l'aridité en Tunisie présaharienne



Ch. Floret R. Pontanier

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

L'ARIDITÉ EN TUNISIE PRÉSAHARIENNE

Climat, sol, végétation et aménagement

Christian FLORET
Écologue au C.N.R.S.

Roger PONTANIER
Pédologue à l'O.R.S.T.O.M.





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 de l'ORSTOM, C.C.P. 22.272.21 Y PARIS,* (à défaut par chèque bancaire barré à ce même libellé).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M. n° 150
Ouvrage publié en collaboration avec le Centre d'Études
Phytosociologiques et Écologiques Louis Emberger du C.N.R.S.

L'ARIDITÉ EN TUNISIE PRÉSAHARIENNE

Climat, sol, végétation et aménagement

Christian FLORET
Écologue au C.N.R.S.
Centre d'Études Phytosociologiques
et Écologiques Louis Emberger
Montpellier

Roger PONTANIER
Pédologue à l'O.R.S.T.O.M.
Paris

O.R.S.T.O.M. - Paris - 1982

Cet ouvrage a fait l'objet de deux thèses de Doctorat d'État ès Sciences présentées par les auteurs à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier le 4 février 1982

.....

« 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 représen- « tation 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. : 2-7099-060.0

© ORSTOM 1982

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT PROPOS	1
INTRODUCTION	5
SECTION I - L'ARIDITE ET SA PROBLEMATIQUE	19
1. LA ZONE ARIDE ET LA TUNISIE PRESAHARIENNE	21
1.1. LA ZONE ARIDE ET LES PRINCIPAUX DETERMINISMES DE L'ARIDITE	21
1.2. LE CAS DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE	23
2. CLIMAT ET ARIDITE EN TUNISIE PRESAHARIENNE	25
2.1. TRAITS GENERAUX DU CLIMAT	25
2.2. LA PLUVIOSITE ET SA VARIABILITE	29
2.2.1. Généralités sur le régime des pluies	29
2.2.2. Lois de répartition des hauteurs de pluies annuelles et saisonnières	35
2.2.3. Successions d'années pluvieuses ou sèches	37
2.2.4. Début et fin de la période des pluies	38
2.2.5. Variabilité spatiale des pluies	40
2.2.6. Variation de la pluviosité au cours du temps	40
2.3. LE REGIME THERMIQUE ET LA DEMANDE EVAPORATIVE DE L'ATMOSPHERE	43
2.3.1. Chaleur et forte évaporation estivales : caractéristiques du climat	43
2.3.2. Les régimes thermiques	44
2.3.3. La demande évaporative de l'atmosphère : ETP	50
2.4. INDICES ET CRITERES D'ARIDITE CLIMATIQUE. APPLICATION A LA TUNISIE PRESAHARIENNE	51
2.4.1. La classification des homoclimats de Meigs (1952)	51
2.4.2. Le quotient de sécheresse de BUDYKO, son expression cartographique par HENNING et FLOHN	53
2.4.3. Carte de la répartition mondiale des régions arides	54

Page

2.4.4. Le quotient pluviothermique d'Emberger. La classification bioclimatique 55

2.5. VARIABILITE INTERANNUELLE ET SPATIALE DE L'ARIDITE 58

3. ARIDITE ET RESSOURCES EN EAU 60

3.1. LA CAPTURE DES EAUX DE RUISSELLEMENT : MOYEN EFFICACE ET TRADITIONNEL DE PREVENTION CONTRE L'ARIDITE 60

3.2. LES NAPPES SOUTERRAINES : MOYEN MOINS ALEATOIRES MAIS PLUS FRAGILE DE PREVENTION ET DE LUTTE CONTRE L'ARIDITE 62

3.2.1. Les nappes phréatiques 64

3.2.2. Les nappes profondes 64

3.3. PERSPECTIVES 66

4. ARIDITE ET UTILISATION DES TERRES EN TUNISIE PRESAHARIENNE 67

4.1. L'ELEVAGE TRANSHUMANT : MODE TRADITIONNEL DE PREVENTION CONTRE L'ARIDITE ; SES DIFFICULTES FACE A LA SEDENTARISATION HUMAINE 67

4.2. L'ARIDOCULTURE 70

4.2.1. La céréaliculture 70

4.2.2. L'olivier 71

4.3. L'IRRIGATION 72

4.4. LES MODIFICATIONS ACTUELLES DES MODES DE VIE 73

SECTION II - LES SOLS DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE 75

1. LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE 79

1.1.PAYSAGES ET SOLS 79

1.1.1. Le matériau originel 79

1.1.2. Les paysages morphologiques 81

1.2. CARACTERISTIQUES DES SOLS DES DOMAINES STEPPIQUE ET ATLASIQUE 86

1.2.1. Quelques processus et caractères pédogénétiques généraux des sols de la Tunisie présaharienne 87

1.2.2. Caractères des principaux sols 95

1.2.3. Classification des sols 110

1.2.4. Répartition des principaux sols 115

Page

1.3. TENDANCES ACTUELLES DE L'EVOLUTION DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE 116

1.3.1. Dégradation des sols 116

1.3.2. L'érosion hydrique 118

1.3.3. L'érosion éolienne 119

1.3.4. Dégradation des sols par l'irrigation 122

1.3.5. Régénération des sols 122

1.3.6. Quelques exemples de genèse actuelle des sols 123

1.3.7. Sensibilité des sols et désertisation 129

1.4. CONCLUSION 130

2. L'EAU ET LE SOL 133

2.1. EFFICACITE DES PRECIPITATIONS ET RECHARGE EN EAU DES SOLS 136

2.2. REGIME HYDRIQUE DES SOLS 139

2.3. DISPONIBILITE DE L'EAU DU SOL POUR LA VEGETATION 142

2.4. EVAPOTRANSPIRATION REELLE 145

2.4.1. Approche globale 145

2.4.2. Evapotranspiration moyenne journalière 150

2.5. CONCLUSIONS 153

2.5.1. Comportement hydrique des sols 153

2.5.2. Aridité édaphique 154

2.5.3. Conséquence du régime hydrique sur l'évolution des sols 157

3. RESSOURCES EN SOLS DES DOMAINES STEPPIQUE ET ATLASIQUE 159

3.1. PRINCIPES DE CLASSEMENT DES RESSOURCES EN SOLS EN ZONE ARIDE 160

3.2. CONTRAINTES D'AMENAGEMENT ET VARIABLES EDAPHIQUES 163

3.2.1. Epaisseur de la couche meuble 163

3.2.2. Texture et nature de la couche meuble 164

3.2.3. Nature de l'assise 165

3.2.4. Salure 165

3.2.5. Pente 166

Page

3.3. LE CLASSEMENT DES RESSOURCES EN SOLS ; LEUR CARTOGRAPHIE 167

3.3.1. Pondération des variables édaphiques 167

3.3.2. Compensations de facteurs 167

3.3.3. Application à la cartographie des ressources en sol 168

3.4. CONCLUSION 172

SECTION III - PHYTOMASSE, PRODUCTION ET DYNAMIQUE DE LA VEGETATION EN TUNISIE PRESAHARIENNE 175

1. ADAPTATION DE LA VEGETATION A L'ARIDITE 179

1.1. LA FLORE 179

1.2. TYPES BIOLOGIQUES ET ADAPTATION A LA SECHERESSE 180

1.2.1. Spectres biologiques de RAUNKIAER 180

1.2.2. Espèces aridopassives, aridoactives 183

1.2.3. Types biochimiques de photosynthèse 185

1.2.4. Germination 188

1.2.5. Systèmes racinaires 190

1.3. LES SYSTEMES ECOLOGIQUES PRINCIPAUX ET LEUR STRUCTURE 192

1.3.1. Caractérisation sommaire 192

1.3.2. Structure 196

1.4. CONCLUSION 199

2. PHYTOMASSE DES PRINCIPAUX SYSTEMES ECOLOGIQUES 203

2.1. GENERALITES 203

2.2. METHODES D'ETUDE DE LA PHYTOMASSE SUR PIED 205

2.2.1. Relations entre le poids, le diamètre et la hauteur des individus de diverses espèces 205

2.2.2. Méthode utilisée 206

2.3. RESULTATS ET DISCUSSION 207

2.3.1. Phytomasse aérienne 207

2.3.2. Phytomasse souterraine 210

2.4. PHYTOMASSE ET VALEUR PASTORALE 212

2.5. CONCLUSION 215

Page

3. PRODUCTION VEGETALE DE QUELQUES SYSTEMES ECOLOGIQUES 217

3.1. INTRODUCTION 217

3.2. LOCALISATION ET REPRESENTATIVITE DES STATIONS 219

3.3. CARACTERISTIQUE DE LA VEGETATION ET DES SOLS DES STATIONS 219

3.3.1. Steppes des plaines sableuses (RK_3, RK_2, RK_1, rk_2) 224

3.3.2. Steppes des zones sableuses de piemont (RK_2-Dissa) 227

3.3.3. Friche postculturale d'un glacis limoneux (AA_1) 227

3.3.4. Steppes des zones gypseuses (AZ_2) 229

3.4. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL 230

3.4.1. Généralités sur le dispositif et les méthodes de mesure utilisées 230

3.4.2. Suivi des variations saisonnières des réserves en eau du sol et détermination de l'ETR 231

3.4.3. Mesures de l'évolution de la phytomasse aérienne et critique de mesures 232

3.5. RESULTATS DES MESURES 235

3.5.1. Données climatiques 235

3.5.2. Evolution de la phytomasse et des réserves en eau du sol. Production 237

3.5.3. Perte de phytomasse : la litière 250

3.5.4. Comparaison de la production primaire annuelle en Tunisie présaharienne à celle d'autres régions arides 253

3.6. CLIMAT ET PRODUCTION PRIMAIRE 256

3.6.1. Importance des principaux paramètres climatiques 256

3.6.2. Production primaire et répartition des pluies 259

3.7. SOL ET PRODUCTION PRIMAIRE 265

3.8. EFFICACITE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES 268

3.8.1. Efficacité vis-à-vis des pluies annuelles 268

3.8.2. Efficacité vis-à-vis de l'eau évapotranspirée 272

3.8.3. Efficacité photosynthétique.Rendement énergétique 283

3.8.4. Efficacité en fonction de la phytomasse sur pied 285

Page

3.9. PRODUCTION PRIMAIRE ET RESSOURCES PASTORALES 287

3.10. CONCLUSION 292

4. DYNAMIQUE DE LA VEGETATION ET ARIDITE 295

4.1. GENERALITES 295

4.2. DEGRADATION DE LA VEGETATION 298

4.2.1. Causes de la dégradation et leurs effets 298

4.2.2. Dégradation de la végétation et type de substrat 300

4.3. REGENERATION DE LA VEGETATION 302

4.3.1. Méthodes d'étude utilisées 304

4.3.2. Résultats, intérêt de la mise en défens 306

4.4. DISCUSSION SUR LA DYNAMIQUE PHYTO-ECOLOGIQUE EN ZONE ARIDE 314

SECTION IV - DEUX ETUDES DE CAS :

1 - LA DESERTISATION; SON ETUDE EN TUNISIE

2 - BASES ECOLOGIQUES DE L'AMENAGEMENT AGRO-PASTORAL EN ZONE PRESAHARIENNE APPLICATION A UNE ZONE TEST 319

1. LA DESERTISATION ; SON ETUDE EN TUNISIE 323

1.1. LES PROCESSUS DE LA DESERTISATION 324

1.2. CAUSES, INDICES ET CRITERES DE LA DESERTISATION : SON EVALUATION 327

1.2.1. Les causes de la désertisation 327

1.2.2. Indices et critères ; évaluation de la désertisation 329

1.3. ETAT ACTUEL DE LA DESERTISATION 331

1.4. LA SENSIBILITE A LA DESERTISATION 332

1.4.1. Evaluation de la sensibilité du milieu 332

1.4.2. Cartographie de la sensibilité à la désertisation 333

1.5. CONCLUSION 342

Page

2. BASES ECOLOGIQUES DE L'AMENAGEMENT AGRO-PASTORAL EN ZONE-PRE-SAHARIENNE ; APPLICATION A UNE ZONE-TEST 345

2.1. INTRODUCTION 345

2.2. CHOIX ET REPRESENTATIVITE DE LA ZONE 346

2.3. ZONAGE ET CARACTERISATION DES SYSTEMES ECOLOGIQUES 347

2.4. ETAT ACTUEL DES PRINCIPALES RESSOURCES NATURELLES 351

2.4.1. Ressources en sols 351

2.4.2. Ressources en eaux 352

2.4.3. Ressources végétales et animales 353

2.5. LA DYNAMIQUE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES 355

2.6. EVOLUTION PREVISIBLE DE L'OCCUPATION DES TERRES ET DES RESSOURCES NATURELLES 360

2.7. PROPOSITIONS POUR MODIFIER LA DYNAMIQUE ACTUELLE : UN AMENAGEMENT SUR DES BASES ECOLOGIQUES 363

2.7.1. Scénarios d'aménagement 363

2.7.2. Effets des aménagements simulés au terme de vingt cinq ans 368

2.8. CONCLUSION 373

CONCLUSIONS GENERALES 375

1. RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS DU DIAGNOSTIC REALISE 379

1.1. ARIDITE CLIMATIQUE ET ARIDITE EDAPHIQUE 379

1.2. L'EAU ET LE SOL 383

1.3. VEGETATION, PHYTOMASSE, PRODUCTION VEGETALE, EFFICACITE BIOLOGIQUE 386

1.4. DYNAMIQUE. DESEQUILIBRES 387

2. ARIDITE ET AMENAGEMENT 391

2.1. PRINCIPES 391

2.2. CARACTERISTIQUES FAVORABLES DU MILIEU 391

2.3. QUELQUES EBAUCHES DE SOLUTION 394

Page

3. CRITIQUE ET PROSPECTIVE 401

3.1. REPRESENTATIVITE DE L'ETUDE ET EXTENSION POSSIBLE 401

3.2. RECHERCHES A ENTREPRENDRE 403

- BIBLIOGRAPHIE 407

- GLOSSAIRE DES TERMES VERNACULAIRES 443

ANNEXES 445

- ANNEXE 1. DESCRIPTIONS ET ANALYSES DE PROFILS DE SOL 447

- ANNEXE 2. DONNEES CONCERNANT LA VEGETATION 517

- ANNEXE 3. DONNEES CLIMATIQUES RECUEILLIES 537

AVANT – PROPOS

Cet ouvrage est la synthèse d'une partie des résultats de recherches sur les sols et la végétation, et d'études sur l'érosion et la dynamique de l'eau entreprises dans le Sud tunisien, entre 1967 et 1979. La plupart de ces travaux interdisciplinaires ont déjà donné lieu à une série de rapports et de publications, dans le cadre des accords suivants :

- *Convention entre la Direction des Ressources en Eaux et en Sol (DRES) de Tunisie et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer (ORSTOM) ;*
- *Convention entre l'Institut des Régions Arides (IRA) de Tunisie et l'ORSTOM ;*
- *Convention entre le Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Louis Emberger (CEPE) du Centre National de la Recherhce Scientifique (CNRS) de France et l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT), puis avec l'Institut des Régions Arides (IRA) ; cette convention étant placée dans le cadre d'un Projet plus vaste des Nations-Unies (Projet de Recherches et de Développement des Parcours du Centre-Sud tunisien, PNUD (TUN/09/001), auquel participent la FAO et l'Unesco.*

En outre, ces différents travaux ont bénéficié du soutien du programme MAB (l'homme et la Biosphère) de l'UNESCO, et du programme EMASAR (Aménagement Ecologique des Parcours Arides et Semi-arides d'Afrique et du Proche et Moyen-Orient) de la FAO, et de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique de France (DGRST).

Mentionnons aussi la lettre d'accord entre l'ORSTOM et le CEPE/CNRS pour des recherches communes dans le Sud tunisien.

*

* *

Nous commencerons par avoir une pensée émue pour ceux qui nous ont quittés et qui étaient parmi les initiateurs de ces programmes de travail ; nous voulons parler de MM. EMBERGER et SAUVAGE anciens Directeurs du CEPE de M. STAM'RAD ancien Directeur de l'INRAT, et de M. HAOUET, Directeur au Ministère de l'Agriculture de Tunisie.

Nous adressons nos vifs remerciements à tous ceux qui, par leurs fonctions, ont beaucoup facilité notre tache : MM. BEN MUSTAPHA, alors Directeur à la Direction de l'Enseignement et de la Formation des cadres de l'Agriculture, KHOUADJA, Directeur de la DRES, HADJEJ, Président Directeur Général de l'IRA, HAMZA et SOUISSI, successivement Sous-Directeurs de la Division des Sols en Tunisie, HEDRI, Directeur de l'Enseignement et de la Recherche à l'IRA, BESSALAH et MAMOU, Chefs de l'Arrondissement DRES à Gabès.

Nous remercions aussi MM. CAMUS, Directeur Général de l'ORSTOM, de PARCEVAUX, Directeur du CEPE, LENEUF, Président du Comité technique de Pédologie de L'ORSTOM, Di CASTRI, Directeur de la Division des Sciences Ecologiques de l'Unesco, COINTEPAS, ROEDERER, COLOMBANI et LEFEVRE, successivement Chefs de la mission ORSTOM de Tunisie, et BRUCHER représentant de la FAO en Tunisie, IONESCO, Fonctionnaire FAO.

Que tous nos amis tunisiens, qui nous ont aidés dans les tâches souvent ingrates et difficiles des inventaires, de la récolte des données et de l'analyse des échantillons, soient assurés de notre sincère reconnaissance, en particulier M. KHALIFA et les membres du laboratoire de la DRES de Gabès ; et MM. BEN YOUNESS, CHOUAÏA, GACEM, KHALLADI, LAROUSSI, NEFERTI et SAÏD.

Nous tenons à remercier les collègues avec qui nous avons parcouru les belles steppes du Sud tunisien, et qui ont animé de fructueuses discussions sur la zone aride, en particulier : Mmes DEBUSSCHE et JOFFRE ; MM. AUDRY, BALDY, BEN SLIMANE, BESSALAH, BOUHAOUACH, BOUKHRIS, BOURGES, CHERFEDINE, CLAUDE, COMBEAU, CRUETTE, RAHMANI, DELHUMEAU, D'HERBES, DUBREUIL, EL AMANI, ESCADAFAL, FERSI, FONTES, GADDAS, GUALDE, HAMROUNI, HADJI, HUYN VAN NHAM, JOFFRE, LACAZE, LAMACHERE, LEMEE, LEPART, MAIGNIEN, MAMOU, MEJRI, M'TIMET, NABLI, NOVIKOFF, PALITA, PIAS, POISSONET, POUGET, RAMBAL, RIOU, RODIER, ROMANE, ROOSE, SASSI, SCHOENENBERGER, SEBILLOTE, SIMON, TELAHÏGUE, VACHAUD, VIEILLEFON, WAECHTER et ZANTE.

