.000.*

ROOSE E., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales.
Trav.et Doc.ORSTOM, n° 78,108 p.

ROUX G. et M., 1967 - A propos de quelques méthodes de classification en phytoécologie.
Rev.Stat.appl., 15,2 : 59-72.

ROZANOV A.N., 1961 - The serozems of Central Asia.
(Traduction de "Central Asian Serozems", 1951).
*Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem,*541 p.

RUELLAN A., 1967 - le rôle des sols dans l'interprétation des variations bioclimatiques du Pleistocène marocain.
Congr.panafr.Préh.Et.Quat.(Dakar), 6 : 65-66.

RUELLAN A., 1969 - Quelques réflexions sur le rôle des sols dans l'interprétation des variations bioclimatiques du Pleistocène marocain.
Rev.de Géogr.du Maroc, 15: 129-140.

RUELLAN A., 1970 - Les sols à profil calcaire différencié des plaines de Basse-Moulouya (Maroc oriental). Contribution à la connaissance des sols méditerranéens.
*Mém.ORSTOM n° 54,*302 p.

RUELLAN A., NAHON D., PAQUET H. et MILLOT G., 1977 - Géochimie de la surface et formes du relief. VI - Rôle des encroûtements et épigénies calcaires dans le façonnement du modelé en pays aride.
Sci. Geol., Bull., Strasbourg, 30,4 : 283-288.

SALTER P.J. and WILLIAMS J.B., 1969 - The influence of texture on the moisture charactéristics of soil. V - Relationships between particle size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water.
J. Soil Sci. (oxford), 20,1 : 126-131.

SAUVAGE Ch., 1960 - Recherches géobotaniques sur le Chêne-liège au Maroc.
Thèse Doct. Etat, Montpellier; Trav. Inst. Sci. Chérif. série Bota., 21, 462 p.

SAUVAGE Ch., 1963 - Etages bioclimatiques.
Atlas du Maroc, Notice expl. de la carte établie par BRIGNON C. et SAUVAGE Ch., 44 p.

SAUVAGE Ch., 1963 - Le quotient pluviothermiques d'EMBERGER, son utilisation et la représentation géographique de ses variations au Maroc.
Ann. Serv. Phys. du Globe et de Météo. de l'Inst. Sci. Chérif., XX : 11-23 *et 1 carte couleur.*

SELTZER P., 1946 - Le climat de l'Algérie.
Inst. de Météo. et de Phys. du Glove de l'Univ. d'Alger, 219 p. *et 1 carte couleur h.t.*

SERVANT J., 1975 - Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes.
Thèse Doct. Etat, Montpellier, 2 tomes, I : 194 p., *II : Fig., Pl. et Annexes.*

S.N. REPAL, 1952 - Régions Sud-Telliennes et Atlas saharien.
XIX Congrès géol. Int. Alger, monographie n°20.

S.O.G.R.E.A.H., 1961 - Etude pédologique du périmètre de Bou Saada.
Etude S.E.S., Alger.

SOLAGES S. et REY E., 1971 - Etude hydrogéologique en vue de l'implantation de 2 forages de reconnaissance dans les régions d'Aïn el Ibel et Aïn el Hadjel.
Etude n°20/11, D.E.M.R.H. Alger, 13 p.

SPRINGER M.E., 1958 - Desert pavement and vesicular layer of some soils of the desert of Lahontan Basin, Nevada.
Soil. Sci. Soc. Ann. Proc., 22 : 63-66.

STEWART Ph., 1968 - Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique : quelques réflexions.
Bull. de la Soc. Hist. Nat. d'Afr. du Nord, Alger, 59 : 23-36.

STUART D.M. and DIXON R.M., 1973 - Water movement and caliche formation in layered arid and semi-arid soils.
Soil Sci. Soc. Ann. Proc., 37 : 323-324.

TRICART J., 1969 - Le modelé des régions sèches.
Sedes, Paris, 472 p.

VERMEIRE R., DAUCHOT-DEHON M. et DE PAEPE P., 1974 - Sur l'aĝe d'une croûte calcaire de la zone occidentale de 'île de Fuerteventura (Iles Canaries).
Pédologie, XXIV, 1 : 40-80.

VIEILLEFON J., 1966 - Inventaire critique des sols gypseux en Tunisie. Etude préliminaire.
Dir. des Ress. en Eau et en Sol, Tunis, ES 98, 80 p.

WALTER H., 1973 - Vegetation of the Earth.
Heidelberg Science Library, 15, 237 p.

YAKUBOV T.F., 1969 - Some results of studies of the wind erosion of soils.
Soviet Soil Science, 6: 729-741.

ZID E. et BOUKHRIS M., 1977 - Quelques aspects de la tolérance de l'*Atriplex halimus* L. au chlorure de sodium. Multiplication, croissance, composition minérale.
Oecol. Plant. 12,4 : 351-362.

Index des Figures

		Page
Figure 1 :	Carte de situation.	17
Figure 2 :	Les steppes sud-algéroises : principales unités physiographiques et hydrographiques (échelle 1/1.000.000).	19
Figure 3 :	Variation de la température moyenne annuelle du sol au cours de la journée et selon la profondeur (1973-1974) d'après BOURGES *et al*, 1977.	30
Figure 4 :	Diagrammes ombrothermiques.	33
Figure 5 :	Diagramme pluviothermique et bioclimats.	35
Figure 6 :	Les bioclimats (d'après CLAUDIN *et al*, 1979).	36
Figure 7 :	Carte géologique à 1/500.000 réduite à 1/1.000.000 d'après les feuilles Alger-Nord et Alger-Sud (1952).	40
Figure 8 :	Schéma théorique des principales unités stratigraphiques et lithologiques (Jurassique et Crétacé) dans l'Atlas saharien.	42
Figure 9 :	Schéma théorique montrant quelques unités géomorphologiques.	64
Figure 10 :	Granulométrie des sables des principales formations éoliennes : courbes de fréquences des différentes fractions sableuses.	73
Figure 11 :	Schéma des principales formations éoliennes mobiles.	76
Figure 12 :	Les sols formés sur calcaires durs.	84
Figure 12 bis:	Légende des symboles utilisés pour les figures concernant les profils de sols.	85
Figure 13 :	Les sols formés sur grès durs.	87

Figure 14 : Les sols formés sur marno-calcaires. 89

Figure 15 : Les sols formés sur marnes. 92

Figure 16 : Les siérozems à amas et nodules calcaires. 95

Figure 17 : Les siérozems à encroûtement calcaire. 95

Figure 18 : Les sols à croûte calcaire. 99

Figure 19 : Les sols des formations alluviales récentes et actuelles. 106

Figure 20 : Les sols des dayas. 108

Figure 21 : Les sols des formations éoliennes. 110

Figure 22 : Les sols gypseux. 111

Figure 23 : Les sols halomorphes. 114

Figure 24 : Les sols hydromorphes. 116

Figure 25 : Schéma de l'évolution de la végétation dans l'étage aride d'après CLAUDIN *et al*, 1975. 133

Figure 26 : Systèmes racinaires des principales espèces steppiques : alfa et chamaephytes vivaces. 137

Figure 27 : Schéma de situation du relevé PR 1. 147

Figure 28 : Schéma théorique montrant le principe des séquences de dégradation, climatiques et édaphiques. 161

Figure 29 : Organigramme général du fichier végétation-milieu. 164

Figure 30 : Profil-relevé PR 1 : les données prises en compte dans les traitements végétation-milieu. 187

Figure 30 bis: Organigramme du traitement des données végétation-milieu. 189

Figure 31 : Profils écologiques élaborés (FR et TFR) d'*Artemisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium* pour la texture de l'horizon de surface. 192

Figure 32 : Profils écologiques élaborés (TFR) de quelques espèces steppiques pour la texture de l'horizon de surface. 193

Figure 33 : Profils écologiques de trois armoises (*Artemisia atlantica, A. herba-alba, A. campestris*) pour la situation géomorphologique. 195

Figure 34 : Distribution relative des formations végétales dans les classes de sols, les bioclimats et les principales unités géomorphologiques. 198

Figure 35 : ESP-REL 1 (axes 1-2) : Carte schématique des relevés. 207

Figure 36 : ESP-REL 2 (axes 1-2) : Schéma général des relations végétation-milieu avec les trois principaux gradients. 219

Figure 37 : ESP-REL 2 (axes 1-2) : Disposition schématique des sous-ensembles étudiés dans les analyses successives. 220

Figure 38 : ESP-REL 2 (axes 1-2) : Schéma récapitulatif des principaux facteurs écologiques mis en évidence dans les analyses successives. 235

Figure 39 : ESP-ECO TFR (axes 1-2) : Disposition schématique des principaux milieux écologiques. 253

Figure 40 : Les principaux milieux écologiques. 300

Figure 41 : Teneur en matière organique des horizons de surface (sols à croûte calcaire) en fonction des formations végétales, des bioclimats et de la texture (A + LF %). 326

Figure 42 : Horizons de surface (20 < A + LF < 40) : Teneurs en matière organique en fonction du couvert végétal. 328

Figure 43 : Profils organiques de sols fersiallitiques. 329

Figure 44 : Profils organiques de sols formés sur marno-calcaires. 330

Figure 45 : Profils organiques de sols formés sur marnes. 331

Figure 46 : Profils organiques de sols isohumiques profonds. 332

Figure 47 : Siérozems (texture grossière à moyenne) : Profils organiques moyens. 333

Figure 48 : Les principaux types de profils organiques dans les sols à croûte calcaire. 335

Figure 49 : Variations des profils organiques à horizon Kh en fonction des bioclimats. 337

Figure 50 : Horizons de surface ($20 < A + LF < 40$) : Rapport C/N en fonction du couvert végétal et des bioclimats. 341

Figure 51 : Horizons de surface : Taux d'humine en fonction des bioclimats et des formations végétales. 345

Figure 52 : Horizons de surface : AHG/AH en fonction des bioclimats et des formations végétales. 346

Figure 53 : Les matières humiques : représentation synthétique des résultats pour les horizons de surface et de profondeur. 347

Figure 54 : Les composés humiques dans trois types de siérozems. 351

Figure 55 : Les acides fulviques "libres" ($\frac{AFLx100}{AF}$) en fonction de la teneur en calcaire total et des types d'accumulation calcaire. 353

Figure 56 : Le mull calcaire de steppe et les principaux processus d'humification. 359

Figure 57 : Les sols à croûte calcaire : Profils de type II à horizon laminaire K1. 367

Figure 58 : Les sols à croûte calcaire : Profil PR 3 (type I) et profil PR 31 (type II). 383

Figure 59 : Exemple de distribution des sols à croûte calcaire (types I et II) en fonction de l'âge des surfaces encroûtées et de la position topographique. 388

Figure 60 : Schématisation de la formation et de l'évolution dans le temps des sols à croûte calcaire à horizon laminaire. 392

Figure 61 : Distribution des plages de salure dans les topo-séquences. 402

Figure 62 : Formation des plages de salure. 405

Figure 63 : Schématisation de la dynamique de l'eau et des sels en fonction des bioclimats : formation des plages de salure. 408

Index des Planches

Planche	I	- Les steppes sud-algéroises : vue d'ensemble prise par le satellite LANDSAT (Echelle 1/1.000.000).	18
Planche	II	- Vue aérienne à 1/25.000 à l'Est de Moudjbara (Atlas saharien).	55
Planche	III	- Vue aérienne à 1/25.000 de la région d'Aïn Naga (Atlas saharien).	56
Planche	IV	- Vue aérienne à 1/25.000 de la région à l'Ouest d'Aïn Oussera (Hautes-Plaines).	57
Planche	V	- Les principaux types de paysages et unités géomorphologiques.	59
Planche	VI	- Les principaux types de sols.	100
Planche	VII	- Les sols à croûte calcaire et les plages de salure.	103
Planche	VIII	- Les principales formations végétales.	128
Planche	IX	- Quelques aspects micromorphologiques des sols gypseux et des sols à croûte calcaire.	372
Planche	X	- Observations au microscope électronique (MET) : faciès de cristallisation de la calcite dans les sols à croûte calcaire.	374

Index des Tableaux

		Page
Tableau 1 :	Pluviosités moyennes mensuelles et annuelles (en mm).	22
Tableau 2 :	Nombre de jours de pluies (moyennes mensuelles et annuelles).	23
Tableau 3 :	Nombre de "pluies torrentielles" observées de 1913 à 1938.	25
Tableau 4 :	Phénomènes secondaires.	26
Tableau 5 :	Températures annuelles moyennes T°C.	27
Tableau 6 :	Moyennes mensuelles des minimums en °C.	27
Tableau 7 :	Moyennes mensuelles des maximums en °C.	28
Tableau 8 :	Station de Djelfa : Valeurs moyennes mensuelles et annuelles de l'ETP. (TURC) et déficit ETP-P.	31
Tableau 9 :	Valeurs des principaux indices climatiques.	32
Tableau 10 :	Les étages bioclimatiques.	34
Tableau 11 :	Les variantes et sous-variantes thermiques.	34
Tableau 12 :	Les principaux types de sols formés sur calcaires durs.	84
Tableau 13 :	Les principaux types de sols formés sur grès durs.	87
Tableau 14 :	Les principaux types de sols formés sur marno-calcaires.	89
Tableau 15 :	Les principaux types de sols formés sur marnes.	93
Tableau 16 :	Influence de la culture et du mode de défrichement (FLORET *et al*, 1977).	141
Tableau 17 :	Influence du surpâturage (FLORET *et al*, 1977).	142
Tableau 18 :	Principales données analytiques de PR 1.	148

Tableau 19 : Les formations végétales. 165

Tableau 20 : Effectifs des relevés classés par bioclimats. 169

Tableau 21 : Les bioclimats. 170

Tableau 22 : Les variantes et sous-variantes thermiques. 170

Tableau 23 : Les unités géomorphologiques : effectifs et distribution en fonction des bioclimats et des formations végétales. 174

Tableau 24 : Les classes de sols : effectifs et distribution en fonction des bioclimats et des formations végétales. 176

Tableau 25 : Les classes de profondeur. 176

Tableau 26 : Nomenclature des horizons. 178

Tableau 27 : Liste des variables physico-chimiques. 179

Tableau 28 : Liste des principales variables physico-chimiques après transformation et codage. 181

Tableau 29 : Distribution d'*Artemisia herba-alba* en fonction de la texture des horizons de surface. 190

Tableau 30 : Effectifs et fréquence relative des formations végétales dans les différents bioclimats. 197

Tableau 31 : Tableau récapitulatif des principales variables écologiques dans l'analyse globale ESP-REL (ESPECES-RELEVES). 213

Tableau 32 : Tableau récapitulatif des données édaphiques complémentaires. 214

Tableau 33 : Tableau récapitulatif des principales variables écologiques dans les analyses partielles ESP-REL (ESPECES-RELEVES). 254

Tableau 34 : Extraits de saturation et teneur en gypse pour différents horizons de sols. 314

Tableau 35 : Principales données analytiques du profil PR 2. 368

Tableau 36 : Principales caractéristiques des profils PR 3 et PR 31. 382

Tableau 37 : Données analytiques de quelques profils au niveau d'une plage de salure. 398

ANNEXE 1

LES PRINCIPALES FAMILLES DE SOLS EN FONCTION DE LA GEOMORPHOLOGIE, DES BIOCLIMATS ET DES FORMATIONS VÉGÉTALES.

ANNEXE 2

LES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX EN FONCTION DES BIOCLIMATS ET DE LA GÉOMORPHOLOGIE.

ANNEXE 1 LES PRINCIPALES FAMILLES DE SOLS EN FONCTION DE LA GEOMORPHOLOGIE DES BIOCLIMATS ET DES FORMATIONS VEGETALES

SOLS							GEOMORPHOLOGIE											BIOCLIMATS						FORMATIONS VÉGÉTALES				
CLASSE	S/CLASSE	GROUPE	S/GROUPE	FAMILLE	N° S	Nb	1 VR	3 GA	4 BM	5 EO	6 TA	7 TA	8 ZE	9 CH	10 DA	11 DN	12 MC	1 SH	2 SA	3 AS	4 AM	5 Ai	6 Sah	1 PM	2 α	3 St	4 Cult	5 Hal
SOLS MINÉRAUX BRUTS	Non climatiques	Minéraux bruts d'érosion	Régosols	Marnes ± gypseuses	1	10	10											1		4	4	1			1	6		3
				Argiles versicolores	2	6	6													1	2	3				6		
				Argiles sableuses rouges	3	5	5													3	1	1				5		
		Apport éolien	Modaux	Sables siliceux	4	13				13											9	4				12	1	
			A nappe	Sables siliceux	5	3				3											3					3		
	Déserts Chauds	Lithosols	Modaux	Grès durs	6	1	1																1			1		
SOLS PEU ÉVOLUÉS	Non climatiques	D'érosion	Lithiques	Grès durs	7	1	1														1					1		
			Régosoliques	Marnes ± gypseuses	8	23	23											2		11	8	2			11	4	5	3
				Argiles versicolores	9	15	15														10	5				14		1
				Argiles sableuses rouges	10	5	5													3	1	1			3	2		
				Marno-calcaires	11	4	4											4									4	
				Grès calcaires tendres	12	1	1											1									1	
		Apport alluvial	Modaux	All. calc. texture variable	13	39						4	32	3						2	28	8	1			7	25	7
				All. anciennes ± noircies	14	10					3		5	1	1						10					2	8	
			Vertiques	All. et limons de décantation	15	14								1	13					1	3	10				1	9	4
				All. calc. texture fine	16	3					1	1	1							3							3	
			Halomorphes	All. et limons de décantation	17	1									1						1							1
				All. calc. texture variable	18	14					3		11								13	1					5	9
				All. anciennes ± noircies	19	13					7		4	1	1						13					2	7	4
		Apport colluvial	Modaux	All. coll. texture grossière	20	4			4												4					4		
		Apport éolien	Modaux	Sables siliceux	21	3				2	1									1	2					2	1	
			Halomorphes	Sables siliceux	22	3				2	1										3						1	2
				Sables gypseux	23	1				1												1				1		
VERTISOLS	A drainage externe nul ou réduit	A structure anguleuse sur au moins les 15 cm sup.	Modaux	All. et limons de décantation	24	1									1					1							1	
				All. calc. texture très fine	25	1						1							1								1	
			A caractères vertiques peu accent.	All. et limons de décantation	26	4									4						4						4	
				All. calc. texture très fine	27	1							1							1							1	
			Hydromorphes	All. calc. texture très fine	28	1						1								1							1	
			Halomorphes	All. et limons de décantation	29	4									4						4						2	2
	A drainage externe possible	A structure anguleuse sur au moins les 15 cm sup.	Modaux	Marnes et coll. de marnes	30	12	12											7	5								12	
				Coll. noircies texture très fine	31	6	2				4							6									6	
			A caract. vertiques	Marnes et coll. de marnes	32	8	8											7	1								8	
			Hydromorphes	Marnes et coll. de marnes	33	3	3											3									3	
			Halomorphes	Marnes et coll. de marnes	34	1	1													1							1	
SOLS CALCIMAGNÉSIQUES	Sols carbonatés	Rendzines	Modales	Calc. durs ± dolomitiques	35	10	10												1	9				9	1			
		Sols bruns calcaires	Modaux	Marno-calcaires ± encroûtés	36	10	10											4	2	4				10				
				Grès durs ± encroûtés	37	13	13													13				12			1	
				Calc. gréseux, grès marneux	38	6	6											6						2		1	3	
				All. anciennes ± noircies	39	10					3			7					1	4	5						10	
				All. coll. calc. ± noircies	40	8					3						5	6	2								8	
				Coll. calc. texture moyenne	41	6	2										4	6						1			5	
				All. et limons de décantation	42	1									1							1					1	
			A encroûtement calc.	Marno-calc., conglomérats	43	6	3		3										1	5				5	1			
				Coll. calc. texture moyenne	44	3											3	3								1	2	
			Hydromorphes	Marnes sableuses et colluvions	45	2	2											2									2	
				Coll. calc. texture fine	46	1											1	1									1	
		Sols xériques	Modaux	Calc. durs ± dolomitiques	47	29	29													16	6	7		1	26	2		
				Grès durs peu calcaires	48	57	57													3	27	27		2	31	24		
				Calc. divers, conglomérats	49	4	2	1	1											2	1		1			4		
			A accumulation calcaire (croûte)	Marno-calc., grès tendres	50	29	1	9	19											18	9	2		2	15	10	2	
				Argiles sableuses rouges	51	154		92	62										11	42	91	8	2		24	92	38	
				Calcaire lacustre	52	16		9	3		2			2						2	14			1	1	12	2	
				All. coll de piedmont ± caillouteuses	53	70		18	52										1	14	42	13		1	25	39	5	
				All. très grossièrement caillouteuses	54	5			5												4	1			5			
				All. coll. ± caillouteuses	55	30		6	24											10	13	7			7	21	2	
				Ancien dépôt lacustre (Sersou)	56	7			7										1	6							7	
				Conglomérats, divers.	57	19		9	10											8	3	7	1	2	9	8		
				All. coll. ± caillouteuses (Tert. cont.)	58	47		46						1						1	12	34			16	31		
	Sols calciques	Sols bruns calciques	Modaux	Grès durs peu calcaires	59	10	10												2	8				9	1			
				Coll. de grès et argiles	60	1	1													1				1				
				Grès calc. tendres, sables calc.	61	3	3											3									3	
				Coll. et éboulis texture moyenne	62	3											3	3								3		
				All. et limons de décantation	63	2									2					1	1						2	
				Grès quartzites et argiles	64	2	2											2						2				
				Marnes et coll. de marnes	65	1	1											1						1				
		Sols calciques mélanisés	Modaux	Coll. de grès et marnes	66	5											5	5									5	
				Coll. texture moyenne à fine	67	1					1							1									1	
	Sols gypseux	Sols bruns gypseux	Modaux	Marnes gypseuses	68	1			1											1								1
				Gypse massif	69	1	1													1					1			
		Sols à encroûtement gypseux	Modaux	Gypse massif	70	2	2													1	1				2			
				Marnes gypseuses	71	10	9		1											4	6				3	7		
				Ancien encroûtement de nappe	72	16					16									5	8	3				15	1	
				Sables éoliens gypseuses	73	2				1	1										2					2		
				All. anciennes ± hydromorphes	74	9			1		8										2	7				9		
SOLS ISOHUMIQUES	A pédoclimat frais pendant la saison pluvieuse	Sols marrons	Modaux	Coll. texture moyenne	75	1			1										1					1				
			A B textural	All. coll. rubéfiées	76	2			1		1								2					1			1	
		Sierozems	Modaux	Sables siliceux	77	17			1	15	1										17					16	1	
				All. calc. texture grossière à moy.	78	23			3			7	1	9	3					3	10	10			1	12	10	
				All. anciennes ± noircies	79	15					14		1								14	1				5	10	
				Sables siliceux sur marnes	80	6	5							1							5	1			3	3		
			A nodules et/ou granules calcaires	All. calc. texture moy. à fine	81	16			1			3	1	10	1					2	11	3				8	8	
				Argiles sableuses rouges	82	6			6											3	3				4	2		
				All. anciennes ± noircies	83	4			1		2			1						1	2	1				2	1	1
				Sables siliceux sur marnes	84	8	8													1	1	6			1	7		
				All. coll. de piedmont ± caillouteuses	85	11			10		1										3	7	1		4	7		
			Encroûtés (à encroûtement calcaire)	All. calc. texture moy. à fine	86	8								6	2				1	1	4	2				3	5	
				Argiles sableuses rouges	87	7			5		2									2	4	1			2	3	2	
				All. anciennes ± noircies	88	11					10			1						4	6	1				6	5	
				Sables siliceux sur marnes	89	2	2														1	1			1	1		
				All. coll. de piedmont ± caillouteuses	90	46			45					1						1	23	22			15	27	4	
				Sables siliceux sur croûte	91	22		1	16		1			4						3	18	1				9	13	
				All. coll. sur dalle calcaire	92	1		1													1					1		
SOLS A SESQUIOXYDES DE FER	Sols fersiallitiques rouges et bruns (méditerranéens)	A réserve calcique et le plus souvent peu lessivés	Modaux avec ou sans horizon Ca	All. coll. ± caillouteuses	93	2			1					1					2								2	
				Calc. durs ± dolomitiques	94	5	5												4	1				1	1		3	
				Grès durs ± calcaires	95	4	4											2	1	1				4				
				Coll ± caillouteuses texture fine	96	6	1		4					1				1	4	1				1			5	
				Coll. sur marnes	97	1	1													1						1		
			Bruns	Grès, quartzites et argiles	98	2	2												2					2				
			Recalcarifiés	All. coll. anciennes	99	1			1										1								1	
		Sans réserve calcique (et lessivés)	Modaux	Grès calcaires	100	6											6	6						2			4	
				Grès calcaires (Sol érodé)	101	6					1						5	6									6	
			Légèrement hydromor.	Grès calcaires grossiers	102	4											4	4									4	
SOLS HYDROMORPHES	Peu humifères	Sols à gley	Salés	Sables éoliens siliceux	103	6										6					5	1				5		1
		A red. du gypse	A encroûtement gyps	Sables éoliens siliceux	104	8										8					8					8		
SOLS HALOMORPHES (SALSODIQUES)	Sols à structure non dégradée	Solonchaks à complexe calcimagnésique (Ca-Mg)	Hypersolonchaks	All. calc. texture grossière	105	3										3					3							3
				Sables siliceux	106	2										2					2							2
				All. anciennes ± noircies	107	1					1										1							1
			Cryptosolonchaks	All. calc. texture grossière à moyenne	108	2							1			1					2							2
				Sables siliceux	109	4				3						1					4					3		1
				All. anciennes ± noircies	110	1					1										1							1
			A encroûtement gypseux de nappe	All. calc. texture grossière	111	3					1					2					1	2						3
				Sables siliceux	112	27					2					25				1	26					5		27
				Sables gypseux	113	4				1	2					1					2	2				2		2
		Solonchaks à complexe sodique (Na-Mg)	Hypersolonchaks	All. calc. texture moyenne à très fine	114	12					1	2	4			5					12					1		11
			Modaux	All. calc. texture moyenne à très fine	115	28					5	1	22								28							28
				Pseudosables (lunette de sebkha)	116	1				1											1							1
				All. anciennes ± noircies	117	3					1		2								3							3
			A encr. gyp. de nappe	All. calc. texture moyenne à fine	118	2										2					2							2
	Sols à structure dégradée	Sols non lessivés	Très salés à alcali	All. calc. texture moyenne à très fine	119	1									1						1							1
			Peu ou myt. salés à alc.	All. calc. texture moyenne à très fine	120	13					1	5			6	1				1	11	1					3	10

ANNEXE 2 LES GROUPEMENTS VEGETAUX EN FONCTION DES BIOCLIMATS ET DE LA GEOMORPHOLOGIE

Formations végétales	GROUPEMENTS VEGETAUX — NOM OU GROUPEMENT VÉGÉTAL	BIOCLIMATS		SUBSTRATUM	N	Nb	BIOCLIMATS 1 SH	2 SA	3 AS	4 AM	5 AI	6 SAh	GEOMORPHOLOGIE 1 VR	3 GM	4 GM	5 EO	6 TA	7 TR	8 ZE	9 CH	10 DA	11 DV	11 MC
FORETS MATORRALS	Forêt claire à Pinus halepensis, Quercus ilex et Cistus villosus	AS	Froid	Calc. durs, marno-calc.	1	7			7				6		1								
	Mat. à Juniperus phaenicoea, Cistus libanotis et Stipa tenacissima	AS	Froid	Calc. durs, marno-calc, croûte	2	13			13				8	3	2								
	Forêt et mat. à Quercus ilex (s.l.)	SH		Calc. durs, grès, marno-calc.	3	11	11						11										
	Mat. à Juniperus oxycedrus, Catananche caespitosa et Stipa tenacissima	AS	Froid	Marnes, argiles sabl. rouges	4	3			3				3										
	Mat. à Quercus ilex et Juniperus oxycedrus (s.l.)	SA		Calc. durs, grès, marno-calc, etc.	5	12		12					9		2		1						
	Mat. à Quercus ilex et Cistus salvifolius	AS	Froid	Grès (Sols non calcaires)	6	6			6				6										
	Mat. à Juniperus phaenicoea, Pistacia atlantica et Stipa tenacissima	AS	Froid	Grès	7	14			14				14										
	Mat. à Quercus ilex, Juniperus oxycedrus et Rosmarinus tournefortii	AS	Froid	Marno-calc. ± encroûté	8	2			2				1		1								
	Mat. à Juniperus phaenicoea et Stipa tenacissima	AM	Frais	Grès	9	1				1			1										
	Forêt claire à Quercus suber et Quercus ilex	SH		Grès, quartzites.	10	2	2						2										
	Mat. à Quercus ilex (Quercus suber relictuel)	SH		Sols non calcaires	11	2	2																2
					Total	73	15	12	45	1			61	3	6		1						2
STEPPES A DOMINANCE D'ALFA	Gr. à Onobrychis argentea et Thymelea tartonraira	AS	Froid	Croûtes, marno-calc. ± encroût	12	13			13				1	1	11								
	Gr. à Salsola vermiculata var. brevifolia et Telephium imperati	AM	Frais	Croûtes calc.	13	29			1	27	1		1	13	15								
	Gr. à Arthrophytum scoparium et Herniaria fontanesii	AI	Frais	Croûtes calc.	14	35					35			17	18								
	Gr à Launaea acanthoclada et Gymnocarpos decander #Gr 24	AI	Frais	Calc. durs	15	1					1		1										
	Gr. à Rosmarinus tournefortii (Juniperus phaenicoea relictuel)	AS	Froid	Calc. durs, Croûtes, marno-	16	4			4				3		1								
	Gr. à Salsola vermiculata var. villosa			Marnes ± gypseuses	17	7				4	3		7										
	Gr. à Launaea acanthoclada et Thymus hirtus	AS	Froid	Calc. durs	18	12			12				12										
	Gr. à Atractylis humilis et Onobrychis argentea	AS	Froid	Arg. rouges ± encroûtées	19	8			8				6		2								
	Gr à Launaea acanthoclada	AM	Frais	Calc. durs	20	7			1	6			6		1								
	Gr. à Atractylis humilis	AM	Frais	Marnes ± gypseuses	21	1				1			1										
	Gr. à Launaea acanthoclada et Rhus tripartitum	AM	Frais	Calc., grès	22	3				3			3										
	Gr à Launaea acanthoclada et Arthrophytum scoparium	AI	Frais	Calc. durs	23	2					2		2										
	Gr. à Launaea acanthoclada et Gymnocarpos decander # Gr. 15	AI	Frais	Calc. durs	24	4					4		3		1								
	Gr. à Artemisia herba-alba et Hippocrepis scabra	AS	Froid	Croûtes calc.	25	13			13				1	3	9								
	Gr. à Artemisia herba-alba et Helianthemum hirtum ssp. ruficomum	AM	Frais	Croûtes calc.	26	19				19				2	17								
	Gr. à Artemisia campestris et Helianthemum hirtum ssp. ruficomum	AS	Frais	Grès ± encroûtés	27	2			2				1		1								
	Gr. à Launaea acanthoclada et Ononis natrix ssp. polyclada	AM	Frais	Grès	28	21				18	3		21										
	Gr. à Launaea acanthoclada et Arthrophytum schmittianum	AI	Frais	Grès	29	9					9		9										
	Gr. à Noaea mucronata et Thymelea virgata	AM	Frais	Croûtes calc.	30	4				4				4									
	Gr. à Artemisia herba-alba et Poa bulbosa	AM	Frais	Croûtes calc.	31	2				2				2									
	Gr. à Erodium glaucophyllum			Encroûtements gypseux	32	5			2	3			5										
	Gr. à Artemisia campestris et Lygeum spartum	AS	Frais	Sierozems (text. grossière)	33	1			1						1								
	Gr. à Artemisia herba-alba et Lygeum spartum	AM	Frais	Sierozems (text. moyenne)	34	7				7			3		4								
	Gr. à Launaea acanthoclada et Ziziphus lotus	AM	Frais	Cônes de piedmonts très gros	35	5				5					5								
	Gr. à Launaea acanthoclada et Pistacia atlantica	AS	Frais	Grès	36	1			1				1										
					Total	215			58	99	58		87	42	86								
STEPPES A CHAMAEPHYTES ET GRAMINEES DIVERSES	Gr. à Onobrychis argentea et Hippocrepis scabra	AS	Froid	Croûtes calc.	37	33			33					11	22								
	Gr. à Arthrophytum scoparium et Farsetia aegyptiaca	AI	Frais	Marno-calc. ± encroûtés	38	1					1				1								
	Gr. à Helianthemum lippii var. sessiflorum et Lygeum spartum	AM	Frais	Grès, sierozems (text. gross.)	39	15				14	1		9	2	2		2						
	Gr. à Atractylis humilis et Lygeum spartum	AM	Frais	Marnes, argiles versicolores	40	13				13			13										
	Gr. à Retama retam et Arthrophytum schmittianum	AI	Frais	Grès, sierozems (text. gross.)	41	18					18		13			3		2					
	Gr. à Arthrophytum scoparium et Salsola vermiculata var. villosa	AI	Frais	Argiles versicolores	42	7					7		7										
	Gr. à Artemisia herba-alba et Helianthemum hirtum ssp. ruficomum	AS	Frais	Croûtes calc.	43	8			7	1			1	1	6								
	Gr. à Artemisia herba-alba et Helianthemum hirtum ssp. ruficomum	AM	Frais	Croûtes calc.	44	86				86				40	43		3						
	Gr. à Noaea mucronata et Thymelea virgata	AM	Frais	Croûtes calc.	45	16				16				12	4								
	Gr. à Artemisia herba-alba et Poa bulbosa	AM	Frais	Croûtes calc. (text. moy. + ruiss.)	46	47			4	43				25	10		2		4	6			
	Gr. à Artemisia campestris et Thymelea microphylla	AM	Frais	Croûtes calc. sierozems (text. gross.)	47	35				35				1	16	11	5	2					
	Gr. à Arthrophytum scoparium et Herniaria fontanesii	AI	Frais	Croûtes calc. (text. moyenne)	48	56				1	55		2	28	23		1		2				
	Pelouse à Aegylops triuncialis (sous Quercus ilex)	AS	Froid	Sols marrons	49	1			1				1										
	Gr. à Launaea acanthoclada et Ononis natrix ssp. polyclada	AS	Frais	Grès	50	3			3				3										
	Gr. à Aristida pungens et Malcolmia aegyptiaca			Dunes, microdunes	51	10				9	1					11							
	Gr. à Arthrophytum scoparium et Ziziphus lotus	AI	Frais	Sierozems (text. moy. + ruissell.)	52	2					2								2				
	Gr. à Arthrophytum scoparium et Retama retam	AI	Frais	Marnes sableuses	53	25					25		6		5		3	7	2	1	1		
	Gr. à Aristida pungens et Imperata cylindrica			Dunes (nappe en profondeur)	54	6				6						4							2
	Gr. à Aristida pungens et Tamarix sp.			Dunes ± fixées (nappe)	55	2				2						1	1						
	Gr. à Atractylis humilis	AS	Froid	Marnes	56	9			9				8		1								
	Gr. à Launaea acanthoclada et Gymnocarpos decander	AI	Frais	Calc. durs et grès	57	5					5		5										
	Gr. à Anabasis aretioides	Sah.	Frais	Croûtes calc.	58	4						4		4									
	Gr. à Rhanterium suaveolens ssp. adpressum	Sah.	Frais	All. (texture grossière)	59	2						2			1		1						
	Gr. à Ephedra alata et Helianthemum lippii var. sessiflorum	AI	Frais	Croûtes calc. (text. gross.)	60	2					2		1	1									
	Gr. à Ephedra alata et Limoniastrum feei	AI	Frais	Croûtes calc.	61	5					5			3	2								
	Gr. à Artemisia herba-alba et Artemisia campestris	AM	Frais	Grès et marnes ± ensablées	62	7			1	6			7										
	Gr. à Stipa parviflora et Lygeum spartum	AM	Frais	Colli. (texture moyenne)	63	2				2					2								
	Gr. à Erodium glaucophyllum			Encroûtements gypseux	64	36			7	17	12		6		1	2	26					1	
	Gr. à Lygeum spartum et Artemisia herba-alba	AM	Frais	Dayas (texture moyenne)	65	6				6										1	5		
	Gr. à Juncus maritimus et Schoenus nigricans			Sols hydro. (nappe)	66	11				10	1											11	
	Gr. à Noaea mucronata et Atractylis serratuloides	AS	Frais	Croûtes calc.	67	1			1					1									
	Gr. à Traganum nudatum et Thymelea microphylla			Sierozems sableux + nappe	68	10				10						4	1					5	
	Gr. indéterminé de l'étage saharien	Sah.	Frais	Grès	69	1						1	1										
	Pelouses diverses de l'étage sub-humide	SH		Colluvions calc.	70	5	5						1										4
	Gr. à Atractylis humilis	SH		Marnes	71	1	1						1										
					Total	491	6		66	287	135	7	85	129	138	35	44	12	6	12	6	18	4
JACHERES ET CULTURES	Gr. indéterminé (Gr. à Papaver rhoeas)	SA		Calc. durs, croûtes calc.	74	29		28	1				3		20		2			3	1		
	Gr indéterminé (Gr. à Cynodon dactylon)	SH		Coll. non calc. (text. gross.)	75	26	26						8				2						16
	Gr. à Artemisia campestris et Peganum harmala #Gr 88	AM	Frais	Croûtes, sierozems (text. gross)	76	23				23			1	5	4	1	3	1	8				
	Gr. à Papaver hybridum et Carduncellus pinnatus	AS	Frais	Croûtes (text. moy. à fine)	77	28			28				1	9	18								
	Gr. à Artemisia campestris et Ziziphus lotus	AM	Frais	Sols divers (text. gross. + ruiss.)	78	23				23					10		7		2	4			
	Gr. à Arthrophytum scoparium et Ziziphus lotus	AI	Frais	Sols divers + ruissellement	79	8					8							1	1	6			
	Gr. à Convolvulus oricntalis	AS	Froid	Sols divers (text. moy. à fine)	80	13			11	2							4		2	3	4		
	Gr. à Teucrium campanulatum			Dayas (text. fine à t. fine)	81	13				12	1										13		
	Gr. à Teucrium campanulatum et Ziziphus lotus			Dayas (text. fine)	82	5					5										5		
	Gr. à Artemisia campestris et Salsola vermiculata var. villosa			All. salées en prof. (text. gross)	83	4				4						1	1		2				
	Gr. à Ranunculus arvensis	SA		Marnes, all. (text. fine à t. fine	84	9		7	2				7					2					
	Gr. à Agropyron orientale et Ziziphus lotus	AM	Frais	Sols divers (text. fine + ruiss.)	85	11			1	10						1		2	8				
	Gr. à Silybum eburneum et Beta macrocarpa			All. (texture fine)	86	17			1	16						2		14	1				
	Gr. à Artemisia campestris et Lygeum spartum	AS	Froid	Sierozems (text. gross. à moy.	87	14			14						2		10		1	1			
	Gr. à Artemisia campestris et Peganum harmala #Gr. 76	AM	Frais	Sols divers (text. gross. à moy.)	88	3				3						1			2				
	Gr. à Anacyclus clavatus et Papaver hybridum	AM	Frais	Croûtes (text. moy. à fine)	89	6				6				4	2								
	Gr. à Anacyclus clavatus et Ziziphus lotus	AM	Frais	Sierozems (text. m. à fine + ruiss)	90	16			2	14						2		1	13				
	Gr. à Cordylocarpus muricatus et Lygeum spartum			Marnes ± gyps., alluvions	91	4			3	1			2				1	1					
	Gr. à Hordeum maritimum			All. salées (text. fine)	92	1				1											1		
	Gr. à Phalaris truncata et Malope malachoides	SH		Marnes, colluvions	93	40	40						27			5							8
	Gr. à Andryala integrifolia et Rumex bucephalophorus	SH		Sols très sableux (pH < 7,2)	94	6	6																6
					Total	299	72	35	63	115	14		49	18	56	2	40	5	36	39	23	1	30
STEPPES CRASSULESCENTES	Gr. à Salsola vermiculata var. villosa et Atriplex glauca #Gr 97			Alluvions, marnes	95	26			2	24			3		2	1	6	3	8		3		
	Gr. à Salsola tetrandra et Salsola vermiculata var. villosa			Alluvions (text. moy. à fine)	96	9				3	6								3		6		
	Gr. à Salsola vermiculata var. villosa et Atriplex glauca #Gr 95			Marnes	97	4			4				4										
	Gr. à Salsola tetrandra et Suaeda fruticosa #Gr. 102			Alluvions (text. fine)	98	15			1	14						2	5	5		3			
	Gr. à Atriplex portulacoides			Hypersolon chaks (nappe)	99	24				22	2					3						21	
	Gr. à Salicornia arabica			Hypersolon chaks (nappe)	100	6				5	1											6	
	Gr. à Traganum nudatum et Atriplex halimus			Cryptosolon chaks (text. gross)	101	13				12	1					4	1		6			2	
	Gr. à Salsola tetrandra et Suaeda fruticosa #Gr. 98			Alluvions (text. fine)	102	24				24							5		19				
	Gr. à Salsola vermiculata var. villosa et Atriplex glauca #Gr 95 97			Alluvions	103	2				2									2				
	Gr. à Salsola tetrandra et Arthrocnemum indicum			Solon chaks (text. fine)	104	1				1												1	
	Gr. à Salsola vermiculata var. villosa et Suaeda fruticosa			Alluvions	105	2				2									1			1	
	Gr. à Halocnemum strobilaceum et Arthrocnemum indicum			Hypersolon chaks (nappe)	106	6				6												6	
					Total	132			7	115	10		7		2	5	17	8	46		12	37	

ANNEXE 3

LES ESPÈCES VÉGÉTALES DU FICHIER VÉGÉTATION-MILIEU.

N°	NOM DE L'ESPECE	EFFECTIFS
1	*Achillea santolina* L.	9
2	*Adonis dentata* Del.	80
3	*Aegylops triuncialis* L.	85
4	*Aegylops ventricosa* Tausch.	32
5	*Aeluropus littoralis* (Gouan) Parl.	26
6	*Agropyron orientale* (L.) R. et S.	58
7	*Aizoon hispanicum* L.	65
8	*Alyssum alpestre* ssp. *serpyllifolium* (Desf.) R. et F.	27
9	*Alyssum cochleatum* Coss.et Dur.	12
10	*Alyssum granatense* B. et R.	123
11	*Alyssum macrocalyx* Coss. et Dur.	31
12	*Alyssum scutigerum* Dur.	93
13	*Ammochloa palaestina* Boiss.	9
14	*Ammochloa pungens* (Schreb.) Boiss.	54
15	*Ampelodesma mauritanicum* (Poiret)Dur. et Sch.	11
16	*Anabis oropediorum* M.	215
17	*Anacyclus clavatus* Desf.	90
18	*Anacyclus cyrtolepidoides* Pomel	122
19	*Anchusa azurea* Mill.	5
20	*Androsace maxima* L.	70
21	*Andryala integrifolia* L.	13
22	*Anthyllis vulneraria* ssp.*maura*(Beck.) Becker.	14
23	*Anvillea radiata* Coss. et Dur.	18
24	*Arabis auriculata* Lamk.	9
25	*Argyrolobium uniflorum* (Desc.) Jaub.et Spach.	72
26	*Aristida obtusa* Del.	70
27	*Aristida plumosa* L.	33
28	*Aristida pungens* Desf.	47
29	*Arnebia decumbens* (Vent.) Coss.et Kral.	58
30	*Arrhenatherum elatius* (L.) Mert.	2
31	*Artemisia atlantica* Coss.et Dur.	15
32	*Artemisia campestris* L.	279
33	*Artemisia herba-alba* Asso.	481
34	*Arthrocnemum indicum* (Wild.) Moq.	26
35	*Arthrophytum schmittianum* (Pomel) M.et W.)	30
36	*Arthrophytum scoparium* (Pomel) Iljin.	154
37	*Asparagus acutifolius* L.	12
38	*Asparagus albus* L.	22
39	*Asparagus stipularis* Forsk.	25
40	*Asphodelus microcarpus* Salzm. et Viv.	27
41	*Asteriscus graveolens* (Forsk.) DC.	5
42	*Asteriscus pygmaeus* Coss. et Kral.	176
43	*Astragalus armatus* ssp. *numididicus* (Coss.et Dur.)M.	30
44	*Astragalus armatus* ssp. *tragacanthoides* (Desf.) M.	147
45	*Astragalus caprinus* ssp. *lanigerus* (Desf.) M.	73
46	*Astragalus cruciatus* Link.	152
47	*Astragalus gombo* Coss.et Dur.	4
48	*Astragalus hamosus* L.	34
49	*Astragalus incanus* ssp. *nummularioides*(Desf.) M.	18
50	*Astragalus tenuifoliosus* M.	115

N°	NOM DE L'ESPECE	EFFECTIFS
51	*Atratylis cancellata* L.	49
52	*Atractylis flava* Desf.	44
53	*Atractylis humilis* ssp. *caespitosa* (Desf). M.	150
54	*Atractylis phaeolepis* Pomel	156
55	*Atractylis serratuloides* Sieb.	392
56	*Atriplex glauca* L.	93
57	*Atriplex halimus* L.	67
58	*Atriplex portulacoides* L.	37
59	*Avena bromoides* (Gouan) Trab.	29
60	*Bassia muricata* (L.) Asch.	12
61	*Beta macrocarpa* Guss.	30
62	*Bifora testiculata* Roth.	7
63	*Biscutella auriculata* ssp.*auriculata* M.	67
64	*Brachypodium distachyum* (L.) P.B.	94
65	*Bromus tectorum* L.	35
66	*Buffonia tenuifolia* L.	30
67	*Bupleurum lancifolium* Horn.	4
68	*Bupleurum semicompositum* L.	59
69	*Bupleurum spinosum* L.	10
70	*Calendula aegyptiaca* Desf.	59
71	*Calendula arvensis* L.	2
72	*Carduncellus pinnatus* (Desf.) DC.	68
73	*Carex halleriana* Asso.	3
74	*Carlina involucrata* ssp. *corymbosa* Q.et S.	61
75	*Carthamus lanatus* L.	51
76	*Catananche caerulea* L.	36
77	*Catananche caespitosa* Desf.	9
78	*Catananche lutea* L.	8
79	*Caucalis leptophylla* L.	22
80	*Centaurea incana* ssp. *amourensis* Desf.(Pomel)Batt.	29
81	*Centaurea involucrata* Desf.	19
82	*Centaurea tenuifolia* Duf.	83
83	*Ceratocephalus falcatus* (L.) Pers.	202
84	*Chrysanthemum fuscatum* Desf.	46
85	*Cistus libanotis* L.	22
86	*Cistus salvifolius* L.	12
87	*Cistus villosus* L.	23
88	*Cleome arabica* L.	19
89	*Conringia orientalis*(L.) Andr.	12
90	*Convolvulus cantabrica* L.	4
91	*Convolvulus supinus* Coss.et Kral.	21
92	*Convolvulus tricolor* ssp. *cupanianus*(Tod).M.	4
93	*Cordylocarpus muricatus* Desf.	21
94	*Coronilla minima* L.	8
95	*Coronilla scorpioides* Koch.	55
96	*Coronopus squamatus*(Forsk.) Asch.	7
97	*Corynephorus articulatus* (Desf). P.B.	6
98	*Crucinella patula* L.	21
99	*Ctenopsis pectinella* (Del.) De Not.	40
100	*Cutandia dichotoma* (Forsk.) Trab.	55

N°	NOM DE L'ESPECE	EFFECTIFS
101	*Cutandia divaricata(* Desf.)Benth.	177
102	*Cynodon dactylon* (L.)Pers.	90
103	*Cynoglossum cheirifolium* L.	7
104	*Cynosurus elegans* Desf.	20
105	*Dactylis glomerata* L.	95
106	*Delphinium pubescens*	22
107	*Dianthus caryophyllus* ssp. *virgineus* (L.)Rouy	31
108	*Diplotaxis harra* (Forsk.)Boiss.	8
109	*Diplotaxis virgata* ssp. *cossoniana* (Reut.) M.et W.	20
110	*Ebenus pinnata* L.	15
111	*Echinaria capitata* (L.)Desf.	77
112	*Echinops spinosus* L.	75
113	*Echiochilon fruticosum* Desf.	22
114	*Echium pycnanthum* Pomel	319
115	*Echium trygorrhizum* Pomel	6
116	*Elymus caput-medusae* L.	13
117	*Enarthrocarpus clavatus* Del.	60
118	*Ephedra alata* DC.	11
119	*Erodium glaucophyllum* l'Hert.	24
120	*Erodium guttatum* (Desf.) Willd.	22
121	*Erodium hirtum* Desf.	6
122	*Erodium malachoides* (L.) Wolld.	17
123	*Erodium triangulare* (Forsk.) Musch.	101
124	*Euphorbia calyptrata* Coss.et Dur.	66
125	*Euphorbia exigua* L.	13
126	*Euphorbia falcata* L.	132
127	*Euphorbia guyoniana* B.et R.	11
128	*Eruca vesicaria* (L.) Gar.	207
129	*Eryngium campestre* L.	49
130	*Eryngium illicifolium* Lamk.	31
131	*Eryngium triquetrum* Vahl.	8
132	*Fagonia cretica* L.	5
133	*Fagonia glutinosa* Del.	33
134	*Fagonia microphylla* Pomel.	64
135	*Farsetia aegyptiaca* Turra.	8
136	*Frankenia pulverulenta* L.	15
137	*Frankenia thymifolia* Desf.	49
138	*Fumana thymifolia* (L.) Verlot	34
139	*Genista microcephala* Coss.et Dur.	18
140	*Glaucium corniculatum* Curtis	51
141	*Globularia alypum* L.	26
142	*Gymnocarpos decander* Forsk.	35
143	*Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.B.	7
144	*Hedypnois cretica* (L.) Willd.	107
145	*Hedysarum spinosissimum* ssp.*eu-spinosissimum* Briq.	21
146	*Helianthemum cinereum* ssp.*rubellum* (Presl.) M.	53
147	*Helianthemum hirtum* ssp.*ruficomum* (Viv.) M.	256
148	*Helianthemum kahiricum* Del.	44
149	*Helianthemum lippii* var.*intricatum* Murb.	23
150	*Helianthemum lippii* var.*sessiflorum* (Desf.)Murb.	147

N°	NOM DE L'ESPECE	EFFECTIFS
151	*Helianthemum virgatum* (Desf.) Pers.	141
152	*Herniaria fontanesii* J.Gay	247
153	*Herniaria hirsuta* L.	190
154	*Herniaria mauritanica* Murb.	35
155	*Hippocrepis scabra* DC.	77
156	*Hordeum maritimum* ssp. *eu-maritimum* Hayek	22
157	*Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf.	10
158	*Hypecoum geslini* Coss.et Kral.	4
159	*Hypecoum pendulum* L.	22
160	*Ifloga spicata* (Forsk). Sch.Bip.	36
161	*Imperata cylindrica* (L.) P.B.	12
162	*Iris sisyrinchium* L.	32
163	*Jasminum fruticans* L.	17
164	*Juncus maritimus* Lamk.	15
165	*Juniperus oxycedrus* L.	49
166	*Juniperus phoenicea* L.	50
167	*Koeleria pubescens* ssp.*salzmannii*(B.et R.)Trab.	255
168	*Koeleria vallesiana* (Honck) Bert.	21
169	*Koelpinia linearis* Pallas	79
170	*Lagurus ovatus* L.	13
171	*Lappula redowski* (Horn.) Greene	46
172	*Launaea acanthoclada* M.	106
173	*Launaea nudicaulis* (L.) Hook.f.	163
174	*Launea resedifolia* ssp. *eu-resedifolia* M.	132
175	*Leontodon hispanicus* ssp.*eu-hispanicus* M.	59
176	*Leontodon hispidulus* ssp.*mulleri* (Sch.Bip.)M.	33
177	*Lepidium subulatum* L.	8
178	*Limoniastrum feei* (de Gir.)Batt.	13
179	*Limoniastrum guyonianum* Dur.	2
180	*Limonium echioides* L.	20
181	*Linaria aegyptiaca* ssp.*fruticosa* (Desf.)Maire	44
182	*Linum strictum* L.	18
183	*Linum suffruticosum* L.	7
184	*Lithospermum apulum* (L.) Vahl.	34
185	*Loeflingia hispanica* L.	113
186	*Lolium rigidum* Gaud.	93
187	*Lonchophora capiomontana* Dur.	10
188	*Lotus creticus* ssp. *collinus* (Boiss.) Briq.	13
189	*Lotus pusillus* Medik.	25
190	*lygeum spartum* L.	596
191	*Malcolmia aegyptiaca* Spr.	14
192	*Malva aegyptiaca* L.	92
193	*Mantisalca duriaei* (Spach.) Briq.et Gavill.	17
194	*Marrubium deserti* de Noe	52
195	*Matthiola fruticulosa* (L.) M.	89
196	*Matthiola longipetala* ssp.*livida* (Del.) M.	37
197	*Medicago laciniata* (L.) All.	115
198	*Medicago minima* Grufb.	40
199	*Medicago secundiflora* Dur.	12
200	*Medicago truncatula* Gaerth.	136

N°	NOM DE L'ESPECE	EFFECTIFS
201	*Micropus bombycinus* Lag.	158
202	*Micropus supinus* L.	23
203	*Minuartia geniculata* (Poiret) Thels.	14
204	*Moricandia arvensis* (L.) DC.	35
205	*Muricaria prostrata* (Desf.) Desv.	68
206	*Muscari comosum* (L) Mill.	42
207	*Nardurus cynosuroides* (Desf.) B.et T.	47
208	*Nardurus maritinus* (L.) Janchen	29
209	*Nigella arvensis* (L.)	13
210	*Noaea mucronata* (Forsk.) Asch.et Schw.	211
211	*Nolettia chrysocomoides* Desf.	30
212	*Nonnea micrantha* B.et R.	58
213	*Notoceras bicorne* (Ait.) Car.	13
214	*Olea europaea* L.	20
215	*Onobrychis argentea* Boiss.	38
216	*Ononis natrix* ssp. *polyclada* (Murb.) Sirj.	53
217	*Ononis pusilla* L.	7
218	*Ononis reclinata* L.	25
219	*Ononis serrata* Forsk.	10
220	*Onopordon arenarium* (Desf.)Pomel	65
221	*Orlaya maritima* Koch.	17
222	*Ormenis africana* (Jord.et Fourr.) Lit.et M.	7
223	*Pallenis spinosa* (L.) Cass.	40
224	*Papaver hybridum* L.	115
225	*Papaver rhoeas* L.	70
226	*Paronychia arabica* ssp.*cossoniana* J.Gay	186
227	*Peganum harmala* L.	229
228	*Phalaris minor* L.	35
229	*Phalaris truncata* Guss.	12
230	*Pholiurus incurvus* ssp. *incurvatus* (L.)M.	35
231	*Phillyrea angustifolia* L.	21
232	*Picris coronopifolia* Desf.	44
233	*Pinus halepensis* L.	27
234	*Pistacia atlantica* Desf.	34
235	*Pistacia lentiscus* L.	14
236	*Pituranthos chloranthus*(Coss.et Dur.)Benth.et Hook.	23
237	*Pituranthos scoparius*(Coss.et Dur.) Benth.et Hook.	56
238	*Plantago albicans* L.	447
239	*Plantago ciliata* Desf.	18
240	*Plantago ovata* Forsk.	34
241	*Poa bulbosa* L.	205
242	*Polygonum equisetiforme* S. et Sm.	26
243	*Polygonum patulum* M.B.	17
244	*Pteranthus dichotomus* Forsk.	13
245	*Quercus coccifera* L.	2
246	*Quercus ilex* L.	48
247	*Quercus suber* L.	3
248	*Ranunculus arvensis* L.	19
249	*Rapistrum rugosum* ssp. *linnaeanum* B.et R.	27
250	*Reseda phyteuma* ssp.*collina* (Gay.) Batt.	20

N°	NOM DE L'ESPECE	EFFECTIFS
251	*Retama retam* Webb.	40
252	*Retana sphaerocarpa* (L.) Boiss.	2
253	*Rhamnus alaternus* ssp. *myrtifolia* (Willk.)M.	6
254	*Rhamnus lycioides* ssp. *oleoides* (L.)Jah.et M.	18
255	*Rhantherium suaveolens* ssp. *adpressum*(Coss.et Dur)Q etS.	14
256	*Rhaponticum acaule* (L.)DC.	28
257	*Rhus tripartitum* (Ucria)DC.	6
258	*Ridolfia segetum* Moris	12
259	*Roemeria hybrida* (L.) DC.	40
260	*Rosmarinus tournefortii* de Noé	57
261	*Rumex bucephalophorus* L.	14
262	*Salicornia arabica* L.	5
263	*Salsola sieberi* var. *zygophylla*(B.et T.) M.	2
264	*Salsola tetranda* Forsk.	59
265	*Salsola vermiculata* var. *villosa* Del.	145
266	*Salsola vermiculata* var. *brevifolia*(Desf.)Maire et Weill.	171
267	*Salvia aegyptiaca* L.	4
268	*Salvia verbenaca* ssp. *clandestina*(L.) Pugsl.	113
269	*Salvia verbenaca* ssp. *eu-verbenaca* M.	63
270	*Sanguisorba minor* Scop.	23
271	*Scabiosa arenaria* Forsk.	67
172	*Scabiosa stellata* ssp. *monspeliensis*(Jacq.)Rouy.	79
173	*Scandix pecten-veneris* L.	16
274	*Schismus barbatus* ssp. *calycinus*(L.)M. et W.	311
275	*Schoenus nigricans* L.	11
276	*Scirpus holoschoenus* L.	6
277	*Sclerocaryopsis spinocarpos* (Forsk.) Brand.	90
278	*Scolymus hispanicus* L.	22
279	*Scorzonera undulata* Vahl.	164
280	*Silene arenarioides* Desf.	27
281	*Silene setacea* ssp. *eu-setacea* M.	38
282	*Silybum eburneum* Coss. et Dur.	14
283	*Sisymbrium coronopifolium* Desf.	33
284	*Sisymbrium runcinatum* Lag.	106
285	*Sisymbrium torulosum* Desf.	23
286	*Spergularia diandra* (Guss.)Heldr.et Sart.	165
287	*Spergularia marginata* Kittel	29
288	*Sphenopus divaricatus* (Gouan) Rchb.	38
289	*Stipa barbata* Desf.	183
290	*Stipa fontanesii* Parl.	50
291	*Stipa lagascae* R. et S.	59
292	*Stipa parviflora* Desf.	491
293	*Stipa retorta* Gav.	106
294	*Stipa tenacissima* L.	452
295	*Suaeda fruticosa* L.	91
296	*Tamarix* sp. L.	11
297	*Telephium imperati* L.	109
298	*Teucrium campanulatum* L.	15
299	*Teucrium polium* L.	160
300	*Thapsia garganica* L.	58

N°	NOM DE L'ESPECE	EFFECTIFS
301	*Thesium humile* L.	28
302	*Thymelaea hirsuta* Endl.	41
303	*Thymelaea microphylla* Coss .et Dur.	222
304	*Thymelaea nitida* Desf.	16
305	*Thymelaea tartonraira* ALL.	14
306	*Thymelaea virgata* Desf.	41
307	*Thymus guyonii* de Noé	5
308	*Thymus hirtus* Willd.	138
309	*Torilis nodosa* Gaertn.	10
310	*Traganum nudatum* Del.	33
311	*Turgenia latifolia* Hoffm.	11
312	*Valerianella coronata* ssp.*discoidea* Lois.	50
313	*Vella annua* L.	29
314	*Verbena supina* L.	5
315	*Vivia monantha* ssp. *cinerea* (M.B.) M.	54
316	*Wangenheimia lima* (L.) Trin.	26
317	*Xeranthemum inapertum* (L) Mill.	45
318	*Ziziphora hispanica* L.	20
319	*Ziziphus lotus* (L.) Desf.	58
320	*Zygophyllum cornutum* Coss.	7
321	*Helianthemum ellipticum* (Desf.) Pers.	16
322	*Reaumuria vermiculata* L.	5
323	*Elichrysum stoechas* (L.) DC.	6
324	*Sedum sediforme* (Jacq.) Pau.	35
325	*Minuartia montana* L.	27
326	*Sideritis montana* L.	21
327	*Scleropoa rigida* (L.) Gris.	41
328	*Picris echioides* L.	9
329	*Pistacia terebinthus* L.	4
330	*Linaria heterophylla* Desf.	1
331	*Hohenackeria* sp. Fisch.et Mey.	15
332	*Nonnea vesicaria* (L.) Rchb.	3
333	*Trigonella anguina* Del.	8
334	*Coronopus niloticus* (Del.) Spr.	3
335	*Althaea ludwigii* L.	8
336	*Saccocalyx satureioides* Coss. et Dur.	9
337	*Phragmites communis* Trin.	14
338	*Scrofularia saharaea* Batt.	5
339	*Malope malachoides* L.	5
340	*Callitris articulata* (Vahl.) Link.	1
341	*Limonium thouini* Viv.	11
342	*Anabasis aretioides* Poq.et Coss.	3
343	*Savignya parviflora* ssp. *longistyla* (B.et R.) Maire	4
344	*Zilla spinosa* ssp. *macroptera*(Coss.) M.	1
345	*Pituranthos battendieri* M.	5
346	*Farsetia hamiltonii* Royle	8
347	*Lolium multiflorum* Lamk.	5
348	*Puccinellia distans* ssp. *eu-distans* M.et W.	4
349	*Lotus corniculatus* L.	3
350	*Suaeda mollis* (Desf). Del.	7

ANNEXE 4

LES METHODES D'ANALYSE DES SOLS
AU LABORATOIRE.

A. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES (Laboratoire de la DEMRH à ALGER).

+ **Granulométrie** : Méthode internationale (Pipette de ROBINSON) effectuée sur un échantillon de terre fine (< 2 mm) séché à l'air. Destruction de la matière organique par l'eau oxygénée à 110 volumes. Dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium à 5 % dans l'eau distillée.

Séparation des différentes fractions exprimées en % de sol séché à l'air.

A = Argile < 2 µ.

LF= Limons fins 2 - 20 µ.

LG= Limons grossiers 20 - 50 µ.

SF= Sables fins 50 - 200 µ.

SG= Sables grossiers 200 - 2000 µ (0,2 à 2 mm).

Le refus correspond à la fraction > 2 mm (graviers, cailloux et blocs).

+ **Calcaire total** : Calcimètre BERNARD.

CO_3Ca en % de sol séché à l'air.

+ **Calcaire actif** : Méthode DROUINEAU.

+ **pH** de la pate saturée.

+ **Gypse total** : Méthode au carbonate d'ammonium (dosage des sulfates totaux).

La terre est traitée par une solution à l'ébullition de carbonate d'ammonium. Ce traitement permet, par une double décomposition, de solubiliser l'ion sulfate SO_4^{--} et d'éliminer le calcium sous forme de carbonate de calcium insoluble :

$$(NH_4)_2\ CO_3 + Ca\ SO_4 \longrightarrow \underset{\downarrow}{Ca\ CO_3} + (NH_4)_2\ SO_4$$

Le filtrat provenant de l'attaque est acidifié par de l'acide chlorhydrique. L'ion sulfate est précipité sous forme de sulfate de baryum par addition à chaud d'une solution de chlorure de baryum. Dosage gravimétrique.

Gypse total en % de sol séché à l'air.

+ Carbone organique total : Méthode WALKEY et BLACK. Attaque au bichromate de potassium en milieu sulfurique.

Dosage colorimétrique : le bichromate qui a réagit est dosé en mesurant l'intensité de la teinte verte due au changement de valence des ions chrome : passage de la valence 6 : ions oranges, à la valence 3 ions verts qui apparaissent après la réaction.

C en ‰ de sol séché à l'air.

Remarque. Il semble que cette méthode de dosage colorimétrique sous-estime la valeur du carbone total par rapport à la méthode volumétrique classique (titrage du bichromate de potassium en excès par le sel de MOHR 0,2 N).

+ Azote total : Méthode KJELDAHL.

Pour certains échantillons, le sulfate d'ammonium obtenu par minéralisation n'a pas été dosé par acidimètrie après déplacement par entrainement à la vapeur mais par colorimètrie (avec phenol et hypochlorite).

N en ‰ de sol séché à l'air.

+ Capacité totale d'échange T.

Percolation de la terre, mélangée à du sable quartzeux, par une solution normale d'acétate d'ammonium à pH 8,2.

Lavage de la terre à l'alcool à 80° pour éliminer toute trace d'ammonium.

Percolation par une solution de chlorure de sodium à 10 % dans une solution d'acide chlorhydrique diluée (0,005 N) pour déplacer les ions NH_4^+ fixés sur le complexe.

Dosage colorimétrique de NH_4^+ (cf. azote total). Certaines déterminations de T ont été effectuées par percolation à l'acétate de sodium à pH 8,2.

T en mé/100 g de sols séché à l'air.

+ Cations échangeables.

Dosage par photométrie de flamme des cations échangeables après percolation à l'acétate d'ammonium normal à pH 8,2.

Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+ en mé/100 g de sol séché à l'air.

Remarque.

La plupart des échantillons analysés étant calcaires, souvent gypseux et salés, les déterminations de la capacité d'échange et des cations échangeables se heurtent à un maximum de complexité : mise en solution du calcaire et du gypse contenus dans le sol, présence des cations Ca^{++}, Na^+, Mg^{++}, etc. des sels solubles.

+ Phosphore total.

- Attaque à l'acide perchlorique à 60 %.
- Dosage colorimétrique après formation du complexe phosphomolybdique et réduction de celui-ci. (Coloration bleue de bleu de molybdène).

P_2O_5 en ‰ de sol séché à l'air.

+ P_2O_5 assimilable : Méthode TRUOG.

Le phosphore assimilable est ici le phosphore soluble dans l'acide sulfurique 0,002 N. Le milieu est tamponné à pH 3 par addition de sulfate d'ammonium (3 g/l) pour éviter une neutralisation trop grande de l'acide par les carbonates et pour floculer les sols. Cette méthode convient bien aux sols de pH 6 à 7,5 environ. Elle peut être aussi utilisée pour les sols faiblement calcaires.

Pour certains échantillons, la méthode OLSEN modifiée, a été effectué à titre de comparaison.

P_2O_5 en ppm de sol séché à l'air.

+ Sels solubles (extrait de pate saturée).

- Conductivité de l'extrait de pate saturée (en mmhos-cm).
- Bilan ionique de l'extrait de pate saturée après dosage des cations (photométrie de flamme et absorption atomique) et des anions exprimés en mé/litre.

Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Na^{+}, Cl^{-}, SO_4^{--}, CO_3H^{-} en me/litre.

+ Stabilité structurale.

Mesure de Is = Indice d'instabilité structurale par la méthode HENIN.

+ Perméabilité.

Test de perméabilité en laboratoire par la méthode HENIN : K en cm/h.

+ Rétention en eau.

- pF 4,2 : Point de flétrissement en % de sol séché à l'air (Méthode RICHARDS).
- pF 2,5 : Teneur en eau en % de sol séché à l'air soumis à 320 g/cm² de pression. Ceci correspond à une valeur proche de la capacité de rétention (sols et texture moyenne).

B. ANALYSE DES MATIÈRES HUMIQUES (Laboratoire des S.S.C. de BONDY, Madame GAVINELLI).

Méthode DABIN (1971, 1976). cf. texte page 342.

C. OBSERVATIONS DIVERSES.

- Observations au microscope polarisant des lames minces fabriquées aux S.S.C. de BONDY (Microscope polarisant).
- Observations au microscope électronique (MET) aux S.S.C. de BONDY (Monsieur RAMBAUD).

ANNEXE 5

LES FICHES ÉCOLOGIQUES DES PRINCIPALES ESPÈCES.

Nom de l'espèce :

AGROPYRON ORIENTALE

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
3	2	3	3	4	25	26	18	15		

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
		28	61	11	

Températures en °C

m		M'			
< 1°	1–3°	< 10°	10-12°	12-15°	> 15°
9	91	7	81	12	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
9		4		

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	1	1		3	4	1			3	3	5			

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
	1		1					1

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
	2		3

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
5				

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
3						

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg				Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
									2	7	21	7			13

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
87	13

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
	10		28	18	4	3	37						

pH

< 7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	> 8,2
37	29	34	

Gypse total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
18	56	27		

Conductivité en mmhos cm

< 2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	> 64
7	17	18	16	17	25	

Texture A + LF %

< 5	5–20	20-40	40-70	> 70
	5	6	24	65

Calcaire total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
	21	41	38	

Matière organique %

< 0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,5	> 2,5
17	19	36	22	6

pF 4,2 %

< 5	5-10	10-20	20-30	> 30
5	11	24	61	

pF 2,5 %

< 10	10-20	20-30	30-40	> 40
4	8	15	73	

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	> 6,0
				79	21

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
	5	33	18	44

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
														2								3		

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
2			5	1	2	3							1			3							11		7						

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
						2					13	3									3	10	10	11				8			

Steppes crassulescentes (Hal)

106

Nom de l'espèce :

AIZOON HISPANICUM

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
5	13	4	3	11	23	18	18		5	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		27	45	28			100		61	39	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien			
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	4			1,5	6				1,5	4,5				

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
				2			

Sols xériques

47	48	49
2		5

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
2	1	2,5	0,5		0,5		1	2

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
19,5			2			

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
		1,5	

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
3,5				

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
	3			1		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
							0,5		5	5	19,5				4,5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement		NOMENCLATURE													
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
79	21		24			26	10	11			29				

pH			Gypse total %				Conductivité en mmhos cm					
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
37	35	28	20	59		21		13	18	15	22	24	9	

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %					Profondeur de la nappe en m.		
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
	6	16	28	50	3	10	37	50			24	37	33	6		22	46	32		2	14	30	53					23	55	22

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
	26	16	11	47

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	2,5	2			2,5	1,5		2,5			8								8					

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
				0,5	4	2,5		1		5,5						2								0,5							

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
						1,5					4,5					4,5				

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
5		8	2			1,5	6	8	16,5	
									106	

Nom de l'espèce :

ARTEMISIA CAMPESTRIS

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
7,5	3.5	11,5	23	15,5	13	11,5	6,5	4,5	2	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		22	43	35		47	53	26	29	33	12

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
			2,5	1,5

SOLS PEU ÉVOLUES

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
5	0,5	1,5		3	2	0,5			2	1,5	4	5	5	

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
		1				5	

Sols xériques

47	48	49
	0,5	3

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
0,5	0,5		1	1	1,5		1	0,5

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
1,5						

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
				1,5	2,5	0,5

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
4,5	3,5	4	2,5

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
1	1	1,5	2,5	3

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
1,5	2	3	2,5	1,5	4,5	

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98	100

Sols lessivés

102

S. HYDRO.

103	104
	0,5

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
				2,5			0,5	1,5

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118	119	120
	0,5					

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
29	71

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
46	7				23	14				12			

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8 82
14	50	36

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
51	14		14	21

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
35	28	27	9			

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
35	45	14	6	

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
37	35	19	9	

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
44	30	13	10	3

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
65	28	7		

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
70	25	5		

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
			28	35	37

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
1,5	29,5	41	25	3

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
					0,5	1				

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0,5	1	0,5	4							3				1	4	3	2,5	2			4	1	2,5	

Steppes (St)

37	38	39
1	4	4

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
0,5	2,5	0,5	0,5	1	1	0,5	3,5	0,5			2	2	2	2	4	0,5						2,5	2	0,5	1,5			2			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
		3,5	0,5	4	2		0,5	1,5	3			1	4	4						

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
1	0,5					1	0,5			

106

Nom de l'espèce :

ARTEMISIA HERBA-ALBA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
14	23	19		5	9	5	16	7		

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
600–800	400–600	300–400	200–300	100–200	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		24	27	38	10	47	53	18	23	32	28

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
2	2	1		

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
4	1	3	1	1	1	1			0,5	1	3			

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34
		1							

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
2	1	1,5		0,5		4	1

Sols xériques

47	48	49
2,5	3	1

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
2,5	2	3,5	3	1,5	3,5		2,5	3,5

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
1						

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
		2	2,5			

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
		2,5	1	3	2	3	2	2,5	3	3	2	1,5	2	3		4

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102
	1						

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
								1							

HORIZON DE SURFACE

Recouvrmt		NOMENCLATURE												
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
39	61	6	11			18	4	16	7		5	6			28

pH				Gypse total %						Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2		<2	2–10	10-25	25-50	>50		<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
13	36	51		51	20		18	10		43	26	12	13	3	3	

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %				
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40
3	29	45	20	3	12	22	28	21	18	18	23	21	22	16	25	41	27	7		22	36	22	8	2

Profondeur de la nappe en m.						
0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0	
				2	98	

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
9	39	41	11	1

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,5	1		2			1,5	1,5	3		

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
2	2	2,5	3	3		1,5	0,5	1	3	2	3	2	2	2		2,5	2	1	3	2		2,5	1	3

Steppes (St)

37	38	39
1	3	1,5

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
2	0,5	0,5	3	2,5	1	3	0,5	2				1,5	2			0,5	2	0,5			2	2,5	1,5	0,5	2						

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
			0,5	0,5	1,5	0,5	1	0,5			3		0,5	3	0,5		1				0,5		0,5				0,5				

106

Nom de l'espèce :

ARTHROCNEMUM INDICUM

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
				5					95	

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
			73	27	

Températures en °C

m		M'			
< 1°	1–3°	< 10°	10-12°	12-15°	> 15°
	100		65	35	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19.	20	21	22	23

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.				Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98	100

Sols lessivés

102

S. HYDRO.

103	104
7	

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
	21					28	31	10,5

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118
3,5				

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
67	33

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
2		33						13	21		32		

pH

< 7,2	7,2-7,8	7,8-8,2
63	21	17

Gypse total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
0,5	13,5	39	29	18

Conductivité en mmhos cm

< 2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	> 64
		2	10	14	33	42

Texture A + LF %

< 5	5–20	20-40	40-70	> 70
71	18	11		

Calcaire total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
0,5	14	39	29	17,5

Matière organique %

< 0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,5	> 2,5
33	25	33	9	

pF 4,2 %

< 5	5-10	10-20	20-30	> 30
	50	50		

pF 2,5 %

< 10	10-20	20-30	30-40	> 40
67	33			

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	> 6,0
	30	27	40	3	

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
				100

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
				21	21				32	
									106	26

Nom de l'espèce :

ARTHROPHYTUM SCHMITTIANUM

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
28	2	10	11	10	18			22		

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
			4	96	

Températures en °C

m		M'			
<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
	100		2	98	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
			4,5	

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques				Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
						4,5								

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49
4,5	13	

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
2			1				3,5	

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
	3		10,5

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
4		15,5	15,5	11

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
		5,5		2,5		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg				Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrem°		NOMENCLATURE												
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
6	94	28					7	66							

pH			Gypse total %						Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50		<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
	8	92	100						76	24					

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %					Profondeur de la nappe en m.						
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
	58	32	10		29	43	11	17		70	13	4		14	53	41	6			62	29	9								100

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
	38	59		3

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
		1								27		7					3							

Steppes (St)

37	38	39
	27,5	

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	15							1					10								5,5										

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
																						3									

106	

Nom de l'espèce :

ARTHROPHYTUM SCOPARIUM

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
14	17	11		3	19	3	14	18		

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
			1	44	55

Températures en °C

m		M'			
<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
	100		2	40	58

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
1,5	2,5			

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	2	2		2,5		8								

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
						14	

Sols xériques

47	48	49
4	6,5	3,5

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
1	1		2,5	3	2,5		3	7

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
						1,5

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
		4	1		1,5			8,5	10	2	2	1		4		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrem[t]

NOMENCLATURE															
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
32	68	5	25			29	8	27				5			

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8 8,2
14	33	53

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
82			18	

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
71	29					

Texture A – LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
	42	45	14	

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
8	32	35	25	

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5 2,5	>2,5
45	36	13	3	3

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
37	48	15		

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
33	47	16	4	

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
					100

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
5	36	48	10	1

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
								5		

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	0,5	4,5	5,5		3					5,5	5,5	5,5		0,5		1	4,5							

Steppes (St)

37	38	39
	5,5	

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	3	1						3,5				5,5	4				5,5	4	5,5	3	5,5			0,5							

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
					4		0,5	5,5												

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
	1									

106

Nom de l'espèce :

ATRIPLEX GLAUCA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
2	0,5	2	10,5	12,5	20,5	25,5		14,5	12,5	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		14	69	17			100		75	25	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
2				

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	0,5	0,5		1	0,5	1		7,5	2,5	1,5			2,5	

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34
					3,5				

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES								Sols xériques			Sols à croûte calcaire									Sols calciques						
35	36	37	38	39	41	42	43	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
												0,5				0,5			0,5							

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux						
68	69	70	71	72	73	74
7,5			0,5	0,5		

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
			0,5				2							0,5		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
2,5		7,5	7,5	7,5	7,5		1,5	2	3	5,5	7,5	7,5			5,5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrem[t]	NOMENCLATURE														
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
63	37	5	3	3	25	10	5	3	25		17	4			

pH				Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2		<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
61	27	12		13	52	13	9	13	2	12	21	22	17	16	11

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %						pF 4,2 %					pF 2,5 %					Profondeur de la nappe en m.				
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
6	11	6	18	59	11	17	28	45		15	19	34	21	11	6	13	25	56		7	9	14	71			10	9	26	51	3

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
		21	22	57

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
		1,5													12											1		6			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
									9			0,5						12		

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
2,5	4		3	2,5		10	10,5	12		12

106

Nom de l'espèce :

ATRIPLEX HALIMUS

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
0,5			16	8	15	36		2,5	21,5	

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
			88	12	

Températures en °C

m		M'			
< 1°	1–3°	< 10°	10-12°	12-15°	> 15°
	100		89	11	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
			1	

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
		1		1		1			8	2			8	

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques		
47	48	49

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
	0,5											1				

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104
2	1,5

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
4			12,5	9,5	12,5		3	3	2	9		12,5			5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
79	21

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
14		10	34		6	4		18	15				

pH

< 7,2	7,2-7,8	7,8 8,2
74	20	6

Gypse total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
17	33	24	18	9

Conductivité en mmhos cm

< 2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	> 64
1	8	24	14	30	16	6

Texture A + LF %

< 5	5–20	20-40	40-70	> 70
19	7	3	12	59

Calcaire total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
19	14	25	42	

Matière organique %

< 0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	> 2,5
18	13	36	34	

pF 4,2 %

< 5	5-10	10-20	20-30	> 30
8	8	23	62	

pF 2,5 %

< 10	10-20	20-30	30-40	> 40
5	5	12	78	

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	> 6,0
20	9	8	13	49	1

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
		21	22	57

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

Steppes (St)

33	34	35	36	37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
		1,5													12					

61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
				1			6			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
									9			0,5						12		

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
2	4		3	2,5		10	10,5	12		12

106

Nom de l'espèce :

ATRACTYLIS SERRATULOIDES

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
11	26	19	4	11	18	1	5	1	1	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		16	24	48	12	29	31	8	21	43	29

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
1	1,5		0,5	

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
4,5	1	1		0,5						0,5	1			4,5

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
0,5							1

Sols xériques

47	48	49
1	2,5	3,5

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
2	2,5	2	2,5	3,5	2,5		2,5	3,5