Nous sommes particulièrement reconnaissants à M. GODRON, Professeur à l'Université de Montpellier, d'avoir accepté de présider nos jurys, après avoir guidé notre travail. MM. AUBERT, Professeur de Pédologie à l'ORSTOM et LONG, Directeur de l'Ecothèque Méditerranéenne du CNRS, nous ont aussi constamment conseillés durant nos recherches.

Nous remercions vivement MM. FAUCK, Professeur à l'Université Paris VII et Inspecteur de Recherches à l'ORSTM, LE HOUEROU, Fonctionnaire FAO, LOSSAINT, Directeur de Recherches au CNRS, QUEZEL, Professeur à l'Université de Marseille, SKOURI lui aussi à l'origine du Projet et Spécialiste du Programme à la Division des Sciences Ecologiques de l'Unesco, qui ont accepté de critiquer notre mémoire et de participer à nos jurys. Leurs grandes connaissances des zones arides nous ont été très précieuses.

Nous avons aussi largement profité de l'expérience de M. DAGET, Ingénieur de Recherche au CNRS, qui a bien voulu nous conseiller pour les aspects bioclimatiques de ce mémoire.

Mme DEBUSSCHE, Biologiste au CNRS, M. de PARCEVAUX, Directeur du CEPE et M. RAMBAL, Ingénieur de Recherche au CNRS, ont bien voulu relire une partie du manuscrit, et nous les en remercions vivement.

Nos collègues du Département d'Ecologie Générale du CEPE, où ce mémoire a été rédigé, ne nous ont pas ménagé leurs conseils.

Nous adressons toute notre sympathie à notre ami Edouard LE FLOC'H, qui a participé de bout en bout à l'ensemble des recherches ; il était le vrai naturaliste de notre équipe. Associé à toutes nos publications, nous regrettons beaucoup qu'il n'ait pas participé à cette synthèse.

Enfin, nous remercions chaleureusement tous ceux qui ont contribué à la réalisation technique de ce mémoire, Mmes AUGUET, AUSSARESSES, BARBRY, GAUTIER, MAISTRE, SOPHY, SOUARD, TAILLOLE ; MM. ARBIEU, BERTHE, CARRIERE, DUPUY, FERRIS, HATTAB, LACOMBE A., LACOMBE C., QUINET, ROUS et VILLANOVA.

INTRODUCTION

Objectifs généraux

La Tunisie présaharienne est enclavée entre les zones désertiques du Sahara, les plantations d'oliviers de la région de Sfax, les zones pastorales des steppes septentrionales, le littoral méditerranéen, et ponctuée de palmeraies elle couvre 30 000 km^2 (figure 1) et présente des paysages steppiques contrastés, dont le trait commun est l'aridité. La hauteur moyenne annuelle des pluies y est en effet comprise entre 100 et 200 mm. Cependant, cette aridité est, selon les situations, ressentie différemment par les êtres vivants ; ces différences sont essentiellement liées aux types de milieu édaphique, aux types de végétation, aux modes de vie des hommes et à l'utilisation des terres.

Depuis quelques décennies, en raison d'un fort accroissement de la population et de sa sédentarisation, les steppes de la région sont progressivement défrichées pour une céréaliculture et une arboriculture épisodiques et aléatoires. Les troupeaux, refoulés sur des surfaces de plus en plus restreintes, dégradent la végétation, dont la production pastorale baisse. Les couches superficielles du sol sont alors enlevées par le vent et les eaux de ruissellement. Les conditions d'aridité s'accroissent.

Avant de résumer le contenu de ce mémoire qui est centré sur le thème de l'*aridité en Tunisie présaharienne*, il n'est pas inutile de rappeler quels étaient les objectifs généraux et l'approche méthodologique des recherches entreprises.

Les études que nous avons réalisées, au sein d'une équipe pluridisciplinaire, entre 1969 et 1979 en Tunisie présaharienne à l'initiative du gouvernement tunisien, ont eu pour objectifs :

- l'évaluation des ressources en sol et en végétation des milieux les plus représentatifs de la région,
- la mise en évidence et la quantification des processus de dégradation des sols et de la végétation,
- le transfert aux aménageurs de données et de résultats leur permettant de tirer le meilleur parti des ressources.

Il faut d'abord souligner que le territoire concerné par ces recherches a fait l'objet de nombreux travaux et que nous avions à notre disposition une somme de connaissances de base déjà très importante, et en moyenne supérieure à celles qui ont été acquises dans les

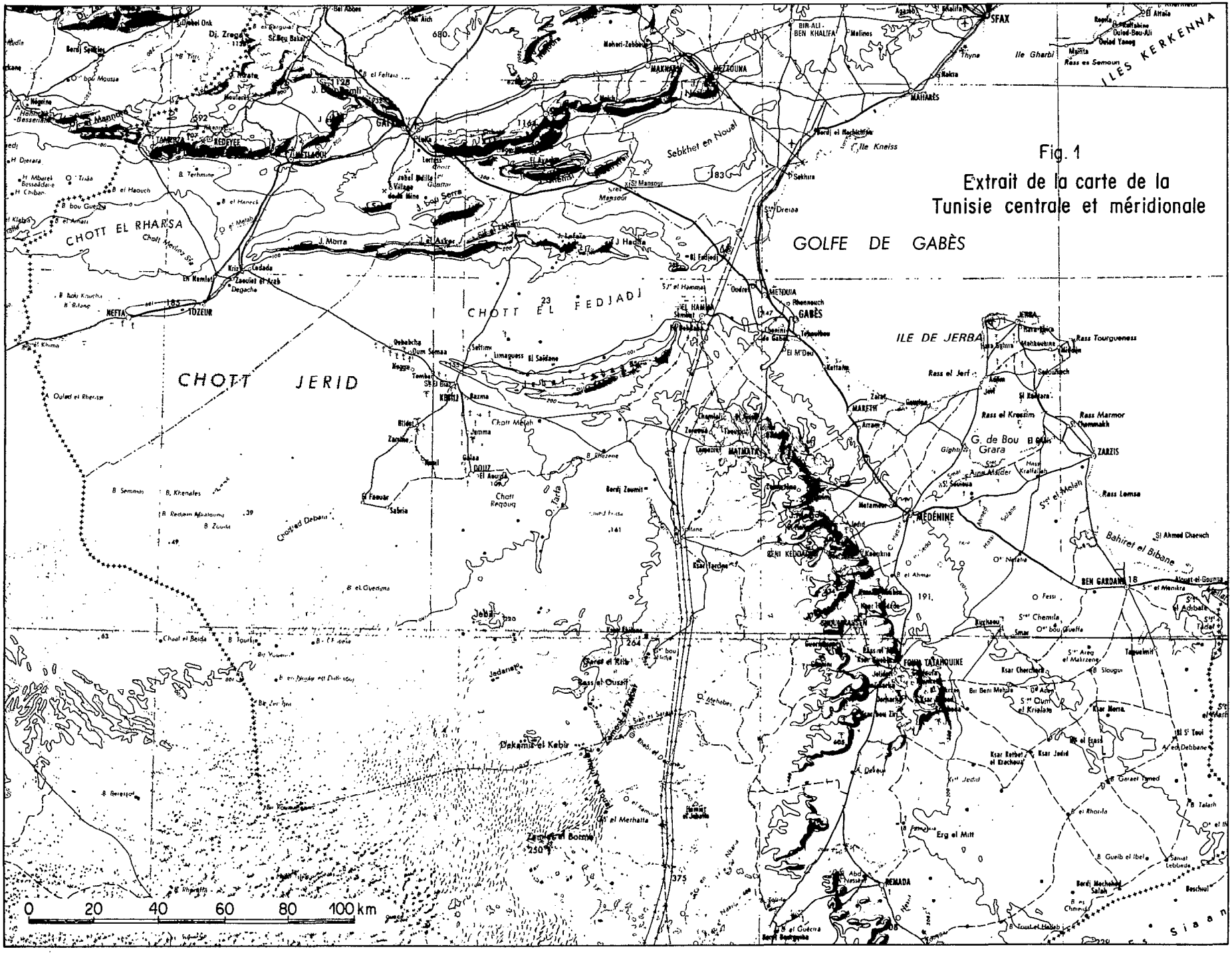


Fig. 1
Extrait de la carte de la
Tunisie centrale et méridionale

autres régions arides du monde.

Nous ne citerons ici que les synthèses régionales, (les autres études étant mentionnées dans la suite du texte) : ce sont les travaux de LE HOUEROU (1959, 1969) concernant la végétation, les synthèses géologiques de CASTANY *et al.* (1952, 1961) et de BUSSON (1967), l'étude géomorphologique de COQUE (1962), les inventaires pédologiques, effectués à Gabès depuis 1946, qui ont contribué à l'élaboration de la carte des sols à 1/500 000 de la Tunisie (BELKHODJA *et al.*, 1973), les travaux de bioclimatologie de BALDY *et al.*, (1967, 1968, 1975), et la synthèse sur les ressources en eau du Sahara septentrional réalisée par l'UNESCO (1971).

Nous pouvions disposer par ailleurs de flores (QUEZEL et SANTA, 1962-63 ; OZENDA, 1958) qui, si elles n'étaient pas spécifiques de la zone étudiée, nous ont permis une prise de contact facile avec la majorité des espèces présentes.

Approche méthodologique

Nous nous étendrons quelque peu sur l'approche méthodologique utilisée pour répondre aux objectifs généraux que nous venons de citer. Il faut tout d'abord insister sur le fait que la méthode exposée ci-dessous n'est pas notre méthode. Elle a été mûrie en commun avec les nombreux scientifiques tunisiens et français qui ont collaboré avec nous et surtout notre collègue E. LE FLOC'H, qui a participé de bout en bout aux travaux, a pris une grande part à cette réflexion sur la méthode.

Il est nécessaire de consacrer quelques pages à ces aspects méthodologiques pour montrer comment les principales disciplines présentes (phytoécologie et pédologie en particulier) se sont complétées et même intégrées. Par ailleurs, cette revue des phases de notre étude permet de donner dès maintenant un aperçu des types de résultats présentés dans ce mémoire.

Le diagnostic écologique

Les principes généraux de la méthode mise en oeuvre sont ceux des inventaires phyto-écologiques et pédologiques inspirés des méthodes proposées par les écoles du C.E.P.E. Louis Emberger et de l'O.R.S.T.O.M; mais c'est surtout à ceux du diagnostic phyto-écologique appliqué au développement de l'espace rural que nous avons emprunté l'essentiel de

notre démarche.

Ce diagnostic concerne (LONG, 1974, 1975) :

- l'identification de la nature et de l'état des ressources renouvelables ; par exemple : inventaire et cartographie des ressources végétales et en sols, liées aux ressources animales , et aux disponibilités en eaux ;
- la détermination des potentialités biologiques des divers milieux de l'espace considéré : mesure ou évaluation des productions actuelles et potentielles, détermination des usages possibles des sols et des végétations spontanée et cultivée ;
- la détermination des niveaux de sensibilité des différents milieux : études en terme de stabilité et de capacité de régénération, des seuils de dégradation, des réponses des milieux soumis aux impacts des activités humaines.

Niveaux de perception et système écologiques

Parmi les niveaux de perception de l'écosphère, le système écologique ou écosystème (1) (TANSLEY , 1935) est un concept qui a été largement utilisé comme unité élémentaire pour les études écologiques, ainsi que l'avaient préconisé EVANS (1956) ou ODUM (1969). L'aménagement est une opération qui consiste à manipuler certains des facteurs qui contrôlent le système écologique et les aménageurs ruraux ont souvent implicitement ou explicitement (DYSTERHUIS, 1958 ; LEWIS, 1959, par exemple) utilisé cette notion.

Tel que nous l'entendons, le système écologique trouve sa place dans la pyramide des niveaux de perception (GODRON *et al.*, 1968 ; LONG, 1974) de la façon suivante : une région écologique homogène est divisée en secteurs écologiques, eux-mêmes subdivisés en systèmes écologiques.

Un territoire peut être considéré comme une *région écologique* s'il présente un relief peu diversifié, des dimensions telles que le

(1) N'ayant pas nous-même étudié dans le détail le fonctionnement des "écosystèmes" de la zone aride et, par ailleurs, ce terme étant actuellement utilisé dans des sens et à des échelles très différentes, nous avons préféré utiliser celui plus général, de "système écologique".

macroclimat y varie régulièrement selon des gradients connus malgré des différences mésoclimatiques sensibles.

Ce sont alors *les secteurs écologiques* (MANIL,1963 ; GODRON *et al.*, 1968 ; LONG, 1974-1975) qui fournissent les éléments d'un premier type de subdivision ; ces secteurs représentent ou "intègrent" :

- les principales unités oro-topographiques et formations édaphiques superficielles (ex. glacis gypseux, plaine alluviale sableuse, bassin versant, etc.) ;
- les climats locaux (ex. exposition dominante, couloir de vent, etc...) ;
- les séquences de végétation (GODRON et POISSONET, 1972), ou les associations végétales telles qu'elles sont comprises par la plupart des auteurs, ou les grands types physionomiques (ex. steppes à *Rhantherium suaveolens*), ou certains grands types d'utilisation des terres (palmeraies, olivettes, etc).

Pour chaque secteur écologique, un zonage de deuxième ordre est effectué, l'intégrateur étant alors le *système écologique*. Pour cette subdivision, les critères pris en compte (isolément ou simultanément) sont les modes actuels d'utilisation des terres (ex. pâturage, céréaliculture, etc.), l'état de dégradation de la végétation (groupements végétaux de la séquence), certaines caractéristiques des sols (état de dégradation, caractères physico-hydriques, etc...). Il est bien évident que toutes les variables biotiques et abiotiques ne peuvent être prises simultanément en compte pour l'individualisation de ces systèmes écologiques et que, selon le système concerné, telles ou telles variables sont privilégiées, compte tenu de l'objectif à atteindre. Le nombre et les états de ces variables sont donc volontairement limités de façon à obtenir par leurs combinaisons, un nombre restreint de systèmes écologiques, néanmoins représentatifs, au niveau de perception écologique retenu (région, secteur), de la distribution réelle et actuelle des principaux systèmes.

Cette approche à *caractère écosystémique* est à distinguer de certaines autres considérant comme intégrateur privilégié, soit la végétation seule (Ecole zuricho-montpelliéraine de BRAUN-BLANQUET par exemple), soit la géomorphologie (CHRISTIAN et STEWART, 1964-1968 ; TRICART et KILIAN, 1979).

Prise en compte des aspects dynamiques

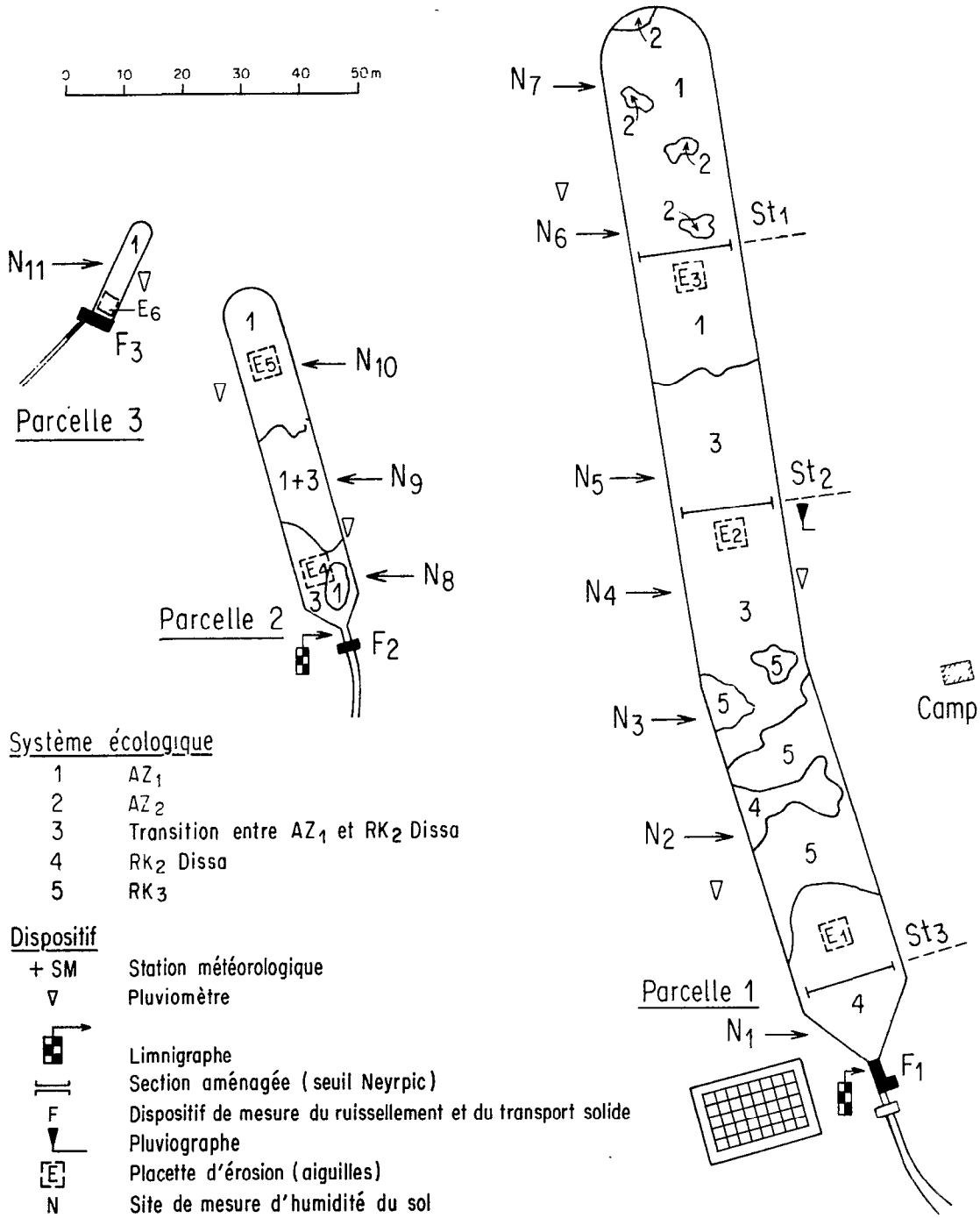
Les aspects dynamiques (dégradation, érosion, régénération) jouent aussi un rôle prépondérant dans cette représentation simplifiée de l'hétérogénéité de l'espace rural. Un système écologique est ainsi caractérisé par sa végétation, par son sol, par l'utilisation qui en est faite par l'homme, par sa "sensibilité" eu égard aux pratiques culturales et aux agents de l'érosion, et en outre, par ses relations dynamiques avec les autres systèmes écologiques, en d'autres termes par ses aptitudes à évoluer.