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
0,5						

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
4,5		4,5	4	2		4

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
0,5	1,5	0,5	1

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
0,5	1,5	3,5	3	2,5

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
1,5	1,5	2	2,5	3	0,5	4,5

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98

Sols lessivés

100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
				1				2,5

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118
1				

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrem^t

—	+
30	70

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
11	8				3	18			6	25		29	

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2
17	43	40

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
24	9	6	25	36

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
29	34	22	10	3	3	

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
17	38	42	3	

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
12	20	30	23	15

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
26	23	22	20	9

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
35	44	21		

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
36	48	14		

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
			11	10	79

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
1	40,5	52	3,5	3

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,5					0,5				

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0,5	2,5	3	4		1	0,5	0,5	1		1,5		4	1,5	1,5	2	2	1,5	4	4	3		1,5	1,5	

Steppes (St)

37	38	39
2	4	3

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
1	3	0,5	1,5	3	3	1	1	3		4		2	3			0,5	1,5	1		2	3	1	2	2,5			4	1			

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
				1	1,5							0,5	0,5		0,5						1		2								

106

Nom de l'espèce :

AVENA BROMOIDES

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
74	10	17								

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
30		70				98	2	96	4		

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	2													

VERTISOLS

Drainage réduit				Drainage possible					
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
11	11	10					14

Sols xériques

47	48	49
	0,5	

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
3,5	0,5		0,5					

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
2,5	27					

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98
		18			

Sols lessivés

100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrmt		NOMENCLATURE											
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
89	11		64					36							

pH				Gypse total %						Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
39	43	18	100					100						

Texture A + LF %						Calcaire total %						Matière organique %						pF 4,2 %						pF 2,5 %						Profondeur de la nappe en m.					
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
	21	34	18	27	41	20	10	22	7			2	17	82		35	65				21	56	23							100

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
83	11	6		

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16	6,5	5,5	19		9,5	12	14			

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
6,5	1						3,5																	

Steppes (St)

37	38	39
2,5		

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
																3															

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105

106

Nom de l'espèce :
HELIANTHEMUM HIRTUM
ssp. *RUFICOMUM*

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
10	35	39		5	3		5	2		

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
	5	54	28	14	

Températures en °C

m		M'			
<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
72	28	53	30	17	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
1,5				

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques									Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	8	0,5	0,5	3						0,5	4			

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
2,5	3	2					4

Sols xériques

47	48	49
2	0,5	6

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
6,5	4	3	4,5	3	3,5		4,5	3

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
1,5						

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
				0,5		

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
8			0,5		0,5	6,5	2	1	0,5		2,5	3		2,5	0,5	

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
42	58

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
19	19			7		49				5			

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2
16	41	43

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
89				11

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
45	27	13	15			

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
12	29	49	10	

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
3	11	20	23	43

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
7	15	22	31	25

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
19	42	30	9	

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
					100

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
19	42	39		

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2,5	2,5		5,5	0,5	1	1	5,5			

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
5	3	1		4		2	2	1,5					4,5	4,5	5,5	0,5						1,5	1	5,5

Steppes (St)

37	38	39
5,5		1

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
0,5	0,5		3,5	4	3	1,5	1	1,5		4			0,5			1,5						1,5	3	0,5	1		5,5				

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105

106

Nom de l'espèce:

HELIANTHEMUM LIPII
var. *SESSIFLORUM*

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
11	4	10	28	7	30	1	5	2	1	

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
		2	8	40	50

Températures en °C

m		M'			
<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
4	96	1	8	39	52

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
			5	

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
			2	1,5								3,5	3,5	

VERTISOLS

Drainage réduit				Drainage possible					
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49
1	6,5	5,5

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
0,5	0,5		0,5	2	1,5		3,5	1

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
					5,5	

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
8	5	3	3,5

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
2	2	3	5,5	7

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
		1	5,5	3	3,5	

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98

Sols lessivés

100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
							0,5	3

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
21	79

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
50	4				3	19			20	4			

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	>8,2
9	30	61	66

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
			34	

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
65	19			16		

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
49	34	15	2	

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
31	32	25	12	

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
65	26	3	6	

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
66	31	3		

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
71	27	2		

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
			38	13	49

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal
	20	75	4	1

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0,5	1	2,5								3		2		1		2	5,5					2,5		

Steppes (St)

37	38	39
0,5	8,5	5

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	8,5			0,5			5	2,5		5,5	3,5		7				8,5	4	4	8,5	1,5			0,5				2,5			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
				0,5	3															

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
						0,5					

Nom de l'espèce :

HERNIARIA FONTANESII

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
12	47	29	2	6			4			

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		20	19	44	17	35	65	7	18	39	37

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial						Apport éolien		
7	8	9	10	~~13~~	~~14~~	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	2													

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
2							1,5

Sols xériques

47	48	49
5,5	1,5	7

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
4	4	3	5	6	4		6	8

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
		10	6	0,5	5	4

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
0,5	3			2

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
	1,5	1		4,5		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98

Sols lessivés

100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
						3,5		

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118
			–	

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
44	56

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
3	8	2		2		27				33		18	

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	>8,2
20	44	37	

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
30	8		21	41

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
34	36	17	9		5	

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
	21	67	12	

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
3,5	10	25	34	28

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
8,5	25	26	23	18

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
12	54	34		

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
9	59	29	3	

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
					100

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
1	62	32		2

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1									

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1	4	4	5,5	3	1	1,5	1	3	5,5	3,5	2,5	5,5	3,5	3		1	2	1,5	2,5	4		2		

Steppes (St)

37	38	39
2	5,5	

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
			1,5	3	2,5	0,5		4		5,5						0,5	1	18			3			1,5			5,5				

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
																							1,5		0,5						

106

Nom de l'espèce :

LYGEUM SPARTUM

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
3	11	13	11	11	10	8	9	9	8	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
2		28	39	31		44	56	27	38	32	3

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
2	0,5	1,5	0,5	0,5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

Sols régosoliques				Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2	1	2	1	1,5	1,5	1			0,5	1,5	2	1,5	1,5	2

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34
2		1							

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
		1				2	

Sols xériques

47	48	49
0,5	1,5	1,5

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
1,5	1,5	0,5	1,5	0,5	2		1,5	1

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
1						

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
2		2	2	1,5	1	1,5

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
1,5	2	1	2

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
1,5	2	1,5	2	1

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
1,5	2	1,5	2	1,5	2	2

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102
				2			

S. HYDRO.

103	104
0,5	1

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
	1		1	2		1,5	1	2

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118
0,5	0,5			

Str. dégradée

119	120
	0,5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
35	65

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
10	8	5		8	6	8	14	3	9	10		6	14

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2
21	38	41

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
19	23	17	19	23

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
20	18	19	15	11	7	9

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
22	33	23	14	8

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
18	27	22	18	15

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
30	24	19	18	10

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
40	36	20	4	

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
42	35	17	6	

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
	20	18	23	13	26

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
2	21	48	18	11

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,5				0,5	1,5				

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1	1,5	0,5			1	0,5	1	0,5		0,5			1	2		2	0,5	1	2	1,5	2	1,5	0,5	

Steppes (St)

37	38	39
1,5	2	2

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
2	2	0,5	2	2	2	1	2	1	2	2	0,5	2	2	0,5	2	1	0,5				0,5	2	2	1	2	1	2	2			2

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
		2	0,5	2	1	0,5	1	1,5			1	1	2	2	0,5	0,5	1,5	2		

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
1	0,5	2	0,5	0,5	1	1	0,5		2	1

106

Nom de l'espèce :

PEGANUM HARMALA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
3	5	4	9	9	12	20	21	14	3	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		7	52	41		5	95	1	39	36	24

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
			0,5	

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
5,5	0,5	0,5		4	4	3,5		4	4	3,5	1,5		3,5	

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34
		2,5			2,5				5,5

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
		0,5		3			

Sols xériques		
47	48	49
	1	

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
0,5	0,5	1,5	0,5		1,5		1	1

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
				0,5	2,5	2

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
	2	2	1	1	4		1,5	1,5	0,5	2,5	1	1		1	0,5	

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104
	0,5

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
			5,5	2,5			0,5	1,5	1	3		2			1,5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement	NOMENCLATURE														
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
41	59	13	4			25	27	9			10	12			

pH					Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2			<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
34	31	35			54			23	26	17	20	30	16	14	3	

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %					Profondeur de la nappe en m.				
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
11	20	14	28	28	12	29	33	26		25	34	22	18	2	23	26	30	21		21	20	23	35					25	54	21

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
	2	34	44	20

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	0,5	0,5														1	0,5							

Steppes (St)

37	38	39
	5,5	2

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	2		0,5	1	1,5	2	1	1,5				3	1		3	0,5						1	3	1	2			4			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
		3,5	0,5	2	5,5	0,5	2,5	4,5	3	1	4,5	4,5	0,5	3,5	3	3,5	1,5			

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
3,5	2		1			2	3	3		5,5	

Nom de l'espèce :

PISTACIA ATLANTICA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
38		3		4			26	30		

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		66	15	19		81	19	63	16	21	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
				1		5								

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
4		23					6

Sols xériques

47	48	49
4	6	

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
		5	1					

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
11				19		

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

SOLS ISOHUMIQUES

75	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
			3													

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102
		13					

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
80	20

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
22					28	51							

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	>8,2
29	24	47	

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
100				

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
56	44					

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
	52	33	15	

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
66	22	7	5	

Matière organique %

<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
3	9	7	8	73

pF 4.2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
20	55	25		

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
22	29	32	17	

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
50	29	1	20	

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	1,5				7	17		21,5		

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	0,5					2				22						5								

Steppes (St)

37	38	39
1		

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
					3		2	9			6									

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
									106	

Nom de l'espèce :

SALSOLA TETRANDRA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
			5	10	20	32		23	10	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
			73	27			100		65	35	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
				0,5		3			4	1				

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98	100	102

Sols lessivés

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
	5,5	11		3	11		1	

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118
5	9	11	11	5,5

Str. dégradée

119	120
11	7

HORIZON OE SURFACE

Recouvrmt		NOMENCLATURE													
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
61	39	5		8	65	15	3	3							

pH			Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
78	15	7	13	51	37			0,5	8	12	15	21	27	17

Texture A + LF %						Calcaire total %						Matière organique %						pF 4,2 %						pF 2,5 %						Profondeur de la nappe en m.					
<5	5–20	20-40	40-70	>70		<2	2–10	10-25	25-50	>50		<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5		<5	5-10	10-20	20-30	>30		<10	10-20	20-30	30-40	>40		0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
	6	3	20	70		5	10	23	29	33		8	21	29	26	17		2	7	26	65			5	5	13	78					13	22	63	2

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
				100

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
2	19		18	2,5		10	16	10	19		3

Nom de l'espèce :

SALSOLA VERMICULATA
var. *BREVIFOLIA*

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
145	20	16	9,5	8,5	19,5	1	8,5	2,5		

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	< 1°	1–3°	< 10°	10-12°	12-15°	> 15°
			22	78			100		14	62	24

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
2,5			3	

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19.	20	21	22	23
		3,5	2,5	0,5										13,5

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49
1,5	6	

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
1,5	1	1	3	2,5	4		5	6

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
						3

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
	2,5	2,5	4,5

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
1,5		3,5	5	1

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
2	2	2,5	7	4	0,5	

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98

Sols lessivés

100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
17	83

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
28	15			7	2	26				5		16	

pH

< 7,2	7,2-7,8	7,8-8,2
21	33	46

Gypse total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
67			33	

Conductivité en mmhos cm

< 2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	> 64
44	32	13		11		

Texture A + LF %

< 5	5–20	20-40	40-70	> 70
33	37	28	1	

Calcaire total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
16	24	39	21	

Matière organique %

< 0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	> 2,5
39	30	26	5	

pF 4,2 %

< 5	5-10	10-20	20-30	> 30
47	40	13		

pF 2,5 %

< 10	10-20	20-30	30-40	> 40
52	41	7		

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	> 6,0
					100

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
	40	55,5	4	0,5

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	6,5	5	11								5,5	5,5				3	3,5							

Steppes (St)

37	38	39
	11	6,5

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
2,5	9,5			3		0,5	0,5	3,5					5							11	2									

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
				0,5	2,5						1										0,5									

106

Nom de l'espèce :
SALSOLA VERMICULATA
var. *VILLOSA*

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
10	1	4,5	11,5	11	12,5	22,5	9	14,5	3,5	

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
		11	46	43	

Températures en °C

m		M'			
<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
3	97	1	42	45	12

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols / Apport éolien

1	2	3	4	5
3	3,5	2		

SOLS PEU ÉVOLUÉS

Sols régosoliques / Apport alluvial / Apport éolien

7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
5,5	2	2		2		1,5		5,5	3,5	1,5	1,5		5,5	

VERTISOLS

Drainage réduit / Drainage possible

24	25	26	27	28	29	30	32	33	34
		1,5			2,5				

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
0,5				0,5			

Sols xériques

47	48	49
0,5	1,5	

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
		1,5			0,5		0,5	

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
5,5		2,5	0,5	0,5		0,5

SOLS ISOHUMIQUES

75

Sierozems modaux

77	78	79	80
1,5	1	0,5	

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
1		2,5	0,5	1

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
		1		1		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique / Sols lessivés

93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg / Solonchaks Na-Mg / Str. dégradée

105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
			5,5	2,5	5,5		0,5		2	3	5,5	5,5			2

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
48	52

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
6	19	1	12	12	7	7	23		8	7			

pH

<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2
49	26	26

Gypse total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
20	42	12	9	17

Conductivité en mmhos cm

<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
7	16	22	19	26	10	

Texture A + LF %

<5	5–20	20-40	40-70	>70
10	18	12	22	38

Calcaire total %

<2	2–10	10-25	25-50	>50
17	22	18	27	15

Matière organique %

<0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,5	>2,5
29	23	24	19	5

pF 4,2 %

<5	5-10	10-20	20-30	>30
27	29	31	14	

pF 2,5 %

<10	10-20	20-30	30-40	>40
23	18	21	38	

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
			20	66	14

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
0,5	22,5	30	11,5	35

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,5		-							

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
			5,5		4,5			15		5,5						1,5	2,5			1

Steppes (St)

33	34	35	36	37	38	39
						2

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
1,5	1	4,5		0,5		1	0,5	1				3	0,5		5,5	1					1	2,5	3	0,5				1,5			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
					1,5		1,5		4		3			2						

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
5,5	4,5	5,5	0,5	0,5		4	4	5,5		5,5	

Nom de l'espèce :

SPHENOPUS DIVARICATUS

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
1			4	10	12	5		4	64	

CLIMAT

Pluviosité en mm							Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100		m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah		<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		12	70	18			14	86	9	69	24	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19.	20	21	22	23

VERTISOLS

Drainage réduit				Drainage possible					
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

	SOLS BRUNS CALCAIRES							Sols xériques			Sols à croûte calcaire									Sols calciques						
35	36	37	38	39	41	42	43	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux						
68	69	70	71	72	73	74
			1,5			

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104
5	4

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
15,5	15,5				15,5	15,5	7	4	5	2			8		3,5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrmt		NOMENCLATURE												
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
63	37	1		28	18	2	0,5	0,5	10		16		24		

pH				Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	>8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
67	14	19		1	21	45	22	11		1	4	9	22	23	41

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %				Profondeur de la nappe en m.					
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
	17	4	36	43	18	20	14	3	46	29	14	25	14	18		12	88				8	33	59		28	19	23	24	6	0,5

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
			32	68

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
																								1		8		2			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
																		21		

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
			7	11,5	10,5	3	2		21	
									106	14

Nom de l'espèce :

STIPA BARBATA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
5	33	26	2	4	17	2	9	2		

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
	18	30	27	25		54	46	25	25	26	24

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
1				

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
				0,5	1					1	8			

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
2	2	1					2

Sols xériques

47	48	49
1	0,5	5,5

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
3	4	2,5	4,5		5		2,5	3,5

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
11						1

75
11

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
0,5	2,5		2

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
2	2		2,5	1

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
1,5	6	1		2,5		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102
	2,5						

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg				Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrmt		NOMENCLATURE												
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
37	63	4	2			18	1	14				2			59

pH			Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
6	43	51	50	17	24	9		56	22	5	17			

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %				
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40
	32	51	17		10	17	25	21	26	14	20	21	27	19	17	40	27	16						

Profondeur de la nappe en m.					
0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
				6	94

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
12	21	61	5	1

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,5	1,5		6,5	2		0,5				

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	3,5	1,5				1	1						2,5	3,5	5	0,5		2,5						

Steppes (St)

37	38	39
6,5		1,5

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
			5	6	3	3	1	3,5		3,5			2,5								2	1,5	10	0,5	3,5		10				

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
1			0,5								1		0,5		1,5						1										

106	

Nom de l'espèce :

STIPA PARVIFLORA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
12	24	21	1	7	15	4	13	1		

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
	7	22	28	43		42	58	16	24	40	20

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
	0,5	1		

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
4	1,5	2	1,5	1	1	0,5				1	4			

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
1	1	1,5		0,5			

Sols xériques

47	48	49
2	3	2

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
2,5	2,5	2	3	2	3,5		2,5	3,5

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
1						

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
4			0,5			1

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
4	0,5	2,5	1	2	2	3	3	3	3	2	3,5	2	4	3	0,5	4

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102
	1						

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrmt		NOMENCLATURE												
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
34	66	9	16			17	4	19				3			31

pH				Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	>8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
13	39	48	75	10				15	48	28	12	9			

Texture A + LF %						Calcaire total %						Matière organique %						pF 4,2 %						pF 2,5 %						Profondeur de la nappe en m.					
<5	5–20	20-40	40-70	>70		<2	2–10	10-25	25-50	>50		<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5		<5	5-10	10-20	20-30	>30		<10	10-20	20-30	30-40	>40		0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
9	36	41	13			15	22	29	22	12		20	26	23	20	11		32	43	21	4			34	44	20	3							2	98

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
8	42	42	7,5	0,5

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,5	0,5			0,5		1,5	3	3		

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0,5	2	2,5	3		1	1	0,5	1	3		3	2	1	2	3	2	2,5	2	3		3	1,5	2	

Steppes (St)

37	38	39
2	3	2,5

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
0,5	2		2,5	2,5	2,5	2	1	2,5		1		3	2,5			1	1				2	2,5	3	0,5	1		3				

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
0,5		0,5	0,5	1	1	0,5					1,5	0,5	1	1	1						0,5										

106

Nom de l'espèce :

STIPA TENACISSIMA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	OA	OM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
31	27	28	3	3	8	1				

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
	12	37	21	30		67	33	37	22	29	12

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
1		1	0,5	

SOLS PEU ÉVOLUES

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	2	2	2,5	0,5							1			

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
4	2	3,5					3,5

Sols xériques

47	48	49
4	4	2

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
3	2	2	3	4	3		3	2

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65
2,5	4					

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
	4	4	1,5			

SOLS ISOHUMIQUES

75
4

Sierozems modaux

77	78	79	80
	1	1	2,5

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
0,5	3,5		3	2,5

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
	1,5	0,5	2	2,5	0,5	

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102
	2	1,5					

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrmt	NOMENCLATURE													
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
39	61	15	34			7	1	29				7		6	

pH					Gypse total %					Conductivité en mmhos cm					
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2			<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
15	43	42			67			22	11	45	33	11	7		4	

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %					Profondeur de la nappe en m.					
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
14	36	40	11		15	15	18	22	30	15	17	17	24	28	33	35	22	10		20	21	14	3	42						

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
17	58,5	24	0,5	

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2,5	2,5		2,5	1	1,5	2	2,5	2,5		

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Steppes (St)

37	38	39
1,5	2,5	2

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
0,5	1,5		1	1,5	1	0,5	0,5	0,5		2,5	0,5		1			1	2,5			1	0,5	1,5		0,5							

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
				0,5																

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105

106

Nom de l'espèce :

SPERGULARIA DIANDRA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
3	15	6	4	7	21	17	16	3	8	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		11	51	38		10	90	2	50	48	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
0,5				

SOLS PEU ÉVOLUES

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19.	20	21	22	23
	1,5	0,5		1	2				1	2,5			2,5	

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34
					2				

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
				1,5			

Sols xériques

47	48	49
1		

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
1	1,5	1,5	1	1,5	1,5		0,5	2

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
7			2			

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
1	0,5		

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
3		2		1,5

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
1	1			1	0,5	

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98

Sols lessivés

100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
		7	4		7	2,5	1	

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118
3,5	3,5	7	7	7

Str. dégradée

119	120
	3,5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrem[t]		NOMENCLATURE												
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
54	46	2	11	7	41	11	5	9			9	4			

pH			Gypse total %						Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50		<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
43	32	25	20	32	23	17	8		8	11	16	13	22	19	11

Texture A - LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %				
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40
	13	23	27	37	3	15	35	30	17	10	20	38	28	4	5	33	40	21		7	24	27	41	

Profondeur de la nappe en m.						
0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
			30	52	18

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
	29	23	11	37

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	2	1,5			2	0,5		2			4	2	0,5	1				7,5	4	1,5			1,5	

Steppes (St)

37	38	39
0,5		0,5

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
0,5				1	4	3	0,5	2				4	2		4	1,5								0,5							

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
		0,5							2		2,5				2,5	3				

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
2,5	1	2	5,5	1,5		3,5	4,5		7,5	4	1,5

Nom de l'espèce :

SUAEDA FRUTICOSA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
0,5			12	9	20	18		9	31,5	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		8	89	3			100		96	4	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	0,5				1		2,5		1,5	1			5	

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34
					4				

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
				1		

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
	1,5															

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104
2,5	

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
2,5	4	7,5	7,5	4	7,5		5	4	5	5,5		7,5	7,5	7,5	5

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement	NOMENCLATURE													
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
75	25	6		12	28	5	2	2		13	16	2	16		

pH					Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	>8,2		<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
77	15	8	7		33	32	18	11		0,5	5	14,5	14	26	25	15

Texture A – LF %						Calcaire total %						Matière organique %						pF 4,2 %						pF 2,5 %						Profondeur de la nappe en m.					
<5	5–20	20-40	40-70	>70		<2	2–10	10-25	25-50	>50		<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5		<5	5-10	10-20	20-30	>30		<10	10-20	20-30	30-40	>40		0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
22	9	4	12	53		17	14	17	29	23		14	20	28	26	12		5	7	16	71			7	5	10	78			12	16	14	27	30	1

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal
		13	17	70

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
							0,5								5,5									0,5		1		5,5			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
							1									1	5,5	11		

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
2,5	1		9,5	8	7	8,5	10		11	11

106

Nom de l'espèce :

TELEPHIUM IMPERATI

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
5	56	37		2						

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		23	26	9	37	63	37	38	32	15	15

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
			6											

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43
3	3	2					

Sols xériques

47	48	49
1		

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
15	6	9	8	12	11		9	10

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74

SOLS ISOHUMIQUES

	Sierozems modaux				Sierozems à nodules calc.					Sierozems à encroûtement calcaire						
75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
												3		2		

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique						Sols lessivés	
93	94	95	96	97	98	100	102

S. HYDRO.

103	104

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg									Solonchaks Na-Mg					Str. dégradée	
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement		NOMENCLATURE													
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
42	58		18					82							

pH			Gypse total %					Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
24	44	32	100					37	45	7	11			

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %					pF 4,2 %					pF 2,5 %					Profondeur de la nappe en m.					
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
	22	70	8		1	7	23	33	36	2	17	21	33	27	3	40	37	20		1	12	8	80	1						100

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
8	67	25		

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1		6			1				

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
10	9	2		4			2	5					6	5				4	17				3	

Steppes (St)

37	38	39
5		

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
			4	7	2	2		1										4													

Jachères et cultures (Cult)

Steppes crassulescentes (Hal)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105

106

Nom de l'espèce :

THYMELAEA MICROPHYLLA

GÉOMORPHOLOGIE

VR	OA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
8	8	12	27	11	20	1	3	1	4	

CLIMAT

Pluviosité en mm						Températures en °C					
800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100	m		M'			
SH	SA	AS	AM	AI	Sah	<1°	1–3°	<10°	10-12°	12-15°	>15°
		1	36	62		3	97	1	25	54	20

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5
			3,5	2,5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

Sols régosoliques				Apport alluvial								Apport éolien		
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7		1,5		0,5						0,5	3,5	2,5	2,5	

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49
0.5	4	

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58
0,5	1	1	1,5		3		1,5	2

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
			0,5	1		2,5

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
6	3	4	2,5

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85
2	1	2	3,5	2,5

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92
1	1	2,5	3,5	3	4	7

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98	Sols lessivés 100	102

S. HYDRO.

103	104
	2

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
				2			1	5

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement		NOMENCLATURE													
—	+	1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
16	84	34	2				4	13			19	4		25	

pH			Gypse total %				Conductivité en mmhos cm						
<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	>64
16	34	50	45			32	23	39	16	27	6	13		

Texture A + LF %					Calcaire total %					Matière organique %						pF 4,2 %					pF 2,5 %					Profondeur de la nappe en m.				
<5	5–20	20-40	40-70	>70	<2	2–10	10-25	25-50	>50	<0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2,5	>2,5	<5	5-10	10-20	20-30	>30	<10	10-20	20-30	30-40	>40	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	>6,0
45	40	13	2		38	34	19	9		54	25	13	6	2	68	27	5			73	25	2					15	33	21	31

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
	26	66	7	1

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	1,5	2	7,5					1		2,5		2		1		3	3						3	

Steppes (St)

37	38	39
0,5	7,5	6,5

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	7,5	1	1	3	2,5		6,5	2,5			3,5		5,5	2,5	7,5		3					1		1,5				5			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
		1,5		3,5	2															

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
						1				

106

Nom de l'espèce :

TRAGANUM NUDATUM

GÉOMORPHOLOGIE

VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CH	DA	DN	MC
			48	13	4				35	

CLIMAT

Pluviosité en mm

800–600	600–400	400–300	300–200	200–100	<100
SH	SA	AS	AM	AI	Sah
			67	33	

Températures en °C

m		M'			
< 1°	1–3°	< 10°	10-12°	12-15°	> 15°
	100		58	42	

SOLS

S. MINÉRAUX BRUTS

Regosols			Apport éolien	
1	2	3	4	5

SOLS PEU ÉVOLUÉS

	Sols régosoliques			Apport alluvial							Apport éolien	
7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
									25				11,5	17

VERTISOLS

Drainage réduit						Drainage possible			
24	25	26	27	28	29	30	32	33	34

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

SOLS BRUNS CALCAIRES

35	36	37	38	39	41	42	43

Sols xériques

47	48	49

Sols à croûte calcaire

50	51	52	53	54	55	56	57	58

Sols calciques

59	60	61	62	63	64	65

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES

Sols gypseux

68	69	70	71	72	73	74
						2

75

SOLS ISOHUMIQUES

Sierozems modaux

77	78	79	80
5			

Sierozems à nodules calc.

81	82	83	84	85

Sierozems à encroûtement calcaire

86	87	88	89	90	91	92

SOLS A SESQ. DE FER

Sols à réserve calcique

93	94	95	96	97	98

Sols lessivés

100	102

S. HYDRO.

103	104
	2

SOLS HALOMORPHES

Solonchaks Ca-Mg

105	106	107	108	109	110	111	112	113
				17	17	5,5	7	13

Solonchaks Na-Mg

114	115	116	117	118
	0,5			

Str. dégradée

119	120

HORIZON DE SURFACE

Recouvrement

—	+
48	52

NOMENCLATURE

1	4	5	6	8	10	11	14	17	25	26	27	28	35
22		9			0,5	1			58			10	

pH

< 7,2	7,2-7,8	7,8-8,2
58	29	13

Gypse total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
6	33		44	17

Conductivité en mmhos cm

< 2	2–4	4–8	8–16	16-32	32-64	> 64
1	15	24	6	40	14	

Texture A + LF %

< 5	5–20	20-40	40-70	> 70
70	29	1		

Calcaire total %

< 2	2–10	10-25	25-50	> 50
67	24	9		

Matière organique %

< 0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,5	> 2,5
61	34	4		

pF 4,2 %

< 5	5-10	10-20	20-30	> 30
84	11	5		

pF 2,5 %

< 10	10-20	20-30	30-40	> 40
89	5	6		

Profondeur de la nappe en m.

0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,2-2,0	2,0-6,0	> 6,0
			67	32	1

GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Formations végétales

FM	∝	St	Cult	Hal.
		53		47

Forêts-matorrals (F.M.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Steppes à dominante d'Alfa (∝)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36

Steppes (St)

37	38	39

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
							4																	4				45,5			

Jachères et cultures (Cult)

74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94

Steppes crassulescentes (Hal)

95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
1,5				13,5		31,5				

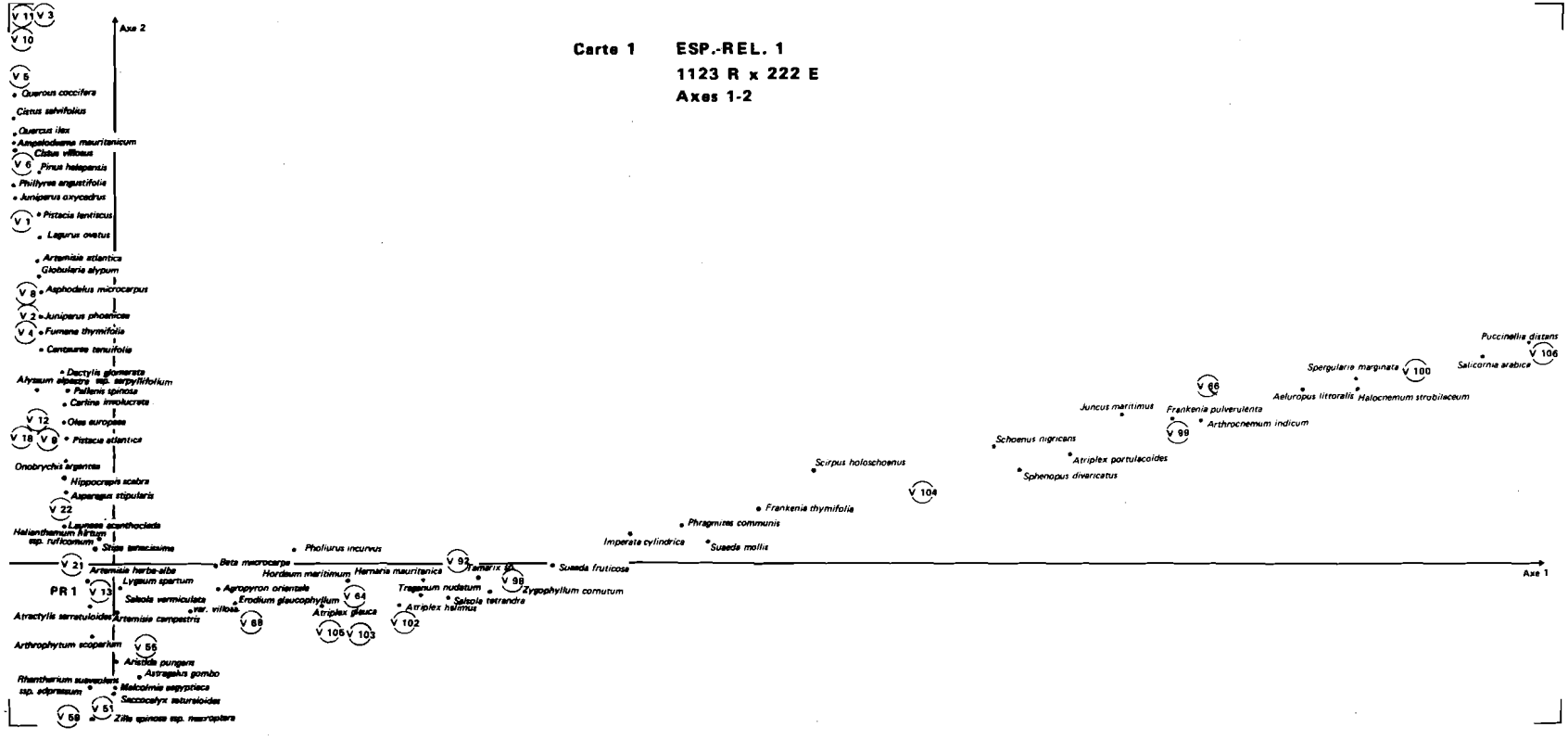
106

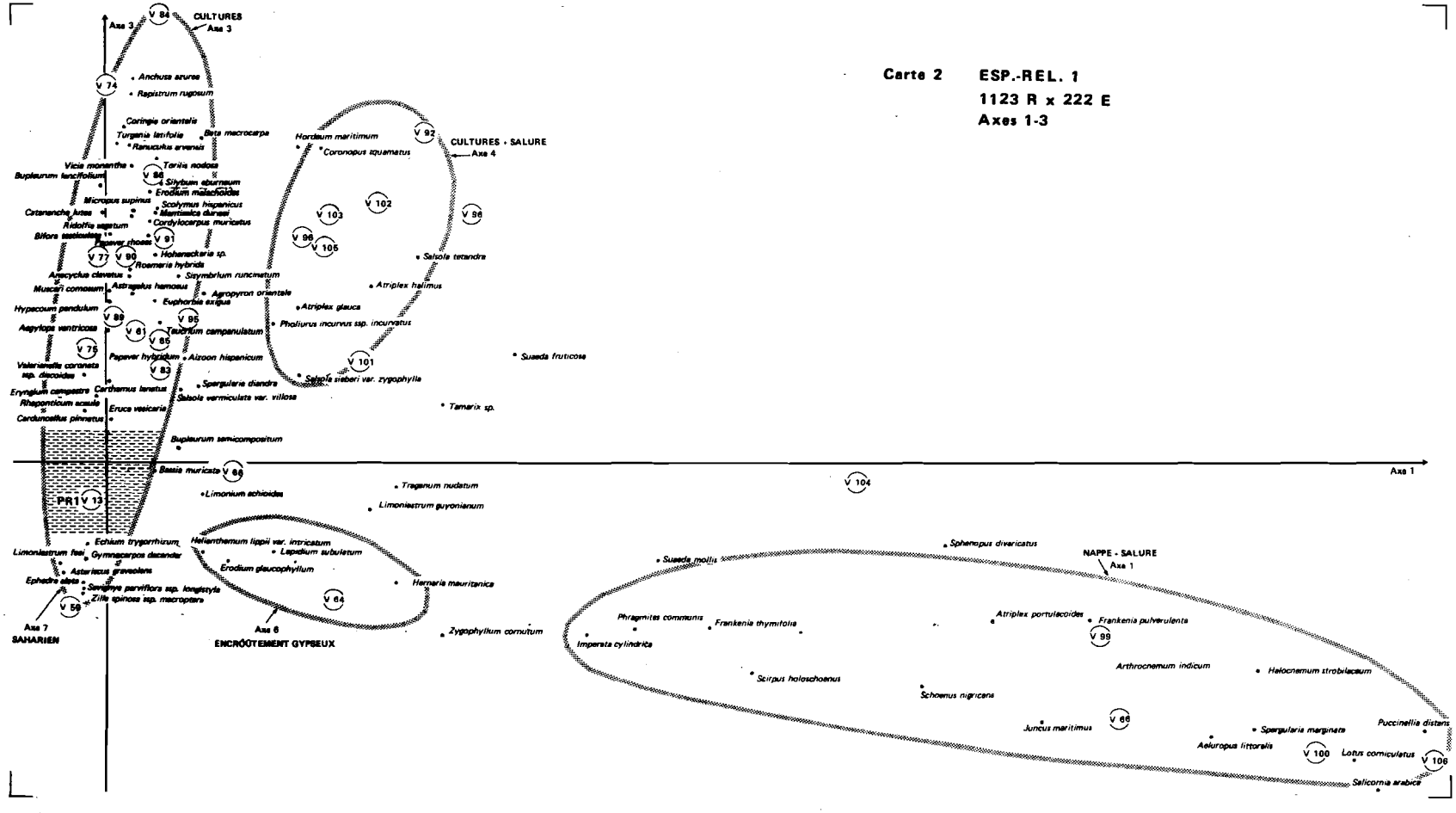
ANNEXE 6

LES CARTES FACTORIELLES.

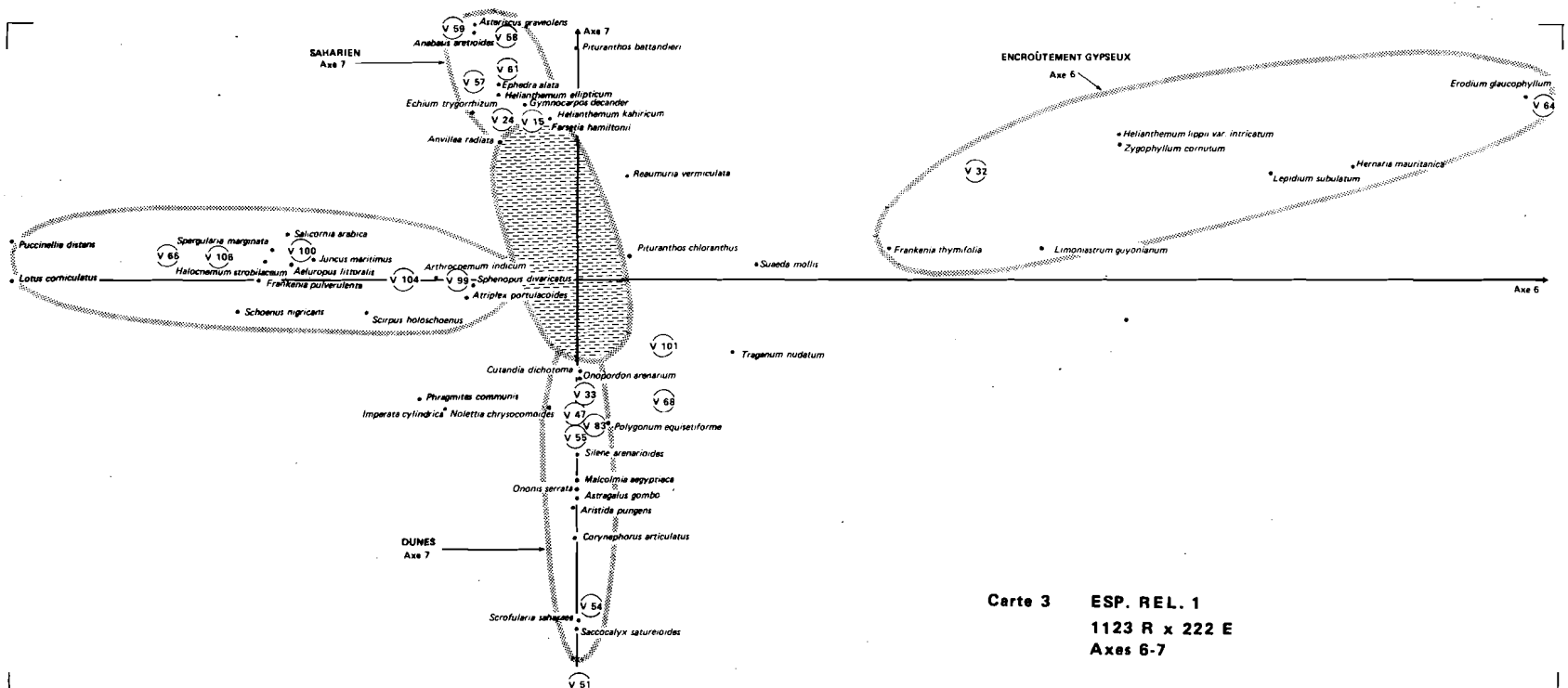
Carte 1 : ESP-REL 1 Axes 1-2.
Carte 2 : ESP-REL 1 Axes 1-3.
Carte 3 : ESP-REL 1 Axes 6-7.
Cartes 4 : ESP-REL 2 Axes 1-2.
Carte 4 bis: ESP-REL 2 Axes 1-2.
Carte 5 : ESP-REL 21: FORETS-ARIDE SUPERIEUR Axes 1-2.
Carte 6 : ESP-REL 22: CULTURES Axes 1-2.
Carte 7 : ESP-REL 22: CULTURES Axes 2-3.
Carte 8 : ESP-REL 23: PSAMMOPHILES Axes 2-3.
Carte 9 : ESP-REL 24: ARIDE INFERIEUR, M'4. Axes 1-3
Carte 10 : ESP-REL 25: SALURE Axes 1-2.
Carte 11 : ESP-REL 25: SALURE Axes 1-3.
Carte 12 : ESP-REL 32: NOYAU 2 Axes 1-2.
Carte 13 : ESP-REL 32: NOYAU 2 Axes 2-3.
Carte 14 : ESP-SOL 1: Axes 1-2.
Carte 15 : ESP-SOL 2: (ARIDE) Axes 1-2.
Carte 16 : ESP-ECO FA: Axes 1-2.
Carte 17 : ESP-ECO TFR: Axes 1-2.
Carte 18 : ESP-REL : SOLS HALOMORPHES Axes 1-2.
Carte 19 : ESP-REL : DAYAS Axes 1-2.
Carte 20 : ESP-REL : DAYAS Axes 2-3.
Carte 21 : ESP-REL : FORÊTS-MATORRALS Axes 1-2.
Carte 22 : ESP-REL : STEPPES A ALFA (ARIDE) Axes 1-2.
Carte 23 : ESP-REL : CALCAIRES DURS Axes 1-2.
Carte 24 : ESP-REL : GRÈS (ARIDE) Axes 1-2.
Carte 25 : ESP-REL : MARNO-CALCAIRES Axes 1-2.
Carte 26 : ESP-REL : MARNES Axes 1-2.
Carte 27 : ESP-REL : SIÉROZEMS Axes 1-2.
Carte 28 : ESP-REL : SOLS A CROÛTE CALCAIRE (ARIDE).
Carte 29 : ESP-REL : SOLS A CROÛTE CALCAIRE (S 51) DE L'ARIDE MOYEN Axes 1-2.
Carte 30 : ESP-REL : *SALSOLA VERMICULATA* var. *VILLOSA* Axes 1-2.