Pratiquement donc, en parallèle avec les études et mesures réalisées sur les systèmes écologiques dans leur état actuel (couvert végétal, profil hydrique du sol, phytomasse, production, etc.), des études de la dynamique de la végétation et des sols en mode diachronique pluriannuel ont été entreprises sur des parcelles dont on connaissait avec assez de précision l'utilisation passée, ou bien sur lesquelles il a été réalisé des traitements de dynamique provoquée. Certains de ces traitements correspondent aux pratiques actuelles de la population rurale : défrichement pour la culture, arrachage des plantes ligneuses pour le bois de feu. D'autres correspondent à des interventions techniques qui pourraient être préconisées : mise en défens de courte durée, recépage de la végétation, scarifiage et sursemis, etc. D'autre part, la comparaison des photographies aériennes anciennes et récentes (souvent 3 dates disponibles 1949, 1963, 1975) a été entreprise par E. LE FLOC'H (travail non publié) sur plusieurs zones représentatives de cette région présaharienne, ce qui permet aussi une appréciation de la vitesse des évolutions passées ou en cours.

Les relations de transformation (dégradation, régénération) qui peuvent exister entre les systèmes écologiques, ont été analysées très en détail, ainsi que les phénomènes de la *désertisation*.

Caractérisation des systèmes écologiques

La délimitation des systèmes sur le terrain a été souvent difficile. Nous avons tenté, dans la mesure du possible, de différencier les systèmes écologiques, les plus apparentés entre eux, en travaillant sur des toposéquences suffisamment courtes, sur des trancects ou sur des bassins versants de petites dimensions. La figure 2 donne un exemple de dispositifs permettant la collecte de mesures en vue d'une étude intégrée.



Système écologique

1	AZ_1
2	AZ_2
3	Transition entre AZ_1 et RK_2 Dissa
4	RK_2 Dissa
5	RK_3

Dispositif

+ SM	Station météorologique
∇	Pluviomètre
	Limnigraphe
	Section aménagée (seuil Neyrpic)
F	Dispositif de mesure du ruissellement et du transport solide
	Pluviographe
E	Placette d'érosion (aiguilles)
N	Site de mesure d'humidité du sol
St1	Ligne permanente de mesure de végétation (station mise en défens)
	Parcelle de mesure de l'évolution de la phytomasse

Par ailleurs, l'étude a montré qu'une limite entre deux systèmes écologiques apparentés est rarement définitive, principalement en raison de variations dans l'intensité d'utilisation des terres par l'homme ; les limites entre les secteurs écologiques étant plus stables, il y a toujours intérêt à situer les systèmes écologiques dans le cadre plus permanent et plus stable des secteurs écologiques.

Les systèmes écologiques ainsi définis, et retenus, ont été étudiés d'une manière plus ou moins approfondie, selon l'intérêt que l'on porte à leurs productions ou selon leur importance spatiale. Cependant, tous les types de systèmes ont fait l'objet de relevés de végétation et de sol, réalisés sur le terrain (listes floristiques, couvert végétal des espèces dominantes, état de dégradation, nature, texture, profondeur des sols, etc.). Pour certaines de ces unités, des mesures complémentaires ont été faites : elles concernent la phytomasse aérienne, les caractéristiques physico-hydriques des sols. Pour les systèmes écologiques qui couvrent les plus grandes surfaces dans la région, des stations permanentes de mesure ont été installées. On y a notamment mesuré la phytomasse aérienne sur pied et la production végétale au cours de plusieurs années, en relation avec les conditions climatiques et hydriques du sol (figure 3). Des mesures et des estimations de rendement en céréales, ainsi que des enquêtes d'intérêt plus général, ont été réalisées dans des milieux cultivés.

Notons également que deux modèles ont été construits respectivement par ROMANE (1974) et RAMBAL (1980) pour simuler la production végétale en fonction de la pluie et de l'eau disponible du sol pour la végétation sur l'une de nos stations. Il a été ainsi possible de réaliser des simulations pour les années pluviométriques non observées au cours de nos mesures (RAMBAL, 1980 ; FLORET *et al.*, 1981).

Zonage et cartographie

Grâce à ce type d'approche, la diagnose des systèmes écologiques, réalisée par une équipe interdisciplinaire et exprimée sous la forme d'une carte thématique complexe, s'est progressivement améliorée par l'acquisition de nouvelles données. De nombreuses informations ont pu être extraites de cette carte des systèmes écologiques en vue d'expressions cartographiques à caractère interprétatif ; on peut ainsi dresser des cartes des ressources pastorales, des ressources en terres,

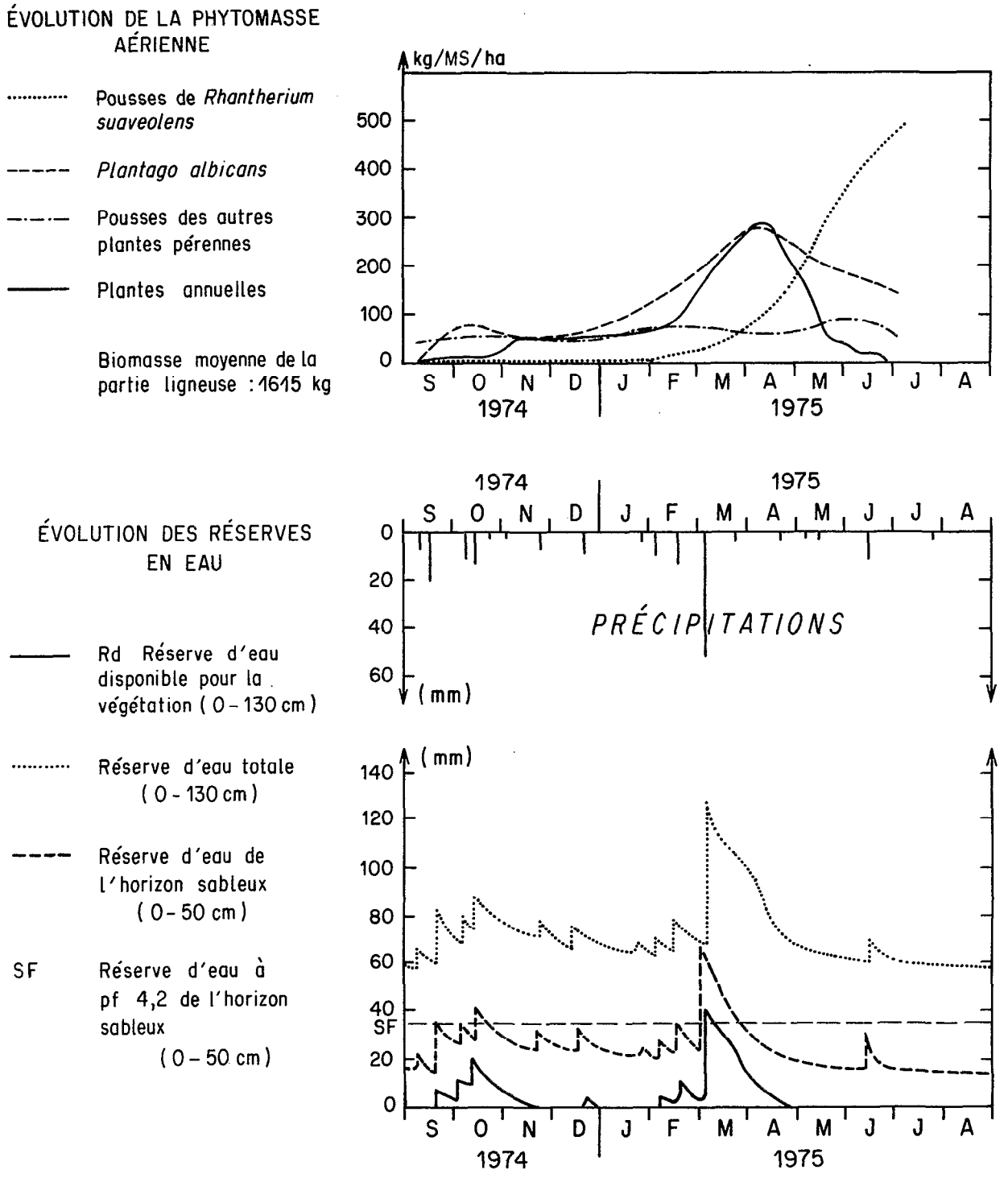


Fig. 3 - Exemple de mesure relative à l'évolution saisonnière et interannuelle de la phytomasse aérienne d'un système écologique, en relation avec le bilan d'eau (d'après FLORET et PONTANIER, 1978).

de la sensibilité du milieu aux facteurs de la désertisation, qui permettent par la suite, en jouant sur des combinaisons de critères, d'élaborer des documents utiles pour proposer l'aménagement régional (cartes de localisation optimale des cultures, des zones irrigables, des zones où la régénération pastorale est possible, etc.).

Modélisation régionale

Afin de mieux étudier les réactions des systèmes en place aux diverses pressions qu'ils pourraient subir selon divers scénarios d'aménagement, un modèle a été utilisé et mis en oeuvre pour quelques zones-tests (FLORET *et al.*, 1973, 1975, 1977, 1978a, 1978b, 1981). Il est constitué par des matrices de transition (USHER, 1966 et 1969 ; GODRON, 1973; GODRON et LEPART, 1975 ; REDETZKE, 1973 ; HORN, 1975 ; DEBUSSCHE *et al.*, 1977 ; SLATYER, 1977) qui sont seulement des "résumés" de l'évolution possible des systèmes.

La cartographie ayant permis de calculer la surface occupée actuellement par chacun des types de systèmes écologiques, la multiplication de la matrice par le vecteur surface permet une "simulation" de l'évolution de ces surfaces sur les années futures, pour chaque multiple du pas de temps initial.

Les résultats ainsi obtenus sont utilisés, à chacune de ces étapes, pour avoir une estimation de "l'état de dégradation" de la zone étudiée. Ceci se réalise à l'aide d'indices qui sont basés par exemple sur la capacité de chacun des systèmes à retenir par infiltration les précipitations tombées, ainsi que sur l'utilisation agro-pastorale qui peut en être faite. Tout au cours de la "simulation", il est donc possible de suivre les tendances évolutives de la "dégradation" ou de "l'amélioration" de la région considérée, et cela en fonction de chaque scénario d'aménagement proposé.

L'identification et l'étude des systèmes écologiques, tels que nous les avons définis ci-dessus, correspondent donc à la mise en oeuvre d'une approche globale et dynamique qui s'efforce de considérer des unités représentatives de la plupart des ressources naturelles de l'espace rural (végétation, sol, eau, productions, population humaine, etc.), ainsi que leurs possibilités d'évolution.

Contenu du mémoire

Nous avons essayé, dans la première Section de ce mémoire de cerner les différents aspects que peut prendrel'aridité en Tunisie présaharienne, et de mettre en avant les conséquences qu'elle entraîne sur le mode de vie des populations rurales et la gestion des ressources naturelles. Dans cette partie,l'aridité climatique, qui est la première forme d'aridité généralement perçue, fait l'objet d'un long développement.

La seconde Section cherche à montrer comment cette aridité climatique peut être tamponnée ou accentuée par le sol. Dans ce but, les sols de la région sont étudiés principalement sous l'angle de leurs propriétés physicohydriques et l'accent est mis sur les problèmes liés à la dynamique de l'eau à l'interface atmosphère-sol-plante. Les aspects évolutifs ayant trait aux possibilités d'érosion, de dégradation, de régénération des sols font partie de ce diagnostic.

Dans la troisième Section, nous nous sommes efforcés de réfléchir sur l'adaptation de la végétation à ces conditions d'aridité climatique et édaphique, qu'il s'agisse de la résistance à la sécheresse, de la reproduction, de la phytomasse, de la production, de la réponse aux perturbations (dégradation, régénération, équilibres). L'eau est le facteur limitant principal de la production végétale ; aussi l'efficacité des pluies et de l'eau du sol pour la production est-elle particulièrement étudiée dans les principaux systèmes écologiques de la région.

Dans la quatrième Section, nous utilisons des éléments du diagnostic réalisé pour présenter deux études de cas : l'une concernant l'évaluation de la désertisation en Tunisie présaharienne, l'autre l'aménagement régional d'une zone-test sur des bases écologiques.

Enfin les conclusions générales, tout en rappelant les principaux résultats, leur représentativité et leurs limites, présentent quelques réflexions sur la façon d'utiliser au mieux les ressources naturelles en tenant compte de la grande variabilité spatiale et temporelle des conditions de milieu en zone aride.

SECTION I

L'ARIDITÉ ET SA PROBLÉMATIQUE

1. LA ZONE ARIDE ET LA TUNISIE PRÉSAHARIENNE

1.1. LA ZONE ARIDE ET LES PRINCIPAUX DETERMINISMES DE L'ARIDITE

Pour EMBERGER (1938), "*chacun des grands types de climats qui se partagent le globe existe sous différentes formes ou variétés dont l'une est plus ou moins aride : le climat méditerranéen, le climat tropical et le climat océanique de E. de MARTONNE sont polymorphes et leurs variétés très arides en sont les formes extrêmes*".Toujours pour EMBERGER (1939) la végétation de la zone aride (méditerranéenne) correspond à "*un climat à pluviosité faible* (avec pluies tombant de l'automne au printemps) *combinée avec une forte évaporation résultant des températures élevées dont l'action désséchante est plus ou moins accentuée par le vent*". Il la distingue des zones désertiques ou le climat est caractérisé par des "*précipitations sans rythme saisonnier et par de longues périodes, dépassant au moins une année, sans pluie*".

Depuis 15 ans les définitions de la zone aride sont nombreuses (Unesco, 1977). Parmi celles-ci, citons celle de MEIGS (1952, in SLATYER et MABUTT, 1964) : "*l'aire de la zone aride est celle où la pluviosité sur une parcelle de terrain donnée n'est pas capable de fournir une production régulière, et celle de la zone semi-aride est caractérisée par une pluviosité permettant des cultures régulières à l'occasion d'une courte saison, et où les annuelles sont une partie importante de la production végétale spontanée*". En 1958, l'Unesco caractérise la zone aride de la manière suivante "*l'eau commandant les possibilités agricoles, et celles-ci les possibilités de vie humaine, l'aridité se traduit finalement par une incapacité du milieu de faire vivre dans des conditions normales une population sédentaire*".

Ces définitions, pour partielles qu'elles soient, ont le mérite de ne pas désigner le manque de précipitations et la température comme seules causes de l'aridité, et de laisser entrevoir d'autres déterminismes tels que la nature des terres et la population. Tout au long de ce mémoire, nous aurons pour souci majeur, d'examiner comment les effets d'origine climatique de l'aridité peuvent être accentués ou atténués par les types de milieu et leur utilisation par l'homme. Il est clair cependant que l'aridité est déterminée essentiellement par les conditions climatiques. "*Elle apparaît comme un aspect du climat mondial, et dépend de certaines particularités de la circulation atmosphérique générale*" (HARE, 1961 *in* IONESCO, 1965).

Plus récemment Mc. GINNIES (1979) lui reconnaît trois caractères essentiels : (a) séparation de la région de l'influence humide des océans par la distance et le relief, (b) formation de masses d'air chaud et sec, stables, résistantes aux courants convectifs, (c) caractère très violent des précipitations entraînant une forte perte d'eau pour ces régions par ruissellement.

Une chose est certaine, les zones, réputées arides aujourd'hui, ne l'ont pas toujours été. C'est ainsi que si l'on considère seulement le Quaternaire, soit depuis la fin du Villafranchien, COQUE (1962) reconnaît 5 pulsations humides du climat en Tunisie Présaharienne. Toute la région présaharienne septentrionale est soumise depuis la fin du Néolithique à une pulsation aride.

Depuis longtemps déjà, on accuse l'homme d'être à l'origine d'une aridité croissante dans de nombreuses régions du globe. En 1965, IONESCO, à l'occasion d'une synthèse sur les zones arides du Maroc, indique "*les effets du climat peuvent être masqués ou aggravés par les modes d'activité humaine ; le déboisement, l'incendie, le pâturage intensif, l'érosion provoquée*" contribuent à augmenter l'aridité climatique ; la dégradation anthropique du tapis végétal entraîne une augmentation des maximums des températures, et celle du sol a pour effet de diminuer les capacités de stockage de l'eau ; ces deux types de dégradation, concluent STEWART (1968) et DAGET (1977 b), conjuguent leurs effets pour renforcer l'aridité d'origine climatique.

Pour notre part, nous nous sommes attachés à examiner les *conditions locales* de l'aridité, qui sont plus directement en rapport avec

les activités de l'homme. Il faut tout de suite souligner que, dans une région écologique au macroclimat réputé relativement homogène, les conditions d'aridité peuvent varier en fonction des unités de paysages, des types de sol et de végétation et des types d'activité humaine.

1.2. LE CAS DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE

La Tunisie présaharienne fait partie de la zone aride mondiale. Délimitée par COQUE en 1962, elle correspond à une partie des aires d'extension des sous-étages bioclimatiques méditerranéen aride inférieur et méditerranéen saharien supérieur (EMBERGER, 1954 et LE HOUEROU,1959). Dans ce qui suit, nous la considérons comme occupant approximativement les territoires délimités par les lignes isohyètes moyennes interannuelles 100 et 200 mm. Ces dernières englobent (d'après LE HOUEROU, 1981) une aire d'environ 330 000 km^2 soit 5% des pays situés au nord du Sahara, mais 66% de la partie aride de ces régions (100-400 mm). C'est dire que notre travail ne concerne pas toutes les zones arides de la Tunisie.

La plupart des auteurs, s'entendent pour considérer la ligne isohyète 100 mm, comme la limite écologique du Sahara, qui coïncide approximativement avec la limite septentrionale des palmeraies et la limite méridionale de l'alfa. Par ailleurs, l'isohyète de 100 mm correspond en Tunisie à la limite (seuil inférieur) de l'aridoculture sans irrigation et celle de 200 mm à la limite (seuil inférieur) de la culture en sec de l'olivier (sans aménagement de petite hydraulique permettant de concentrer éventuellement les eaux des précipitations et des écoulements).

Ainsi définie, la Tunisie présaharienne est bordée au nord par les Djebel Bou Hedma, Orbata et Ben Youness, au Sud-Ouest par le contact entre les Dahars et le Grand Erg Oriental, et au Sud-Est, par une ligne allant de Ksar Rhilane à Dehibat. Cette zone, d'une superficie de 30 000 km^2, peut être subdivisée en huit régions naturelles définies par LE HOUEROU (1959) : Basses Plaines méridionales, Matmata, Djeffara (y compris l'île de Djerba), Djerid, Fedjej, Ouara, Nefzaoua, Djebel, Dahar pro parte (cf. fig. I. 1).

Dans cette Section I, nous insisterons surtout sur les aspects climatiques de l'aridité en Tunisie présaharienne (variabilité des pluies, régime thermique et demande évaporative, indices d'aridité cli-

matique), qui peut être compensée localement par des ressources en eau supplémentaires. Nous essaierons de voir comment l'homme a essayé de s'adapter à l'aridité par un mode particulier d'utilisation des terres.

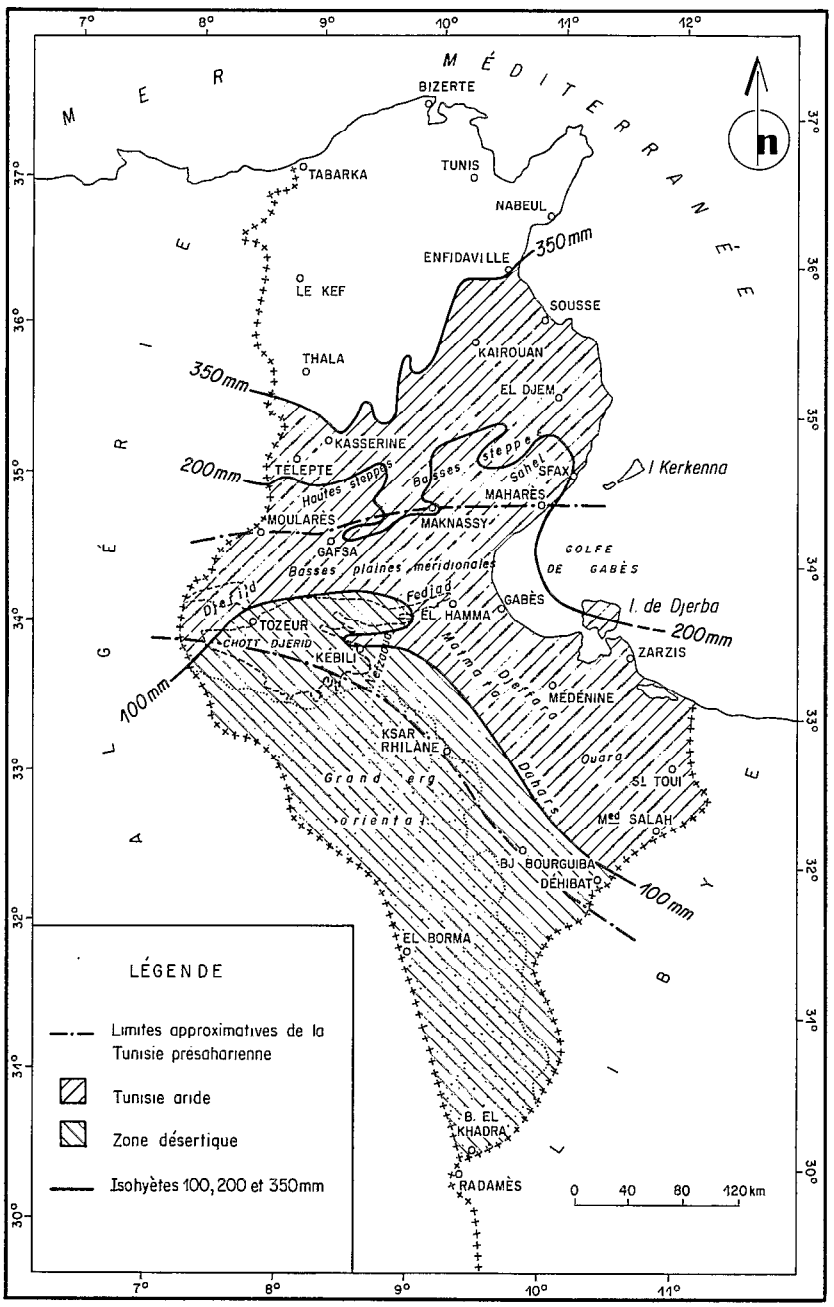
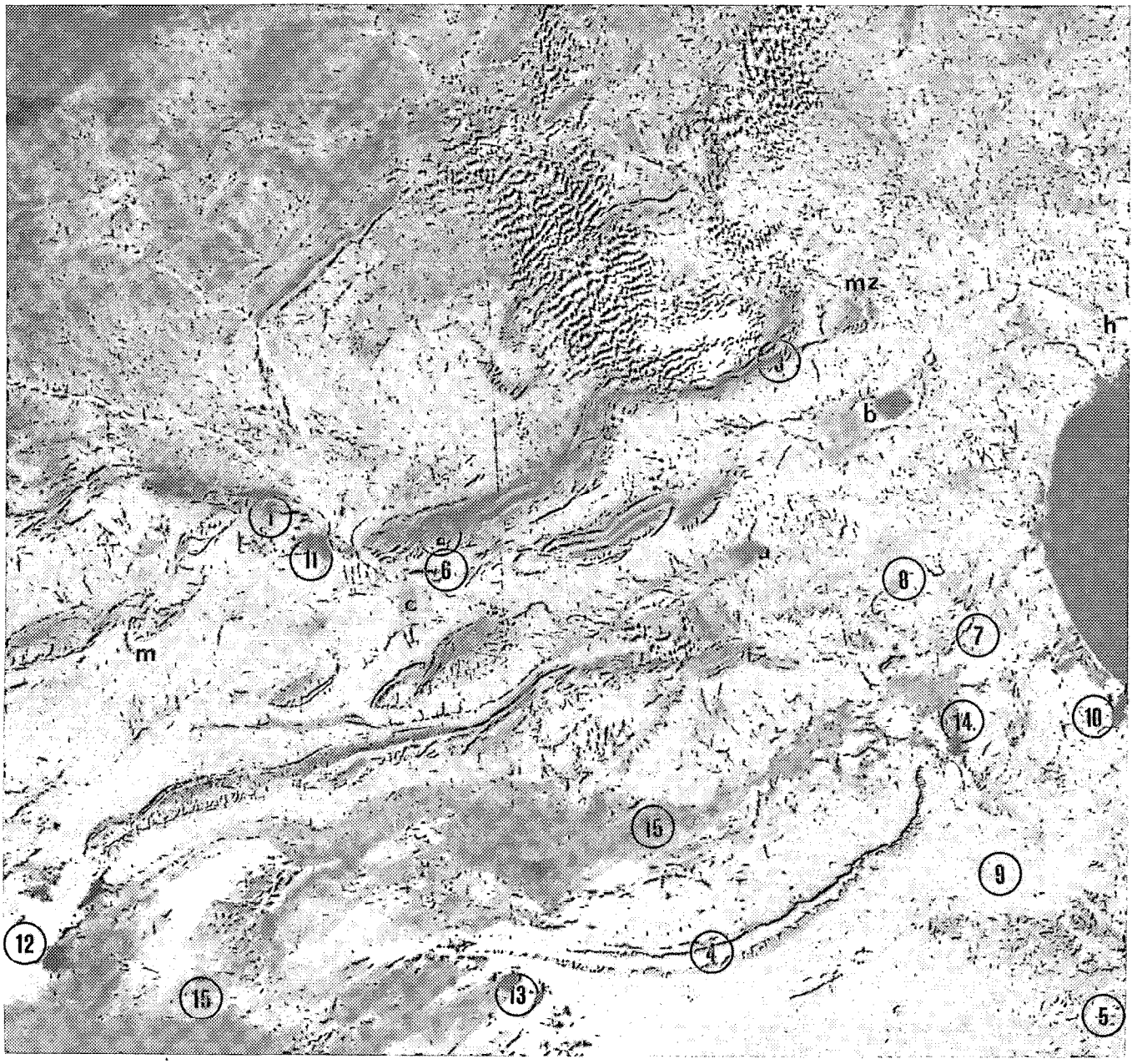


Fig. I.1 - La Tunisie présaharienne et les régions naturelles principalement concernées par l'étude (d'après LE HOUEROU, 1959).



LA TUNISIE PRESAHARIENNE-VUE PARTIELLE PRISE PAR LE SATELLITE LANDSAT

Cliché du 09.11.1972 Canal 5. Echelle 1/1 000 000

1. Dj. Ben Youness, 2. Dj. Orbata, 3 Dj. Bou Hedma, 4 Dj. Tebaga, 5 Dj. Matmata, 6. Segui El Guettar, 7 Segui Telmam, 8. Zone de Zougrata, 9. Zone d'Oglat Merteba, 10. Oasis de Gabès, 11. Oasis de Gafsa, 12. Oasis de Tozeur, 13. Oasis de Kébili, 14. Oasis d'El Hamma, 15. Dépression des grands chotts, h. Hachichina, mz. Mezzouna, m. Metlaoui.

Remarquer les anticlinaux en guirlande, isolant les plateaux et plaines du domaine steppique, ainsi que les systèmes hydrauliques endoréiques des Sebkhas Si Mansour (a), En Noual (b), El Guettar (c).

2. CLIMAT ET ARIDITÉ EN TUNISIE PRÉSAHARIENNE

La totalité de la Tunisie présaharienne se trouve dans l'aire isoclimatique méditerranéenne (AIM), telle que l'a délimitée DAGET (1977 a), dont le caractère essentiel est de présenter une sécheresse estivale (EMBERGER, 1943), ou "*un régime de précipitations typiques, caractérisé par un minimum pendant la période de jours longs et une sécheresse estivale suffisante*" (DAGET, 1977 b). Nous proposons dans ce qui suit, sur la base des longues séries de données météorologiques disponibles et de celles que nous avons recueillies durant 7 à 8 ans sur nos stations, de préciser les caractéristiques de ce régime des précipitations typiques et de "cette sécheresse estivale suffisante", pour la Tunisie présaharienne, en insistant sur la variabilité spatio-temporelle de la distribution de l'aridité.

2.1. TRAITS GENERAUX DU CLIMAT

On doit à LE HOUEROU (1959, 1969) une remarquable synthèse bioclimatique sur la région. Dans ce qui suit il s'agit donc souvent de rappels, mais aussi de compléments grâce à des données récentes qui s'ajoutent aux séries traitées par cet auteur. Enfin nous insisterons plus particulièrement sur divers aspects statistiques relatifs à la pluviosité.

D'après DESPOIS (1955) *in* BOURGES *et al.* (1977), le climat de la Tunisie présaharienne est soumis de par sa position à deux centres d'actions climatiques totalement opposées : l'un, situé au Sud-Ouest, est le lieu du climat subtropical saharien sec et chaud, l'autre, situé dans le Golfe de Gabès à l'Est, profite d'un climat méditerranéen relativement humide et tempéré. En été, avec la montée du soleil vers le

tropique, apparait au dessus du Sahara une situation cyclonique qui peut déborder certains jours sur la Méditerranée et les zones septentrionales de la Tunisie. Il s'ensuit alors un courant frais et humide depuis le Golfe de Gabès, vers le continent, entraînant des vents de secteurs S-E, N ou S-E, dont l'importance est limitée par l'avancée des basses pressions thermiques vers la mer (Sirocco). En hiver cette situation est inverse, et les courants du secteur continental dominent dans la région.

Ce régime général, peu favorable aux précipitations, règne environ 9 jours sur 10 ; il s'y superpose l'influence des dépressions passagères apportant l'essentiel des pluies, venant soit de l'Atlantique (faible pourcentage), soit du bassin occidental de la Méditerranée (pluies de printemps et d'hiver), soit simplement du Golfe de Gabès (essentiellement les pluies d'automne et de début d'hiver) ; ces dernières sont génératrices des pluies les plus abondantes et les plus violentes.

Exception faite de l'été, qui est une saison stable et calme, le climat de cette région est caractérisé par une extrême irrégularité. Le tableau I.1 et la figure I.2 donnent, pour la Tunisie présaharienne, un aperçu des principaux paramètres du climat dont les traits essentiels sont :

- des pluies peu abondantes, tombant pendant la période froide ;
- un régime thermique très contrasté (fortes amplitudes diurnes, mensuelles et annuelles), caractérisé par des hivers tempérés à doux, et des étés chauds à très chauds ;
- une forte évaporation, surtout en mai et octobre quand il y a de l'eau dans le sol ;
- une sécheresse quasi absolue entre mai et septembre ;
- des vents dominants de secteurs W, NW et SW de novembre à avril ; ces vents sont alors très violents secs et froids, accompagnés, en général, de tempêtes de sable qui endommagent gravement les cultures et la pousse des espèces annuelles dans les pâturages ; de mai à octobre, les vents de secteur marin (E, NE, SE) dominent dans les zones côtières, mais n'ont qu'une influence très limitée

TABLEAU I 1 - DONNEES CLIMATIQUES PRINCIPALES DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE.
(d'après FLORET et al., 1977)

Stations	Alt (m)	Température °C			Précipit. annuelles				Quotient d'Emberger Q_2	Evaporat. PICHE (mm)	Evapotransp. potent. (mm)			Nombre de jours de sirocco	Nombre de jours de vents violents >16m/s
		M	m	$\bar{T}$	Nombre d'années	moyen. mm (P)	Max. mm Px	Min. mm Pn			Thornth.	Turc	Penman		
Matmata	515	35,2	5,4	18,9	66	231	692	38	27,0	-	1004	-	-	-	-
Djerba (Houmt Souk)	5	32,6	8,3	20,0	50	207	823	48	29,0	-	1042	-	1350	25	-
Zarzis	11	-	-	-	60	206	472	46	-	-	-	-	-	-	-
Sfax	10	30,8	6,8	18,9	45	200	357,4	37	28,0	2055	962	1382	-	38	79
Maknassy	257	-	-	-	47	188	546	41	-	-	-	-	-	-	-
Gabès	4	32,7	5,9	19,3	75	187	534	39	23,8	2022	996	1417	1255	28	51
Ben Gardane	12	35,9	3,9	19,4	50	186	377	42	19,2	-	1026	-	-	-	-
Gafsa	300	38,1	3,9	19,3	78	163	327	36	15,8	2858	1042	1408	1318	35	-
Médenine	125	36,8	6,2	20,5	58	144	385	40	16,0	-	1096	-	-	38	83
Metlaoui	232	38,2	5,5	20,3	50	130	269	17	14,0	2431	1111	-	-	56	-
Tataouine	240	37,9	4,8	20,2	50	123	294	26	13,0	-	1085	-	-	37	-
Tozeur	47	40,4	5,3	21,3	50	90	198	6	8,4	-	1171	1459	1450	74	-
Kébili	56	42,2	3,1	20,9	58	89	217	11	7,6	-	1158	-	-	35	-

M = moyenne des maximums du mois le plus chaud ; m = moyenne des minimums du mois le plus froid ; $\bar{T}$ = moyenne annuelle

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

dans la zone continentale où se trouve, en général, la limite du front chaud saharien ; cette période estivale est aussi celle du sirocco, masse d'air très chaud et sec venant du Sahara, caractérisée par une brusque montée des températures (10 à 15°C en 1 ou 2 heures) et un abaissement de l'humidité relative de l'air (H < 10%).

Enfin, d'une façon générale, en raison des effets conjugués de la latitude et de la continentalité, on constate, sur l'axe W-WS/E-EN surtout une diminution de la pluviosité ; à un degré moindre, apparaîssent une augmentation de l'évaporation, des températures et des amplitudes thermiques, et une diminution de l'humidité relative de l'air.

Sur le territoire considéré, l'essentiel des différences climatiques est surtout lié aux hauteurs d'eau précipitées, ainsi qu'aux régimes des pluies.

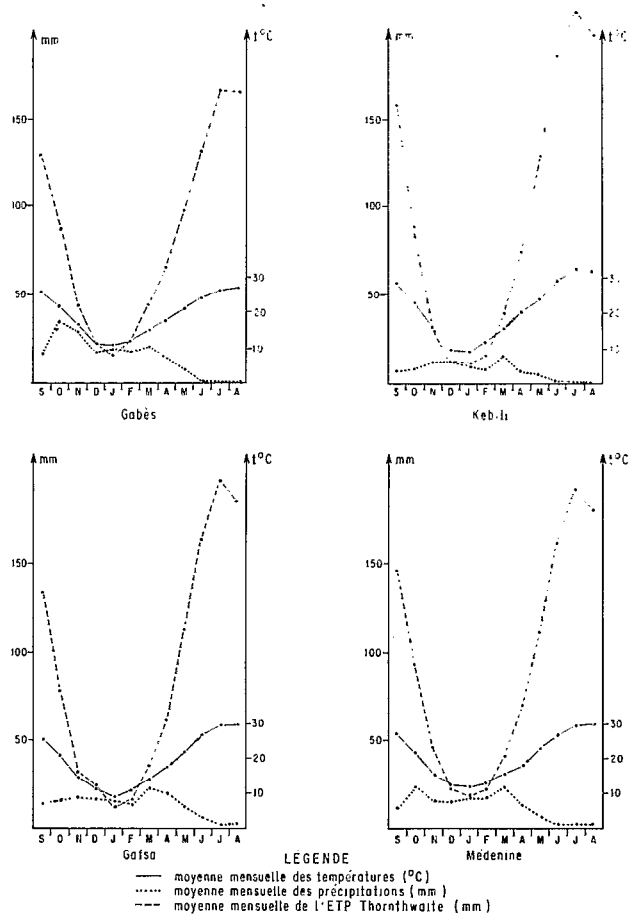


Fig. I.2 - Diagrammes ombrothermiques (BAGNOULS et GAUSSEN, 1953) de quelques stations de la Tunisie présaharienne, et ETP THORNTHWAITE.

2.2. LA PLUVIOSITE ET SA VARIABILITE

De nombreuses études statistiques ont été entreprises ces dernières années sur le régime des pluies et sa variabilité dans les régions méridionales de la Tunisie. Il s'agit essentiellement des travaux de LE HOUEROU (1959), CRUETTE (1967), FLOHN et KETTATA (1971, *in* RAPP 1974), FLORET *et al.* (1975, 1977, 1978), BOURGES *et al.* (1977), FERSI (1978), FLORET et PONTANIER (1978), BOURGES *et al.* (1980), dont nous mentionnons ici les résultats principaux.

Dans ce qui suit, l'année pluviométrique, sur laquelle sont effectués les traitements statistiques, va du 1er Septembre au 31 août, en accord avec l'année agricole, et les cycles de végétation. -

2.2.1. Généralités sur le régime des pluies

Il convient avant tout de souligner l'extrême irrégularité des phénomènes pluvieux en Tunisie présaharienne.

2.2.1.1. *Variabilité des hauteurs de pluies*

Le tableau I.2 donne un aperçu de la variabilité de la pluviosité annuelle qui se situe entre 12 et 20. En fait, ce coefficient peut prendre des valeurs plus importantes proche de 100 à l'échelle de la saison (FERSI, 1978).

2.2.1.2. *Répartition annuelle des pluies, et nombre de jours de pluie*

Les graphes de la figure I.2 nous donnent un aperçu de la répartition des moyennes mensuelles des pluies. Mais, en raison de la variabilité très importante, on ne peut pas accorder une grande signification à ces moyennes : par exemple, à Gabès, pour la période considérée (1884-1977), les hauteurs de pluie en octobre varient de 0 à 320 mm ! Cependant, il existe, en moyenne, une saison pratiquement sans pluie allant de début mai à août.