Carte 1 **ESP.-REL. 1**
1123 R x 222 E
Axes 1-2

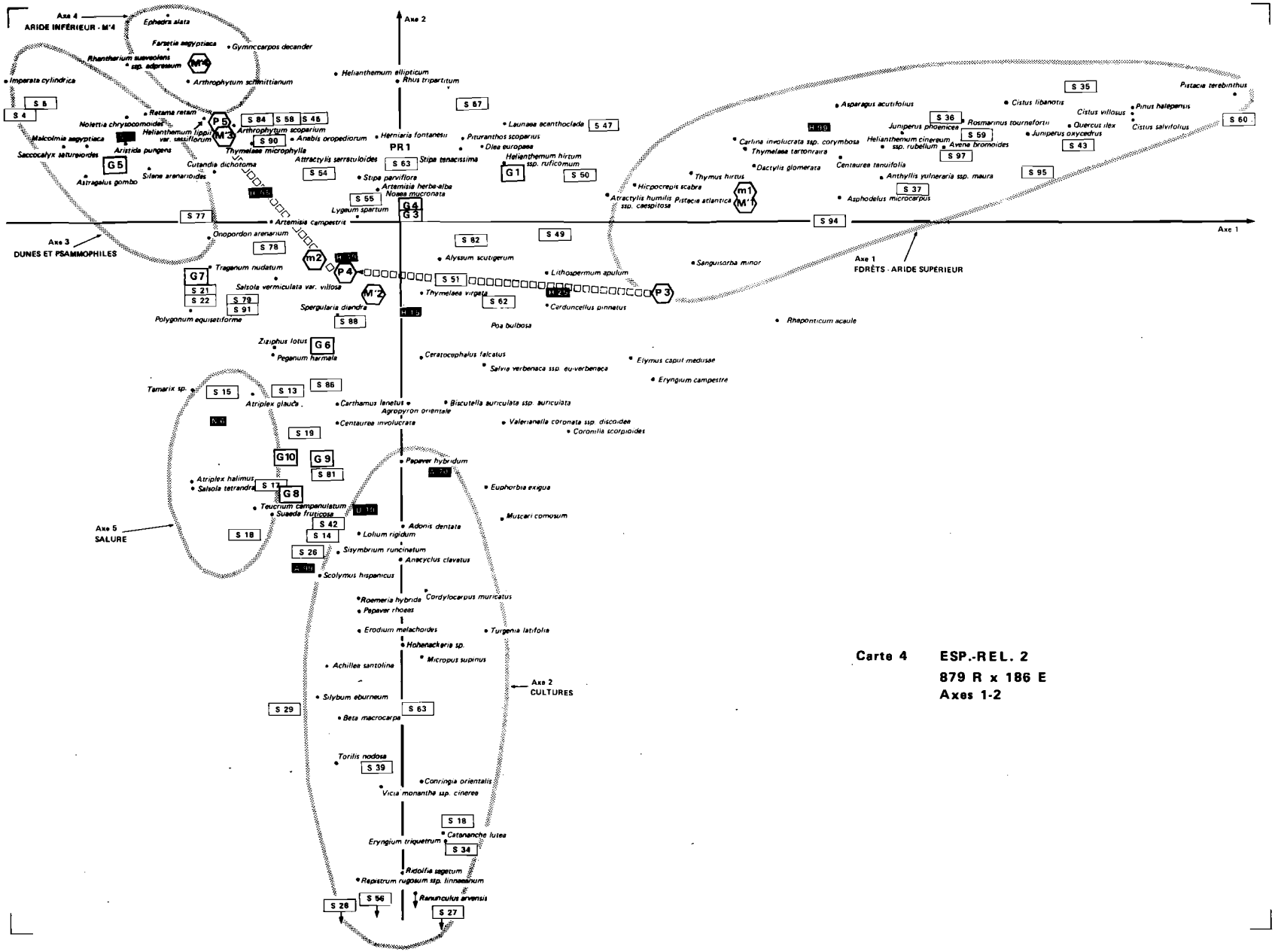




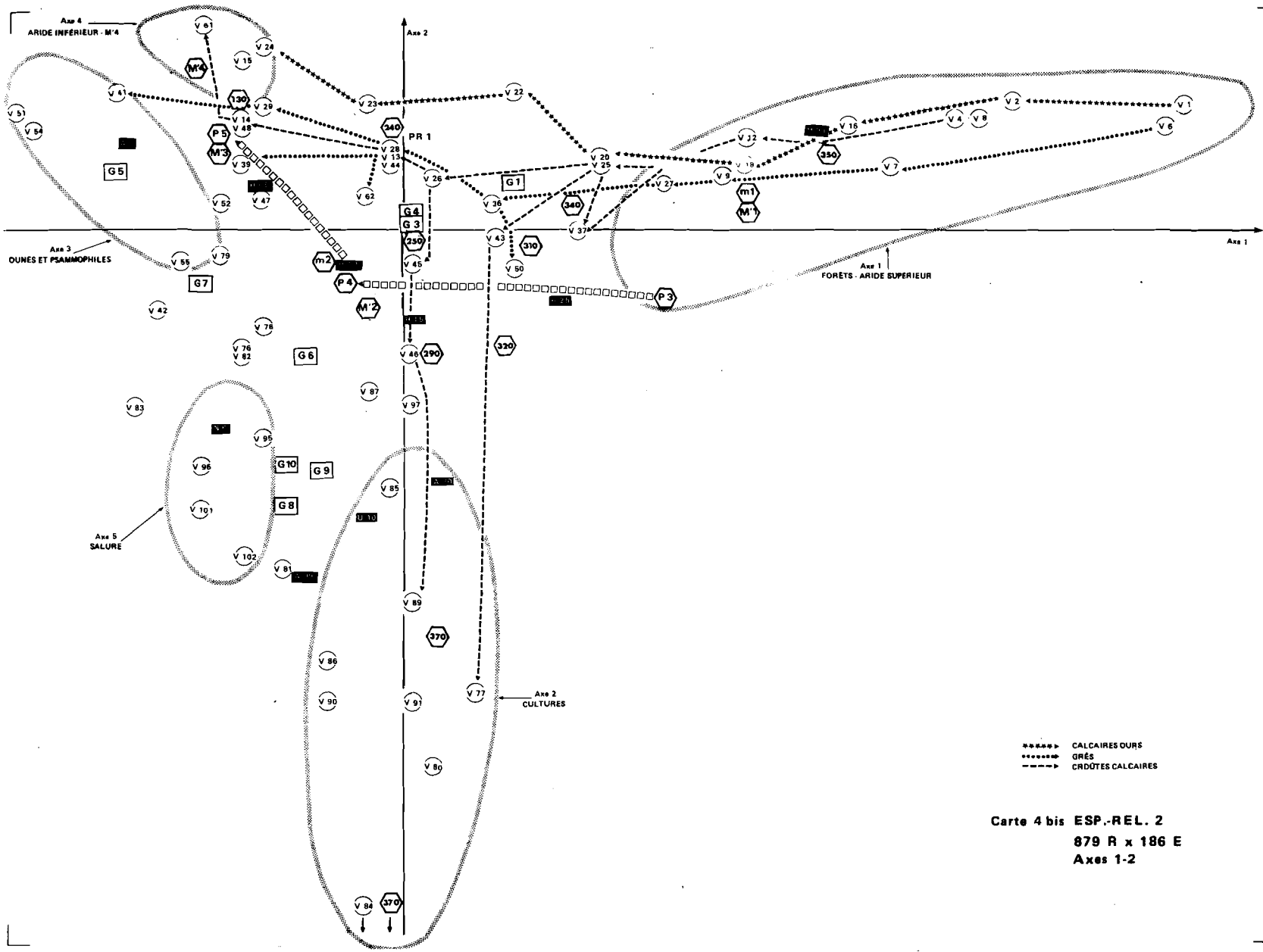
Carte 2 **ESP.-REL. 1**
1123 R x 222 E
Axes 1-3



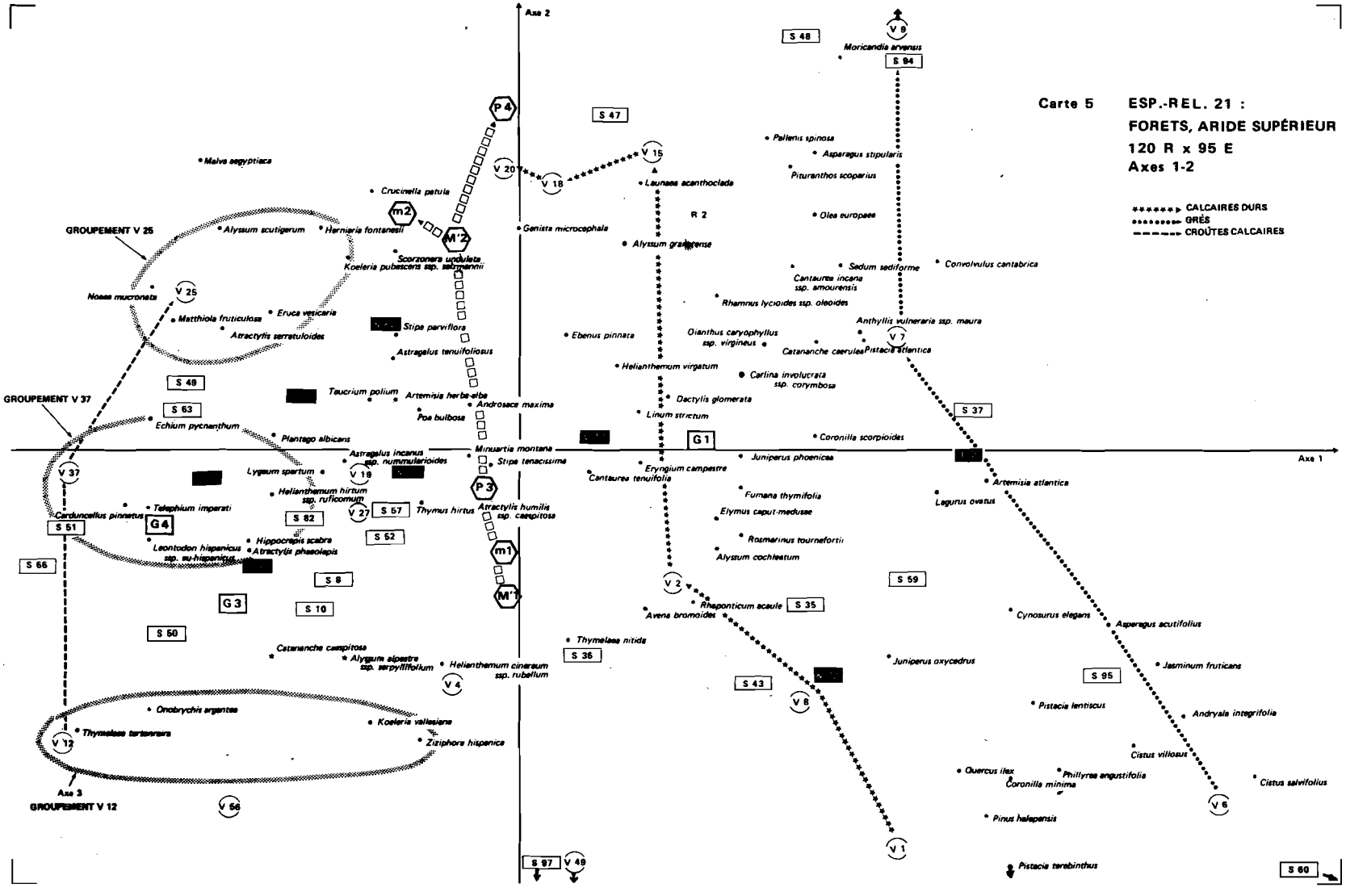
Carte 3 **ESP. REL. 1**
1123 R x 222 E
Axes 6-7

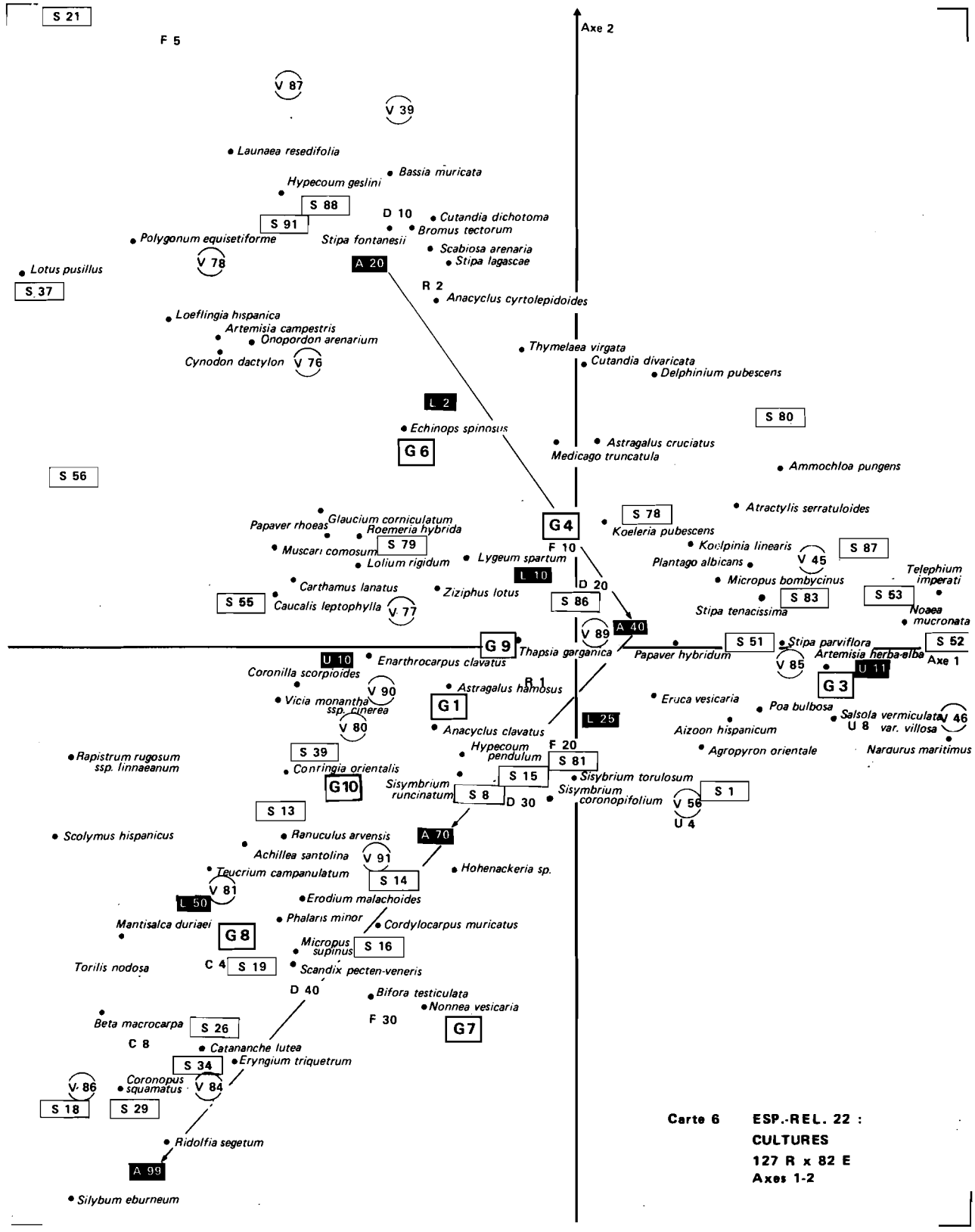


Carte 4 **ESP.-REL. 2**
879 R x 186 E
Axes 1-2

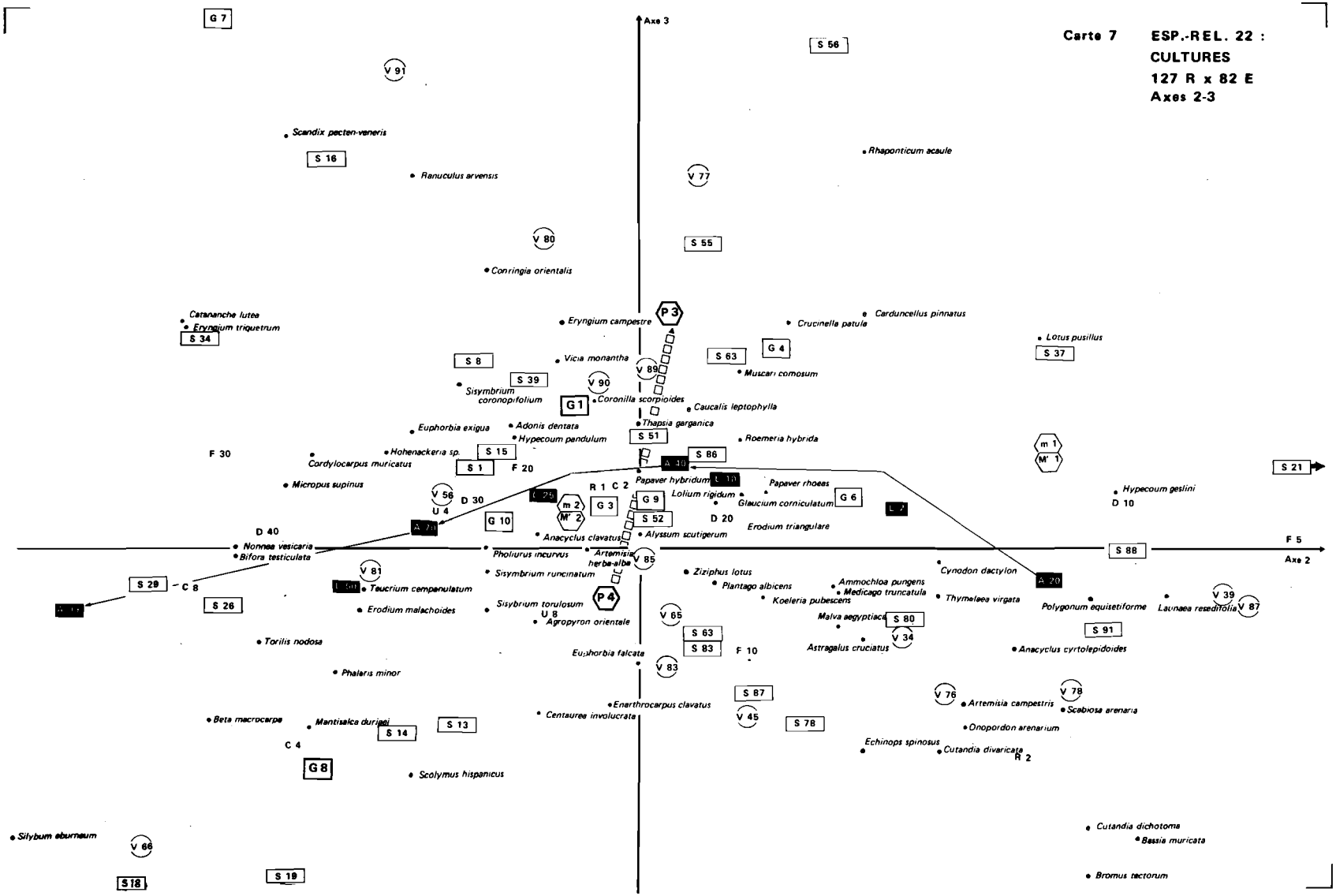


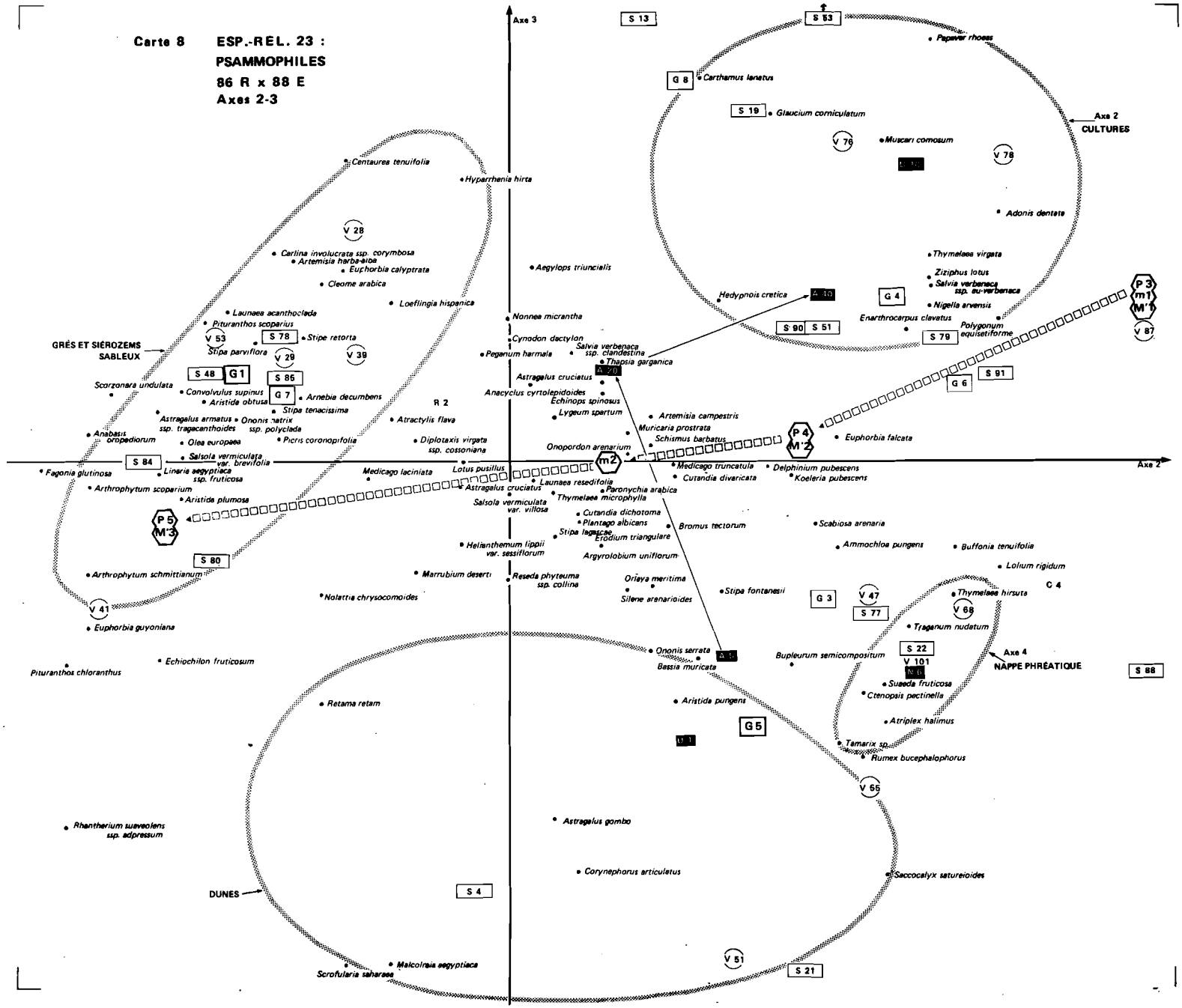
Carte 4 bis ESP.-REL. 2
879 R x 186 E
Axes 1-2

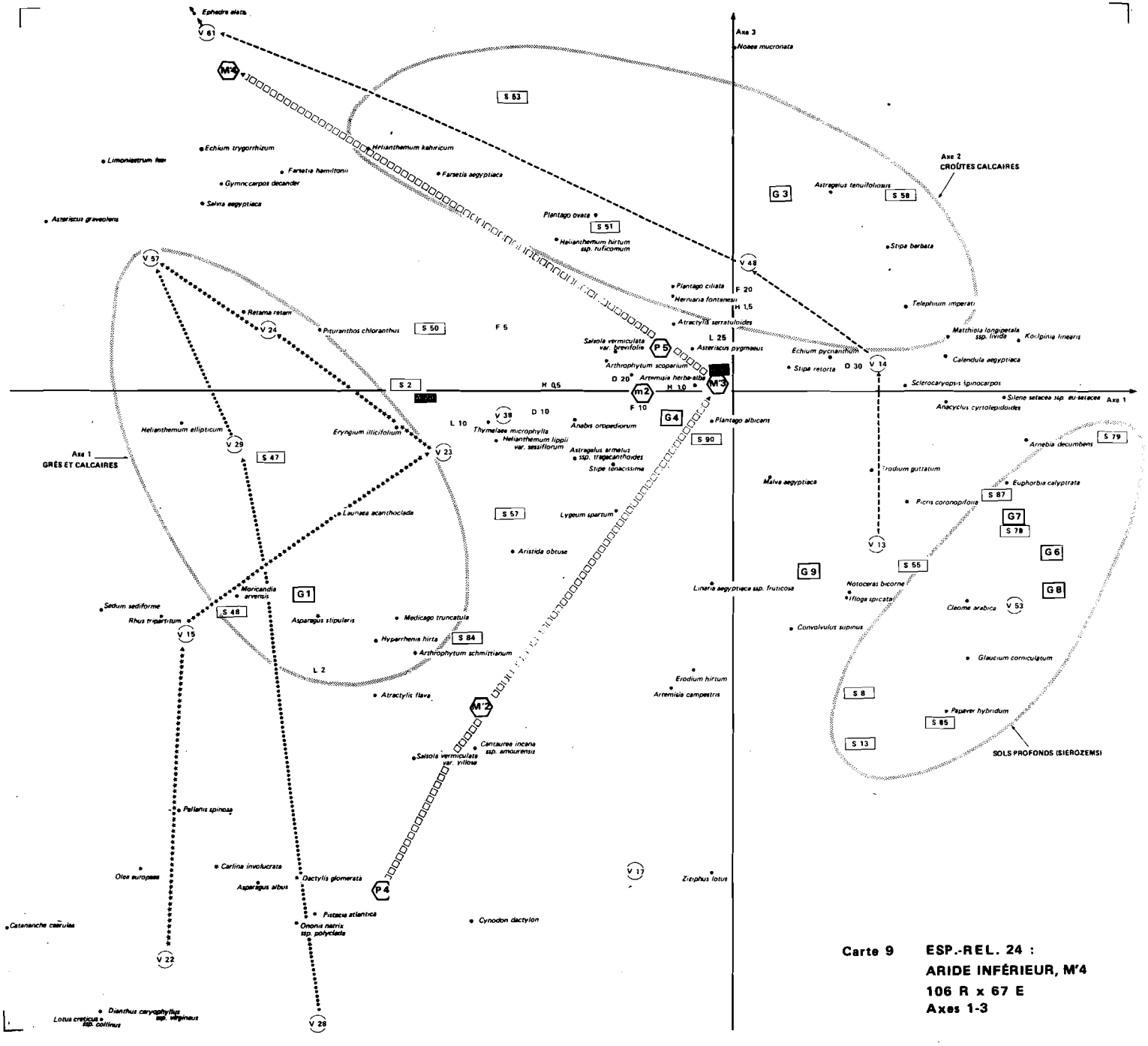

Carte 5 ESP.-REL. 21 :
FORETS, ARIDE SUPÉRIEUR
120 R x 95 E
Axes 1-2
CALCAIRES DURS
GRÈS
CROÛTES CALCAIRES
Axe 1
Axe 2
Axe 3
GROUPEMENT V 25
GROUPEMENT V 37
GROUPEMENT V 12
Malva aegyptiaca
Crucinella patula
Alyssum scutigerum
Herniaria fontanesii
Koeleria pubescens ssp. saxatilis
Scorzonera undulata
Noaea mucronata
Matthiola fruticulosa
Eruca vesicaria
Atractylis serratuloides
Stipa parviflora
Astragalus tenuifolius
Teucrium polium
Artemisia herba-alba
Androsace maxima
Poa bulbosa
Echium pycnanthum
Plantago albicans
Astragalus incanus ssp. nummularioides
Minuartia montana
Stipe tenacissima
Lygeum spartum
Helianthemum hirtum ssp. ruficomum
Thymus hirtus
Atractylis humilis ssp. caespitosa
Carduncellus pinnatus
Telephium imperati
Hippocrepis scabra
Leontodon hispanicus ssp. su-hispanicus
Atractylis phaeolepis
Catananche caespitosa
Alyssum alpestre ssp. serpyllifolium
Helianthemum cinereum ssp. rubellum
Onobrychis argentea
Thymelaea tartonraira
Koeleria vallesiana
Ziziphora hispanica
Launaea acanthoclada
Genista microcephala
Alyssum granatense
Helianthemum virgatum
Ebenus pinnata
Dianthus caryophyllus ssp. virgineus
Carlina involucrata ssp. corymbosa
Dactylis glomerata
Linum strictum
Eryngium campestre
Centaurea tenuifolia
Thymelaea nitida
Avena bromoides
Rhaponticum acaule
Fumana thymifolia
Elymus caput-medusae
Rosmarinus tournefortii
Alyssum cochleatum
Juniperus phoenicea
Coronilla scorpioides
Pallenis spinosa
Asparagus stipularis
Pituranthos scoparius
Olea europaea
Sedum sediforme
Convolvulus cantabrica
Centaurea incana ssp. amourensis
Rhamnus lycioides ssp. oleoides
Anthyllis vulneraria ssp. maura
Catananche caerulea
Pistacia atlantica
Moricandia arvensis
Artemisia atlantica
Lagurus ovatus
Juniperus oxycedrus
Cynosurus elegans
Asparagus acutifolius
Jasminum fruticans
Pistacia lentiscus
Andryala integrifolia
Cistus villosus
Quercus ilex
Phillyrea angustifolia
Coronilla minima
Cistus salvifolius
Pinus halepensis
Pistacia terebinthus
R 2
G 1
G 3
G 4
m1
m2
M'1
M'2
P 3
P 4
V 1
V 2
V 4
V 6
V 7
V 8
V 9
V 10
V 12
V 15
V 18
V 19
V 20
V 25
V 27
V 37
V 56
S 8
S 10
S 35
S 36
S 37
S 43
S 47
S 48
S 49
S 50
S 51
S 52
S 57
S 59
S 60
S 63
S 66
S 82
S 94
S 95
S 97



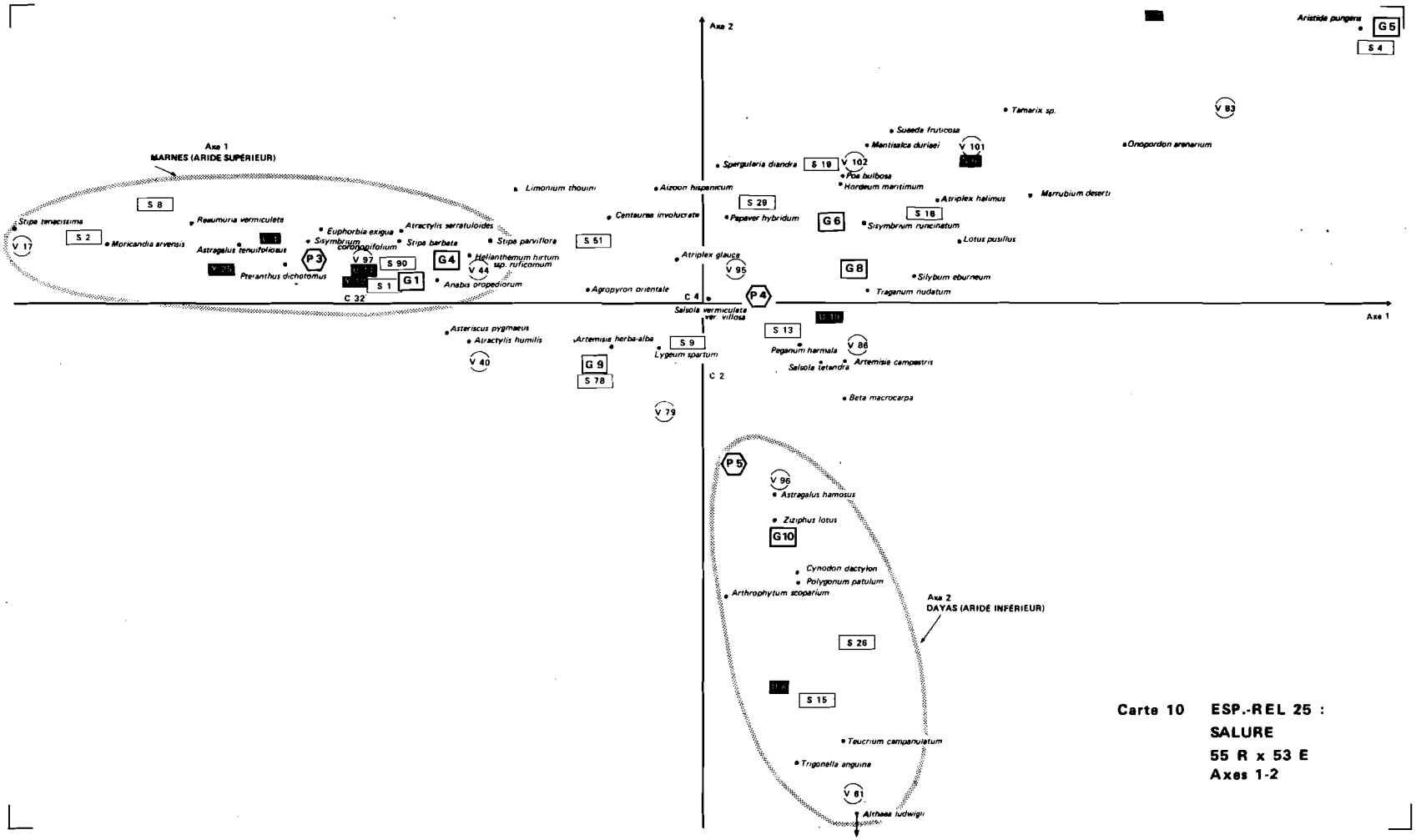
Carte 6 **ESP.-REL. 22 : CULTURES 127 R x 82 E Axes 1-2**


Carte 7 ESP.-REL. 22 :
CULTURES
127 R x 82 E
Axes 2-3
Axe 3
Axe 2
F 5
F 30
F 20
F 10
D 40
D 30
D 20
D 10
C 8
C 4
R 1
R 2
G 7
G 1
G 3
G 4
G 6
G 8
G 9
G 10
P 3
P 4
S 56
S 16
S 55
S 34
S 8
S 39
S 63
S 37
S 51
S 15
S 1
S 86
S 21
S 52
S 88
S 29
S 26
S 80
S 83
S 91
S 87
S 78
S 14
S 13
S 18
S 19
V 91
V 77
V 80
V 89
V 90
V 56
V 81
V 85
V 65
V 83
V 45
V 76
V 78
V 39
V 87
V 66
V 34
m 1
M' 1
m 2
M' 2
Scandix pecten-veneris
Ranuculus arvensis
Rhaponticum acaule
Conringia orientalis
Catananche lutea
Eryngium triquetrum
Eryngium campestre
Crucinella patula
Carduncellus pinnatus
Lotus pusillus
Vicia monantha
Muscari comosum
Sisymbrium coronopifolium
Coronilla scorpioides
Caucalis leptophylla
Euphorbia exigua
Adonis dentata
Thapsia garganica
Hypecoum pandulum
Roemeria hybrida
Hohenackeria sp.
Cordylocarpus muricatus
Micropus supinus
Papaver hybridum
Papaver rhoeas
Lolium rigidum
Glaucium corniculatum
Hypecoum geslini
Erodium triangulare
Anacyclus clavatus
Alyssum scutigerum
Nonnea vesicaria
Bifora testiculata
Pholiurus incurvus
Artemisia herba-alba
Sisymbrium runcinatum
Teucrium campanulatum
Erodium malachoides
Sisybrium torulosum
Agropyron orientale
Ziziphus lotus
Plantago albicens
Koeleria pubescens
Ammochloa pungens
Medicago truncatula
Cynodon dactylon
Thymelaea virgata
Polygonum equisetiforme
Launaea resedifolia
Malva aegyptiaca
Astragalus cruciatus
Anacyclus cyrtolepidoides
Torilis nodosa
Euphorbia falcata
Phalaris minor
Enarthrocarpus clavatus
Centaurea involucrata
Artemisia campestris
Scabiosa arenaria
Onopordon arenarium
Beta macrocarpa
Mantisalca duriaei
Echinops spinosus
Cutandia divaricata
Scolymus hispanicus
Silybum eburneum
Cutandia dichotoma
Bassia muricata
Bromus tectorum