Pour les autres mois, la répartition est indéfinissable ; on notera toutefois une tendance à un maximum automnal dans la zone côtière, alors que le maximum est plutôt printanier dans la partie continentale. Le nombre moyen de jours de pluie sur l'ensemble des stations de la

TABLEAU I.2 Exemples de variabilité et de fréquences observées des pluies annuelles en Tunisie présaharienne(d'après BOURGES *et al.*, 1977 ; FLORET et PONTANIER, 1978 ; FERSI 1978)

Stations	Précipitations moyennes annuelles (mm) P	Coefficient de variabilité Px/Pn	Périodes de retour (années)							(1) Durée des observations
			20	10	5	médiane (mm)	5	10	20	
			années pluvieuses (mm)				années sèches (mm)			
Matmata	231	18,4	520	409	326	179	110	78	62	1903-1977 (66 ans)
Gabès	187	14,7	361	330	250	158	100	76	58	1884-1977 (75 ans)
Gafsa	163	12,3	315	260	213	143	96	78	65	1884-1977 (78 ans)
Médenine	144	12,1	245	206	178	140	105	64	52	1903-1976 (58 ans)
Kébeli	89	19,7	192	168	131	80	47	42	35	1901-1974 (58 ans)

Px = pluie maximale de la série
Pn = pluie minimale de la série

(1) Certaines années présentent des observations incomplètes ou douteuses, qui ne sont pas forcément les mêmes suivant les stations.

TABLEAU I.3 Périodes de retour et hauteurs journalières maximales (mm/j) en Tunisie présaharienne (d'après FERSI, 1978)

Stations	P annuelle (mm)	Nombre moyen de jours de pluie (j)	Périodes de retour (années) et hauteurs journalières maximales (mm/j)							Durée des observations
			20	10	5	médiane	5	10	20	
			années pluvieuses				années sèches			
Matmata	231	23	127	108	70	40	22	19	14	1903-1977 (64 ans)
Gabès	187	31	102	86	64	35	21	14	9	1884-1977 (75 ans)
Médenine	144	22	74	62	53	31	17	12	10	1903-1976 (58 ans)

TABLEAU I.4 Nombre moyen annuel de jours de pluie supérieure à une hauteur d'eau en Tunisie présaharienne et fréquence d'apparition, d'après FERSI 1978.

Classes de pluie	Matmata (1903/1977)		Gabès (1884/1977)		Médenine (1903/1976)	
	Nb. moyen annuel de jours (j)	Fréquence	Nb. moyen annuel de jours (j)	Fréquence	Nb. moyen annuel de jours (j)	Fréquence
pluie > 0 mm	23,2	0,0634	30,6	0,0839	22,1	0,0606
pluie > 10 mm	6,0	0,0164	4,7	0,0129	3,6	0,0099
pluie > 20 mm	2,7	0,0073	2,3	0,0064	1,3	0,0036
pluie > 30 mm	1,5	0,0041	1,2	0,0033	0,6	0,0018
pluie > 40 mm	0,9	0,0026	0,8	0,0022	0,4	0,0011
pluie > 50 mm	0,6	0,0017	0,4	0,0012	0,3	0,0008
pluie > 60 mm	0,4	0,0012	0,3	0,0009	0,14	0,0004
pluie > 80 mm	0,19	0,0005	0,15	0,0004	-	-
pluie > 100 mm	0,14	0,0004	0,06	0,0002	-	-

Tunisie présaharienne se situe entre 15 et 40 jours, les zones les moins arrosées n'étant pas forcément en "moyenne" celles qui présentent le moins de jours de pluie. Mais là encore, l'examen des pluies journalières rend compte de la grande variabilité des phénomènes ; il n'est pas rare d'observer en 24 heures plus de 50 % de la pluviosité de l'année et plus de 100 % de la moyenne interannuelle des pluies. Par exemple, le 12 décembre 1973 il est tombé 256 mm sur les terres du *Segui* du Telmam, représentant 70 % du total de cette année-là (371 mm), et 137 % de la moyenne interannuelle à Gabès (187 mm). Dans le tableau I.3 sont données les hauteurs journalières maximales pour quelques types d'années (par exemple, la pluie journalière maximale d'une année pluvieuse survenant tous les 5 ans, est en moyenne de 64 mm à Gabès).

Sur le tableau I.4, figure le nombre moyen annuel de jours de pluie dépassant une certaine hauteur d'eau, ainsi que leur fréquence d'apparition dans l'année. A Gabès le nombre de jours où il a plu est en moyenne de 30,6 jours soit environ 1 jour sur 12 ; de même il n'existe pas plus de 4 à 5 jours de pluie supérieure à 10 mm dans l'année. La fréquence d'apparition dans l'année d'évènements pluviométriques journaliers supérieurs à 100 mm est de 0,0004 à Matmata et de 0,0002 à Gabès ce qui représente respectivement en moyenne 1 jour tous les 7 ans à Matmata, et 1 jour tous les 14 ans à Gabès.

2.2.1.3. *Intensité des pluies*

Le caractère orageux des pluies fait que celles-ci présentent très souvent de très fortes intensités, avec des maximums pouvant dépasser souvent 100 mm/h durant 5 minutes provoquant des crues très violentes. Ainsi, d'après GIRARD (*in* BOURGES *et al.* 1980), sur 14 années d'observations pluviographiques à Gabès, la période de retour d'un évènement pluvieux présentant une intensité d'au moins 144 mm/h durant 5 minutes est de 25 ans;alors que,1 année sur 5, cette intensité-limite sera de 70 mm/h, et de 54 mm/h une année sur 2.

Sur plusieurs stations installées au voisinage de Gabès nous avons effectué entre 1972 et 1979 des séries d'observations sur les intensités des pluies (*in* BOURGES *et al.* 1973, 1975, 1977, 1980), dont nous donnons un exemple dans le tableau I.5.

TABLEAU I.5 Pluviosité et intensité à la Citerne Telmam (région de Gabès)
in BOURGES *et al.*, (1980)

Période du 1e Sept. au 31 Août	Hauteur de pluie précipitée (mm)	Jours de pluie	Intensité maximale en 5 minutes (mm/h)	Intensité maximale en 15 minutes (mm/h)	Hauteurs de pluie précipitées à une intensité moyenne supérieure à un seuil de :		
					5mm/h	12mm/h	20mm/h
1972-73	163	29	60	38	71	39	25
1973-74	371	15	144	106	279	242	242
1974-75	167	24	114	44	77	28	28
1975-76	356	31	42	24	62	31	0
1976-77	96	14	18	32	38	38	0
Journée du 12-12-73	256	1	144	106	256	242	242

2.2.2. Lois de répartition des hauteurs de pluies annuelles et saisonnières

2.2.2.1. *Les lois de répartition*

Celles-ci ont été calculées, grâce aux séries dont nous disposons depuis la fin du siècle dernier sur la plupart des stations pluviométriques de la Tunisie présaharienne, par CRUETTE(1967), BOURGES *et al.* (1977), FERSI (1978) etc.

La fonction de répartition ou de distribution des fréquences qui tient le mieux compte des écarts extrêmes des hauteurs de pluies annuelles et saisonnières dans la région, est la loi de Galton (ou loi gausso-logarithmique) de type :

$$F(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{U} e^{\frac{U^2}{2}} \, dU$$

Par exemple, à Gabès, la variable réduite de Gauss U pour la période 1884-1977 a été calculée et prend les valeurs suivantes :

$$U = \frac{\log P - 2{,}193}{0{,}25} \quad \textit{(Pluie annuelle en mm)}$$

$$U = \frac{\log(P+20) - 1{,}906}{0{,}30} \quad \textit{(P_1 pluie automne : S, O, N en mm)}$$

$$U = \frac{\log(P_2+4) - 1{,}664}{0{,}33} \quad \textit{(P_2 pluie hiver : D, J, F en mm)}$$

$$U = \frac{\log(P_3+5) - 1{,}573}{0{,}33} \quad \textit{(P_3 pluie printemps : M, A, M en mm)}$$

$$U = \frac{\log(P_4+5) - 0{,}748}{0{,}23} \quad \textit{(P_4 pluie été : J, J, A en mm)}$$

Ainsi, à Gabès on observera en moyenne :

. *pour les pluies annuelles* (cf. tableau I.2) :

des hauteurs de pluie :

inférieure ou égale à 100 mm : 1 année sur 5 (Ys),
supérieure ou égale à 250 mm : 1 année sur 5 (Yh),
comprise entre 100 et 250 mm : 3 années sur 5 (Ym),

. *pour les pluies automnales* (sept., oct., nov.,) :

des hauteurs de pluie :

inférieure ou égale à 30 mm : 1 année sur 5 (As),
supérieure ou égale à 120 mm : 1 année sur 5 (Ah),

comprise entre 30 et 120 mm : 3 années sur 5 (Am),

. *pour les pluies hivernales* (déc., janv., févr.,) :

des hauteurs de pluie :

inférieure ou égale à 20 mm : 1 année sur 5 (Hs),

supérieure ou égale à 80 mm : 1 année sur 5 (Hh),

comprise entre 20 et 80 mm : 3 années sur 5 (Hm),

. *pour les pluies printanières* (mars, avril, mai) :

des hauteurs de pluie :

inférieure ou égale à 15 mm : 1 année sur 5 (Ps),

supérieure ou égale à 65 mm : 1 année sur 5 (Ph),

comprise entre 15 et 65 mm : 5 années sur 5 (Pm).

Pour mémoire notons qu'à Gabès un total annuel de pluies au moins égal à 500 mm, peut être considéré comme un évènement cinquantenaire, de même qu'un total annuel au plus égal à 50 mm.

2.2.2.2. *Probabilité d'apparition d'une année ou d'une saison à hauteur type*

En zone aride, l'agronome, le pastoraliste, l'agriculteur et l'éleveur s'intéressent surtout à la probabilité d'apparition des phénomènes pluvieux. La probabilité d'avoir dans les N années à venir, au moins un évènement pluvieux de probabilité au dépassement chiffré p, s'exprime par la relation :

$$P(N) = 1-e^{-Np}$$

Ainsi, la probabilité d'avoir dans les 5 années à venir au moins une fois un total annuel des précipitations supérieur à 250 mm, ou inférieur à 100 mm, est 0,632, alors que dans les 25 années à venir elle est 0,993.

2.2.2.3. *Années à répartition saisonnière type*

Si les hauteurs totales de pluie présentent un intérêt, la répartition des pluies au cours de l'année est particulièrement importante. En effet, une année considérée comme moyenne, ne présente pas forcément une répartition saisonnière régulière.

En fonction des ajustements sur les totaux annuels et saisonniers, nous avons défini, sur les 75 années complètes du poste de Gabès-SM, des années et saisons types, en retenant la période de retour de 3

années sur 5 comme caractéristique d'une année moyenne (Ym), d'un automne moyen (Am), d'un hiver moyen (Hm), d'un printemps moyen (Pm). Par ailleurs, on a retenu la période de 1 année sur 5 pour les évènements saisonniers secs (s) et les évènements saisonniers pluvieux (h).

A partir de ces années et saisons types, on peut définir des années types à répartition saisonnière type.

Il est pratiquement impossible à partir de ces combinaisons de définir une loi de répartition. Les années à répartition les plus fréquentes sont indiquées dans le tableau I.6.

TABLEAU I.6 Fréquences observées de types d'année les plus fréquentes à Gabès (FLORET et PONTANIER, 1978)

Année type	Fréquence	Année type	Fréquence
Ym Am Hm Pm	0,179	Ys Am Hs Ps	0,038
Ym Am Hh Pm	0,064	Ym Am Hm Ph	0,038
Ym As Hh Pm	0,064	Ym Ah Hs Pm	0,038
Ym Am Hs Pm	0,051	Ym Ah Hm Pm	0,038
Ym Am Hm Ps	0,051	Yh Ah Hm Pm	0,038
Ys As Hm Pm	0,038	Yh Ah Hm Ph	0,038

Ce tableau montre qu'une fois toutes les 5,5 années, on a une chance d'avoir à Gabès une hauteur annuelle moyenne à répartition saisonnière moyenne.

2.2.3. Successions d'années pluvieuses ou sèches

Il existe en zone aride des séries plus ou moins longues d'années pluvieuses ou d'années sèches. Ainsi, à Gabès, entre septembre 1923 et août 1927, la moyenne interannuelle a été de 82 mm pour les 4 années, alors qu'entre septembre 1971 et août 1976, on a assisté à une série de 5 années particulièrement pluvieuses présentant une moyenne interannuelle des pluies de 318 mm (maximum maximorum de la série : 534 mm en 1975-1976).

FLORET *et al.* (1976) montrent, sur la série 1885-1976 de Gabès, que:

- l'établissement des moyennes chevauchantes sur pas de 5 et 10

ans fait apparaître des séries d'années pluvieuses ou sèches se succédant sans périodicité définie ;

- sur les 75 années étudiées (où P est la pluviosité annuelle) on observe :

. 4 périodes de 2 années sèches consécutives avec P inférieur à 100 mm,

. 3 périodes de 2 années moyennement sèches consécutives avec P comprise entre 100 et 150 mm,

. 2 périodes de 3 années moyennement sèches consécutives avec P comprise entre 100 et 150 mm,

. 1 période de 4 années moyennement sèches consécutives avec P comprise entre 100 et 150 mm,

. 1 période de 6 années moyennement sèches consécutives avec P comprise entre 100 et 150 mm (comprenant 2 périodes de 2 années sèches)

. 1 période de 3 années pluvieuses consécutives avec P supérieure à 250 mm,

. 3 périodes de 2 années pluvieuses consécutives avec P supérieure à 250 mm,

. 3 périodes de 2 années moyennement pluvieuses consécutives avec P comprise entre 150 et 250 mm,

. 2 périodes de 3 années moyennement pluvieuses consécutives avec P comprise entre 150 et 250 mm,

. 1 période de 5 années moyennement pluvieuses consécutives avec P comprise entre 150 et 250 mm,

. 1 période de 7 années moyennement pluvieuses consécutives avec P comprise entre 150 et 250 mm (comprenant 1 période de 2 années pluvieuses).

2.2.4. Début et fin de la période des pluies

La précocité du début de la période des pluies est un critère très important à prendre en compte en zone présaharienne tunisienne ; il détermine la date des labours et du départ de la végétation sur les steppes après la longue sécheresse estivale ; ainsi, un début tardif de période des pluies, après le 1er novembre, ne provoque t'il qu'une faible repousse des espèces spontanées en raison du fait que les températures automnales et hivernales sont relativement basses, en tous cas au-des-

sous du zéro de végétation de la plupart des espèces.

De même, un arrêt précoce de la période des pluies avant le 1er avril est très préjudiciable à la végétation des pâturages et à la céréaliculture, à une période où les espèces végétales sont en pleine croissance.

FLORET et PONTANIER (1978) adoptent en Tunisie présaharienne comme début de la période des pluies la première pluie journalière au moins égale à 10 mm, tombée après le 1er septembre, et comme fin de période des pluies, la dernière pluie journalière au moins égale à 10 mm tombée avant le 31 mai. Avant et après ces deux dates les pluies de 10 mm sont trop vite reprises par l'évaporation, pour avoir une influence directe sur la végétation.

Par exemple, de l'examen des données "contribution aux totaux pluviométriques mensuels et annuels des pluies journalières du poste de Gabès" il ressort que :

- la fréquence observée d'apparition de la première pluie journalière au moins égale à 10 mm :

  avant le 1er décembre est de 0,790
  avant le 1er novembre est de 0,628
  avant le 1er octobre est de 0,326

- la fréquence observée d'apparition de la dernière pluie journalière au moins égale à 10 mm :

  après le 1er mai est de 0,24
  après le 1er avril est de 0,333
  après le 1er mars est de 0,571.

Dans la zone qui nous concerne, une année est considérée comme ayant un début précoce de période des pluies, si la première pluie journalière au moins égale à 10 mm est tombée avant le 1er octobre, soit environ 1 année sur 3. De même une fin de période des pluies sera dite tardive si la dernière pluie au moins égale à 10 mm tombe après le 1er avril, soit environ 1 année sur 3.

Notons pour mémoire que, environ 1 année sur 5, le début de la période des pluies peut se produire après le 1er décembre et que, 1 année sur 2 ou 3 années, la fin de la période des pluies peut se produire avant le 1er mars. Cela signifie qu'en moyenne 1 année sur 3, la sécheresse estivale et la disette pour les troupeaux risquent de se poursuivre

jusqu'au 1er octobre, et 1 année sur 5 jusqu'au 1er décembre. Cette situation peut être aggravée si la précédente saison des pluies s'est terminée avant le 1er mars (1 année sur 2 ou 3). En outre 2 années sur 3, même si les pluies automnales et hivernales ont été suffisantes, la céréaliculture risque d'être très compromise, et la disette pour les troupeaux, surtout sur les parcours à bases d'espèces annuelles, débute très tôt.

2.2.5. Variabilité spatiale des pluies

En raison du caractère orageux des pluies, la variabilité spatiale est en général très importante surtout à l'échelle de la journée, et l'extrapolation des résultats d'un poste pluviométrique à l'échelle du champ est aventureuse. BOURGES *et al.* (1973, 1975, 1977) montrent que les écarts entre deux postes de mesure distants de 100 m à 200 m, en zone réputée homogène, peuvent atteindre 15 à 35 % pour une averse et 5 à 15 % en considérant les totaux annuels, cette variabilité étant due à la nature et l'implantation des appareils de mesure des hauteurs d'eau et à l'hétérogénéité spatiale des pluies (1). En général, sur une longue période cette variabilité a tendance à s'estomper, cependant l'aménageur et l'agriculteur doivent tenir compte de la variabilité spatiale des averses.

2.2.6. Variation de la pluviosité au cours du temps

Le passé récent

La thèse d'une diminution de la pluviosité en Tunisie présaharienne depuis la fin du siècle dernier est très contreversée. CRUETTE (1967) a pu déceler sur 21 ans une diminution de 100 à 70 mm des hauteurs précipitées à Kébili ; cette observation n'est pas décisive car, à Gabès, l'adjonction de 27 années nouvelles (couvrant les 27 années étudiées par CRUETTE), à la série étudiée par LE HOUEROU (1969), a fait passer la moyenne interannuelle de 175 mm à 187 mm (grâce à une série d'années particulièrement pluvieuses entre 1969 et 1976 où la hauteur annuelle moyenne des pluies a été de 290 mm).

(1) JACQUET (1960) calcule les erreurs à craindre dans la mesure d'une pluie journalière à l'aide d'un réseau de 16 pluviomètres (écartement 10 m) : toutes catégories de vitesses du vent confondues, l'erreur est de $\pm$ 13 %.

Nous avons déjà souligné (§ I.2.2.3.), que la pluviosité de la Tunisie présaharienne est caractérisée par une alternance de séries d'années pluvieuses ou d'années sèches.

Ces périodes de sécheresse prolongée ont toujours existé et ne doivent pas laisser croire à une modification récente du climat. FLOHN et KETTATA (1971) ont analysé les données pluviométriques de 66 ans sur 10 stations en Tunisie présaharienne.

Il s'agit de : Kébili, Tozeur, Tatahouine, Métlaoui, Médenine, Gafsa, Ben Gardane, Gabès, Zarzis et Djerba, dont la hauteur moyenne des pluies annuelles varie de 89 mm (Kébili) à 207 mm (Djerba). Vu la faible corrélation existant entre les données de ces différents postes pluviométriques, ces auteurs ont calculé une moyenne représentative régionale, ainsi que les moyennes chevauchantes établies au pas de 10 ans (fig.I.3). Ils concluent: " *comme dans toutes les régions arides, la pluviosité moyenne en Tunisie du Sud est sujette à de relativement larges fluctuations d'une année à l'autre, avec des périodes sèches ou pluvieuses de 2-4 années consécutives. Les déviations des moyennes sur dix ans par rapport à la normale peuvent atteindre* $\pm$ *14 % . Depuis le début du siècle, on ne trouve aucune tendance à une augmentation ou à la diminution de la pluviosité*".

Le passé lointain

Au-delà de la fin du XIXe siècle, les renseignements et les mesures concernant la pluviosité sont rares en zone aride méditerranéenne, aussi le climatologue doit acquérir son information sur les climats anciens auprès d'autres disciplines mettant en oeuvre des techniques où la partie interprétative est importante.

La dendrochrorologie a permis à SHANAN, EVENARI et TADMOR (1967) de remonter dans le temps. En analysant les anneaux de croissance de *Zygophyllum dumosum* pour la période 1720-1965 dans le désert du Neguev, ils ont remarqué des variations cycliques de 28 mm autour de la moyenne (86 mm), pour des périodes de 50 années, mais aucune modification importante de la pluviosité.

Avec les témoignages des historiens concernant la période punico-romaine, et en s'appuyant sur les vestiges d'occupation des terres, et d'activité humaine (agriculture avec utilisation du ruissellement et de l'irrigation, et des mêmes espèces cultivées), on conclut à une

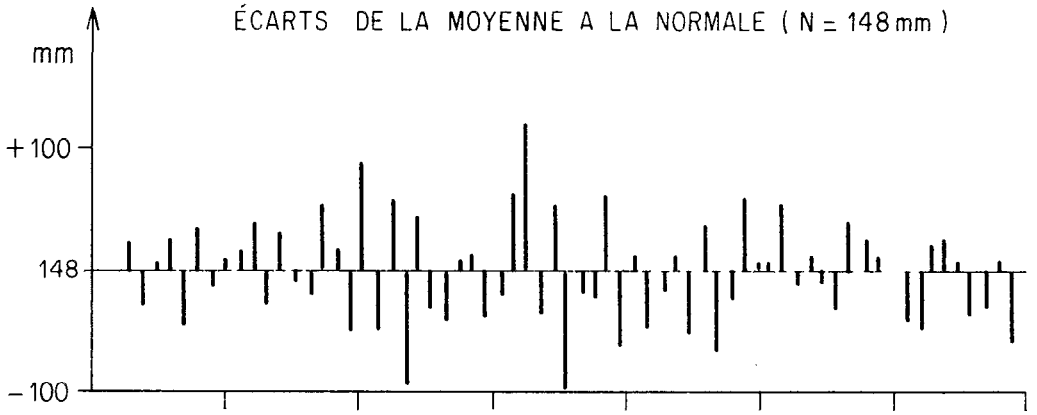


Fig. 1.3 - Evolution de la pluviosité moyenne annuelle régionale en Tunisie présaharienne (d'après FLOHN et KETTATA, 1971).

pluviosité durant cette période identique à celle que nous connaissons aujourd'hui, sur l'ensemble du Bassin méditerranéen.

Si l'on cherche à remonter plus avant, il faut se tourner vers les témoignages des faunes et des flores fossiles et surtout, comme l'a fait COQUE (1962), vers l'interprétation de l'évolution morphologique au Quaternaire de la Tunisie présaharienne.

D'après cet auteur, "*les faunes post-villafranchiennes ne sont plus homogènes, leur caractère composite implique la mobilité du climat. Les espèces tropicales y font figure de relictes, peu à peu confinées et décimées par extinction, destruction, migration. A l'exception des apports eurasiatiques, tous les éléments nouveaux suggèrent l'installation progressive d'un environnement steppique*". Les analyses polliniques (PONS et QUEZEL, 1956, 1957 ; VAN CAMPO, 1957) de 3 stations du Sud tunisien confirment cette hypothèse : "paysage de steppe" (nombreux pollens de Composées et de Chénopodiacées), plus ou moins arborée (pollens de Pinus halepensis, de Cupressacées) climat ne différant pas fondamentalement de celui actuel, mais un peu plus frais et un peu plus humide. La plus grande prudence s'impose dans l'interprétation de ces critères biologiques et COQUE conclut qu'en définitive c'est "*l'examen simultané du modelé et des formations corrélatives, surtout les croûtes et les encroûtements, qui conduit aux reconstitutions paléoclimatiques les plus sûres et les plus fines*". Par cette méthode, il relève en Tunisie présaharienne 5 pulsations de type "semi-aride", durant cette période dominée en général par le climat aride à régime méditerranéen que nous connaissons actuellement. La dernière de ces phases semi-arides, correspondant à la glaciation Würm, se serait terminée il y a environ 15000 ans.

2.3. LE REGIME THERMIQUE ET LA DEMANDE EVAPORATIVE DE L'ATMOSPHERE

2.3.1. Chaleur et forte évaporation estivales : caractéristiques du climat

Le tableau I.7 donne un aperçu des régimes thermiques, radiatifs et hydriques de la station météorologique de Gabès (4 mètres d'altitude, distante de 1200 m de la mer) ; les températures, l'humidité relative de l'air et l'évaporation Piche, sont mesurées sous abri à 1,50m, les précipitations mesurées à 1,50 m.

De ce tableau, il ressort, que tant sur le plan thermique que sur le plan hydrique les régimes saisonniers sont contrastés, en raison d'un rayonnement global qui varie au cours de l'année. RAMBAL (1980) indique qu'à Gabès le rayonnement global annuel moyen journalier est de $1,92 \times 10^7$ j.m^{-2} pour une durée moyenne d'insolation de 8,86 heures.

2.3.2. Les régimes thermiques

"Le 28 juin 1978, a proximité de Gabès (1) dans le Sud tunisien, la température de l'air à 2 mètres évolua entre 24,7°C et 16,0°C ; ce même jour, au même endroit, la température de la surface du sol nu a atteint les valeurs extrêmes de 48,0°C et de 15,8°C. Ce seul exemple illustre combien "le climat" au niveau du sol peut différer de celui défini habituellement ; c'est pourtant ce "climat" qui influence la vie animale ou végétale (LAGOUARDE, 1979)". Nous ne disposons malheureusement à ce sujet que d'informations disparates, et les séries de mesures de températures à la surface du sol ou à l'intérieur du sol n'en sont qu'à leur début en Tunisie présaharienne, et souvent discontinues dans le temps.

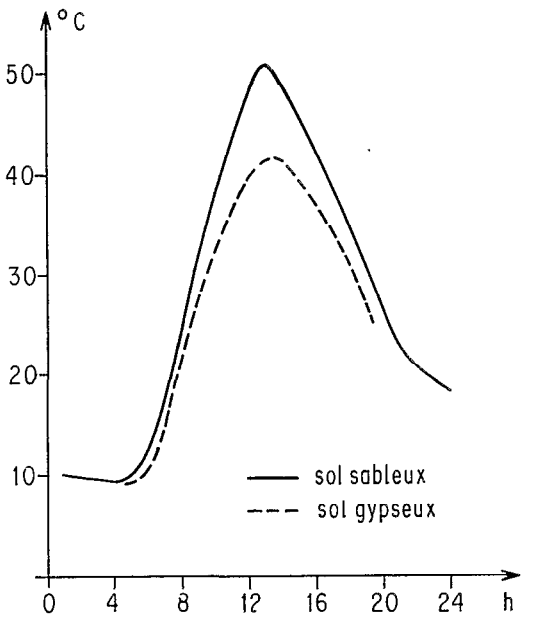
2.3.2.1. *Régimes thermiques à la surface du sol et type de milieu*

C'est surtout à RIOU *et al.* (1979), LAGOUARDE (1979), et VIEILLEFON (études en cours sur les températures des sols gypseux) qu'est dû l'essentiel des connaissances actuelles sur les régimes thermiques de surface dans la région. Les graphes de la figure I.4 montrent l'évolution journalière des températures à la surface sur quatre types de sol de la région présaharienne. D'une façon générale, les surfaces qui présentent une réflexion (ou albedo) importante (croûte gypseuse, croûte de sel, sable clair, etc.) ont une température à la surface plus faible que les surfaces plus absorbantes (labours, limon sombre, boue etc.). Donc, si l'albedo est élevé, le complexe air-surface du sol est plus froid ; ceci n'est pas vérifié lorsque les surfaces sont humides. En effet, après une irrigation ou une pluie l'albedo a des valeurs plus faibles, les températures à la surface devraient s'élever; en fait on constate une diminution de celles-ci en raison de l'évaporation qui est endothermique (effet oasis).

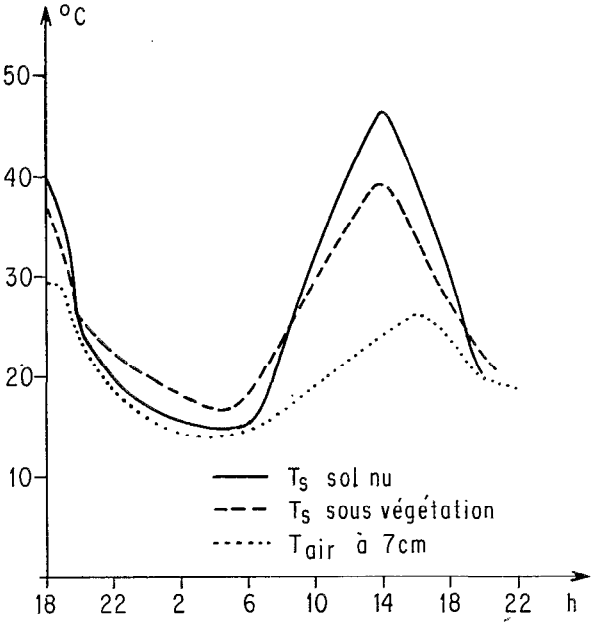
(1) Station du Dj. Dissa.

TABLEAU I.7 Moyenne mensuelle des températures de l'air, de l'humidité relative de l'air, du rayonnement global, des précipitations et de l'évaporation à la station météorologique de Gabès.

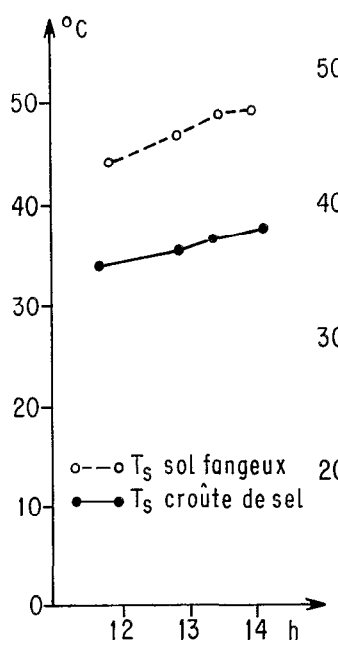
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Période de référence ou origine
M (max.)°C		30,3	26,9	21,9	17,2	15,9	17,9	20,5	22,9	25,9	28,3	32,7	32,5	1901-60 (météo)
m (min.)°C		20,8	16,5	11,2	7,2	5,9	6,9	9,7	12,5	16,0	19,4	21,7	22,4	1901-60 (météo)
Humidité relative de l'air %	6h	79	81	77	77	75	73	75	77	76	74	76	75	1946-60 (météo)
	12h	62	59	55	56	55	52	54	60	63	64	61	60	1946-60 (météo)
	18h	69	70	67	69	66	61	63	69	70	69	68	67	1946-60 (météo)
G cal.cm^{-2}.jour^{-1} (rayonnem. global)		489	398	309	244	257	326	413	506	609	622	653	589	1970-75 (météo)
Précipitations (mm)		17,1	37,8	28,6	19,7	19,9	18,2	10,6	14,3	8,1	1,5	0,4	0,8	1884-1977 (météo)
Evaporation Piche (mm)		192	158	132	133	133	132	167	141	186	189	229	229	Le Houerou 1969
ETP Penman (mm)		128	88	48	40	43	56	89	119	144	161	177	162	Unesco 1977
ETP Turc (mm)		142	102	74	56	57	74	105	127	151	169	185	175	Le Houerou 1969
ETP Thornthwaite (mm)		129	86	45	22	18	23	44	65	98	132	167	167	Le Houerou 1959
ETP (G) de Villèle		139	102	70	59	70	86	129	148	180	185	209	193	De Villèle 1965



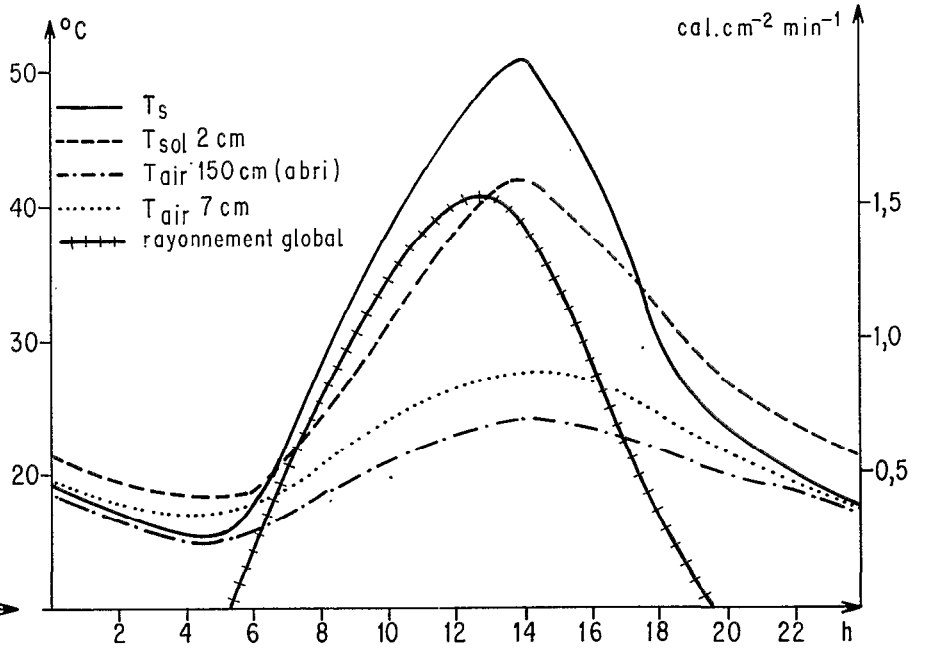
a) Température à la surface d'un sol sableux et d'un sol gypseux. Dj. Dissa, 27 Avril 1978



b) Température à la surface du sol nu et du sol sous une touffe de végétation (*Astragalus armatus*) Dj. Dissa, 10 et 11 Mai 1978



c) Température à la surface d'une croûte de sel et d'un sol fangeux. Chott el Djerid Kébili, 29 Juin 1978



d) Évolutions journalières des températures à la surface du sol, de l'air près de la surface du sol, et du rayonnement global. Dj. Dissa, 26 Juin 1978

Fig. I.4 - Exemples d'évolution journalière des températures à la surface du sol, et du rayonnement global en Tunisie présaharienne (d'après LAGOUARDE, 1979).

TABLEAU I.8 Quelques valeurs de l'albedo des sols et de leur recouvrement en Tunisie présaharienne

Type de surface		Albedo %	Origine des mesures
Croûte gypseuse affleurante à recouvrement de végétation inférieur à 5%; surface sèche		39,7	Dj Dissa 27 avril à 10 heures locales (LAGOUARDE, 1979)
Sierozem sableux sans voile éolien ; recouvrement de la végétation : 5-10 % Dj. Dissa	surface sèche	32,2	27 avril 1978 à 10 heures locales (LAGOUARDE, 1979)
	surface humide	26,0	28 juin 1978 à 10 heures locales (LAGOUARDE, 1979)
	surface sèche	35,6	
	surface humide	27,3	8 et 10 novembre 78 à 10 heures locales (RIOU *et al.*, 1979)
	surface sèche	35,5	
	surface humide, en voie de déssèchement	29,0	10 novembre à 13 heures locales (RIOU *et al.*, 1979)
Culture de luzerne en oasis (recouvrement végétal : 100%)		25,4	Bou Chemma Printemps 1968 (INRAT-Tunis)
Croûte de sel humide (pas de végétation)		55,0	Chott Djerid (LAGOUARDE, 1979)

Nous en donnons, dans le tableau I.8, quelques valeurs pour la région étudiée.

2.3.2.2. *Régime thermique à la surface du sol et végétation*

A humidité égale, les températures de surface des steppes à recouvrement végétal important sont, dans l'ensemble, plus élevées que celles des surfaces dénudées, en raison d'un albedo plus faible et d'une circulation de l'air plus lente. Cependant, à l'échelle microclimatique, sous la végétation elle-même, le bilan radiatif est modifié, le régime thermique est moins contrasté que sur les plages où il n'y a pas de végétation comme on le constate sur la courbe (b) de la figure I.4 où LAGOUARDE (1979) montre que la végétation limite la pénétration du rayonnement solaire, et la déperdition diurne du rayonnement terrestre ; ainsi, sous la touffe d'*Astragalus armatus* la température est plus chaude la nuit et plus fraîche le jour qu'à l'extérieur. Dans le même ordre d'idée, HEATWOLE et MUIR (1979), mesurant la température à la surface du sol sur une steppe à *Rhantherium suaveolens* de la Tunisie présaharienne, montrent que l'amplitude annuelle est de 65°C, contre 45°C à 150 cm sous abri.

2.3.2.3. *Régime thermique à l'intérieur du sol*

Les températures à la surface du sol présentent de fortes amplitudes journalières qui ont tendance à s'estomper dès 2 cm (Fig. I.4). Entre 1973 et 1974, dans la zone du Telmam près de Gabès, les températures à 10 cm, 20 cm, 30 cm et 60 cm de profondeur, ont été mesurées régulièrement dans un sol limoneux de *segui*, pratiquement dénudé de végétation (BOURGES *et al.* 1977) : les courbes de la figure I.5 montrent qu'à partir de 60 cm, il n'y a pratiquement plus d'amplitude diurne sur les moyennes annuelles. Par contre, il existe encore à 60 cm, une amplitude saisonnière.