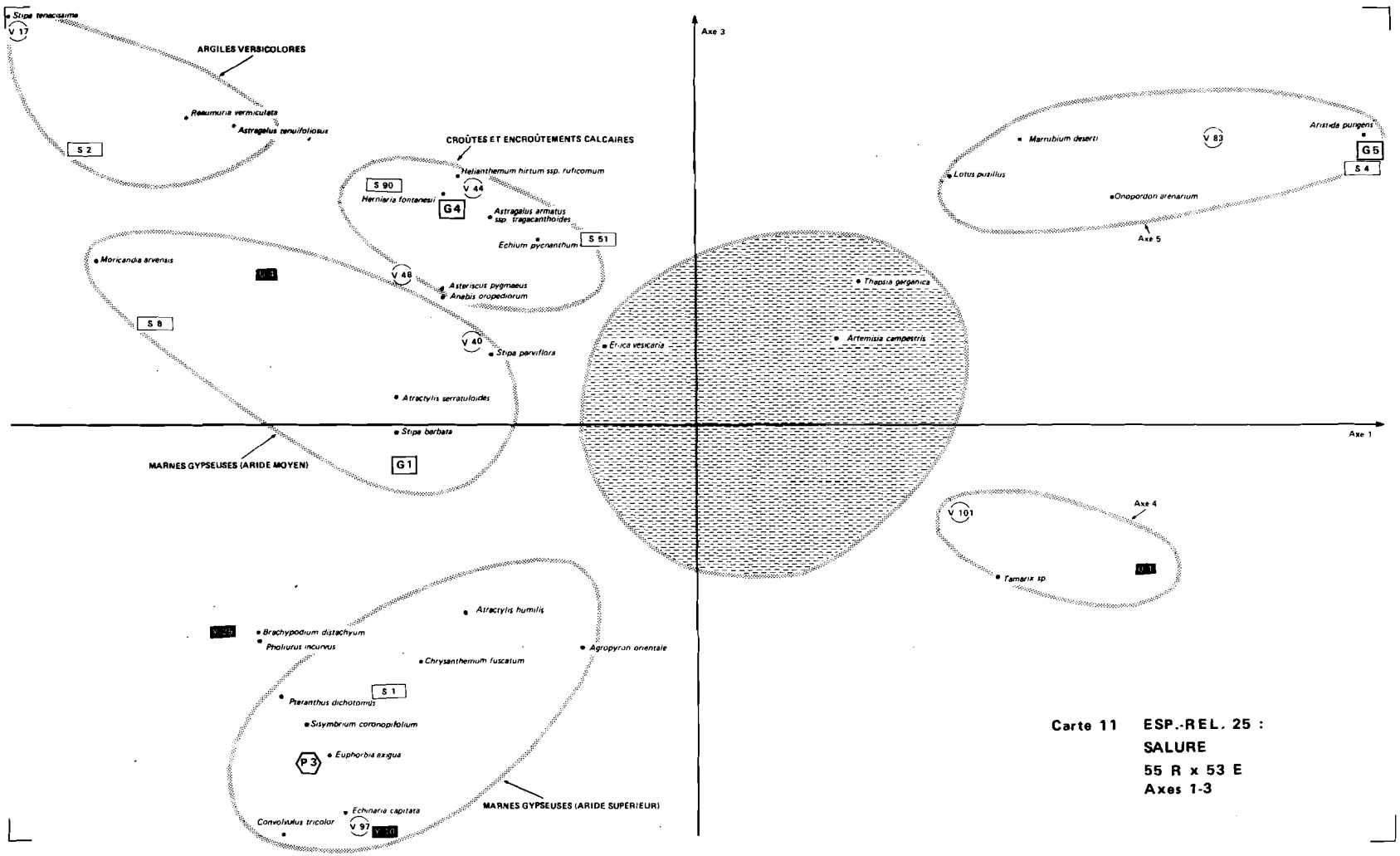

Carte 8 ESP.-REL. 23 :
PSAMMOPHILES
86 R x 88 E
Axes 2-3
Axe 3
Axe 2
CULTURES
Axe 4
NAPPE PHRÉATIQUE
GRÉS ET SIÉROZEMS SABLEUX
DUNES
S 13
S 83
G 8
Carthamus lanatus
S 19
Glaucium corniculatum
Papaver rhoeas
V 76
Muscari comosum
Adonis dentata
Thymelaea virgata
Ziziphus lotus
Salvia verbenaca ssp. eu-verbenaca
Nigella arvensis
Enarthrocarpus clavatus
Polygonum equisetiforme
S 79
S 91
G 6
G 4
A 10
Hedypnois cretica
S 90
S 51
P 3 m1 M'1
V 87
Centaurea tenuifolia
Hyparrhenia hirta
V 28
Carlina involucrata ssp. corymbosa
Artemisia herba-alba
Euphorbia calyptrata
Cleome arabica
Loeflingia hispanica
Launaea acanthoclada
Pituranthos scoparius
V 53
S 78
Stipe retorta
Stipa parviflora
V 29
V 39
S 48
G1
S 86
G 7
Scorzonara undulata
Convolvulus supinus
Aristida obtusa
Arnebia decumbens
Stipa tenacissima
Astragalus armatus ssp. tragacanthoides
Ononis natrix ssp. polyclada
Anabasis oropediorum
Olea europaea
Picris coronopifolia
R 2
Atractylis flava
Diplotaxis virgata ssp. cossoniana
S 84
Salsola vermiculata var. brevifolia
Fagonia glutinosa
Linaria aegyptiaca ssp. fruticosa
Arthrophytum scoparium
Aristida plumosa
P 5 M'3
S 80
Arthrophytum schmittianum
V 41
Euphorbia guyoniana
Pituranthos chloranthus
Echiochilon fruticosum
Retama retam
Rhantherium suaveolens ssp. adpressum
Scrofularia saharae
Malcolmia aegyptiaca
S 4
Nonnea micrantha
Cynodon dactylon
Peganum harmala
Salvia verbenaca ssp. clandestina
Thapsia garganica
A 20
Astragalus cruciatus
Anacyclus cyrtolepidoides
Echinops spinosus
Lygeum spartum
Onopordon arenarium
m2
Lotus pusillus
Medicago laciniata
Launaea resedifolia
Astragalus cruciatus
Thymelaea microphylla
Salsola vermiculata var. villosa
Cutandia dichotoma
Plantago albicans
Stipa lagascae
Erodium triangulare
Argyrolobium uniflorum
Helianthemum lippii var. sessiliflorum
Marrubium deserti
Reseda phyteuma ssp. collina
Notoltia chrysocomoides
Oriaya meritima
Silene arenarioides
Stipa fontanesii
Ononis serrata
Bassia muricata
A 5
Aegylops triuncialis
Astragalus gombo
Corynephorus articulatus
Aristida pungens
G5
U 1
Artemisia campestris
Muricaria prostrata
Schismus barbatus
P 4 M'2
Euphorbia falcata
Medicago truncatula
Cutandia divaricata
Delphinium pubescens
Koeleria pubescens
Peronychia arabica
Bromus tectorum
Scabiosa arenaria
Ammochloa pungens
Buffonia tenuifolia
Lolium rigidum
C 4
Thymelaea hirsuta
Traganum nudatum
S 22
V 101
M 6
Suaeda fruticosa
Ctenopsis pectinella
Atriplex halimus
Tamarix sp.
Rumex bucephalophorus
Bupleurum semicompositum
G 3
V 47
S 77
V 68
V 65
V 51
S 21
Saccocalyx satureioides
S 88



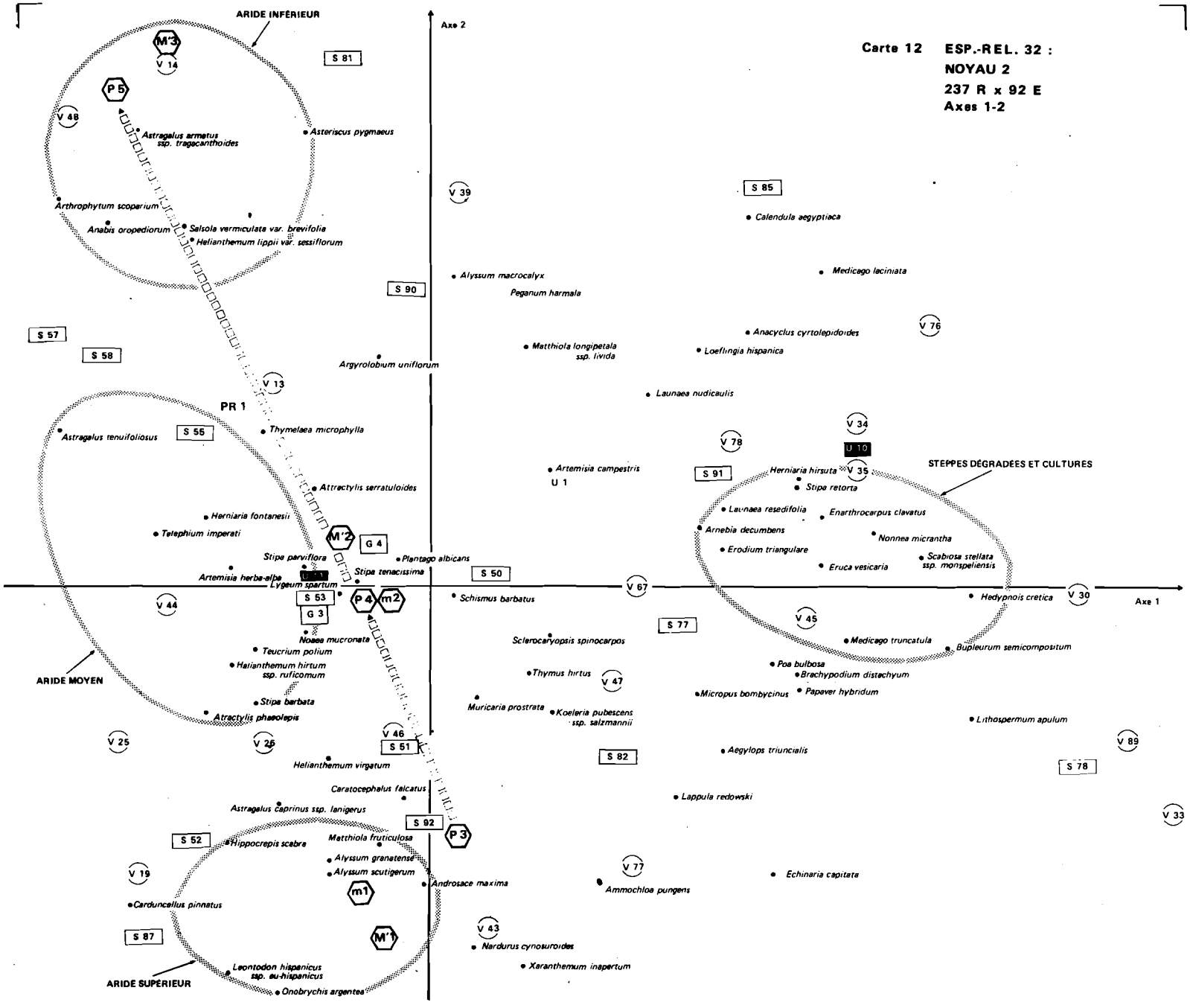
Carte 9 **ESP.-REL. 24 :**
ARIDE INFÉRIEUR, M'4
106 R x 67 E
Axes 1-3

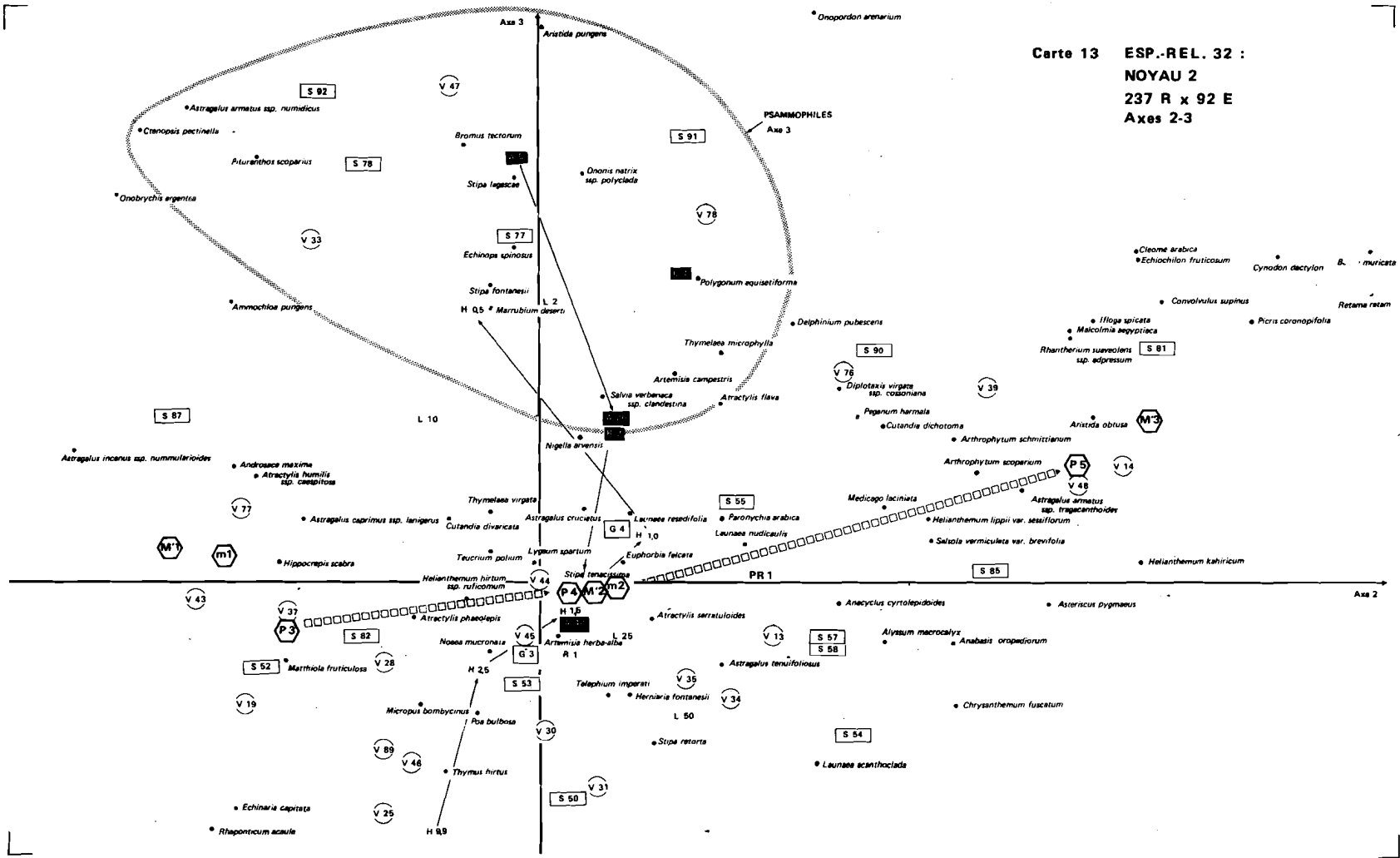


Carte 10 **ESP.-REL 25 :**
SALURE
55 R x 53 E
Axes 1-2

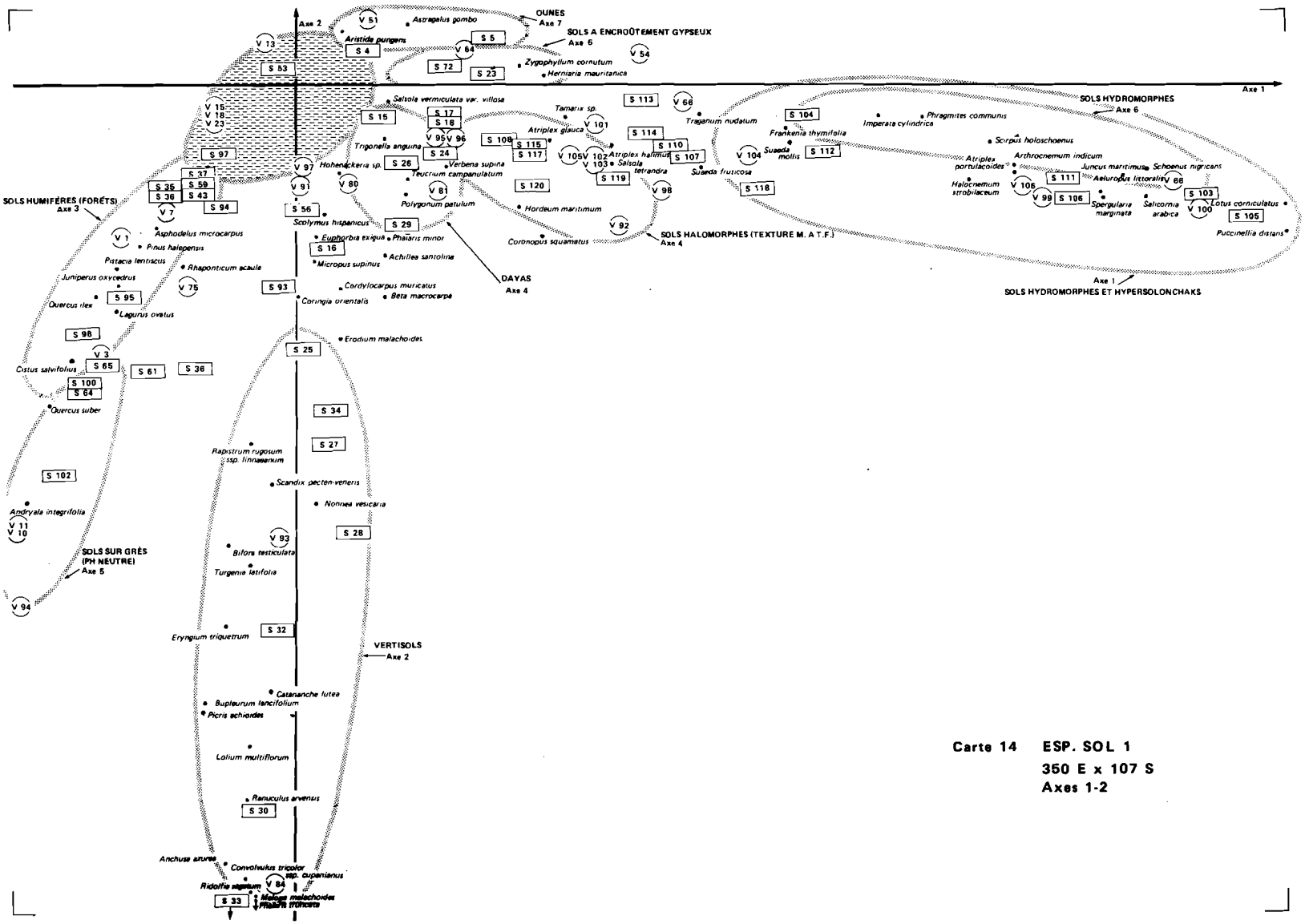


Carte 11 **ESP.-REL. 25 : SALURE**
55 R x 53 E
Axes 1-3

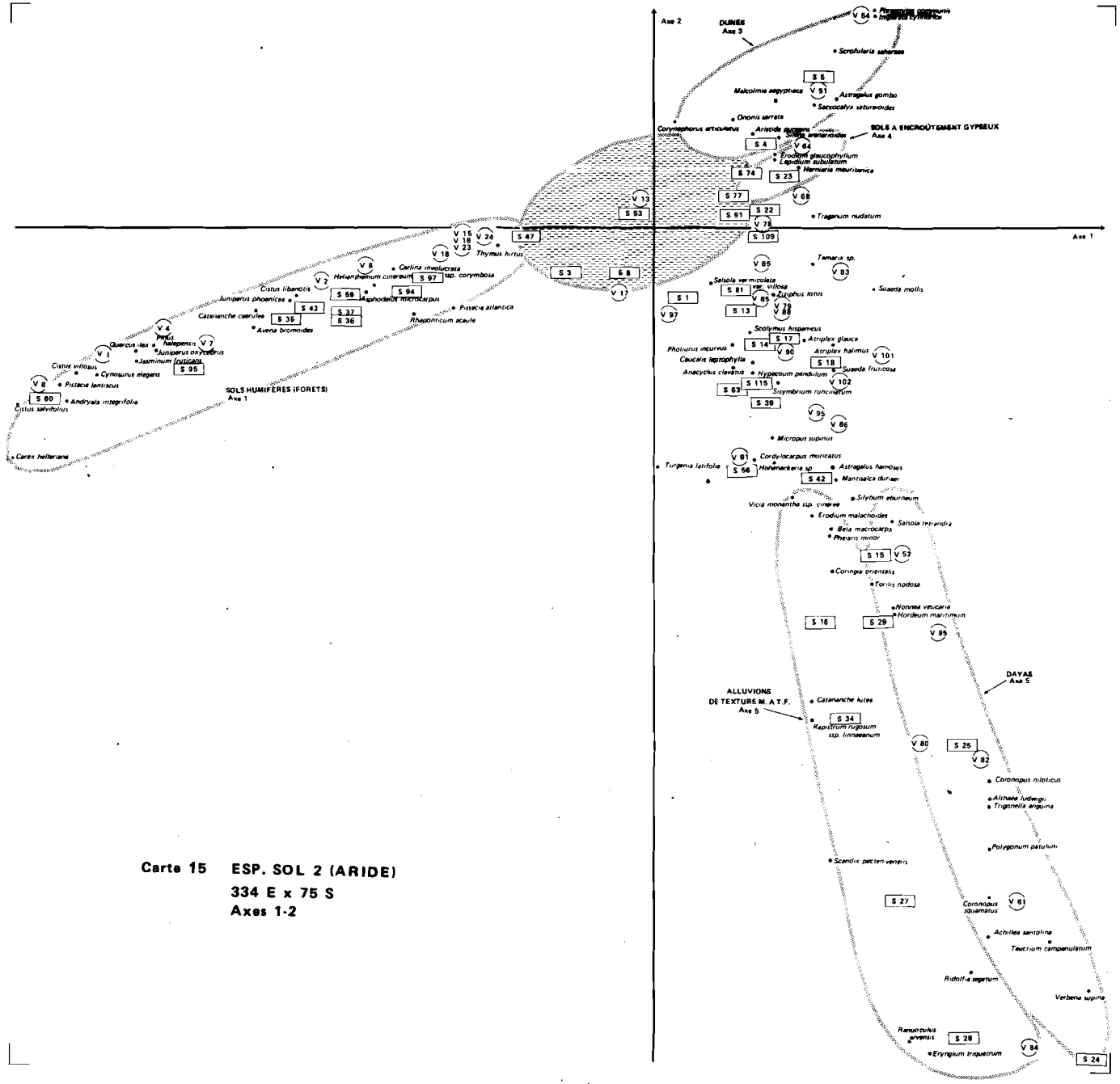

Carte 12 ESP.-REL. 32 :
NOYAU 2
237 R x 92 E
Axes 1-2
ARIDE INFÉRIEUR
Axe 2
Axe 1
PR 1
ARIDE MOYEN
ARIDE SUPÉRIEUR
STEPPES DÉGRADÉES ET CULTURES
M'3
V 14
S 81
P 5
V 48
Astragalus armatus ssp. tragacanthoides
Asteriscus pygmaeus
Arthrophytum scoparium
Anabis oropediorum
Salsola vermiculata var. brevifolia
Helianthemum lippii var. sessiflorum
V 39
S 85
Calendula aegyptiaca
Alyssum macrocalyx
Peganum harmala
Medicago laciniata
S 90
S 57
S 58
V 76
Anacyclus cyrtolepidoides
Matthiola longipetala ssp. livida
Loeflingia hispanica
Argyrolobium uniflorum
V 13
Launaea nudicaulis
V 34
V 78
U 10
Astragalus tenuifoliosus
S 55
Thymelaea microphylla
Artemisia campestris
U 1
S 91
Herniaria hirsuta
V 35
Stipa retorta
Attractylis serratuloides
Launaea resedifolia
Enarthrocarpus clavatus
Herniaria fontanesii
Arnebia decumbens
Nonnea micrantha
Telephium imperati
M'2
G 4
Erodium triangulare
Scabiosa stellata ssp. monspeliensis
Stipa parviflora
Plantago albicans
Stipa tenacissima
Artemisia herba-alba
Lygeum spartum
S 50
V 67
Eruca vesicaria
V 44
S 53
P 4
m2
Schismus barbatus
Hedypnois cretica
V 30
G 3
V 45
S 77
Noaea mucronata
Sclerocaryopsis spinocarpos
Medicago truncatula
Bupleurum semicompositum
Teucrium polium
Helianthemum hirtum ssp. rufi comum
Poa bulbosa
Brachypodium distachyum
Thymus hirtus
V 47
Micropus bombycinus
Papaver hybridum
Stipa barbata
Muricaria prostrata
Koeleria pubescens ssp. salzmannii
Atractylis phaeolepis
Lithospermum apulum
V 25
V 26
V 46
S 51
V 89
Aegylops triuncialis
S 82
S 78
Helianthemum virgatum
Caratocephalus falcatus
Lappula redowski
Astragalus caprinus ssp. lanigerus
V 33
S 92
P 3
S 52
Hippocrepis scabra
Matthiola fruticulosa
Alyssum granatense
Alyssum scutigerum
V 19
V 77
Echinaria capitata
Androsace maxima
m1
Ammochloa pungens
Carduncellus pinnatus
V 43
S 87
M'1
Nardurus cynosuroides
Leontodon hispanicus ssp. eu-hispanicus
Xeranthemum inapertum
Onobrychis argentea



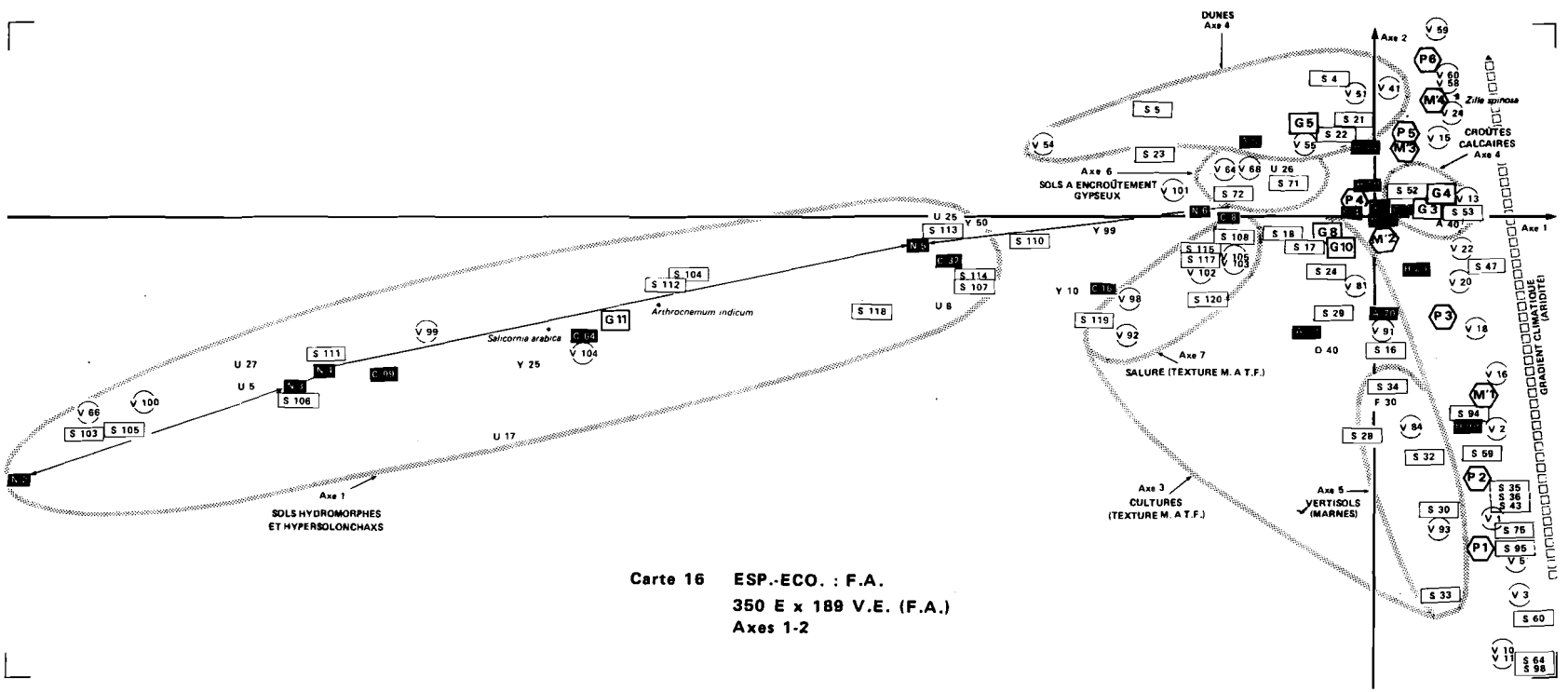
Carte 13 ESP.-REL. 32 :
NOYAU 2
237 R x 92 E
Axes 2-3



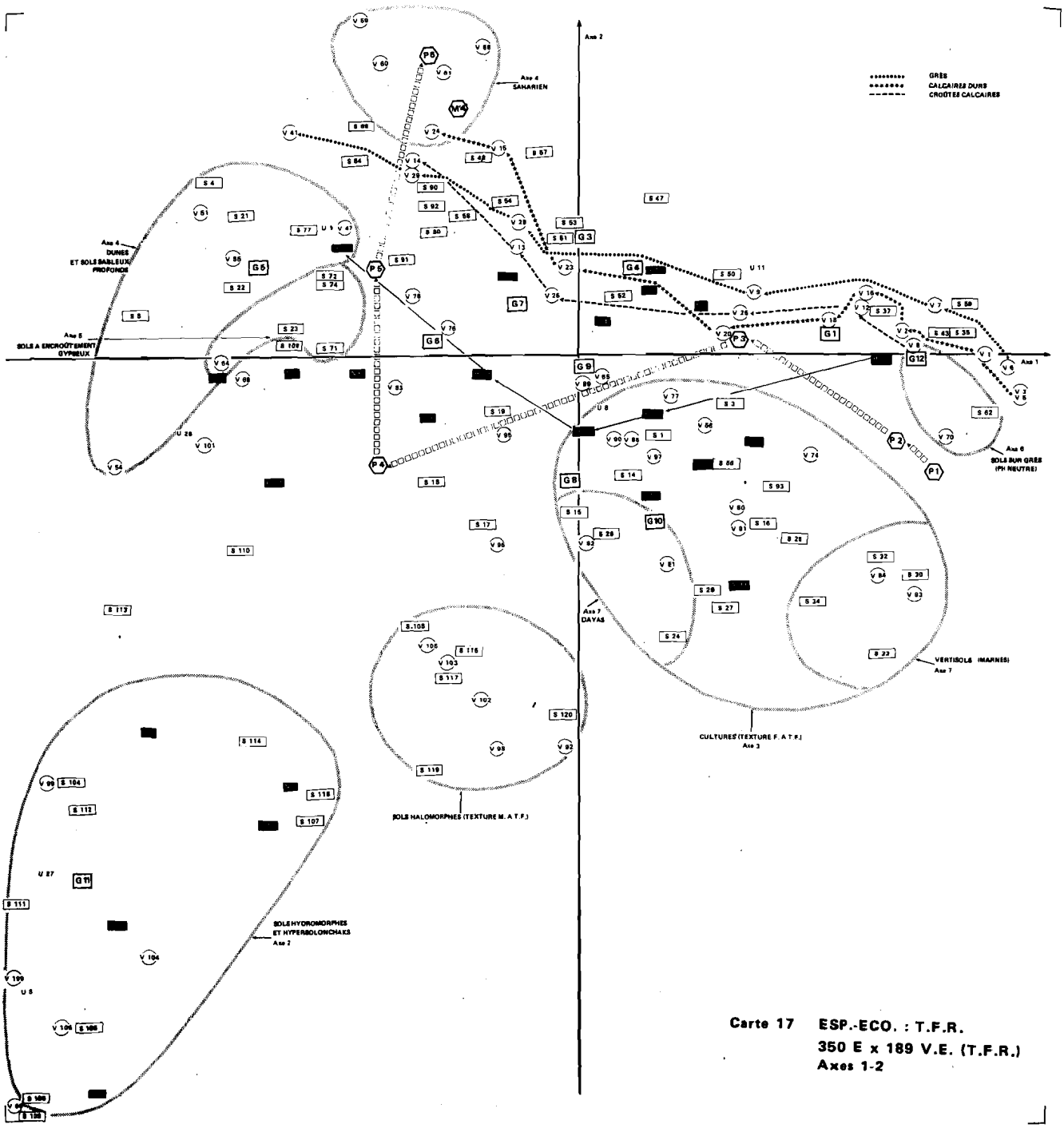
Carte 14 ESP. SOL 1
350 E x 107 S
Axes 1-2



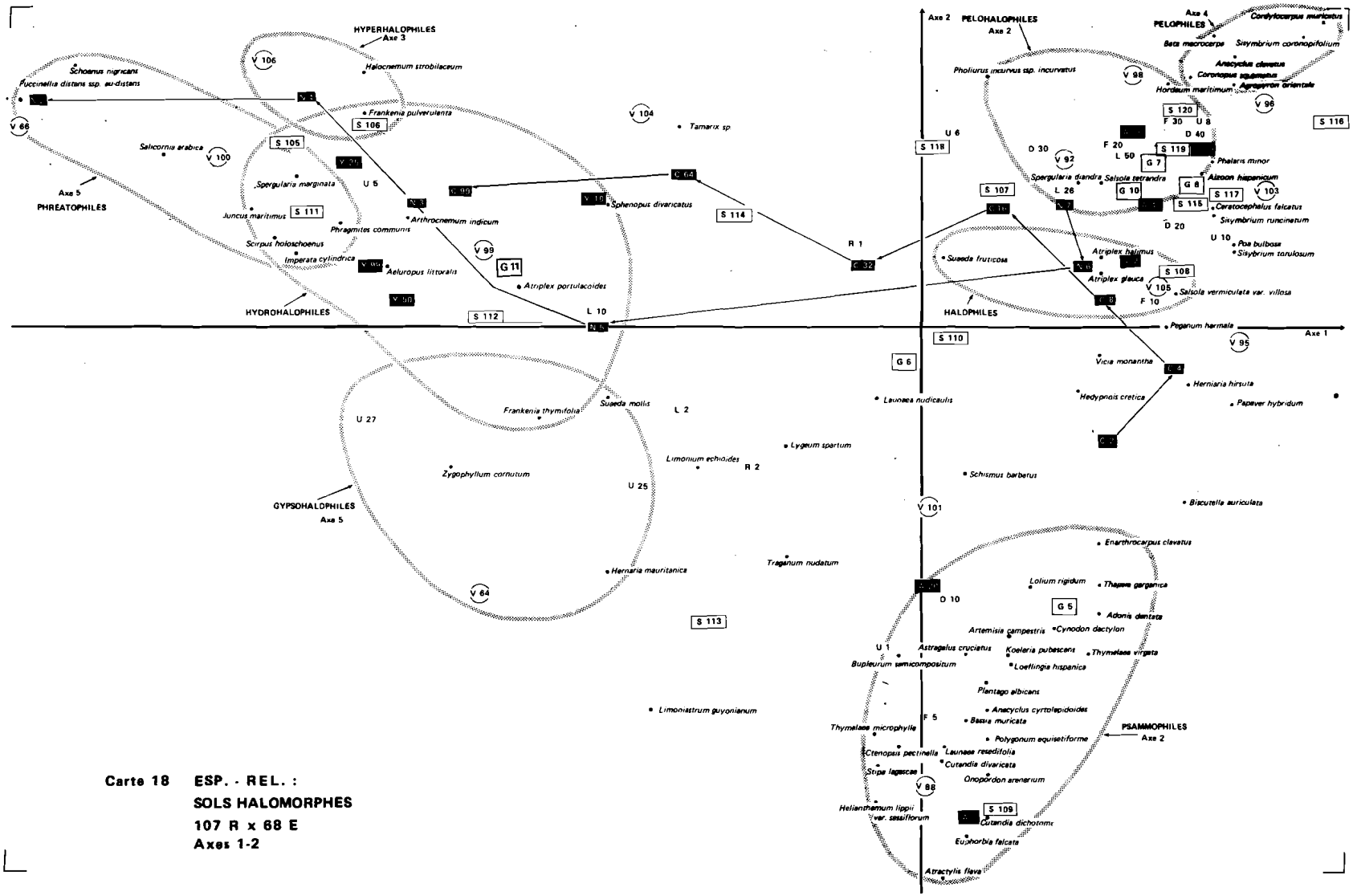
Carte 15 **ESP. SOL 2 (ARIDE)**
334 E x 75 S
Axes 1-2



Carte 16 **ESP.-ECO. : F.A.**
350 E x 189 V.E. (F.A.)
Axes 1-2

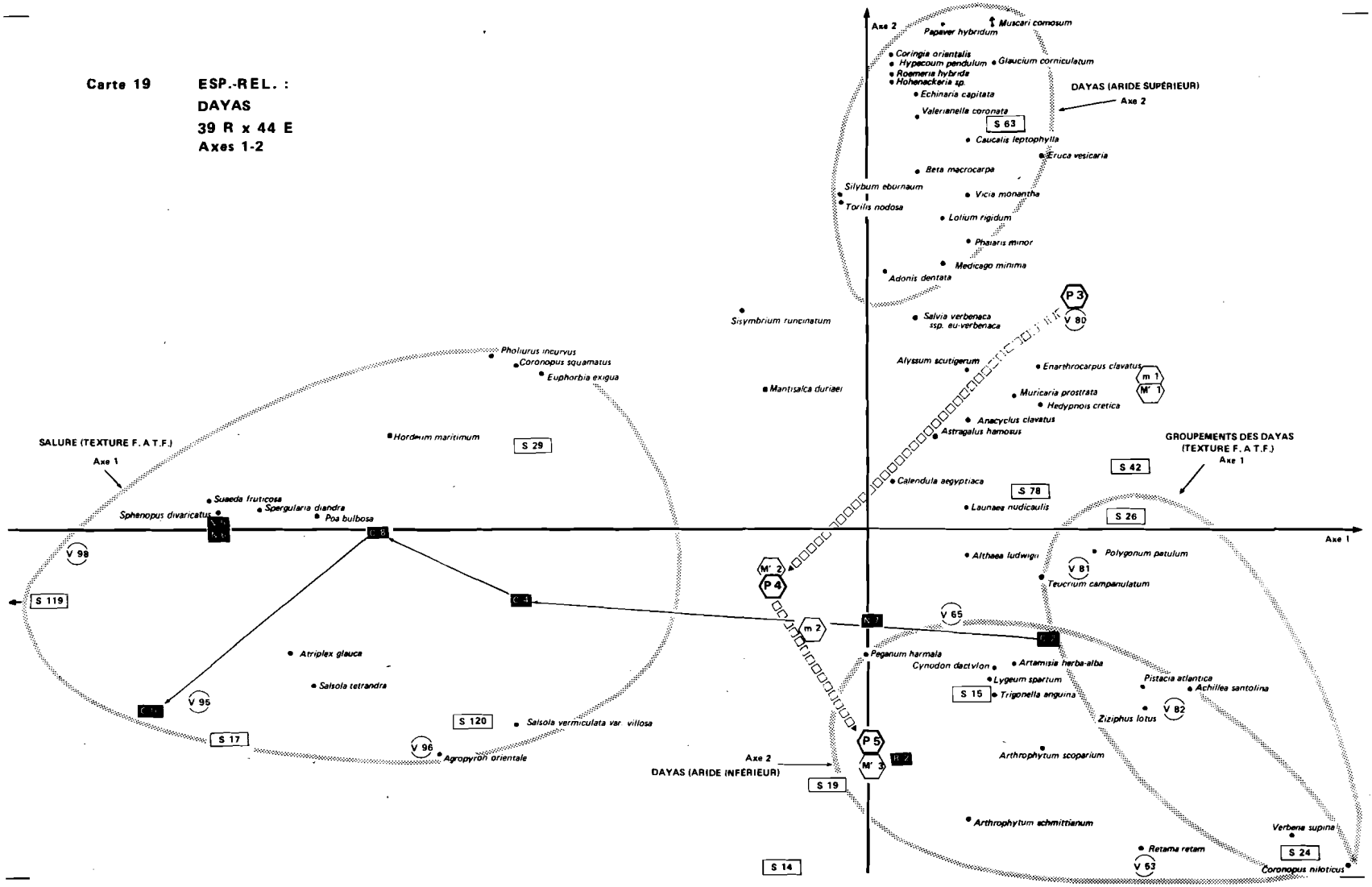


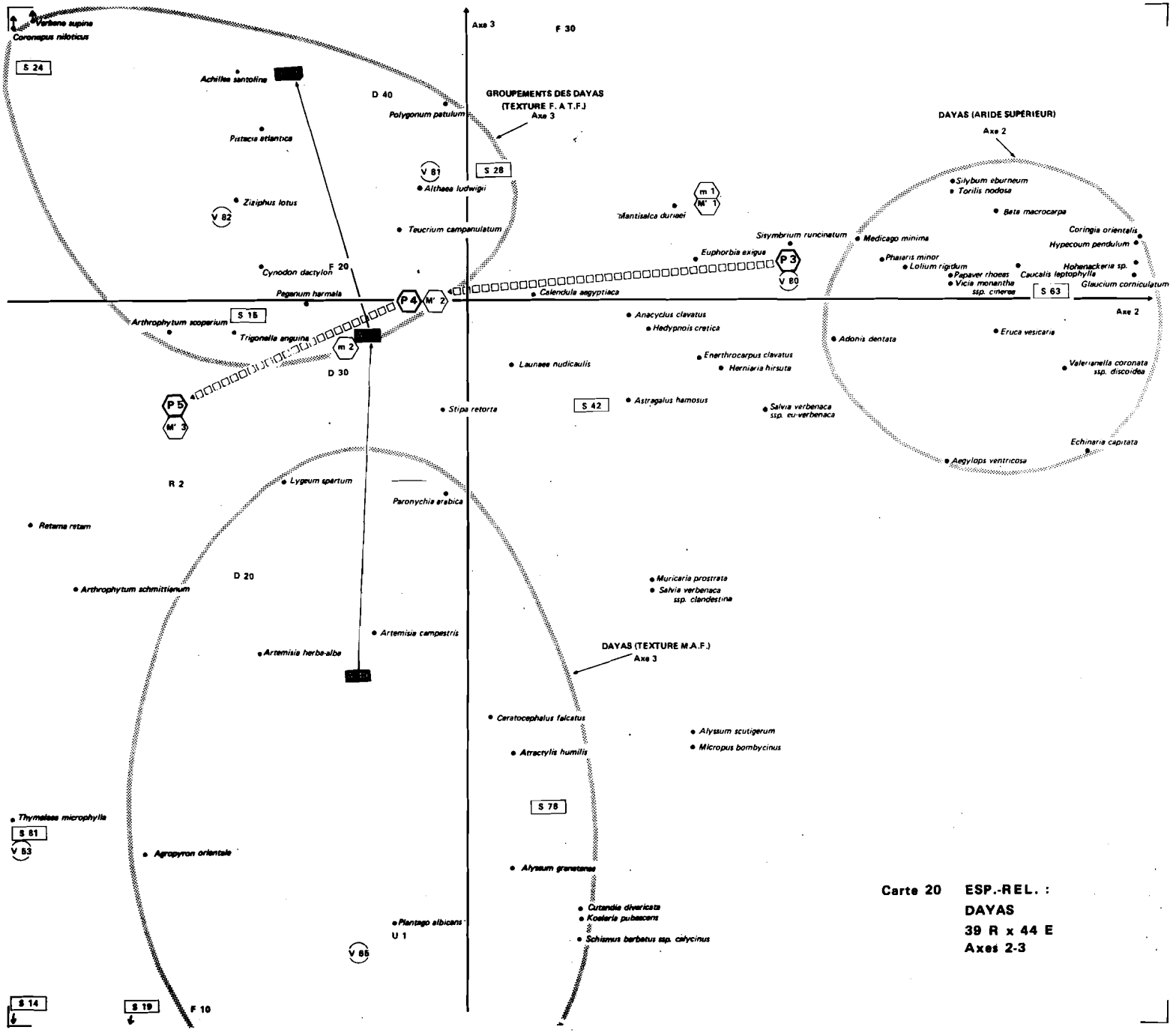
Carte 17 **ESP.-ECO. : T.F.R.**
350 E x 189 V.E. (T.F.R.)
Axes 1-2



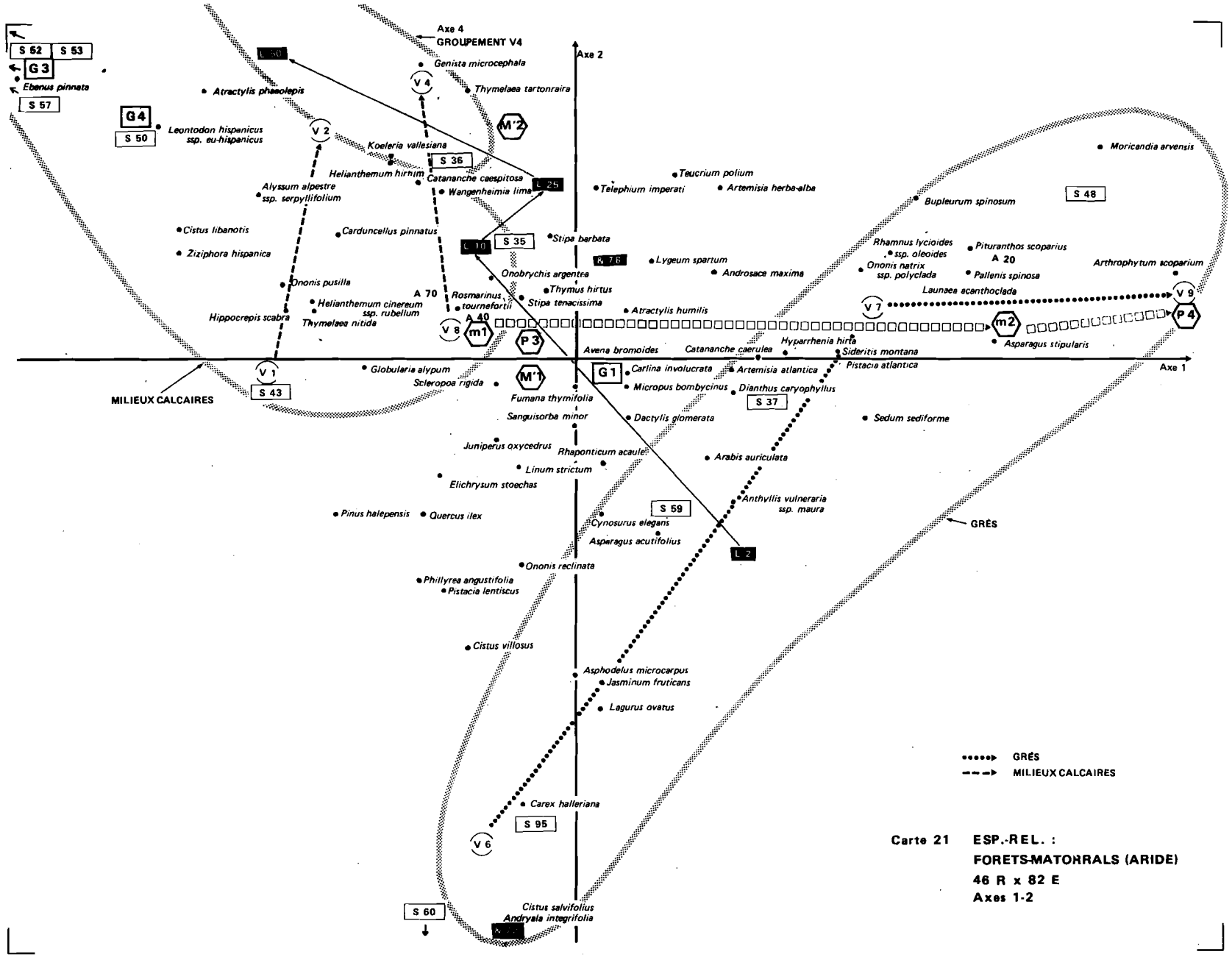
Carte 18 **ESP. - REL. :**
SOLS HALOMORPHES
107 R x 68 E
Axes 1-2

Carte 19 **ESP.-REL. :**
DAYAS
39 R x 44 E
Axes 1-2

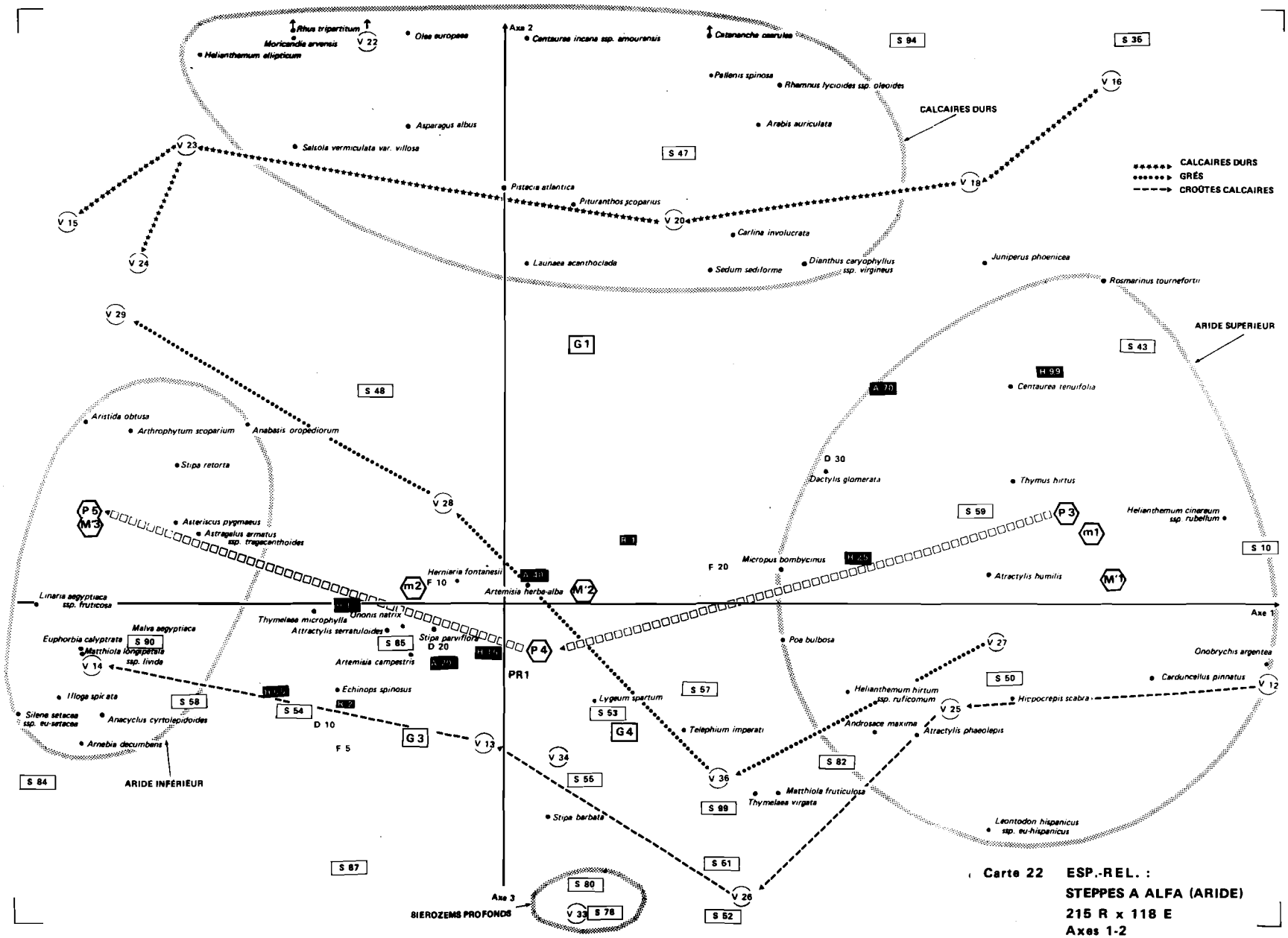




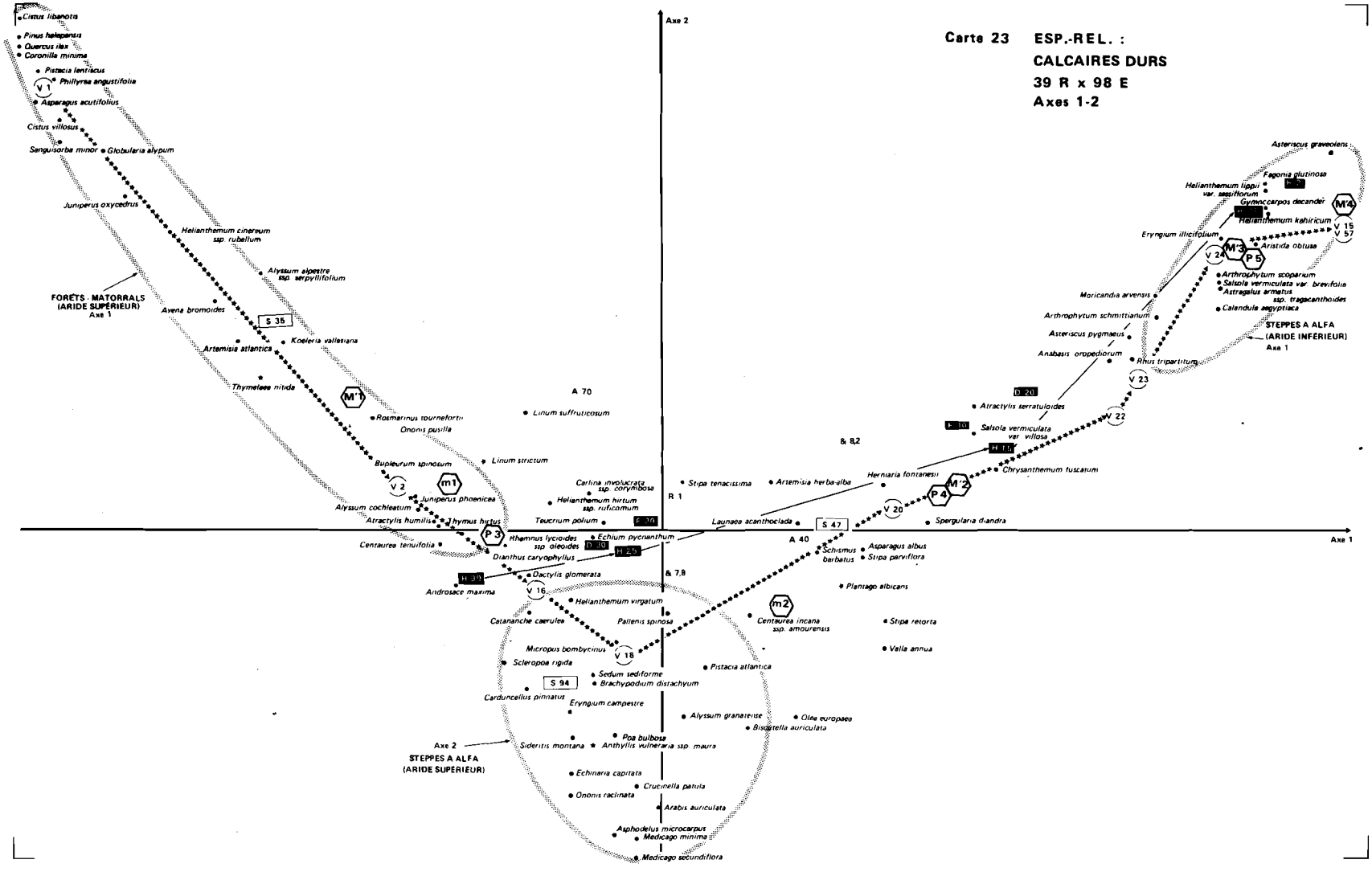
Carte 20 ESP.-REL. :
DAYAS
39 R x 44 E
Axes 2-3



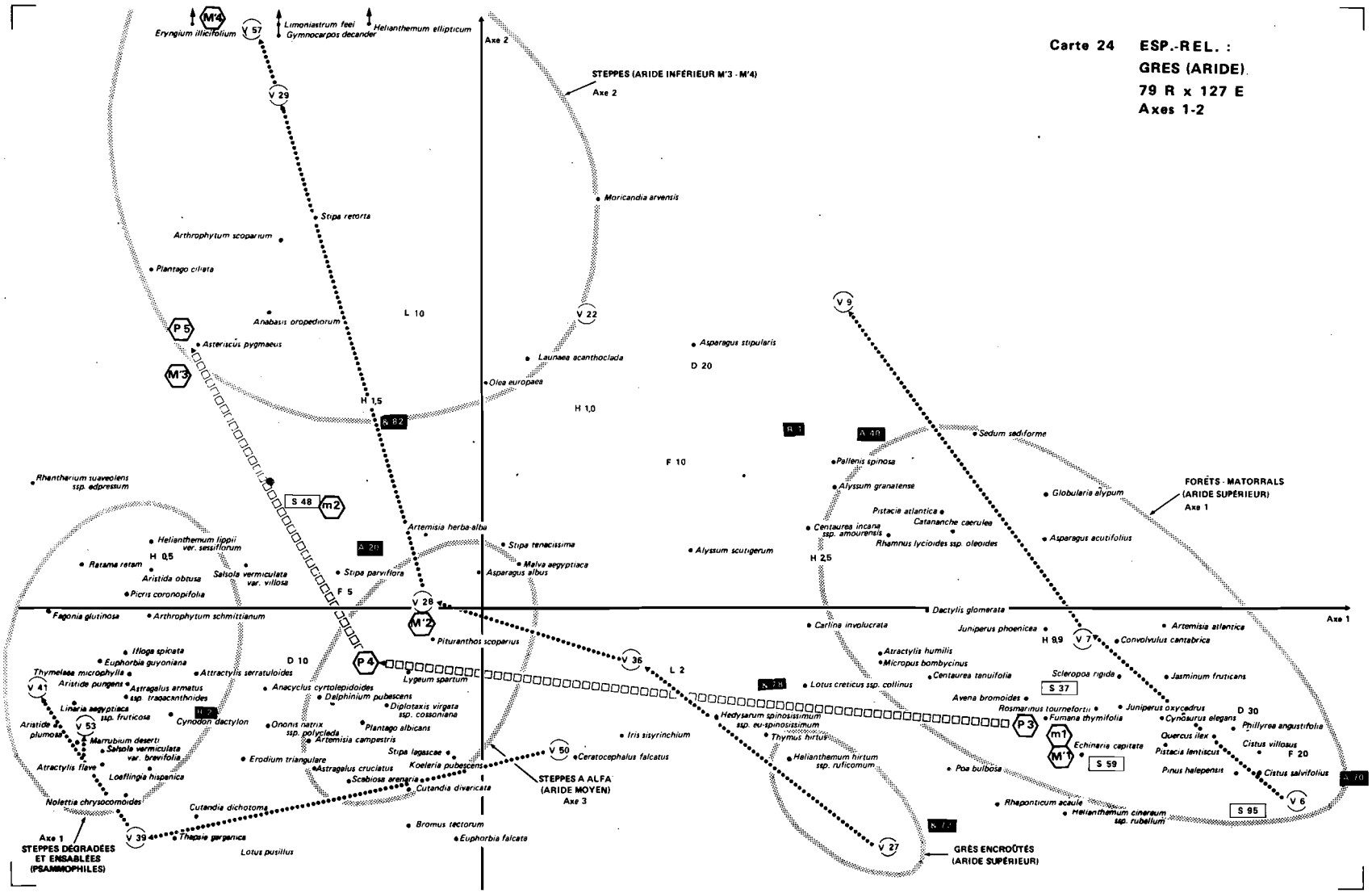
Carte 21 **ESP.-REL. :**
FORETS-MATORRALS (ARIDE)
46 R x 82 E
Axes 1-2

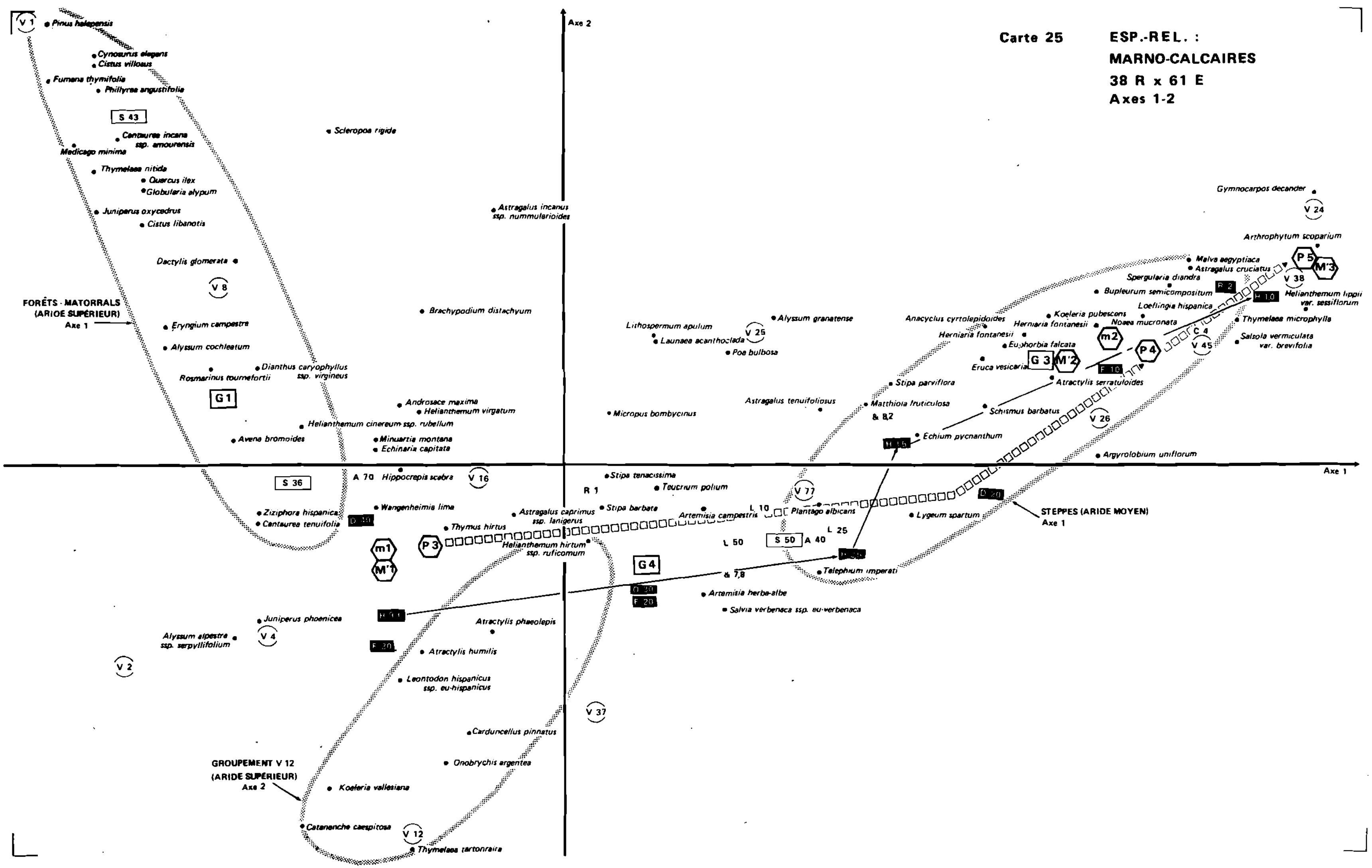


Carte 22 ESP.-REL. :
STEPPES A ALFA (ARIDE)
215 R x 118 E
Axes 1-2

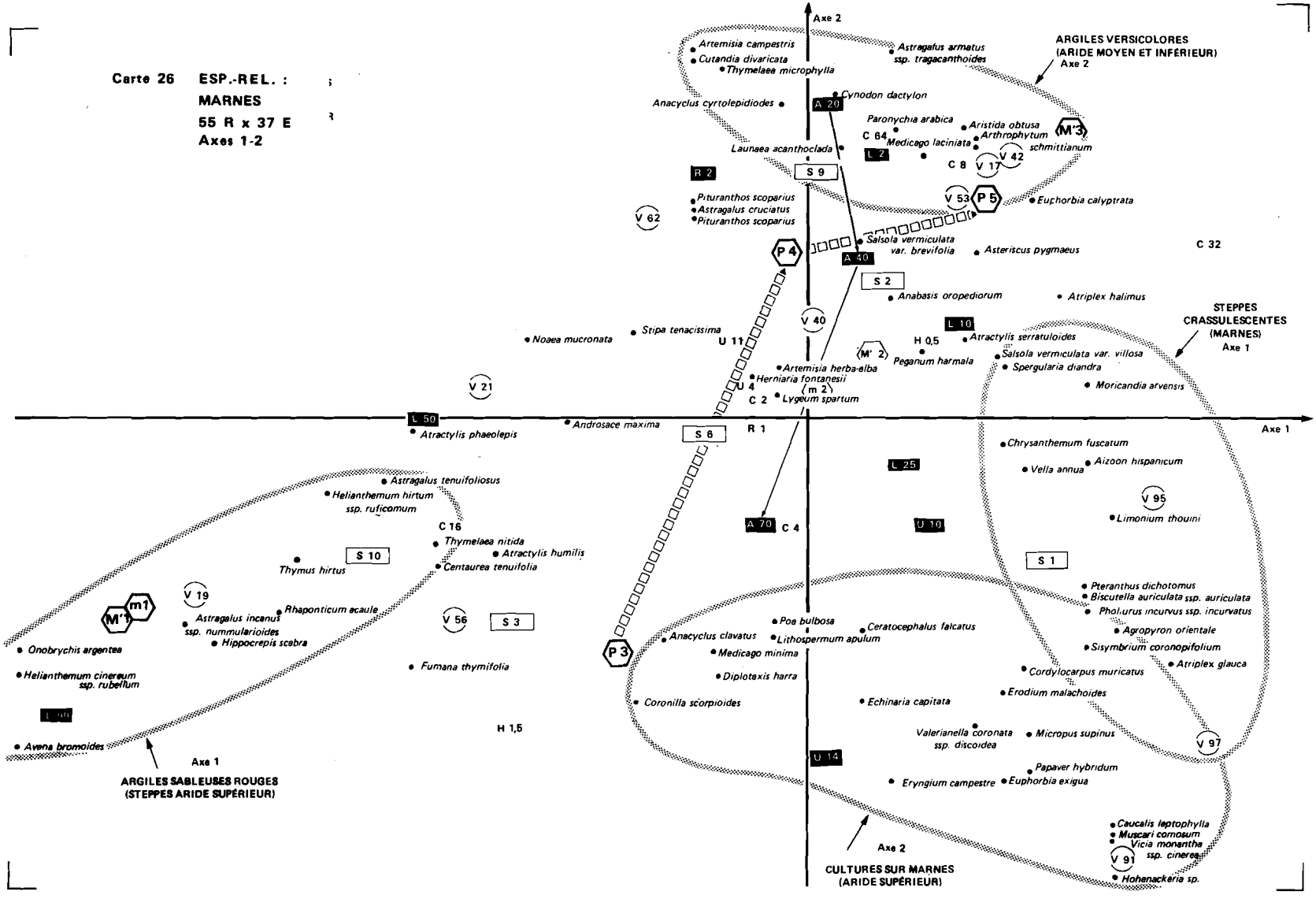

Carte 23 ESP.-REL. :
CALCAIRES DURS
39 R x 98 E
Axes 1-2
Axe 2
Axe 1
FORÊTS - MATORRALS
(ARIDE SUPÉRIEUR)
Axe 1
STEPPES A ALFA
(ARIDE INFERIEUR)
Axe 1
Axe 2
STEPPES A ALFA
(ARIDE SUPÉRIEUR)
Cistus libanotis
Pinus halepensis
Quercus ilex
Coronilla minima
Pistacia lentiscus
Phillyrea angustifolia
Asparagus acutifolius
Cistus villosus
Sanguisorba minor
Globularia alypum
Juniperus oxycedrus
Helianthemum cinereum ssp. rubellum
Alyssum alpestre ssp. serpyllifolium
Avena bromoides
Koeleria vallesiana
Artemisia atlantica
Thymelaea nitida
Rosmarinus tournefortii
Ononis pusilla
Linum suffruticosum
Linum strictum
Bupleurum spinosum
Juniperus phoenicea
Alyssum cochleatum
Atractylis humilis
Thymus hirtus
Centaurea tenuifolia
Rhamnus lycioides ssp. oleoides
Dianthus caryophyllus
Dactylis glomerata
Androsace maxima
Helianthemum virgatum
Catananche caerulea
Pallenis spinosa
Micropus bombycinus
Scleropoa rigida
Sedum sediforme
Brachypodium distachyum
Carduncellus pinnatus
Eryngium campestre
Poa bulbosa
Sideritis montana
Anthyllis vulneraria ssp. maura
Echinaria capitata
Crucinella patula
Ononis reclinata
Arabis auriculata
Asphodelus microcarpus
Medicago minima
Medicago secundiflora
Carlina involucrata ssp. corymbosa
Helianthemum hirtum ssp. ruficomum
Teucrium polium
Echium pycnanthum
Stipa tenacissima
Artemisia herba-alba
Launaea acanthoclada
Schismus barbatus
Asparagus albus
Stipa parviflora
Plantago albicans
Centaurea incana ssp. amourensis
Stipa retorta
Valla annua
Pistacia atlantica
Alyssum granatense
Olea europaea
Bisoctella auriculata
Hernaria fontanesii
Spergularia diandra
Chrysanthemum fuscatum
Salsola vermiculata var. villosa
Atractylis serratuloides
Rhus tripartitum
Anabasis oropediorum
Asteriscus pygmaeus
Arthrophytum schmittianum
Moricandia arvensis
Arthrophytum scoparium
Salsola vermiculata var. brevifolia
Astragalus armatus ssp. tragacanthoides
Calendula aegyptiaca
Eryngium illicifolium
Aristida obtusa
Helianthemum kahiricum
Gymnocarpos decander
Helianthemum lippii var. sessiflorum
Fagonia glutinosa
Asteriscus graveolens
A 70
A 40
& 8,2
& 7,8
R 1
S 35
S 47
S 94
V 1
V 2
V 16
V 18
V 20
V 22
V 23
V 24
V 15
V 57
M'1
M'2
M'3
M'4
P 3
P 4
P 5
m1
m2

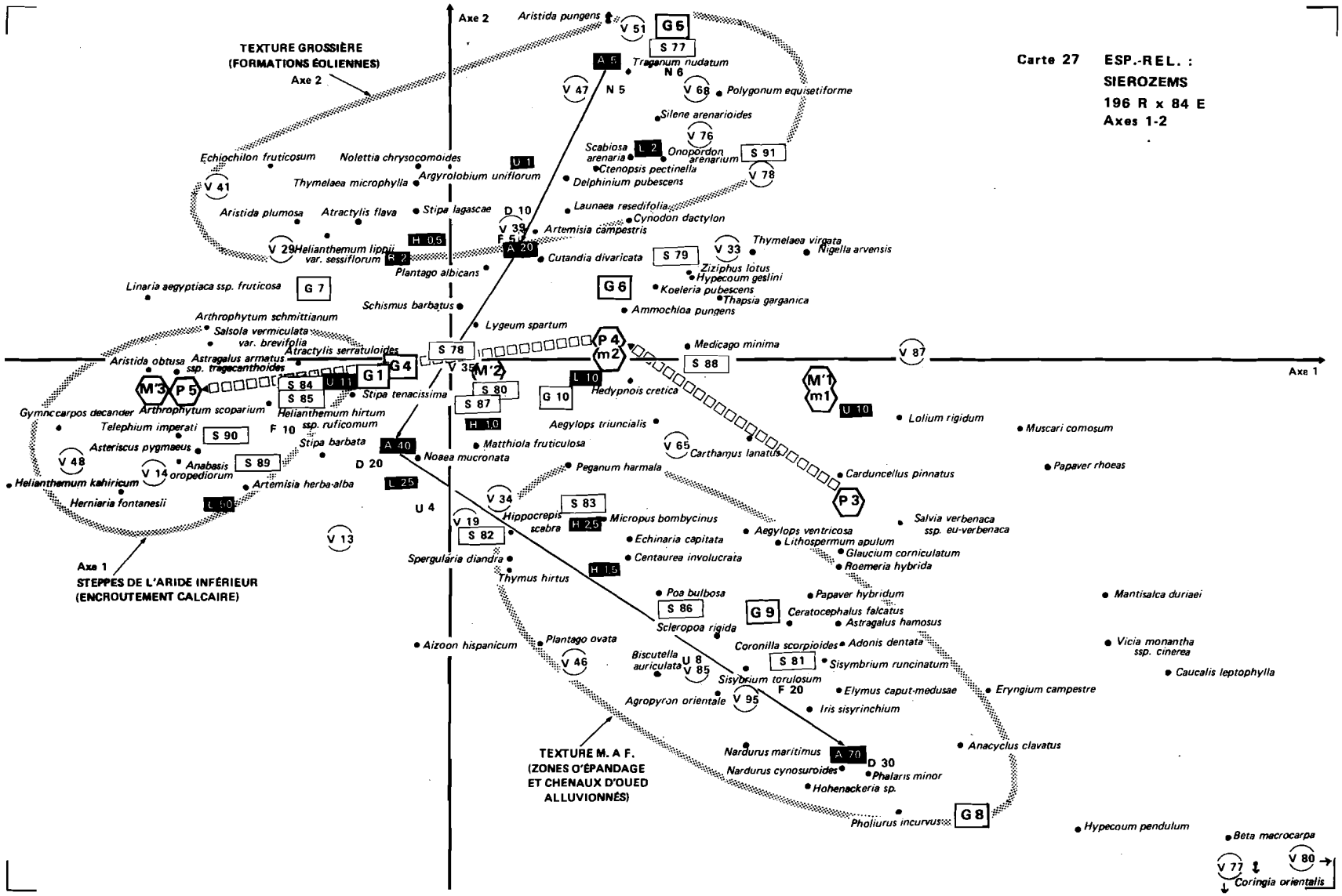
Carte 24 ESP.-REL. : GRES (ARIDE) 79 R x 127 E Axes 1-2



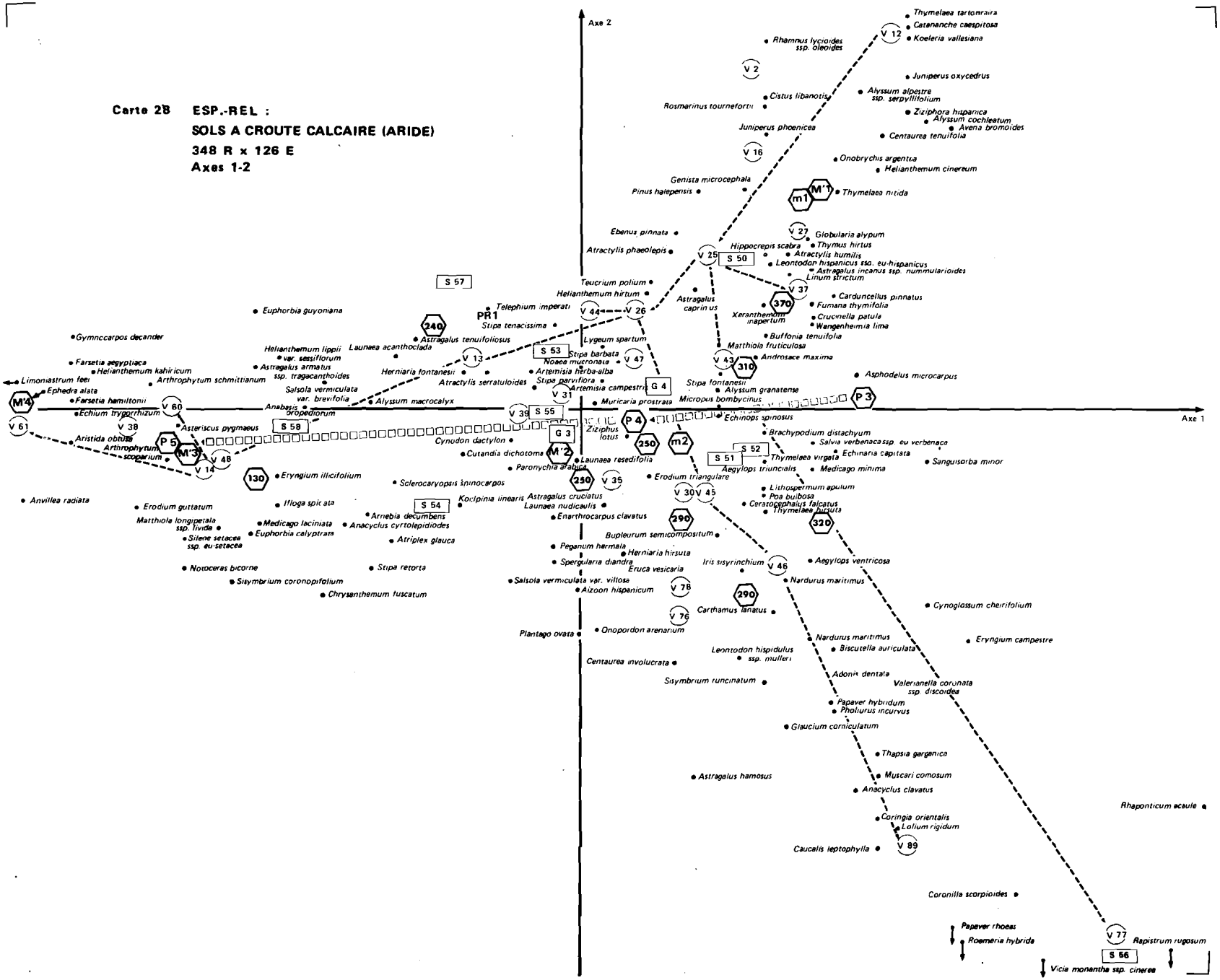


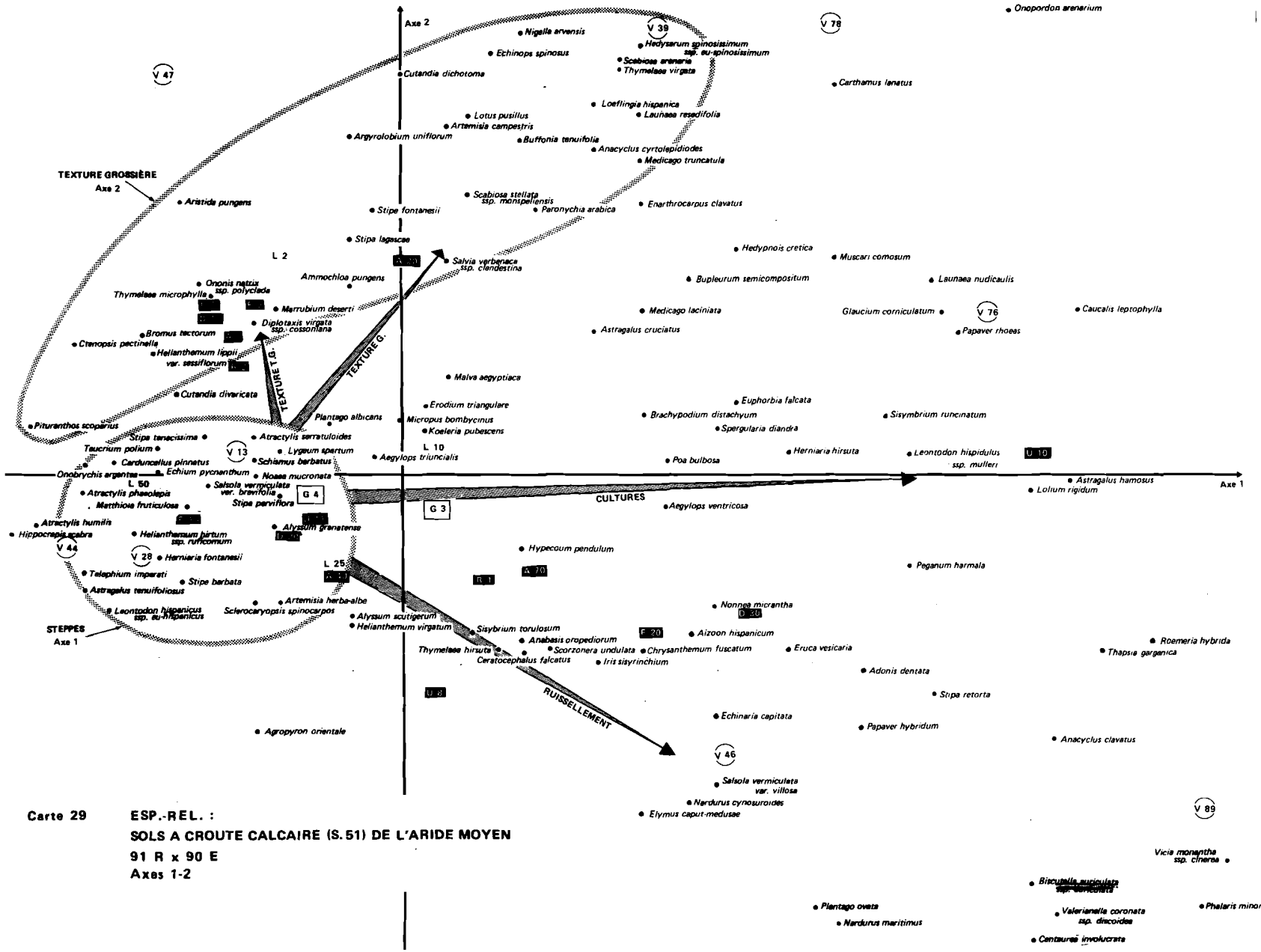
Carte 25
ESP.-REL. :
MARNO-CALCAIRES
38 R x 61 E
Axes 1-2
Axe 2
Axe 1
V 1
Pinus halepensis
Cynosurus elegans
Cistus villosus
Fumana thymifolia
Phillyrea angustifolia
S 43
Centaurea incana ssp. amourensis
Medicago minima
Thymelaea nitida
Quercus ilex
Globularia alypum
Juniperus oxycedrus
Cistus libanotis
Dactylis glomerata
V 8
FORÊTS - MATORRALS (ARIDE SUPÉRIEUR) Axe 1
Eryngium campestre
Alyssum cochleatum
Dianthus caryophyllus ssp. virgineus
Rosmarinus tournefortii
G 1
Avena bromoides
S 36
Ziziphora hispanica
Centaurea tenuifolia
Scleropoa rigida
Astragalus incanus ssp. nummularioides
Brachypodium distachyum
Androsace maxima
Helianthemum virgatum
Helianthemum cinereum ssp. rubellum
Minuartia montana
Echinaria capitata
A 70
Hippocrepis scabra
V 16
Wangenheimia lima
Thymus hirtus
m1
M'1
P 3
Astragalus caprimus ssp. lanigerus
Helianthemum hirtum ssp. ruficomum
Juniperus phoenicea
Alyssum alpestre ssp. serpyllifolium
V 4
V 2
F 20
Atractylis phaeolepis
Atractylis humilis
Leontodon hispanicus ssp. eu-hispanicus
Carduncellus pinnatus
Onobrychis argentea
Koeleria vallesiana
GROUPEMENT V 12 (ARIDE SUPÉRIEUR) Axe 2
Catananche caespitosa
V 12
Thymelaea tartonraira
V 37
Stipa tenacissima
R 1
Teucrium polium
Stipa barbata
Artemisia campestris
L 10
Plantago albicans
L 25
L 50
S 50
A 40
G 4
& 7,8
Artemisia herba-alba
Salvia verbenaca ssp. eu-verbenaca
Micropus bombycinus
Lithospermum apulum
Launaea acanthoclada
V 25
Poa bulbosa
Alyssum granatense
Astragalus tenuifoliosus
V 77
Telephium imperati
Lygeum spartum
Stipa parviflora
Matthiola fruticulosa
& 8,2
Echium pycnanthum
Schismus barbatus
Atractylis serratuloides
Eruca vesicaria
G 3
M'2
F 10
m2
P 4
Anacyclus cyrtolepidioides
Herniaria fontanesii
Euphorbia falcata
Koeleria pubescens
Noaea mucronata
Loeflingia hispanica
Bupleurum semicompositum
Spergularia diandra
Malva aegyptiaca
Astragalus cruciatus
R 2
H 10
Helianthemum lippii var. sessiflorum
Thymelaea microphylla
Salsola vermiculata var. brevifolia
C 4
V 45
V 26
Argyrolobium uniflorum
D 20
STEPPES (ARIDE MOYEN) Axe 1
Gymnocarpos decander
V 24
Arthrophytum scoparium
P 5
M'3
V 38