2.3.2.4. *Conclusion sur les régimes thermiques*

En zone aride, la végétation steppique est rase et clairsemée; aussi les régimes thermiques, à proximité immédiate de la surface du sol, sont-ils très différents de ceux fournis par les températures mesurées sous abri à 150 cm qui, en général, minimisent les écarts des extrêmes

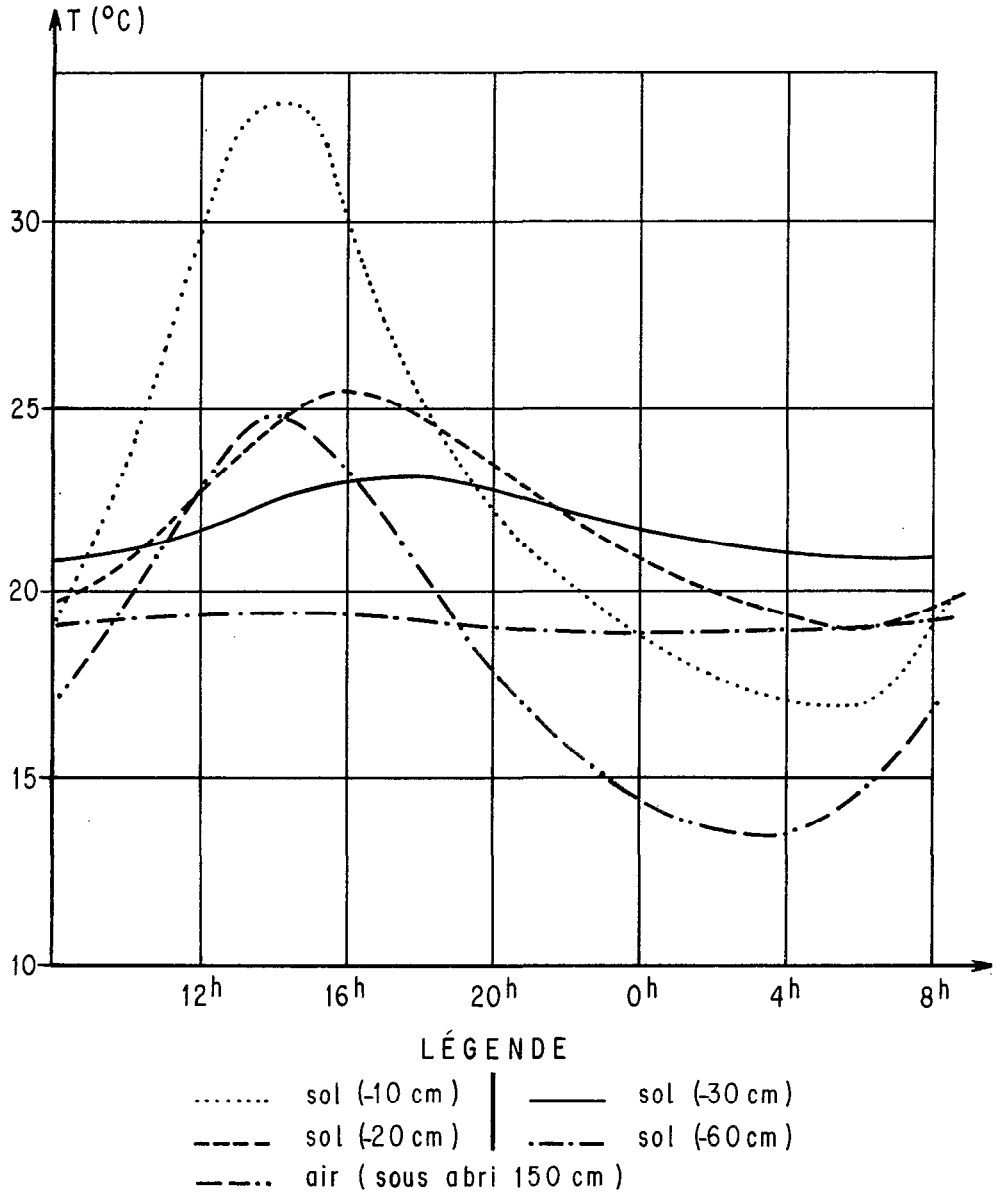


Fig. I.5 - Variation de la température moyenne annuelle de l'air et du sol selon la profondeur, au cours de la journée, sur une terre limoneuse de *segui* (1973-1974).

thermiques diurnes. A la surface du sol, les températures estivales atteignent souvent des valeurs de 60°C avec des amplitudes diurnes de 40°C (HEATWOLE et MUIR 1979 ; POUGET, 1980 ; VIEILLEFON à paraître), pouvant dépasser 70°C (MONOD, 1973), alors que l'hiver, en raison des fortes déperditions de chaleur dues au rayonnement terrestre, il gèle fréquemment au sol, lors des nuits claires, sans que cela se produise sous abri à 150 cm.

En revanche, le sol a tendance, à partir de 30 cm, à tamponner les écarts extrêmes de la surface, et même ceux de l'atmosphère. En conclusion, la température de l'air sous abri n'est que très grossièrement représentative des situations thermiques à l'interface sol-plante-atmosphère qui est celle qui nous préoccupe. En Tunisie présaharienne, force est de constater que les conditions d'aridité thermique sont supérieures à celles communément admises.

2.3.3. La demande évaporative de l'atmosphère : ETP

La demande évaporative de l'atmosphère, appelée couramment évapotranspiration potentielle, est un concept théorique : elle correspond à la quantité maximale d'eau que peut absorber l'atmosphère ; elle est fonction du rayonnement net qui suit les variations saisonnières du rayonnement solaire global.

Nombreuses ont été les tentatives de la quantifier en Tunisie présaharienne (cf. Tableaux I.1 et I.7). C'est ainsi que l'ETP, à Gabès, calculée (a) par l'équation de THORNTHWAITE (1) représente annuellement 996 mm, (b) par celle de PENMAN (qui, en fait, ne représente que le pouvoir évaporant de l'air) est égale à 1254 mm, (c) par celle de TURC elle est de 1417 mm, et (d) par celle de DE VILLELE utilisant le rayonnement global prend une valeur de 1 570 mm. Plus près de nous, RAMBAL

(1) ETP (Thornthwaite, 1944) = $1,6(\frac{10t}{TE})^a$ (cm)

ETP (Penman, 1948) = $\frac{AH+0,27E}{A+0,27}$ (mm)

t = moyenne mensuelle des températures

TE = indice de Thorntwaite efficience des températures

a et H = termes thermiques E = évaporation

A = terme faisant intervenir le degré de saturation de l'air

ETP (Turc, 1961) = $(50+Ig)0,4\ \frac{t}{t+15}$

ETP (De Villèle, 1965) = 0,73 Rg-43

Ig = radiation globale

Rg = rayonnement global

(1980), utilisant la méthode du bilan d'énergie, et une valeur moyenne de l'albedo (a = 0,30), propose pour la région de Gabès,une valeur comprise entre 1700 et 1800 mm. Des mesures, de l'évapotranspiration réelle maximale d'une culture de *Pennisetum clandestinum* (Kikuyu grass), réalisées dans l'Oasis, fournissent la valeur annuelle moyenne de 1430 mm pour une période de 5 années.

Quelle que soit la valeur retenue pour l'ETP, on constate en Tunisie présaharienne, un très important déficit hydrique, puisque, selon les cas, la demande évaporative est 7 à 12 fois plus importante que les apports d'eau par les pluies.Rappelons aussi que l'ETP est plus élevée à l'intérieur et au Sud du territoire (cf. tableau I.1).

2.4. INDICES ET CRITERES D'ARIDITE CLIMATIQUE. APPLICATION A LA TUNISIE PRESAHARIENNE

Dans ce paragraphe nous avons essayé de situer notre zone d'étude, localisée approximativement entre les isohyètes 100 et 200 mm, au moyen de quelques critères et indices utilisés au cours des trente dernières années pour définir la région aride.

La plupart de ces indices font référence aux hauteurs de pluies précipitées, aux températures souvent extrêmes, moyennes du mois le plus chaud, ou moyennes des maximums du mois le plus chaud, ou moyennes des minimums du mois le plus froid, et aussi très souvent à la demande évaporative (ETP). Ces indices sont en général calculés annuellement, parfois mensuellement, mais jamais quotidiennement. Notre intention n'est pas de passer en revue l'ensemble de ces indices et critères, ni les nombreux essais de classification et de délimitation de la zone aride, dont certains ne sont plus utilisés aujourd'hui (cf. tableau I.9), mais de présenter, les tentatives les plus citées au cours de ces trente dernières années. Il faut reconnaître que, sans être contradictoires dans leur ensemble, ces indices ne sont pas toujours très concordants, comme l'a montré SCHMIDT (1979) à l'occasion d'une étude critique sur les propositions de délimitation du désert de Chihuahan.

2.4.1. La classification des homoclimats de MEIGS (1952)

Elle est basée sur le déficit des précipitations par rapport à l'ETP et utilise l'indice proposé en 1948 par THORNTHWAITE (indice de drainage) PE index = $10 \sum_{1}^{12} P/ETP$ pour caractériser les mois secs (E=extrê-

TABLEAUX I.9 Quelques valeurs permettant d'apprécier l'aridité en Tunisie présaharienne

	P moyenne annuelle des précipit. (mm)	Indices				Durée moyenne de la saison sèche en mois d'après		
		$\frac{P}{ETP}$ (Penman) (Unesco)	$\frac{P}{T}$ (LANG)	$Q=\frac{2000P}{M^2-m^2}$ (EMBERGER)	Ix=nb. de jours secs (BAGNOULS et GAUSSEN)	Thornthwaite $P \leqslant ETP$	Bagnouls et Gaussen $P < 2T$	Aubreville $P < 30$ mm
MATMATA	231	-	12,2	27,0	195	9	10	9
DJERBA	207	0,15	10,3	29,0	190	10	11	10
GABES	187	0,15	9,7	23,8	266	11	12	10
GAFSA	163	0,12	8,7	15,8	298	11	12	12
MEDENINE	144	-	7,1	16,0	-	12	12	12
TATAHOUINE	123	-	6,3	13,0	-	12	12	12
TOZEUR	90	0,08	4,2	8,4	336	12	12	12
KEBILI	89	-	4,2	7,2	-	12	12	12

mement aride, A=aride, S=semi-aride). Dans cette classification interviennent aussi la période des précipitations, ainsi que les moyennes des températures du mois le plus froid et du mois le plus chaud.

Ainsi, d'après la carte publiée par l'Unesco (1961), qui est basée sur ce système, la Tunisie présaharienne se trouve approximativement sur les aires Ac_{23} et Ac_{24} qui caractérisent des climats arides, à précipitations hivernales, à hivers tempérés (10° à 20°C) et à étés chauds (20° à 30°C) à très chauds (supérieur à 30°C).

2.4.2. Le quotient de sécheresse de BUDYKO, son expression cartographique par HENNING et FLOHN

L'indice connu sous le terme de "quotient de BUDYKO" fut utilisé pour la première fois en climatologie par BUDYKO en 1958, puis en 1974 sous le nom de "*indice de sécheresse lié au rayonnement*". En 1963, cet auteur réalisa, à l'échelle du globe une première carte, très élémentaire, de l'évaporation, en utilisant la radiation solaire comme facteur déterminant de l'évaporativité des climats (*in* FUCHS, 1973). Ce n'est qu'à l'occasion de la conférence mondiale sur la désertification que HENNING et FLOHN (1977), utilisant 3600 stations, où les données sur la radiation nette étaient utilisables, proposèrent une carte mondiale de l'indice d'aridité climatique sur la base des travaux de BUDYKO. Cependant, ces auteurs utilisent la formule d'ALBRECHT (1962) pour calculer la radiation nette, "celle de PENMAN (1948) utilisée par BUDYKO (1963) donnant dans l'ensemble des valeurs trop faibles".

Nous ne développerons pas ici dans le détail l'ensemble des équations qui permettent de calculer l'indice de sécheresse de BUDYKO ; rappelons qu'il est dérivé des équations du bilan de chaleur à la surface de la terre, et que d'une façon simplifiée, il s'exprime par :

$$D = R/LP$$

où

D = indice de sécheresse

R = moyenne annuelle de la radiation nette; (c'est-à-dire bilan énergétique)

P = moyenne annuelle des précipitations

L = chaleur latente de vaporisation de l'eau

Plus le climat est sec, plus D est grand ; pour l'ensemble de

la Terre sa valeur moyenne est de 1,2 à 1,3. Si *D* est supérieur à 1 il y a déficit hydrique au sens de BUDYKO. En fait cet indice représente "combien de fois la radiation moyenne nette annuelle peut évaporer les précipitations moyennes annuelles".

L'ensemble de la Tunisie présaharienne présente des valeurs de *D* comprises entre 5 et 7 (HENNING et FLOHN, 1977). BUDYKO (1974) appelle "désertiques" toutes les zones présentant un indice *D* supérieur à 3,4. Nous avons signalé, dans le § II 2.3.3., que la demande évaporative (ETP) était de 7 à 12 fois plus importante que les pluies. Il semble que cet indice de BUDYKO sousestimerait l'aridité en Tunisie présaharienne.

2.4.3. Carte de la répartition mondiale des régions arides (Unesco, 1977)

Cette carte, réalisée pour la "Conférence des Nations Unies sur la désertification", est basée, en ce qui concerne le problème de délimitation, sur le calcul d'indices d'aridité et sur la prise en compte de données concernant la végétation, le sol et le relief dont on disposait à l'échelle du 1/25 000 000. La conception de cette carte est proche de celle de MEIGS ; en effet, dans ce document l'aridité s'exprime essentiellement par l'importance relative entre, les apports d'eau par les précipitations, et les pertes par évapotranspiration. Elle est donc caractérisée, par les valeurs du rapport P/ETP (P= hauteur des précipitations moyennes annuelles ; ETP= évapotranspiration potentielle moyenne annuelle calculée suivant la formule de PENMAN) : plus les valeurs de ce rapport sont basses, plus le climat est considéré comme étant aride. Il a été calculé pour 1600 stations. En Tunisie présaharienne, ce rapport est compris entre 0,08 à Tozeur et 0,15 à Djerba (cf. tableau I.8) ; à Matmata et sur certaines montagnes, il est vraisemblablement voisin de 0,20. Ces valeurs permettent de situer l'ensemble de la région dans la "zone aride", qui est caractérisée par P/ETP compris entre 0,03 et 0,20 (Unesco, 1977). En plus du degré d'aridité, il est proposé, des critères thermiques tels la température moyenne du mois le plus froid de la saison froide, ainsi que celle du mois le plus chaud de la saison chaude. En outre, des indications figurent sur cette carte, sur le type de la longueur de la saison sèche (longueur et position dans l'année) étant entendu qu'un *mois sec* est caractérisé par une hauteur des précipitations inférieure à 30 mm (KÖPPEN 1918, *in* DAGET 1977, AUBREVILLE 1949).

Dans ces conditions, le climat de la région qui nous intéresse est aride, à hivers tempérés (moyenne du mois le plus froid comprise entre 10 et 20°), à étés chauds (moyenne du mois le plus chaud comprise entre 20 et 30°C) ou très chauds, présentant 9 à 12 mois secs (au sens d'AUBREVILLE), la sécheresse d'été étant dominante. Ce système de classification en ce qui concerne la Tunisie présaharienne, nous satisfait d'avantage que le précédent.

2.4.4. Le quotient pluviothermique d'EMBERGER. La classification bioclimatique.

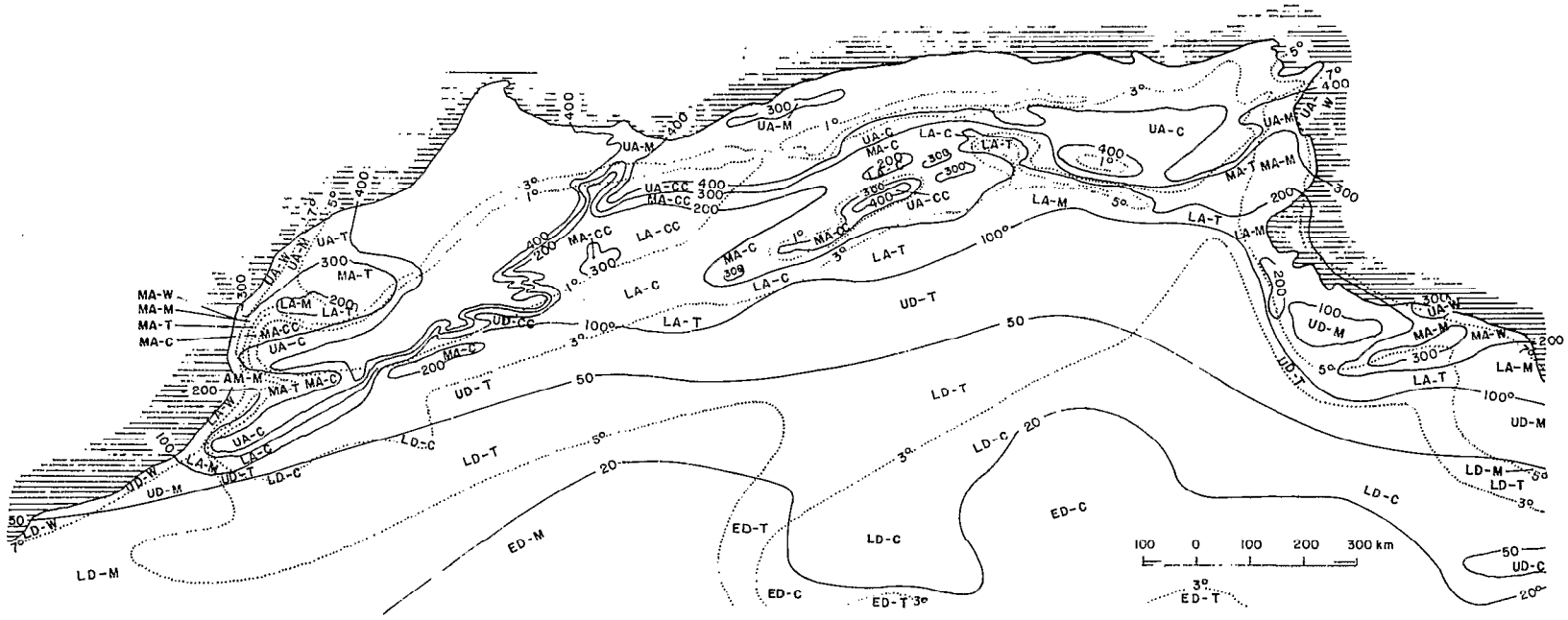
DAGET (1977 b), à l'occasion d'une remarquable synthèse sur l'analyse des formes climatiques méditerranéennes à l'aide du système d'EMBERGER, indique que cet auteur, dès 1930, "*a cherché une expression synthétique du climat méditerranéen capable de rendre compte de la sécheresse*". Partant du fait que les précipitations (P) sont le moyen le plus simple pour caractériser la sécheresse, et que"*la vie végétale se déroule entre deux pôles thermiques, la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M)*", EMBERGER (1952) proposa le quotient pluviothermique suivant :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2-m^2} \quad (M \text{ et } m \text{ en degrés Kelvin})$$

D'une manière générale, plus le quotient est faible et plus le climat est sec. En outre, EMBERGER avait imaginé d'utiliser son quotient en le combinant avec "m" dans un diagramme appelé climagramme. En fonction de la végétation et de la valeur de Q_2, et de m,EMBERGER et son école définirent et délimitèrent, pour l'ensemble de l'aire isoclimatique méditerranéenne, un certain nombre d'étages et sous-étages, et de variantes hivernales.