Carte 26 ESP.-REL. :
MARNES
55 R x 37 E
Axes 1-2
Axe 2
Axe 1
ARGILES VERSICOLORES
(ARIDE MOYEN ET INFÉRIEUR)
Axe 2
STEPPES
CRASSULESCENTES
(MARNES)
Axe 1
ARGILES SABLEUSES ROUGES
(STEPPES ARIDE SUPÉRIEUR)
Axe 1
CULTURES SUR MARNES
(ARIDE SUPÉRIEUR)
Axe 2
Artemisia campestris
Cutandia divaricata
Thymelaea microphylla
Astragalus armatus
ssp. tragacanthoides
Cynodon dactylon
Anacyclus cyrtolepidiodes
Paronychia arabica
Aristida obtusa
Arthrophytum
schmittianum
Medicago laciniata
Launaea acanthoclada
Euphorbia calyptrata
Pituranthos scoparius
Astragalus cruciatus
Pituranthos scoparius
Salsola vermiculata
var. brevifolia
Asteriscus pygmaeus
Anabasis oropediorum
Atriplex halimus
Noaea mucronata
Stipa tenacissima
Atractylis serratuloides
Salsola vermiculata var. villosa
Peganum harmala
Spergularia diandra
Artemisia herba-alba
Herniaria fontanesii
Moricandia arvensis
Lygeum spartum
Atractylis phaeolepis
Androsace maxima
Chrysanthemum fuscatum
Vella annua
Aizoon hispanicum
Limonium thouini
Astragalus tenuifoliosus
Helianthemum hirtum
ssp. ruficomum
Thymelaea nitida
Atractylis humilis
Thymus hirtus
Centaurea tenuifolia
Pteranthus dichotomus
Biscutella auriculata ssp. auriculata
Pholiurus incurvus ssp. incurvatus
Rhaponticum acaule
Astragalus incanus
ssp. nummularioides
Hippocrepis scabra
Poa bulbosa
Ceratocephalus falcatus
Agropyron orientale
Anacyclus clavatus
Lithospermum apulum
Sisymbrium coronopifolium
Onobrychis argentea
Medicago minima
Atriplex glauca
Helianthemum cinereum
ssp. rubellum
Fumana thymifolia
Diplotaxis harra
Cordylocarpus muricatus
Erodium malachoides
Coronilla scorpioides
Echinaria capitata
Avena bromoides
Valerianella coronata
ssp. discoidea
Micropus supinus
Papaver hybridum
Eryngium campestre
Euphorbia exigua
Caucalis leptophylla
Muscari comosum
Vicia monantha
ssp. cinerea
Hohenackeria sp.
A 20
C 64
L 2
C 8
V 17
V 42
M'3
R 2
S 9
V 53
P 5
V 62
P 4
A 40
C 32
S 2
V 40
L 10
H 0,5
M' 2
U 11
U 4
C 2
m 2
V 21
L 50
S 6
R 1
L 25
V 95
A 70
C 4
U 10
S 1
C 16
S 10
V 19
M'1
m1
V 56
S 3
P 3
H 1,5
U 14
V 97
V 91


Carte 27 ESP.-REL. :
SIEROZEMS
196 R x 84 E
Axes 1-2
TEXTURE GROSSIÈRE
(FORMATIONS ÉOLIENNES)
Axe 2
Axe 1
STEPPES DE L'ARIDE INFÉRIEUR
(ENCROUTEMENT CALCAIRE)
TEXTURE M. A F.
(ZONES D'ÉPANDAGE
ET CHENAUX D'OUED
ALLUVIONNÉS)
Aristida pungens
Treganum nudatum
Polygonum equisetiforme
Silene arenarioides
Scabiosa arenaria
Onopordon arenarium
Ctenopsis pectinella
Delphinium pubescens
Launaea resedifolia
Cynodon dactylon
Artemisia campestris
Thymelaea virgata
Nigella arvensis
Ziziphus lotus
Hypecoum geslini
Thapsia garganica
Koeleria pubescens
Ammochloa pungens
Cutandia divaricata
Plantago albicans
Helianthemum lippii var. sessiflorum
Echiochilon fruticosum
Nolettia chrysocomoides
Argyrolobium uniflorum
Thymelaea microphylla
Aristida plumosa
Atractylis flava
Stipa lagascae
Linaria aegyptiaca ssp. fruticosa
Schismus barbatus
Arthrophytum schmittianum
Salsola vermiculata var. brevifolia
Atractylis serratuloides
Aristida obtusa
Astragalus armatus ssp. tragacanthoides
Stipa tenacissima
Lygeum spartum
Medicago minima
Hedypnois cretica
Lolium rigidum
Muscari comosum
Papaver rhoeas
Carduncellus pinnatus
Gymnocarpos decander
Arthrophytum scoparium
Helianthemum hirtum ssp. ruficomum
Telephium imperati
Asteriscus pygmaeus
Stipa barbata
Anabasis oropediorum
Artemisia herba-alba
Helianthemum kahiricum
Herniaria fontanesii
Matthiola fruticulosa
Noaea mucronata
Aegylops triuncialis
Carthamus lanatus
Peganum harmala
Hippocrepis scabra
Micropus bombycinus
Echinaria capitata
Centaurea involucrata
Spergularia diandra
Thymus hirtus
Aegylops ventricosa
Lithospermum apulum
Glaucium corniculatum
Roemeria hybrida
Salvia verbenaca ssp. eu-verbenaca
Poa bulbosa
Papaver hybridum
Ceratocephalus falcatus
Astragalus hamosus
Scleropoa rigida
Aizoon hispanicum
Plantago ovata
Biscutella auricula
Coronilla scorpioides
Adonis dentata
Sisymbrium runcinatum
Sisybrium torulosum
Elymus caput-medusae
Eryngium campestre
Agropyron orientale
Iris sisyrinchium
Mantisalca duriaei
Vicia monantha ssp. cinerea
Caucalis leptophylla
Nardurus maritimus
Nardurus cynosuroides
Phalaris minor
Hohenackeria sp.
Anacyclus clavatus
Pholiurus incurvus
Hypecoum pendulum
Beta macrocarpa
Coringia orientalis
Axe 1
Axe 2

Carte 28 ESP.-REL :
SOLS A CROUTE CALCAIRE (ARIDE)
348 R x 126 E
Axes 1-2



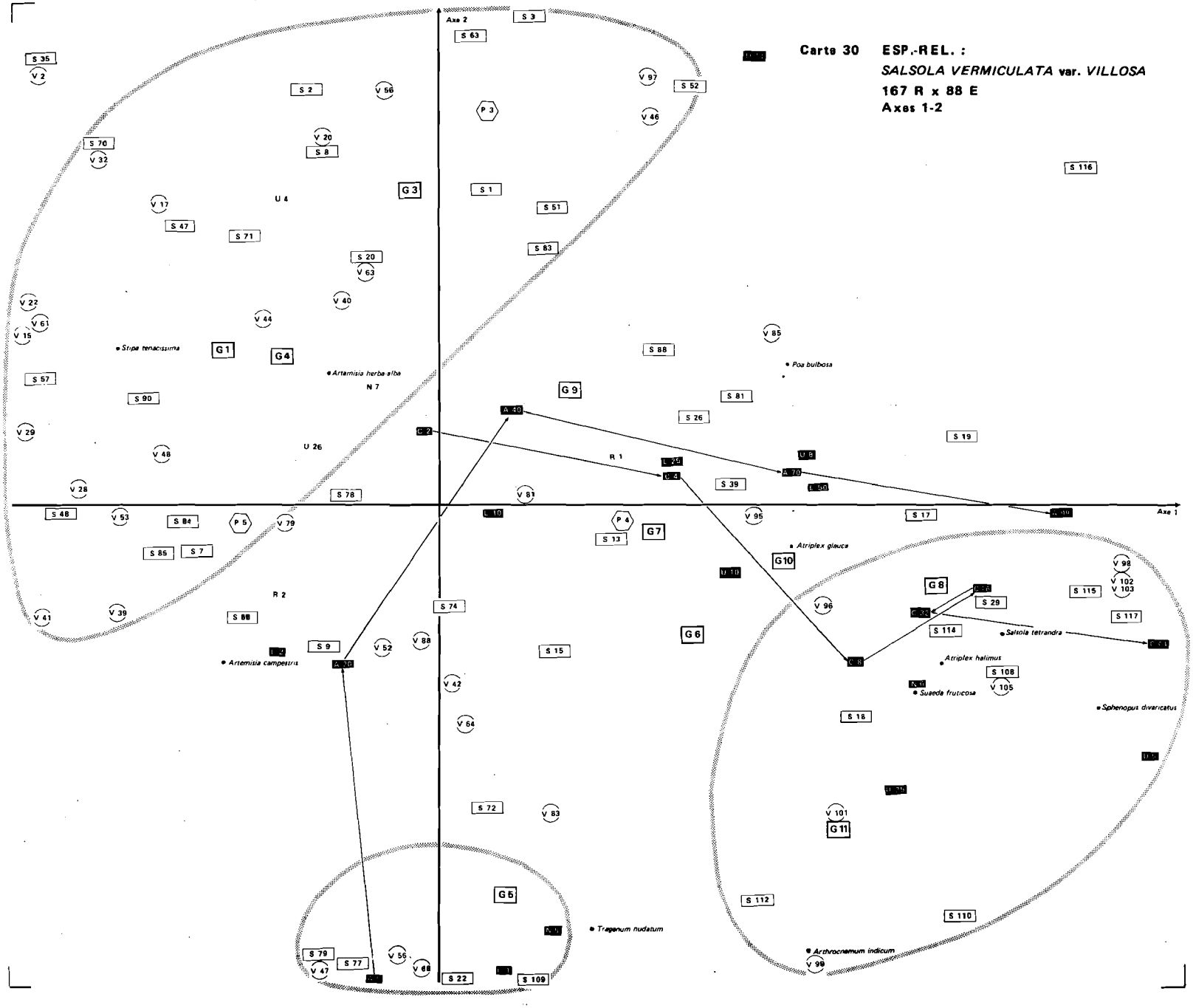


Carte 29 **ESP.-REL. :**

SOLS A CROUTE CALCAIRE (S.51) DE L'ARIDE MOYEN

91 R x 90 E

Axes 1-2


Carte 30 ESP.-REL. :
SALSOLA VERMICULATA var. VILLOSA
167 R x 88 E
Axes 1-2
Axe 1
Axe 2
G1
G2
G3
G4
G5
G6
G7
G8
G9
G10
G11
Stipa tenacissima
Artemisia herba alba
Poa bulbosa
Atriplex glauca
Salsola tetrandra
Atriplex halimus
Suaeda fruticosa
Sphenopus divaricatus
Artemisia campestris
Arthrocnemum indicum
Traganum nudatum

ANNEXE 7

LES TABLEAUX DES FACTEURS ÉDAPHIQUES.

Tableau I : Les milieux forestiers de l'aride supérieur (P > 300 mm, hivers froids).

Tableau II : Les milieux steppiques : steppes climatiques sur les versants et surfaces plus ou moins encroûtées (espèces steppiques "climatiques").

Tableau III : Les milieux steppiques : steppes climatiques sur les versants et les surfaces plus ou moins encroûtées.

Tableau IV : Les milieux steppiques : steppes climatiques et édaphiques sur sols sableux.

Tableau V : Les milieux steppiques : steppes édaphiques sur sols gypseux.

Tableau VI : Steppes édaphiques et cultures dans les dayas.

Tableau VII : Les milieux de transition steppes-cultures.

Tableau VIII : Les milieux cultivés.

Tableau IX : Les milieux hydromorphes et halomorphes.

	T F R
▬	60 - 100 %
--	60 - 40 %
+	0,1 - 20 %
	Espèce absente

FACTEURS ÉDAPHIQUES / PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'ECOLOGIE DES ESPECES — ESPECES VEGETALES		FORMATIONS VEGETALES					GEOMORPHOLOGIE		SOLS (Types de substrats)			HORIZON DE SURFACE															
												CALCAIRE TOTAL en %			pH			MAT. ORG. en %			TEXTURE						
		FM	C	St	Cult.	Hal	VR	GA CM	Grès	Calc. dur	Marn. calcar	<2	2-10	>10	<7,2	7,2-7,8	7,8-8,2	<1,5	1,5-2,5	>2,5	TG	G	M	F	TF	ESPECES D'ECOLOGIE VOISINE
Sols humifères non calcaires sur grès	*Cistus salviifolius*	▬					▬		▬	+		▬			▬	+		+	+	▬			--	--		*Lavandula stoechas* *Pinus bicolor-halepensis*
	Andryala integrifolia	▬			--		▬		▬	+		▬			▬	+		+		▬		▬	--	+		*Linaria heterophylla*
Sols humifères non ou faiblement calcaires (forêts - matorrals)	*Jasminum fruticans*	▬	+				▬	+	▬	--	+	▬		+	▬	+		+	+	▬			--	▬		*Anacyclus pyrethrum* *Pistacia terebinthus*
	Cistus villosus	▬					▬	+	▬	+	+	▬		+	▬	--	+	+	+	▬			--	▬		*Asphodelus* *Antherieum liliago*
	Phillyrea angustifolia	▬					▬	+	▬	+	+	▬	+	+	▬	--	+	+	+	▬			--	▬		*Lithospermum* *Arrhenatherum elatius*
	Pistacia lentiscus	▬					▬	+	▬	+	+	▬	+		▬	+	+	+	+	▬			--	▬		*Lithospermum argenteus* ssp. *fruticosum*
	Asparagus acutifolius	▬	+	+			▬	+	▬	+	+	▬	+	+	▬	--	+	+		▬		+	--	--		*Asphodeline lutea*
	Cynosurus elegans	▬					▬	+	▬		+	▬	+	+	--	--	+		+	▬		+	--	--		*Bupleurum balansae*
	Artemisia atlantica	▬					▬	+	--	--	+	--	--	+		▬			+	▬			▬			*Bupleurum spinosum*
	Lagurus ovatus	▬	+		+		▬	+	▬	+	+	▬	+		▬	+	+	+	+	▬		+	--	--		*Carex halleriana, Colutea arborescens*
	Elychrysum stoechas	▬					▬	+	--	+	--	▬	--		▬	+	+			▬			+	--	▬	*Coronilla juncea*
	Juniperus oxycedrus	▬	+	+	+		▬	+	--	--	--	▬	+	+	▬	--	+	+	+	▬			--	--	+	*Cotoneaster racemiflora*
	Quercus ilex	▬		+	+		▬	+	--	+	+	▬	+	+	▬	--	+	+	+	▬			--	▬	--	*Delphinium balansae*
	Pinus halepensis	▬	+	+			▬	+	--	--	--	▬	+	+	▬	--	+	+	+	▬			--	--	--	*Festuca carrulescens*
	Coronilla minima	▬					▬	+	--	--	--	▬	+		▬				+	▬			▬			*Fumana ericoides* var. *montana*
Sols ± humifères calcaires (forêts, matorrals et steppes)	*Juniperus phoenicea*	▬	+	+			▬	--	--	--	--	--	+	--	▬		--	+	--	▬		--	--	--		*Anarrhinum fruticosum*
	Rosmarinus tournefortii	▬	--				▬	--	--	--	--	+	+	▬	--	--	+	+	--	▬		+	--	--		*Asperula cynanchica* ssp. *aristata*
	Alyssum alpestre ssp. *serpyllifolium*	▬	--	+			▬	--	--	--	--	+	+	▬	--	--	--	+	--	▬		--	--	--		*Centaurea acaulis*
	Alyssum cochleatum	▬	--	+			▬	--	--	--	--	--	+	▬		--	--		+	▬			▬			*Ebenus pinnata, Inula montana*
	Avena bromoides	▬	+	+			▬	--	--	+	--	+	+	▬	--	--	+	+	+	▬		--	--	+	--	*Jurinea humilis, Koeleria vallesiana*
	Helianthemum cinereum var. *rubellum*	▬	--	--			--	--	--	--	--	+	+	▬	--	--	--	+	--	▬		--	--	--	+	*Leuzea conifera*
	Fumana thymifolia	--	+	--			▬	--	--	--	--	+	+	▬		--	--	+	--	▬		--	+	+	--	*Munuartia montana*
	Dactylis glomerata	--	--	+	+		▬	--	--	--	--	--	+	▬	--	--	--	+	+	▬		--	--	--	+	*Ononis pusilla*
	Thymus hirtus	--	--	--	+		--	--	--	--	--	+	+	▬	--	--	--	+	--	--		--	--	--		*Polycnemum fontanesii, Thymelea nitida*
Sols à croûte calc. (forêts-steppes)	*Cistus libanotis*	▬	--				--	--	+	+	▬	+	+	▬		▬	+		--	▬		+	--	▬		
Sols sur marnes et marno-calcaires - encroûtés (forêts-matorrals-steppes)	*Atractylis humilis*	--	--	--	+	+	--	--	+	+	--	+	+	▬	+	--	--	--	--	--	+	--	--	--	+	*Ampelodesma mauritanica*
	Catananche coespitosa	▬	--	--			--	--	+	+	▬			▬		▬	--	--	--	--			+	--		*Onopordon acaule*
	Astragalus incanus ssp. *nummularioides*	--	--	--			--	--	+	+	▬	+	+	▬		--	▬	--	--	--		--	--	--		
Sols sur grès (forêts-steppes)	*Pistacia atlantica*	--	--	+	--		--	+	--	+	+	▬	--	+	--	--	--	+	+	▬		--	--	+		

Tableau I des facteurs édaphiques. LES MILIEUX FORESTIERS DE L'ARIDE SUPERIEUR (P > 300 mm, hivers froids)

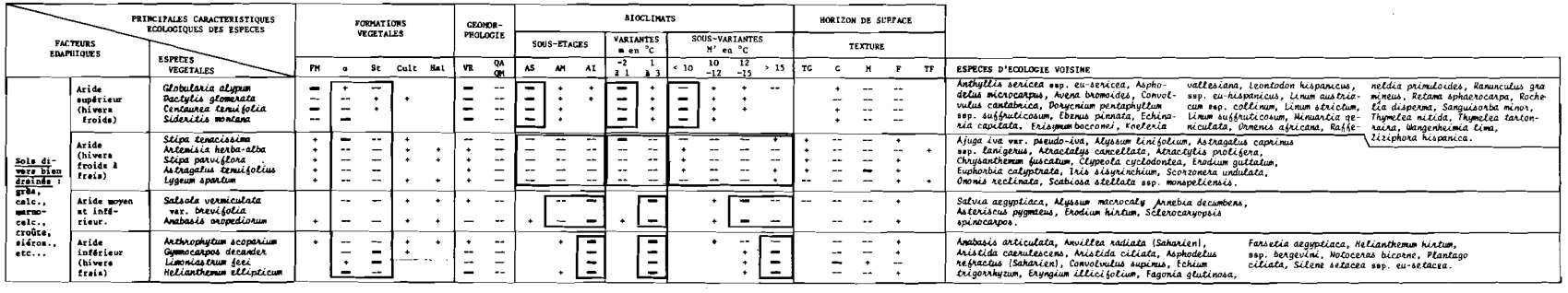


Tableau II des facteurs édaphiques. LES MILIEUX STEPPIQUES : Steppes climatiques sur les versants et surfaces plus ou moins encroûtés (Espèces steppiques "climatiques")

FACTEURS EDAPHIQUES		PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'ECOLOGIE DES ESPECES / ESPECES VEGETALES	FORMATIONS VEGETALES					GEOMORPHOLOGIE		SOLS (Types de substrats)					BIOCLIMATS								HORIZON DE SURFACE					ESPECES D'ECOLOGIE VOISINE	
															SOUS-ETAGE			VARIANTE m en °C		SOUS-VARIANTE M' en °C				TEXTURE					
			FM	M	St	Cult	Hcl	VR	QA QM	Grés	Calc. dur	Marn. calc.	Marn.	Croute	AS	AM	AI	-2 à 1	1 à 3	<10	10-12	12-15	>15	TG	G	M	F	TF	
Sols sur grès	Aride supérieur	*Lagurus ovatus*	—	+		+		—		—	+	+			—			—	+	—	+	+			—	—	—		*Centaurea alba*
		Lotus creticus ssp. *collinus*	—	—	—			—		—		+			—	+		—	+	—	+	+			—	+			*Thymus guyonii*
	Aride	*Hyparrhenia hirta*	—	—	—			—		—					—	—	—	—	—	—	—	—			—	—			*Alkanna tinctoria* (AS-AM)
		Pethuranthos scoparius	+	—	—			—	—	—	+		+	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	+	+		*Clematis flammula*
		Pistacia atlantica	—	—	+	—		—	+	—	+	+		+	—	+	+	—	—	—	+	—			—	—	+		
		Ononis natrix ssp. *polyclada*	+	—	—	+		—	+	—			+	+	+	—	—	—	—	+	—	—		—	—	+			
	Aride inférieur	*Anthrophytum schmittianum*		—	—			—	+	—	+	+		+		+	—		—		+	—			—	—			*Aristida obtusa*, *Linaria aegyptiaca* ssp. *suffruticosa* — *Rumex vesicarius*
Sols sur grès et sur calc. durs	Aride supérieur	*Bupleurum spinosum*	—	—				—	+	—	—				—			—	+	—					—	—	—		*Anthyllis vulneraria* ssp. *maura*
		Arabis auriculata	—	—				—	+	—	—	+			—			—	+	—	+				—	—			*Bupleurum balansae*
		Carlina involucrata ssp. *corymbosa*	—	—	+	+		—	+	—	—	+	+	+	—	+	+	—	+	—	+	+			—	—	—		*Bupleurum spinosum*
		Catananche caerulea	—	—				—	+	—	—	+			—	+	+	—	+	—	+	+			—	—	—	+	
		Pallenis spinosa	—	—	+		+	—	+	—	—	+	+		—	+	+	—	+	—	—	+			—	—	—	+	
		Rhamnus lycioides ssp. *oleoides*	—	—				—	+	—	—			+	—	+		—	+	—					—	—	+		
		Sedum sediforme	—	—	+			—	+	—	—	+	+		—	+	+	—	+	—	+	+			—	—	—		
		Dianthus caryophyllus	—	—	+			—	+	—	—	+			—	+	+	—	+	—	+	+			—	—	—		
		Centaurea incana ssp. *amourensis*	—	—	+			—	+	—	—	+	+		—	+	+	—	+	—	—	+			—	—	—		
	Aride	*Olea europea*	—	—	+			—		—	—				—	+	+	—	—	+	—	—			—	—	—		*Galium tricornutum* ssp. — *Rupicapnos numidicus*
		Asparagus albus	+	—	+			—		—	—				—	—	—	—	—	—	—	—			—	—			*ephedroides* — *Satureja hochreutineri*
		Launaea acanthoclada	+	—	+			—	+	—	—	+	+	+	—	+	—	—	—	—	—	—			—	—	—		*Phagnalon saxatile*
		Asparagus stipularis	—	—	—	+		—	+	—	—			+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			*Polygala rupestris*, *Rhamnus alaternus* ssp. *myrtifolia*
	Aride moyen et inférieur	*Rhus tripartitum*		—	+			—		—	—	+			—	—			—		+	—	—		—	—			
Sols sur marnes non salées et marno-calc. de l'aride supérieur (hivers froids)		*Astragalus incanus* ssp. *nummularioides*	—	—	—			—	—	+	+	+	—	+	—			—	+	—	+				—	—	—		
		Atractylis humilis	—	—	—	+	+	—	—	+	+	+	—	+	—	+	+	—	+	—	—	+		+	—	—	—		
		Catananche caespitosa	—					—	—	+		—		+	—			—	+	—	+				—	+	—		
Sols à croûte calc. (ou encroûtement éventuellement nodulee)	Aride sup. hiv. froids	*Onobrychis argentea*	—	—	—	+		—	—		+	+	+	—	—	+		—	+	—	+	+			—	—	—		
		Hippocrepis scabra	—	—	—			+	—	+	+	—	+	—	—	+		—	+	—	+				—	—	+		
	Aride sup. et moyen	*Helianthemum hirtum* ssp. *rufiscomum*	—	—	—			+	—	+	+	+	+	—	—	—	+	—	—	—	—	+		+	—	—	+		
		Teucrium polium ssp.	—	—	—	+		+	—	+	+	+		—	—	—		—	—	—	—	+			—	—	+		
		Atractylis phaeolepis	+	—	—	+		+	—	+	+	+		—	—	—		—	—	—	—	+		—	—	—	+		
		Mathiola fruticulosa		—	—	+	+	+	—		+	+	+	—	—	—		—	—	—	—	+		+	—	—	+		
	Aride	*Telephium imperati*	+	—	—			+	—	+	+	+	+	—	—	—		—	—	—	—	+	+		—	—	+		
		Stipa barbata	+	—	—	+	+	+	—	+	+	+	+	—	—	—		—	—	—	—	—	—		—	—	+		
		Moaea mucronata	+	—	—	+	+	+	—		+		+	—	—	—		—	—	+	—	+	—	+	—	—	+		
	Aride moyen et infér.	*Herniaria fontanesii*	+	—	—		+	+	—	+	+	+	+	—	+	—		—	—	+	—	—	—		—	—	+		
		Atractylis serratuloides	+	—	—	+	+	+	—	+	+	+	+	—	+	—		—	—	+	—	—	—	+	—	—	+		
	Aride inférieur (hiv. frais)	*Anthrophytum scoparium*	+	—	—	+	+	+	—	+	+	+	+	—		+		—		+	—	—			—	—	+		
		Mathiola longipetala ssp. *livida*		—	—			+	—	+			+	—				—				—	—		—	—			
		Helianthemum kahiricum		—	—			+	—	+	+	+		—				—				—	—		—	—	+		
		Gymnocarpos decander		—	—	+		—	—	+	+	+	+	—				—				+	—		—	—	+		

Tableau III des facteurs édaphiques. LES MILIEUX STEPPIQUES : steppes climatiques sur les versants et les surfaces plus ou moins encroûtées.

FACTEURS EDAPHIQUES		PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DES ESPECES / ESPECES VEGETALES	FORMATIONS VEGETALES				HORIZON DE SURFACE TEXTURE					BIOCLIMATS			GEOMORPHOLOGIE								ESPECES D'ECOLOGIE VOISINE
			FM	I	St.	Cult.	Hal.	TG	G	M	F	TF	AS	AM	AI	VR	QA	QM	EO	TA	TR	ZE	CU	DA	DN	
Dunes et nappe (phréatopsammophiles)		*Phragmites communis*			—		--	—						—	--				--						—	
		Imperata cylindrica			—		+	—						—	--				--						—	
Dunes et microdunes (texture très grossière)		*Saccocalyx satureoides*			—			—						—	--				—							
		Astragalus gombo			—		+	—	+					--	--				—							*Chrysanthemum trifurcatum* ssp. *macrocephalum*, *Erysimum semperflorens*, *Scrofularia saharae*
		Malcolmia aegyptiaca			—	+	+	—	+					--	—	+		+	—							
		Corynephorus articulatus	+		—			—	+					—		+			—						--	
		Ononis serrata			—			—	+					—	--	+			—						+	
		Aristida pungens		+	—	+		—	+	+				—	--	+	+	+	—	+					+	
Sols de texture très grossière à grossière sur au moins les 10/20 cm supérieurs (psammophiles)	Aride supérieur et moyen	*Buffonia tenuifolia*	--	--	--	+		--	--	+	+		—	+		+	+	+	--	--					+	*Alkanna tinctoria*, *Brassica tournefortii*
		Medysarum spinosissimum ssp. *eu-spinosissimum*	+	+	—			--	--	+	+		—	--		--	+	+	--	+			+			*Malcolmia arenaria*
		Polygonum equisetiforme			--	--	+	—	--	+			+	—		+		+	—	+			+		+	*Rumex bucephalophorus*
		Nigella arvensis			--	--	+	—	+	+	+		--	—			+	+	--	--		+			+	*Rumex tingitanus*
		Ctenopsis pectinella	+	--	--	+	+	--	--	+	+		--	—		+	+	+	--	+			+		--	
		Bupleurum semicompositum	+	--	--	+	+	--	--	+	+		--	—		+	--	+	+	+	+		+	+	--	
		Ammochloa pungens	+	--	--	+		--	--	+	+		--	--		+	--	--	+	+		+	+		+	
	Aride	*Echinops spinosus*	+	--	--	--	+	--	--	+	+	+	--	--	--	+	+	+	--	+	--	+	+			*Deianthus crinitus*
		Ortaya maritima		+	—		+	--	--	+			--	--	--	+	+	+	--						+	*Linaria reflexa*
		Cynodon dactylon	+	+	--	--	+	--	--	+	+		--	--	--	+		+	--	+	+	+	+	--	+	ssp. *agglutinosa*
		Artemisia campestris	+	--	--	--	+	--	--	+	+		--	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	*Matesca nana*
		Launaea resedifolia		--	--	+	+	--	--	+			--	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+		+	
		Hypecoum geslini		+	—	+			—	+			—	+	—	+			--	--						
	Aride moyen et inférieur	*Silene arenarioides*		+	—	+	+	—	--				+	--	—	+	+	+	—	+	+		+		+	*Centaurea dimorpha*
		Nolletia chrysocomoides		+	—			—	--	+				--	—	+		+	--	+	--					*Diplotaxis virgata* ssp. *cossoniana*
		Reseda phyteuma		--	--		+	—	--	+			+	--	—	+		+	--	+	--					*Medysarum spinescissimum* ssp. *eu-spinescissimum*
		Onopordon arenarium		+	—	--	+	—	--	+	+			--	--	+	+	+	--	+	+	+	+		+	*Leysera leyseroides*
		Warrubium deserti		+	--	+	+	—	--	+	+			—	—	+	+	+	--	+	+				+	
		Bassia muricata		+	--	+	--	—	--	+				--	--	+	+	+	—	+	+					
		Lotus pusillus		--	--	+	+	—	--	+			+	--	—	+	+	+	—	+	+				+	
		Cutandia dichotoma	+	+	—	+	+	--	--	+			+	--	--	+	+	+	--	+	+		+		+	
		Scabiosa arenaria		--	--	+		--	--	+			+	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+		+	
		Bromus tectorum	+	--	--	+		--	--	+			+	—	+	+	+	+	--	+	+		+		+	
		Thymaelea microphylla		--	—	+	+	--	--	+	+		+	--	—	+	+	+	--	+	--		+			
		Helianthemum kippi var. *sessiflorum*		--	—	+	+	--	--	+	+		+	+	--	+	+	+	--	+	--	+	+	+	+	
		Argyrolobium uniflorum		+	—	+	+	--	--	+			+	--	--	+	+	+	--	+	--		+		+	
		Astragalus cruciatus	+	--	--	+	+	--	--	+	+		+	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+		+	
		Erodium triangulare	+	--	—	+		--	--	+			+	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+		+	
		Salvia verbenaca ssp. *clandestina*		--	--	+			—	+				—	—	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	
		Delphinium pubescens		--	--	+	+		—	+	+		+	--	--		+		+	--	+	+				+	
		Atractylis flava		--	—	+			—	+				--	—		+	+	+	--	+	--	+	+			
	Aride inférieur	*Rhanterium suaveolens* ssp. *adpressum*		+	—			—	--	+					—	+	+	+	--		--					*Cenchrus ciliaris*
		Echiochilon fruticosum		--	—			—	--	+				+	—	+			--	+	--					*Ericaria uncata*
		Retama retam		+	--	+	+	—	--	+	+			+	—	+		+	--	+	--		+	+	+	*Genista saharae*
		Euphorbia guyoniana		--	--			—	+	+				+	—	--		+	--							*Picris coronopifolia* ssp. *saharae*
		Cleome arabica		—	--			—	—					+	—	+		+	+	+	—	+				
		Ifloga spicata		--	--	+		--	--					+	—	+	+	+	+		--		+			
Sols de texture variable en surface (très grossière à moyenne) avec le plus souvent un recouvrement éolien (voile sableux)		*Koeleria pubescens*	+	--	--	+	+	--	--	--	+	+	--	—	+	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	
		Cutandia divaricata	+	--	--	+	+	--	--	--	+		--	--	+	+	+	--	--	+	+	+	+	+	+	
		Medicago truncatula	+	--	--	+	+	--	--	--	+		--	--	+	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	
		Stipa fontanesii	+	--	--	+		--	--	--			--	--	--	+	+	--	--	+	+			+		
		Stipa tagascae	+	+	—	+		--	--	+	+		--	--	—	+	+	+	+	+	+			+	+	
		Plantago albicans	+	--	--	+	+	--	--	--	+	+	--	--	--	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		Anacyclus cyrtolepidoides	+	--	--	--	+	--	--	--	+		+	--	--	+	+	+	+	+	--	+	+	+	+	
		Loaflingia hispanica	+	--	--	+	+	--	--	--	+		+	--	--	+	+	+	+	+	--	+	+	+	+	
		Medicago laciniata	+	--	--	+	+	--	--	--	+		+	+	—	+	+	+	+	+	--	+	+	+	+	
		Paronychia arabica	+	--	--	+	+	--	--	--	+			--	--	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		Schismus barbatus	+	--	--	+	+	--	--	--	+	+		--	--	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	
		Salsola vermiculata var. *brevifolia*	+	--	--	+	+	--	--	--	+			--	—	+	--	+	+	--	+	+	+	+		
Sols sur grès (texture très grossière à grossière en surface)		*Pituranthos scoparius*	+	--	--			--	--	+	+		--	--	--	--	+	+		+	+					
		Ononis natrix ssp. *polyclada*	+	--	—	+		—	--	+				--	—	--	+	+	--	+	+		+		+	
		Linaria aegyptiaca ssp. *suffruticosa*		--	--			--	--	+				+	—	--	+	+	+	+	--					
		Aristida plumosa			—	+			—	+				+	—	--	+	+	--	+	--		+			
		Aristida obtusa		--	--				—	--				+	—	--	+	+	+	+	--	+	+			
		Arthrophytum schmittianum		--	--		+		--	--	+			+	—	--	+	+	+	+	+			--		
Sols profonds texture très grossière à gross. et nappe en profondeur		*Traganum nudatum*			--		--	—	--					—	--				--	+				+	--	*Saësola vermiculata* var. *villosa*
		Atriplex halimus			--	--	--	--	+	+	+	--		—	+				+	+	+	--		+	--	*Lygeum spartum*, *Agropyron elongatum*

Tableau IV des facteurs édaphiques. LES MILIEUX STEPPIQUES : steppes climatiques et édaphiques sur sols sableux

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DES ESPECES / FACTEURS EDAPHIQUES	ESPECES VEGETALES	HORIZON DE SURFACE — Nomenclature: Encr. surf. gyps.	Amas. Encr. nappe	Gypse total %: < 2	2-25	> 25	Salure en mmhos-cm: < 4	4-8	8-32	>32	NAPPE PHREATIQUE Profondeur en cm: 0-120	120-200	200-600	> 600	BIOCLIMATS: AS	AM	AI	ESPECES D'ECOLOGIE VOISINE
Sols calcimagnésiques à encroûtement gypseux de surface (gypsophiles)	*Erodium glaucophyllum*	—				—	--	--	--				--	--	--	--	--	*Linaria minor*
	Lepidium subulatum	—				—		—	--				—	--		—	--	*Campanula filacaulis* ssp. *reboudiana*
	Helianthemum lippii var. *intricatum*	—				—	--	--						—	--	--	--	*Campanula fastigiata*
Sols très gypseux (>25%) et salés (>7/8 mhos) (gypsohalophil.)	*Zygophyllum cornutum*	—	--			—	--	+	--	--	—		+	+			—	*Limonium pruinosum*
	Herniaria mauritanica	--	-- --		+	—	+	--	--	--	--	--	+	+	--	--	--	*Launaea quercifolia*
	Frankenia thymifolia	--	-- --	+	--	—	+	+	--	--	—	--	+	+	--	--	--	
Sols très gypseux et sableux (psammogypso.)	*Suaeda mollis*		—	+		—	+		—			--	--	+		--	—	*Pituranthos chloranthus* ssp. *cossonianus*
	Limoniastrum guyonianum		--	+		—	--	+	—				—	+			—	
Sol très gypseux ou sableux avec nappe	*Traganum nudatum*	+	--	+	--	—	+	--	--			—	--	+.		—	--	
Sol très gypseux non salé (gypsophile)	*Reaumuria vermiculata*			+		—	—							—	--	--	--	

Principales espèces gypsovagues			
Arthrophytum scoparium	*Gymnocarpos decander*	*Nitraria retusa*	
Arthrophytum schmittianum	*Helianthemum kahiricum*	*Pseudoerucaria teretifolia*	
Astragalus tenuifoliosus	*Herniaria fontanesii*	*Pteranthus dichotomus*	
Astragalus incanus ssp. *nummularioides*	*Launaea resedifolia*	*Sisymbrium coronopifolium*	
Atractylis serratuloides	*Leontodon hispidulus* ssp. *mulleri*	*Stipa tenacissima*	
Bassia muricata	*Loncophora capiomontana*	*Thymelea virgata*	
Ctenopsis pectinella	*Lycium arabicum*	*Vella annua* (y compris les espèces des milieux hydro-halomorphes et halomorphes).	
Diplotaxis harra	*Lygeum spartum*		
Genista microcephala	*Moricandia arvensis* ssp. *suffruticosa*		

Tableau V des facteurs édaphiques. LES MILIEUX STEPPIQUES : steppes édaphiques sur sols gypseux

FACTEURS EDAPHIQUES	ESPECES VEGETALES	FORMATIONS VEGETALES					GEO-MOR.	HORIZON DE SURFACE								BIOCLIMATS			ESPECES D'ECOLOGIE VOISINE
								SALURE en mmhos-cm				TEXTURE							
		FM	α	St	Cult	Hal	DA	< 2	2-4	4-8	> 8	TG	G	M	F	TF	AS	AM	AI	
Sols faiblement salés de texture fine à très fine	*Suaeda fruticosa*			+	+	▬	+		+	+	▬	--	+	+	+	--	+	▬	+	
	Sphenopus divaricatus			+	--	▬	+		+	+	▬		+	+	--	--	+	▬	+	
	Spergularia diandra		--	--	+	--	+	+	+	+	▬		+	--	--	--	+	--	--	
	Salsola tetrandra					▬	--	+	+	+	▬		+	+	--	▬		▬	--	
	Atriplex glauca			--	--	--	+	+	+	--	▬		+	+	+	▬	+	▬	+	
	Hordeum maritimum				▬	--	--	+	+	--	▬		+	+	--	▬		▬	+	
	Pholiurus incurvus		+	+	--	+	+	+		--	▬		+	+	+	▬	--	--	+	
	Atriplex halimus			--	--	--	+	+	+	--	▬	--	+	+	+	--		▬	+	
	Coronopus squamatus				▬	+	--		--	--	--				+	▬		▬		
	Agropyron orientale		+	--	+	--	+	+	+	+	--		+	+	--	▬	--	▬	+	
	Salsola vermiculata var. *villosa*	+	--	--	+	--	+		+	--	--		+	+	--	--	+	--	--	
	Poa bulbosa	+	--	--	+	+	+	--	--	+	--		+	--	--	--	--	--	+	
Sols non salés de texture très fine à fine (groupe des dayas)	*Euphorbia exigua*		+	+	--	--	▬	+	--	--					--	▬	--	+		*Pulicaria arabica* ssp. *inuloides*
	Achillea santolina				▬		▬	--		▬					--	--	--	--	--	*Pulicaria laciniata*
	Polygonum patulum				▬	+	▬	+	--	--	--			+	--	▬	--	--	--	
	Teucrium campanulatum				▬	+	▬	--	--	--				+	--	▬	+	--	--	
	Althaea ludwigii				▬		▬	--	--	--					--	▬		--	▬	
	Coronopus niloticus				▬		▬	+	--	--					+	▬		--	▬	
	Trigonella anguina				▬		▬	--	▬					+	--	▬		+	▬	
Sols non salés de texture moyenne à fine (cf. bioclimats)	*Phalaris minor*			+	▬	--	+	+	+	+	▬		+	+	--	--	--	--	+	*Carex divisa*
	Caucalis leptophylla				▬		--	--	+	--			+	+	▬	--	--	--		*Medicago secundiflora*
	Valerianella coronata	+	--	--	--	+	--	--	--	--			+	--	--	--	▬	--		*Medicago minima*
	Anacyclus clavatus	+	+	+	▬	+	+	--	--	+	--		+	+	--	--	--	--	+	*Neslia paniculata*
	Sisymbrium runcinatum		+	+	▬	--	+	+	+	--	--		+	+	--	--	+	--	+	
	Adonis dentata	+	+	--	▬	+	+	--	--	--		--	+	+	--	--	--	--	+	
	Pistacia atlantica	--	--	+	--		--	--	--			+	--	--	+		▬	--	--	
	Lygeum spartum	+	--	--	+	+	+	--	+	--	--	--	--	--	+	+	--	--	--	
	Artemisia herba-alba	+	--	--	+	+	+	--	--	+	+	+	--	--	--	+	--	--	--	
	Astragalus hamosus			+	▬		--	--	--	--	+		+	+	--	--	--	--	--	
	Ziziphus lotus		+		▬		+	▬	+			--	--	+	--		+	--	--	
	Peganum harmala		+	--	--	--	+	+	--	--	--	+	--	+	--	--	+	--	--	
	Arthrophytum scoparium	+	--	--	+	+	+	▬	—				--	--	+			+	▬	

Tableau VI des facteurs édaphiques. LES MILIEUX STEPPIQUES : steppes édaphiques et cultures dans les dayas

FACTEURS EDAPHIQUES		PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DES ESPECES / ESPECES VEGETALES	FORMATIONS VEGETALES					HORIZON DE SURFACE — TEXTURE					BIOCLIMATS			HORIZON DE SURFACE — SALURE en mmhos-cm				GEOMORPHOLOGIE									ESPECES D'ECOLOGIE VOISINE
			PM	.	St	Cult.	Hal	TG	G	M	F	TF	AC	AM	AT	-2	2-4	4-8	+8	VR	QA	QM	Ec	LC	TR	ZE	CH	DA	D.	
Sols de texture moyenne en surface mais de profondeur variable	Aride super. et semi aride	*Rhaponticum acaule*	--	+	--	--			--	--	--	--	--			--	+	+	--	--	+	+								*Cynoglossum cheiranthum*
		Crucianella patula	+	—	+	--		+	--	--	--		—	+		--	--			--	+	--		+			+			*Lobularia capitata*
		Carduncellus pinnatus	+	--	--	--			--	--	--		--	+		—	--			+	+	--		+		+	+	+		*Lepus capet-medusae*
		Eryngium capestre	--	--	+	--	+		+	--	--	+	--	+		--	+	+	--	--	+	+		+		+	--			*Hertia cheirolepis*
																														Medicago secundiflora
	Aride super. et moyen	*Ceratocephalus falcatus*		+	--	--	+	+	+	--	--	--	--	--	+	--	+	+	--	+	--	+	+		+		+	+	+	+	*Aegilops ventricosa*
		Valerianella coronata	+	--	--	--	+		+	--	--	--	—	--		--	--	--		+	+	+			+		+	--	--	*Alyssum arcuatense*
		Sisymbrium torulosum		+	--	--	+		+	+	--	--	--	--		+	--	+	--	+		+			+	--		--		*Alyssum scutigerum*
		Narduros cynosuroides		+	—	--	+		+	--	--		--	--		—	--			+	--	+			+		+	--		*Androsace maxima*
		Narduros maritimus			—	--				--	--		--	--		—	+			+	--	+						--		*Lappula redowskii*
		Hedypnois cretica	+	+	--	--	+		--	--	+	--	--	--	+	--	--	--	--	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*Lithospermum apulum*
		Thapsia garganica		+	--	--	+		--	+	--	--	--	--	+	--	--	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+	--	+	*Salvia verbenaca* ssp. *clandestina*
		Poa bulbosa	+	--	--	+	+		+	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--	+	--	+		+	+	+	+	+		*Scleropoa rigida*
	Aride	*Coronilla scorpioides*	--	--	+	--			+	--	--	--	--	--	--	—	--			--	+	+		+	+	+	--	+		*Aegilops triuncialis*
		Launea nudicaulis		--	--	--	+	+	--	--	--	+	--	+	--	--	--	+	--	+	+	+	+	+	+	+	--	+	+	*Centaurea involucrata*
		Euuca vesicaria		--	--	--	+		--	--	--	+	--	--	--	—	--	+		+	--	+	+	+	+	+	--	+		*Medicago minima*
		Herniaria hirsuta	+	--	--	--	+	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		+	+	+	+	+	--	+	--	+		*Plantago ovata*
		Carthamus lanatus	+	+	--	--	+		--	+	--	+	--	--	--	—	--	--		+	+			+	+	+	--	+		*Stipa retorta, Xeranthemum cuspertum*
	Aride moy.inf.	*Peganum harmala*		+	--	—	--	+	--	+	--	--	+	—	--	+	--	--	--	+	+	+	+	+	+	--	--	+	+	*Calendula aegyptiaca*
Sols de texture grossière en surface mais de profondeur variable	Aride (sl)	*Rumex bucephalophorus*	--		--	--	+	--	--	+			--	+		—	--			+			+				+			*Muricaria prostrata*
		Nigella arvensis			--	--	+	—	+	+			--	—		+	--	--		+	+	+	--	--		+			+	
		Polygonum equisetiforme			--	--	+	—	--	+			+	—		+	--	--	--	+		+	—	+			+		+	
		Launaea resedifolia		--	--	+	+	--	--	+			--	--	--	+	--	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+		+	
		Artemisia campestris	+	--	--	--	+	--	--	+	+		--	--	--	--	--	--	+	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	
		Echinops spinosus	+	--	--	--	+	--	--	+	+	+	--	--	--	--	--	--	+	+	+	+	--	+	--	+	+			
		Cynodon dactylon		+	--	--	+	--	--	+	+		--	--	--	--	--	--	+	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	
		Enarthrocarpus clavatus		+	--	--	+	--	--	+	+	+	+	--	--	--	--	--		+	+	+	+	+	+	--	+	+		
		Malva aegyptiaca		--	--	+		--	--	--	+		+	—	+	--	--	--	+	+	--	+	+				+	+		
		Anacyclus cyrtolepidioides		+	--	--	+	--	--	--	+		+	--	—	--	--	--	+	+	+	+	+	--	+	+			+	
		Onopordon arenarium			—	--	+	—	--	+	+			--	--	--	--	--		+	+	+	--	+	+	+	+			+	

Tableau VII des facteurs édaphiques. LES MILIEUX DE TRANSITION : steppes - cultures

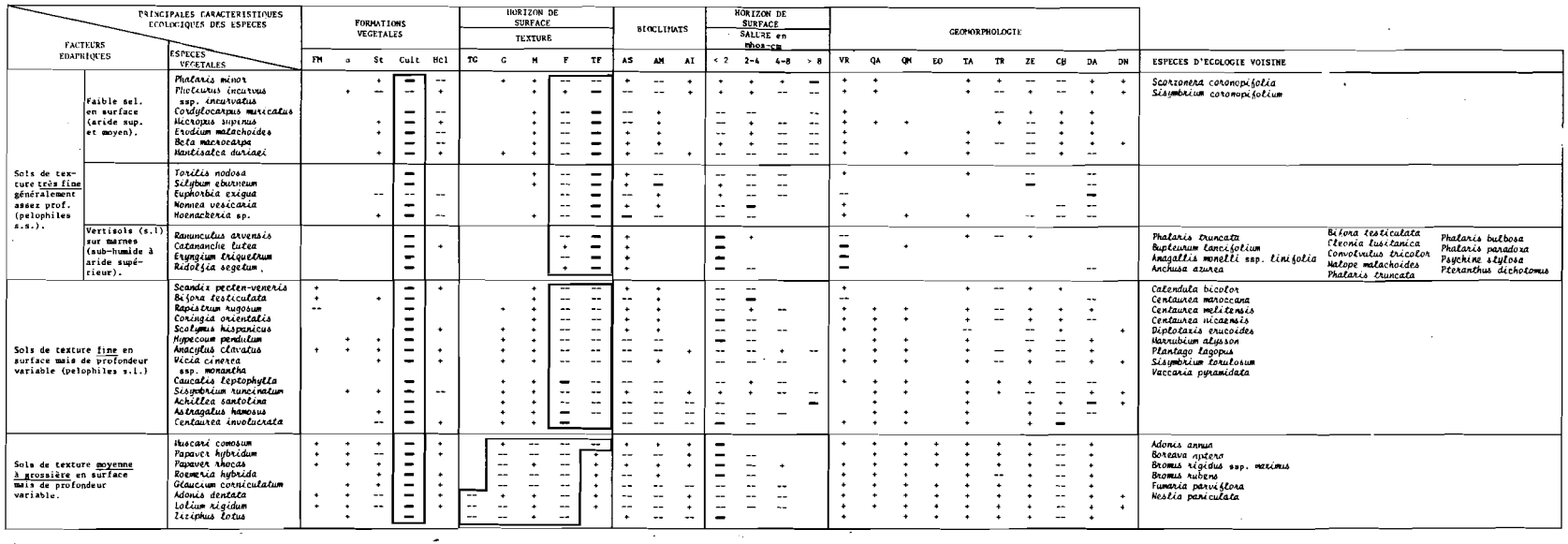


Tableau VIII des facteurs édaphiques. LES MILIEUX CULTIVES

FACTEURS EDAPHIQUES		PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DES ESPECES / ESPECES VEGETALES	NAPPE PHREATIQUE prof. en cm				HORIZON DE SURFACE										ESPECES D'ECOLOGIE VOISINE
							SALURE en mmhos-cm				GYPSE TOTAL en %			TEXTURE					
			0 -120	120 -200	200 -600	> 600	< 4	4-8	8-32	> 32	< 2	2-25	> 25	TG	G	M	F	TF	
Sols hydromorphes et hypersoloncha. (milieux hydrohalomorphes)	(phreatophiles)	*Scirpus holoschoenus*	—				+	--	--	--	+	--	--	—					*Lotus corniculatus* *Centaurium pulchellum* ssp. *tenuifolium*
		Schoenus nigricans	—	+			+	--	--	+	+	—	--	—			+		*Pucciniella distans* *Inula crithmoides, Juncus bufonius, Trifolium fragiferum*
	(hyperhalophiles)	*Halocnemum strobilaceum*	—	--	+					—		—	+				—		*Cressa cretica, Halopeplis amplexicaulis*
	(gypsohalophiles)	*Zygophyllum cornutum*	—		+	+	+	+	--	--			—			—			*Limonium pruinosum*
		Herniaria mauritanica	--	--	+	+		+	--	--		+	—	—	--				*Launaea quercifolia*
		Frankenia thymifolia	—	--	+	+		--	--	--	+	--	—	—	--				
		Salicornia arabica	—	+				+	+	—	+	--	—	—					
	(hydrohalophyles)	*Juncus maritimus*	—	+			+	+	--	—	+	—	--	—					
		Spergularia marginata	—	+				+	--	—	+	—	--	—	+	+	--		
		Aeluropus littoralis	—	+	+			+	--	—		--	--	—	--	+			
		Frankenia pulverulenta	—	+	+	+		+	+	—	+	—	+		--	--	--		
		Sphenopus divaricatus	—	--	+				--	—	+	—	+		+	+	--	--	
		Atriplex portulacoides	--	--	+			+	--	—		--	--		—	+	+		
		Arthrocnemum indicum	--	--	+				--	—		--	--	—	+		+		
Sols halomorphes et sols salés en profondeur (sal.> 7/8 en mmhos en surface ou profondeur)	(halophiles ss)	*Suaeda fruticosa*	--	--	--		+	--	--	--	+	—	--	--	+	+	+	--	*Tamarix* sp.
		Atriplex halimus	--	+	--	+	+	--	--	--	+	--	--	--	+	+	+	--	*Salsola sieberi* var. *zygophylla*
		Atriplex glauca	--	--	--	+	+	--	--	--	+	—	--	+	+	+	+	--	*Limonium echioides*
		Salsola vermiculata var. *villosa*		--	—	+	+	--	--	--	--	--	--	+	+	+	--	--	
	Texture très fine à fine en surface (pelohalophiles)	*Pholiurus incurvus*	—	+		+	+	--	+	--	+	—	+		+	+	+	—	*Halogeton sativus,*
		Hordeum maritimum	--	--	--	+	+	--	--	--	—				+	+	--	—	*Hutchinsia procumbens*
		Salsola tetrandra	+	--	—	+	+	--	--	--	+				+	+	--	—	*Limonium echioides*
		Agropyron orientale			—	--	+	--	--	--	+	—			+	+	--	—	*Limonium sinuatum*
		Aizoon hispanicum		--	--	--	+	--	+	--		—			+	+	--	--	ssp. *bonduelli*
		Spergularia diandra		--	--	+	+	--	--	--	--	--	--		+	--	--	--	*Limonium thouini*
	T. grossière encrout.gyps.nap.	*Traganum nudatum*		—	--	+	+	--	--	+	+	+	—	—	--	+			*Suaeda mollis* (gypse), *Salsola vermiculata* var. *villosa*
	T. grossière en surface (psammohalophiles)	*Lygeum spartum*	--	--	+	--	--	--	--	+	--	--	--	--	--	--	+	+	*Ammochloa palaestina*
		Koelpinia linearis		--	+	—	--	--	--		--		—	--	--	--	+		
		Bupleurum semicompositum	--	--	+	+	--	--	--		+	--	--	--	--	+	+		

Tableau IX des facteurs édaphiques. LES MILIEUX HYDROMORPHES ET HALOMORPHES

ANNEXE 8

LES MATIÈRES HUMIQUES : RÉSULTATS D'ANALYSES.

Tableau A : Les matières humiques dans les horizons de surface.

Tableau B : Les matières humiques dans quelques profils des steppes algériennes.

N°	BIOCL.	VEGETATION		CARACTERISTIQUES DU SOL										M.O.L. en	ACIDES FULVIQUES en C ‰			ACIDES HUMIQUES en C ‰				HUMINE		
		FV	GV N°	TYPE DE SOL	FAMILLE S	PROF. cm	NOM.	CO3Ca %	pH	A+LP %	Mo %	C ‰	N ‰	C/N	C ‰	AFL	AFPS	AP	AHG	AHI	AHB	AH	C ‰	N ‰	C/N
K 21	SH	FM	3	SOL BRUN CALCAIRE	36	0-8	A	7	7.8	59	9.76	56.60	4.16	13.6	2.19	2.92	8.09	11.01	4.43	0.67	2.75	7.85	22.70	1.93	11.8
K 22	"	"	"	SUR MARNO CALCAIRE	"	8-35	A	4	7.6	77	4.33	25.10	2.08	12.1	0.42	1.56	2.94	4.50	2.13	0.41	1.17	3.71	7.90	0.73	10.8
K 31	SH	FM	3	SOL FERSIALLITIQUE	95	0-10	A	0	7.8	37	9.33	54.10	4.05	13.4	1.86	2.19	10.50	12.69	2.98	0.65	2.86	6.49	22.50	1.97	11.4
K 32	"	"	"	SUR GRES	"	10-30	A	0	7.8	45	2.88	16.70	1.40	11.9	0.27	1.35	3.49	4.84	1.20	0.25	0.82	2.27	6.66	0.55	12.1
K 321	SH	FM	11	SOL FERSIAL. DEES.	100	0-25	A	0	7.2	37	6.36	36.90	3.06	12.1	0.68	1.46	5.67	7.13	4.57	0.91	2.83	8.31	16.30	1.37	11.9
K 322	"	"	"	SUR GRES	"	25-45	A	0	7.3	24	1.67	9.64	0.90	10.7	1.49	0.78	1.14	1.92	1.45	0.22	0.53	2.20	3.22	0.28	11.7
K 331	SH	FM	3	SOL FERSIALLITIQUE	95	0-10	A	0	7.8	27	9.55	55.40	4.67	11.9	1.95	2.02	8.67	10.69	5.58	0.91	3.05	9.54	19.30	1.49	13.0
K 332	"	"	"	SUR GRES	"	10-40	A	0	7.3	45	2.31	13.40	1.37	9.9	0.12	1.04	0.98	2.02	1.96	0.31	0.80	3.07	4.30	0.45	9.6
K 341	SH	FM	11	SOL FERSIALLITIQUE	98	0-20	A	0	7.4	24	16.11	93.50	6.29	14.9	6.09	2.43	9.89	12.32	18.89	2.66	7.97	29.52	31.80	2.25	14.1
TK 7381	SA	FM	6	SOL FERSIALLITIQUE	95	0-6	A	0	7.2	26	4.07	23.60	1.65	14.3	1.31	0.82	3.58	4.40	1.94	0.43	1.36	3.73	11.20	0.79	14.2
TK 7382	"	"	"	SUR GRES	"	6-18	A	0	7.2	22	2.09	12.10	0.97	12.4	0.77	0.51	1.22	1.73	0.89	0.13	0.50	1.52	5.10	0.38	13.6
H 201	SA	Cult	74	SOL FERSIAL. CALC.	94	0-20	Ap	0	7.7	45	1.74	10.10	1.28	7.9	0.10	0.44	0.70	1.14	0.80	0.14	0.27	1.21	6.31	0.77	8.2
H 211	SA	Cult	74	SOL FERSIAL. CALC.	94	0-15	Ap	0	7.8	52	1.40	8.10	0.95	8.6	0.00	0.39	0.66	1.05	0.64	0.10	0.24	0.98	5.01	0.52	9.6
BK 351	AS	FM	1	RENDZINE SUR	35	0-3	Ao	5	7.6	-	21.38	124.00	5.73	21.6	6.38	5.87	13.72	19.59	12.44	2.39	19.26	34.09	52.40	3.15	16.6
BK 352	"	"	"	CALCAIRE	"	3-20	A	7	7.6	43	7.84	45.50	2.60	17.5	2.27	3.19	7.58	10.77	3.47	0.54	2.30	6.31	18.70	1.19	15.7
BK 354	AS	FM	1	RENDZINE SUR	35	0-3	Ao	9	7.3	-	38.10	221.00	4.59	48.1	26.88	11.08	39.39	50.47	9.45	2.82	27.96	40.23	81.00	3.56	22.8
BK 355	"	"	"	CALCAIRE	"	3-15	A	13	7.5	37	6.93	40.20	2.49	16.1	1.79	3.19	5.74	8.93	2.79	0.44	2.65	5.88	17.80	1.32	13.5
BK 353	"	(∝)	"	(ALFA)	"	-	-	21	7.9	41	2.59	15.00	1.25	12.0	0.56	1.91	1.61	3.52	1.19	0.26	0.82	2.27	7.20	0.70	10.2
BK 361	AS	FM	2	SOL CROUTE CALC.	50	0-20	A	29	7.8	31	2.98	17.30	1.68	10.3	1.80	2.19	1.40	3.59	1.02	0.22	0.59	1.83	8.78	0.97	9.1
BK 331	AS	FM	2	RENDZINE CALCAIRE	35	0-20	A	10	7.9	44	3.57	20.70	1.71	12.1	0.43	1.69	1.88	3.57	2.04	0.28	1.22	3.54	9.39	0.91	10.3
H 331	AS	FM	7	SOL B.C. GRES	37	0-20	A	20	8.0	20	8.98	52.10	3.68	14.2	0.49	5.29	8.77	14.06	2.77	0.55	3.06	6.38	21.40	1.81	11.8
H 332	"	(∝)	"	(ALFA)	"	-	-	13	8.1	13	2.50	14.50	1.31	10.8	0.37	0.47	1.19	1.66	0.77	0.17	0.49	1.43	8.69	0.89	9.8
H 333	"	Cult	-	SOL B.C. GRES	37	0-20	Ap	9	7.9	9	1.31	7.59	0.86	8.8	0.08	0.30	0.89	1.19	0.56	0.10	0.27	0.93	4.85	0.48	10.2
K 1221	AS	FM	7	SOL B. CALCAIRF	37	0-20	A	2	7.6	26	6.55	38.00	3.52	10.8	0.84	1.92	7.19	9.07	2.91	0.59	2.34	5.84	20.70	1.64	12.6
K 1222	"	"	"	SUR GRES	"	0-20	A	1	7.7	29	5.69	33.00	3.07	10.7	0.36	1.69	6.34	8.03	2.24	0.51	1.67	4.42	17.70	1.71	10.4
K 1223	"	(∝)	"	(ALFA)	"	-	-	0	8.0	22	2.00	11.60	1.33	8.7	0.29	0.54	0.94	1.48	0.89	0.21	0.55	1.65	7.12	0.87	8.2
BK 371	AS	∝	12	SOL CROUTE CALC.	50	0-20	A	26	7.8	25	2.53	14.70	1.32	11.1	2.11	1.46	1.07	2.53	0.82	0.18	0.54	1.54	6.61	0.71	9.3
BK 321	AS	∝	12	SOL CROUTE CALC.	55	0-20	A	32	7.8	31	2.53	14.70	1.37	10.7	1.64	1.96	1.08	3.04	0.95	0.16	0.47	1.58	7.08	0.72	9.8
H 251	AS	St	46	SOL CROUTE CALC.	52	0-15	A	10	8.0	33	1.71	9.89	1.15	8.6	0.17	0.75	0.82	1.57	1.10	0.15	0.39	1.64	5.98	0.74	8.0
BK 381	AS	St	37	SOL CROUTE CALC.	51	0-20	A	29	7.9	27	2.53	14.70	1.60	9.2	0.64	2.41	1.01	3.52	0.95	0.16	0.36	1.47	6.75	0.85	7.9
H 231	AS	Cult	77	SOL CROUTE CALC.	55	0-20	Ap	3	7.9	36	1.64	9.53	1.13	8.4	0.03	0.63	0.72	1.35	0.78	0.18	0.42	1.38	5.80	0.66	8.7
9K 831	AM	∝	22	SOL B.C.X.	47	0-15	A	30	7.9	27	1.64	9.53	0.99	9.7	0.17	0.83	0.64	1.47	1.67	0.27	0.63	2.57	3.95	0.50	8.0
9K 1151	AM	∝	-	SOL CROUTE CALC.	58	0-20	A	19	7.9	29	1.44	8.35	0.80	10.4	0.70	0.79	0.48	1.27	0.52	0.06	0.19	0.77	4.56	0.55	8.3
8L 281	AM	∝	-	SOL CROUTE CALC.	58	0-15	A	20	7.8	34	1.96	11.40	1.17	9.7	0.67	1.31	0.88	2.19	0.85	0.16	0.29	1.30	6.29	0.73	8.7
9K 1072	AM	St	44	SOL CROUTE CALC.	58	5-25	A	28	7.9	39	1.65	9.58	0.96	10.0	0.51	1.23	0.72	1.95	0.62	0.08	0.20	0.90	3.98	0.44	9.1
9K 1171	AM	St	44	SIER. ENCROUT. CALC	90	0-15	A	13	7.8	20	0.96	5.54	0.68	8.1	0.51	0.50	0.36	0.86	0.25	0.04	0.09	0.38	2.55	0.34	7.4
8L 271	AM	St	44	SOL CROUTE CALC.	55	2-20	A	8	8.0	15	0.83	4.82	0.52	9.2	0.28	0.46	0.33	0.79	0.46	0.07	0.14	0.67	2.93	0.33	9.0
9K 902	AI	∝	24	SOL B.C.X. CALC.	47	0-20	A	10	8.2	34	0.78	4.51	0.56	8.1	0.14	0.49	0.44	0.93	0.40	0.05	0.10	0.55	3.17	0.40	8.0
9L 531	AI	∝	15	SOL B.C.X. CALC.	47	0-20	A	9	7.9	22	1.07	6.20	0.78	8.0	-	0.50	0.46	0.96	0.38	0.05	0.14	0.57	3.86	0.46	8.3
H 291	AI	∝	24	SOL B.C.X. CALC.	47	0-15	A	10	8.1	31	1.18	6.87	0.92	7.5	0.10	0.43	0.52	0.95	-	-	-	0.85	4.75	0.60	7.9
9K 711	AI	St	48	SOL CROUTE CALC.	58	0-20	A	24	7.8	33	0.92	5.33	0.80	6.7	0.09	0.73	0.34	1.07	0.42	0.05	0.18	0.65	2.89	0.38	7.5
9K 891	AI	St	48	SIER. ENCROUT. CALC	90	0-15	A	19	8.0	25	0.77	4.48	0.59	7.6	0.18	0.56	0.38	0.94	0.25	0.05	0.12	0.42	2.49	0.32	7.7
9L 561	AI	St	48	SOL CROUTE CALC.	51	0-20	A	19	7.8	28	0.69	4.00	0.52	7.8	0.11	0.51	0.36	0.87	0.29	0.03	0.07	0.39	2.90	0.35	8.2
H 601	AI	St	61	SOL CROUTE CALC.	53	0-15	A	16	7.7	23	0.46	2.67	0.40	6.7	0.07	0.32	0.26	0.58	-	-	-	0.35	2.00	0.23	8.8

Tableau A : Les matières humiques dans les horizons de surface

N°	BIOCL.	VEGETATION		CARACTERISTIQUES DU SOL										M.O.L. en	ACIDES FULVIQUES en C ‰			ACIDES HUMIQUES en C ‰				HUMINE		
		FV	GV N°	TYPE DE SOL	FAMILLE S	PROF. cm	HOR.	CO3Ca %	pH	A+LF %	Mo %	C ‰	N ‰	C/N	C %	AFL	AFFS	AF	AHG	AHI	AHB	AH	C ‰	N ‰	C/N
K 921	AM	∝	34	SIEROZEM MODAL (MARNES)	80	0-10	A	5	8.2	10	0.55	3.22	0,40	8.1	0.07	0.16	0.34	0.50	-	-	-	0.37	2.10	0.23	9.2
922						10-20	A	9	8.0	27	0.55	3.20	0.39	8.3	0.00	0.29	0.21	0.50	0.32	0.08	0.19	0.59	2.02	0.21	9.6
923						20-50	(B)	14	7.9	53	0.75	4.33	-	-	0.00	0.40	0.12	0.52	0.71	0.17	0.27	1.15	2.40	0.36	6.7
924						50-100	(B)	10	7.6	46	0.74	4.28	-	-	0.00	0.28	0.25	0.53	1.22	0.20	0.34	1.76	1.86	0.21	8.8
925						100-140	C	9	7.7	46	0.69	4.00	0.36	11.0	0.00	0.27	0.15	0.42	0.95	0.20	0.36	1.51	1.62	0.16	9.9
K 8651	AM	St	65	SIEROZEM MODAL (DAYA)	78	0-8	A	6	7.9	70	2.41	14.00	1.69	8.3	0.27	0.55	1.16	1.71	1.12	0.19	0.42	1.73	9.73	0.99	9.8
8652						8-40	A	4	7.6	61	0.94	5.43	0.70	7.8	0.00	0.39	0.54	0.93	0.73	0.15	0.26	1.14	3.31	0.66	5.0
8653						40-80	(B)	1	7.6	70	1.08	6.28	0.83	7.5	0.00	0.37	0.36	0.73	1.26	0.25	0.41	1.92	3.06	0.39	7.9
8654						80-105	(B)	2	7.6	44	0.66	3.81	0.45	8.4	0.00	0.21	0.30	0.51	1.26	0.25	0.41	1.92	1.52	0.24	6.4
8655						105-125	-	0	7.4	36	0.46	2.67	0.40	6.7	0.00	0.17	0.21	0.38	0.46	0.11	0.17	0.73	1.47	0.20	7.4
8656						125-150	Kn	32	7.6	47	0.62	3.59	0.37	9.6	0.00	0.44	⩾0.65	⩾1.09	-	-	-	⩽0.05	1.77	0.27	6.6
8657						150-170	Ke	69	7.7	35	0.21	1.21	0.13	9.1	0.00	0.60	⩾0.08	⩾6.08	-	-	-	⩽0.05	0.63	0.04	14.3
K 10781	AM	St	65	SIEROZEM MODAL (DAYA)	78	0-8	A	2	7.9	23	1.32	7.64	0.87	8.8	0.13	0.39	0.58	0.97	0.52	0.12	0.31	0.95	4.92	0.54	9.1
K 10782						8-40	A	3	7.9	45	1.07	6.21	0.62	10.0	0.00	0.38	0.36	0.74	0.95	0.22	0.35	1.52	3.13	0.39	8.0
K 10783						40-65	(B)	3	7.9	37	1.01	5.89	0.59	10.0	0.00	0.31	0.32	0.63	1.88	0.42	0.65	2.95	2.05	0.21	9.7
K 10784						65-80	(B)	3	7.9	43	0.53	3.10	0.38	8.2	0.00	0.26	0.16	0.42	0.69	0.17	0.23	1.09	1.44	0.20	7.3
K 10785						80-90	Ke	57	8.1	42	0.45	2.59	0.34	7.7	0.00	0.88	⩾0.42	⩾1.30	-	-	-	⩽0.05	1.34	0.13	10.2
K 10786						90-120	Ker	75	8.4	-	0.25	1.46	0.13	11.5	0.00	0.43	⩾0.08	⩾0.51	-	-	-	⩽0.05	0.85	0.04	20.2
G 171	AI	St	48	SIEROZEM A AMAS CALCAIRES (MARNES)	84	0-15	A	9	8.1	18	0.41	2.38	0.35	6.9	0.04	0.28	⩾0.34	⩾0.62	-	-	-	⩽0.05	2.00	0.21	9.3
G 172						15-30	A	25	7.8	32	0.44	2.56	0.33	7.7	0.00	0.48	⩾0.36	⩾0.84	-	-	-	⩽0.05	1.36	0.16	8.5
G 173						30-50	Kn	38	7.9	49	0.33	1.91	0.28	7.2	0.00	0.46	⩾0.24	⩾0.70	-	-	-	⩽0.05	1.06	0.12	9.1
G 174						50-120	C	32	8.1	53	0.20	1.15	0.26	4.4	0.00	0.21	⩾0.10	⩾0.31	-	-	-	⩽0.05	0.87	0.12	7.0
K 10791	AM	St	44	SIEROZEM A ENCROUTEMENT CALC.	87	0-3	A	5	7.9	10	0.91	5.28	0.49	10.8	0.10	0.49	0.39	0.88	0.24	0.05	0.12	0.41	3.23	0.32	10.2
K 10792						3-10	A	10	7.9	26	1.52	8.82	0.76	11.6	0.20	0.34	0.46	0.80	0.30	0.08	0.17	0.55	6.12	0.62	10.0
K 10793						10-20	Kn	39	7.7	35	1.98	11.50	0.85	13.5	0.32	1.39	0.95	2.34	0.24	0.09	0.22	0.55	8.21	0.61	13.6
K 10794						20-40	Ke	67	8.0	51	1.08	6.25	0.47	13.3	0.25	1.18	0.57	1.75	0.22	0.08	0.24	0.54	2.89	0.30	9.7
K 10795						40-60	Ke	52	8.0	50	1.40	8.10	0.64	13.0	0.07	0.54	0.52	1.06	-	-	-	0.17	3.67	0.19	19.3
K 10796						60-100	C	56	8.0	57	0.80	4.64	0.19	24.8	0.00	0.32	⩾0.07	⩾0.39	-	-	-	⩽0.05	1.98	0.08	25.1
K 10701	AM	St	44	SOL CROÛTE CALC.	51	0-10	A	12	7.8	31	1.33	7.69	1.07	7.2	0.11	0.78	0.57	1.35	0.46	0.10	0.26	0.82	5.08	0.75	6.8
K 10702						10-25	Kh	62	8.0	-	5.12	29.70	2.85	10.4	0.00	2.95	0.59	3.54	0.92	0.27	0.86	2.05	11.90	1.54	7.7
K 10703						> 25	Ker	95	8.4	-	0.52	3.05	0.26	11.7	0.00	1.45	⩾0.27	1.72	-	-	-	⩽0.05	0.66	0.04	18.3
K 10711	AM	St	44	SOL CROÛTE CALC.	51	0-15	A	12	7.9	21	1.71	9.94	1.21	8.2	0.13	1.08	0.67	1.75	0.57	0.17	0.43	1.17	6.42	0.89	7.2
K 10712						15-30	Ker	91	8.2	-	0.97	5.63	0.38	14.7	0.00	2.94	⩾0.52	⩾3.46	-	-	-	⩽0.05	0.61	0.06	9.5
K 10713						15-30	Kh	59	7.7	-	4.79	27.80	2.50	11.0	0.00	7.14	3.95	11.09	0.96	0.27	0.97	2.20	12.80	1.48	8.6
K 10714						35-50	Ker	86	8.2	-	0.76	4.38	0.35	12.0	0.00	2.49	⩾0.41	⩾2.90	-	-	-	⩽0.05	0.72	0.05	13.6
K 10715						50-100	Ke	93	8.4	-	0.27	1.56	0.13	11.7	0.00	1.30	⩾0.14	⩾1.44	-	-	-	⩽0.05	0.34	0.01	26.2
K 10716						100-150	C	83	8.4	-	0.22	1.27	0.11	11.9	0.00	0.69	⩾0.15	⩾0.84	-	-	-	⩽0.05	0.61	0.02	34.0
K 10741	AM	St	44	SOL CROÛTE CALC.	51	0-15	A	13	7.9	-	1.52	8.82	0.99	8.9	0.22	1.19	0.51	1.70	0.61	0.19	0.39	1.19	5.14	0.72	7.2
K 10742						15-40	Kh	49	7.8	-	3.57	20.70	2.16	9.6	0.27	4.11	0.50	4.61	0.76	0.24	0.62	1.62	8.66	0.94	9.2
K 10743						40-50	Ker	79	8.4	-	0.76	4.40	0.32	13.8	0.00	2.04	0.33	2.37	-	-	-	0.23	1.02	0.09	11.5
K 10744						> 50	Ker	89	8.4	-	0.66	3.85	0.23	17.0	0.00	2.77	⩾0.27	3.04	-	-	-	⩽0.05	1.37	0.05	27.4
K 10771	AM	∝	26	SOL CROÛTE CALC.	51	0-15	A	12	7.4	46	1.44	8.35	0.94	8.9	0.23	0.92	0.52	1.44	0.60	0.14	0.36	1.10	4.76	0.61	7.8
K 10772						15-40	Ker	71	7.4	-	0.96	5.60	0.45	12.0	0.00	2.16	0.54	2.70	-	-	-	0.46	2.32	0.20	11.9
K 10773						15-40	Kh	60	7.8	27	4.45	25.80	1.67	15.4	0.29	4.26	2.78	7.04	0.87	0.29	0.78	1.94	9.13	0.88	10.4
K 10774						40-50	Ker	81	7.4	-	1.17	6.80	-	-	0.00	0.81	⩾0.26	⩾1.07	-	-	-	⩽0.05	2.54	0.07	36.8
K 10775						50-70	Ke	67	7.7	-	1.24	7.20	-	-	0.00	0.70	⩾0.28	⩾0.98	-	-	-	⩽0.05	3.41	0.08	42.1
K 10776						> 70	C	36	7.9	33	0.36	2.08	0.15	14.1	0.00	0.26	⩾0.03	⩾0.29	-	-	-	⩽0.05	1.21	0.05	24.7
H 611	AI	St	61	SOL CROÛTE CALC.	51	0-15	A	16	8.0	30	0.44	2.56	0.35	7.4	0.08	0.27	0.26	0.53	-	-	-	0.26	2.30	0.34	6.8
H 612						15-30	Ker	65	8.1	-	0.67	3.90	0.17	22.9	0.00	2.33	0.33	2.66	-	-	-	0.27	1.58	0.11	13.9

Tableau B : Les matières humiques dans quelques profils des steppes algériennes

Imprimé en France — Imprimerie JOUVE, 17, rue du Louvre 75001 PARIS
Dépôt légal : 2e trimestre 1980

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction générale :
24, rue Bayard - 75008 PARIS

Service des Publications :
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY

O.R.S.T.O M. Éditeur
Dépôt légal : 2e trim. 1980
I.S.B.N. : 2-7099-0564-7