En Tunisie, GOUNOT (1959) et LE HOUEROU (1959) proposèrent la délimitation de ces zones bioclimatiques. La Tunisie présaharienne avec Q_2 compris entre 8 et 25 est, pour l'essentiel, dans l'étage aride inférieur, avec des tendances sahariennes (1) dans le Nefzaoua et le Djerid, et des tendances à l'aride supérieur sur certaines zones du littoral et sur les plus hauts sommets;suivant les situations, les variantes sont à hivers tempérés et doux.La figure I.6,représente la carte bioclimatique des zones arides et désertiques (*pro parte*) de LE HOUEROU (1970). Elle permet de situer la zone présaharienne tunisienne, qui concerne notre

(1) étage saharien = étage per aride



——————50—————— précipitations annuelles

.....3°..... moyenne des températures minimum du mois le plus froid

Etage bioclimatique

UA	aride supérieur
MA	aride moyen
LA	aride inférieur
UD	saharien supérieur
LD	saharien inférieur
ED	désert typique

CC	hiver froid	(m<0°C)
C	hiver frais	(0<m<3)
T	hiver tempéré	(3<m<5)
M	hiver doux	(5<m<7)
W	hiver chaud	(7<m)

Fig. I.6 - Carte bioclimatique des zones arides et désertiques d'Afrique du Nord (d'après LE HOUEROU, 1970).

TABLEAU I.10 Durée et origines des principaux cycles climatiques (d'après LANDSBERG, 1976)

	Durée	Origines connues ou probables
révolution climatique	plus de 1 million d'années	activité géotectonique (dérive des continents, orogénie, changement dans la répartition des terres et des eaux) ; variations possibles de l'émittance du soleil
changement climatique	10 000 à 1 million d'années	changements périodiques ou apériodiques des émissions solaires ; changements de l'insolation d'origine astronomique
fluctuation climatique	9 ans à 10 000 années	tout autre changement climatique naturel, avec des durées dépassant 10 ans : activité volcanique, rythme des taches solaires, cycle de déclinaison magnétique, courants lents et profonds des océans
itération climatique	moins de 9 ans	ce sont des variations climatiques naturelles très courtes ; par exemple, les cycles d'années sèches ou pluvieuses
altération climatique	de l'ordre de quelques années à quelques décennies	Origine anthropique ; les effets peuvent être localisés ou être très étendus : augmentation des concentrations de CO_2, ou augmentation de l'albedo par surpâturage, ou déforestation ; ou encore, modifications locales par irrigation, drainage, urbanisation, etc.

dition, par rapport à l'ensemble de la zone bioclimatique aride inférieure nord-africaine (LA sur la carte).

2.5. VARIABILITE INTERANNUELLE ET SPATIALE DE L'ARIDITE

Le tableau I.10, rappelle quelques définitions proposées par LANDSBERG (1976), pour caractériser à différentes échelles de temps et même de l'espace, les cycles et les variations climatiques du globe, ainsi que leurs origines connues ou supposées. Dans ce qui suit, la notion de variabilité n'est applicable qu'à l'échelle de quelques décennies (itération, altération et, peut-être, fluctuation).

La variabilité temporelle

Elle est l'une des caractéristiques essentielles des régions arides. A première vue, elle paraît principalement due à la circulation générale qui conditionne la distribution temporelle des pluies, puisqu'en général, la demande évaporative et le bilan énergétique à l'échelle d'une région subissent peu de changement, sauf modifications importantes de l'occupation des terres. On constate sur l'ensemble du globe (Nations Unies, 1977) que plus la variabilité interannuelle des hauteurs de pluies précipitées est élevée, plus les conditions d'aridité sont sévères. Ainsi, sur la totalité des régions sèches, le coefficient de variation est supérieur à 25 %, et il dépasse 40 % sur les marges des déserts. En Tunisie présaharienne, il est compris entre 40 et 80 % environ. Cette variabilité de l'aridité est donc liée aux itérations climatiques, dues aux cycles d'années sèches ou pluvieuses, au sens de LANDSBERG (1976).

A Gabès, entre 1971 et 1979, il a été calculé un maximum du Q_2 d'EMBERGER en 1975-1976, de 76,3 et en 1976-77 un minimum de 15,3 ; ces valeurs extrêmes sont uniquement dues aux précipitations, car en 1975-76, M et m étaient respectivement 30,9°C et 7,0°C pour 31,2°C et 6,9°C en 1976-1977. De même au km 52 (40 km de Gabès), et pour la même période, les valeurs extrêmes de Q_2 ont été de 37,9 et 10,1. Ainsi le bioclimat de la région que nous considérons appartenir en moyenne à l'étage méditerranéen aride inférieur, peut présenter pour certaines années sèches des tendances proches de l'étage saharien, et pour d'autres plus pluvieuses, les caractères des étages semi-aride et même sub-humide.

Variabilité spatiale

A côté de ces phénomènes jouant sur la variation interannuelle,

il existe une variation spatiale de l'aridité qui dans ces régions prend une importance considérable surtout si ses effets sont conjugués avec ceux de la variabilité temporelle. Elle est principalement liée à (a) la variabilité spatiale des précipitations, elle-même liée aux aléas de la circulation locale des perturbations sur une région, mais aussi aux modifications plus ou moins régulières de l'état de la surface de la terre qui entraînent des modifications importantes, (b) au bilan d'eau et (c) au bilan d'énergie. Ces deux dernières origines de la variabilité spatiale de l'aridité sont dues, pour une partie importante, à l'impact des activités humaines. On examinera plus loin les problèmes spécifiques au bilan d'eau. Signalons ici seulement que de nombreux auteurs OTTERMAN (1974), JACKSON et IDSO (1975), DAGET (1977 b), RAMBAL (1980), considèrent que dans certaines zones arides du globe, l'augmentation de l'albedo depuis quelques années, lié à une dégradation du couvert végétal, est un indice d'aggravation de l'aridité dans ces régions.

Il nous faut en outre noter ici qu'il peut y avoir confusion entre ces deux types de variabilité ; très souvent, une simple variation spatiale est perçue comme une variation temporelle lorsque l'on ne dispose pas d'un nombre suffisant de postes pluviométriques sur l'espace que l'on étudie.

Variation de l'aridité et intensité des pluies

C'est un aspect souvent peu évoqué de l'aridité ; plus une averse est violente, plus les risques de ruissellement sont importants, diminuant ainsi fortement l'efficacité des pluies dans la recharge des réserves en eau du sol.

Ainsi, selon les données de la station météorologique de la citerne Telmam,il y a peu de différence entre les valeurs du quotient pluviothermique d'EMBERGER pour deux années d'observation (cf. tableau I. 11). Par contre, le calcul de Q_2 à partir des pluies infiltrées, montre une variation importante, fonction de la violence des averses. Malheureusement, la plupart des stations climatiques de la Tunisie présaharienne ne disposent pas d'enregistrements pluviographiques permettant d'avoir des informations sur le régime des averses et leur période de retour (zones d'orage préférentielles, tornade, etc.).

3. ARIDITÉ ET RESSOURCES EN EAU

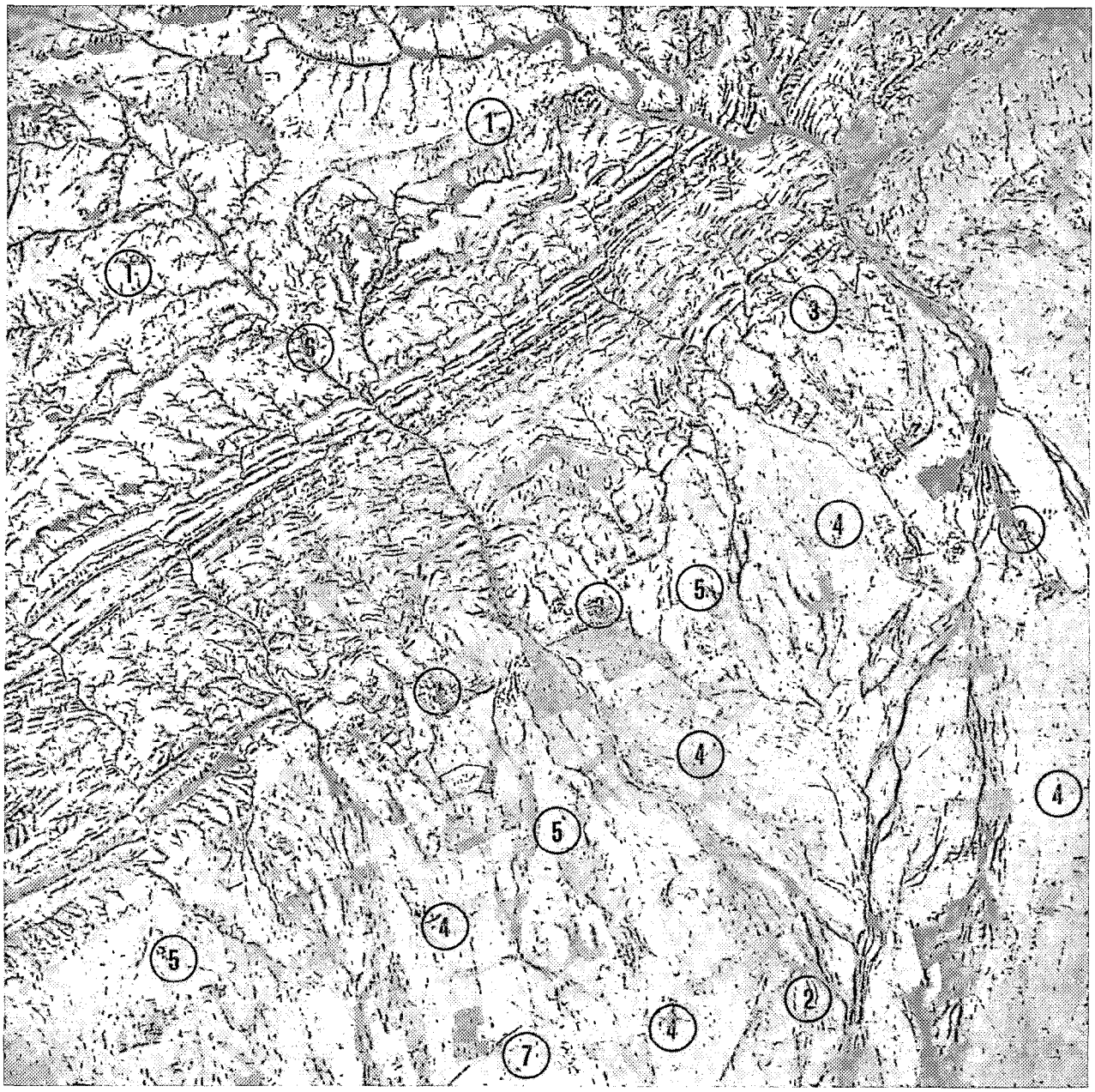
En Tunisie présaharienne, la moyenne annuelle des hauteurs de pluies précipitées se situe entre 100 et 200 mm, auxquels on doit pou - voir ajouter environ 15 à 25 mm de rosée pour les zones les plus favorisées du littoral (Djerba, Zarzis, Gabès) ; aussi, sur l'ensemble de la région, les habitants ont, depuis les temps historiques, fait appel aux ressources en eau autres que celles offertes par la pluie, pour lutter contre l'aridité climatique.

3.1. LA CAPTURE DES EAUX DE RUISSELLEMENT: MOYEN EFFICACE ET TRADITIONNEL DE PREVENTION CONTRE L'ARIDITE

Les aménagements hydrauliques et les citernes réalisés par les Romains en Tunisie présaharienne sont réputés. Aujourd'hui encore, les systèmes de *jessours*, *seguis*, épandages, etc., malgré une efficacité qui décroît en raison de leur détérioration, ont encore beaucoup de c crédit auprès des agriculteurs.

Très difficiles à maîtriser, en raison de leur caractère aléatoire, ces eaux représentent la partie la plus importante des appoints permettant de combler partiellement le déficit hydrique de nombreuses zones. On les utilise par des aménagements de petite hydraulique qui consistent, soit à retenir les eaux de ruissellement sur les pentes (citernes, *tabias*, *gessours*, etc.), soit à épandre les crues des oueds dans les plaines par des prises directes sur les oueds (*seguia*), soit à suivre la décrue des dépressions submergées épisodiquement (*garâas*), grâce à une agriculture en auréole.

Actuellement, ces systèmes sont encore très actifs dans les collines et vallées de la zone littorale, et en voie d'extension sur les



VUE AERIENNE MONTRANT L'UTILISATION TRADITIONNELLE DES SOLS DANS LA ZONE DU SEGUI DU TELMAM/DJ FATNASSA
(Basses Plaines Méridionales Orientales)

Cliché 069 CXXXVII/250 TUN 1963 - Echelle : 1/25 000

1 - Parcours en zone montagneuse. Bassins de réception des oueds du Dj. Fatnassa (SD_1 SD_2, AZ_2)
2 - Céréaliculture intensive dans les zones d'épandage des oueds *(zr)*
3 - Zone de piemont recevant l'eau des reliefs (vergers derrière tabias). Arboriculture et cultures vivières *(aa)*
4 - Zone intermédiaire du glacis d'accumulation limoneux (céréaliculture extensive et parcours *(aa)*
5 - Parcours sur les témoins du glacis d'érosion à encroûtement gypseux *(AZ_1)*
6 - Oued Zita
7 - Site de la citerne Telman.

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

TABLEAU I.11 : Caractéristiques bioclimatiques à la citerne Telmam pour deux années à pluviosité différente

	P totale (mm)	Pe efficace (infiltrée) (mm)	M °C	m °C	Q_2 calculé avec la pluie totale	Q_2 calculé avec la pluie infiltrée	Hauteurs des pluies précipitées à une intensité supérieure à 12 mm/h (mm)
1973-74	371	145	33,5	5,3	44,9	17,6	242
1975-76	356	304	33,7	4,8	42,1	36,0	31

bas-glacis des djebels. Ces concentrations d'eau permettent d'avoir sur des zones privilégiées (malheureusement très réduites en surface), des apports pouvant représenter parfois 0,25 à 3 fois les hauteurs de pluies précipitées dans l'année.

En outre, ces eaux de ruissellement sont de bonne qualité, résidu sec voisin de 1g/l, et apportent souvent des éléments fertilisants mêlés aux produits de l'érosion, tels que la matière organique (cf. tableau I. 12).

Actuellement l'utilisation de ce type de ressources en eau est inadaptée à une agriculture mécanisée, bien que les potentialités d'aménagement soient encore grandes. En effet, les habitants sont loin d'utiliser la totalité des eaux de ruissellement disponibles ; une grande partie est perdue en mer ou dans les dépressions salées lors des fortes crues, les capacités de stockage sont encore très faibles.

Par ailleurs, la construction de grandes retenues d'eau, sur les oueds principaux, semble peu probable dans les années à venir ; les cours d'eau de la Tunisie présaharienne présentent en effet sur les sites de barrages possibles, en fait peu nombreux, des vitesses d'écoulement (5 à 10 m/s) des débits maximum ($6 m^3 s^{-1} km^{-2}$ pour 100 km^2) et des charriages trop importants à la sortie des massifs montagneux (BOURGES, 1974 ; BOURGES et BOUZAIANE, 1974 ; BOURGES *et al.*, 1977).

Aussi, la tendance actuelle consiste à préconiser la limitation et la maîtrise du ruissellement primaire, par des aménagements à l'amont des bassins, ou sur les glacis. Par ailleurs, la maîtrise des eaux ruisselées pour limiter les écoulements vers la mer et les zones endoréiques, salées ou non, ne doit pas se faire au détriment des eaux des nappes souterraines. Celles-ci, qui vont être examinées dans le paragraphe suivant, sont les seules à permettre une alimentation en eau des populations et une agriculture à caractère régulier.

3.2. LES NAPPES SOUTERRAINES : MOYEN MOINS ALEATOIRE, MAIS PLUS FRAGILE DE PREVENTION ET DE LUTTE CONTRE L'ARIDITE

Pour l'agriculteur, l'exploitation tout au long de l'année, d'un réservoir d'eau souterraine à débit constant, est un moyen d'assurer la survie de son troupeau et d'avoir une production végétale plus régulière. Cependant, les diverses nappes souterraines sont surexploi-

TABLEAU I.12 : Nature et teneur en matière organique des sédiments transportés après l'érosion sur une terre limoneuse de *Segui* (d'après BOURGES *et al.* 1980)

Années		72-73	73-74	74-75	75-76	76-77		horizon moyen de surface du sol (0-10 cm)
						8.9.76	15.2.77	
GRANULOMETRIE	0-2 µ	39,0	24,0	35,0	33,0	43,0	42,0	25,0
	2-20 µ	35,5	33,0	43,0	43,0	32,0	35,0	19,0
	20-50 µ	13,0	15,0	12,0	13,0	11,0	11,0	23,0
	50-200 µ	9,0	22,0	9,0	10,0	11,0	9,0	30,0
	200-2000 µ	1,0	2,0	1,0	1,0	3,0	5,0	3,0
	Refus à 2000 µ	0	1,0	0	0	0	0	0,2
matière org. %		1,7	1,8	1,8	1,6	1,7	1,8	0,4
Ca CO_3 %		18,0	18,0	19,0	17,0	19,0	19,0	19,0
Ca SO_4 $2H_2O$ %		1,0	0,9	1,0	1,0	traces	traces	1,2
pH		7,7	7,7	8,0	7,8	8,1	8,0	8,1
Conductivité mmhos/cm		3,0	2,8	2,8	3,1	2,7	2,2	2,9

tées et devenues sensibles. L'exploitation dépasse la recharge et partout elles sont menacées par l'augmentation de leur salinité et par une baisse des débits.

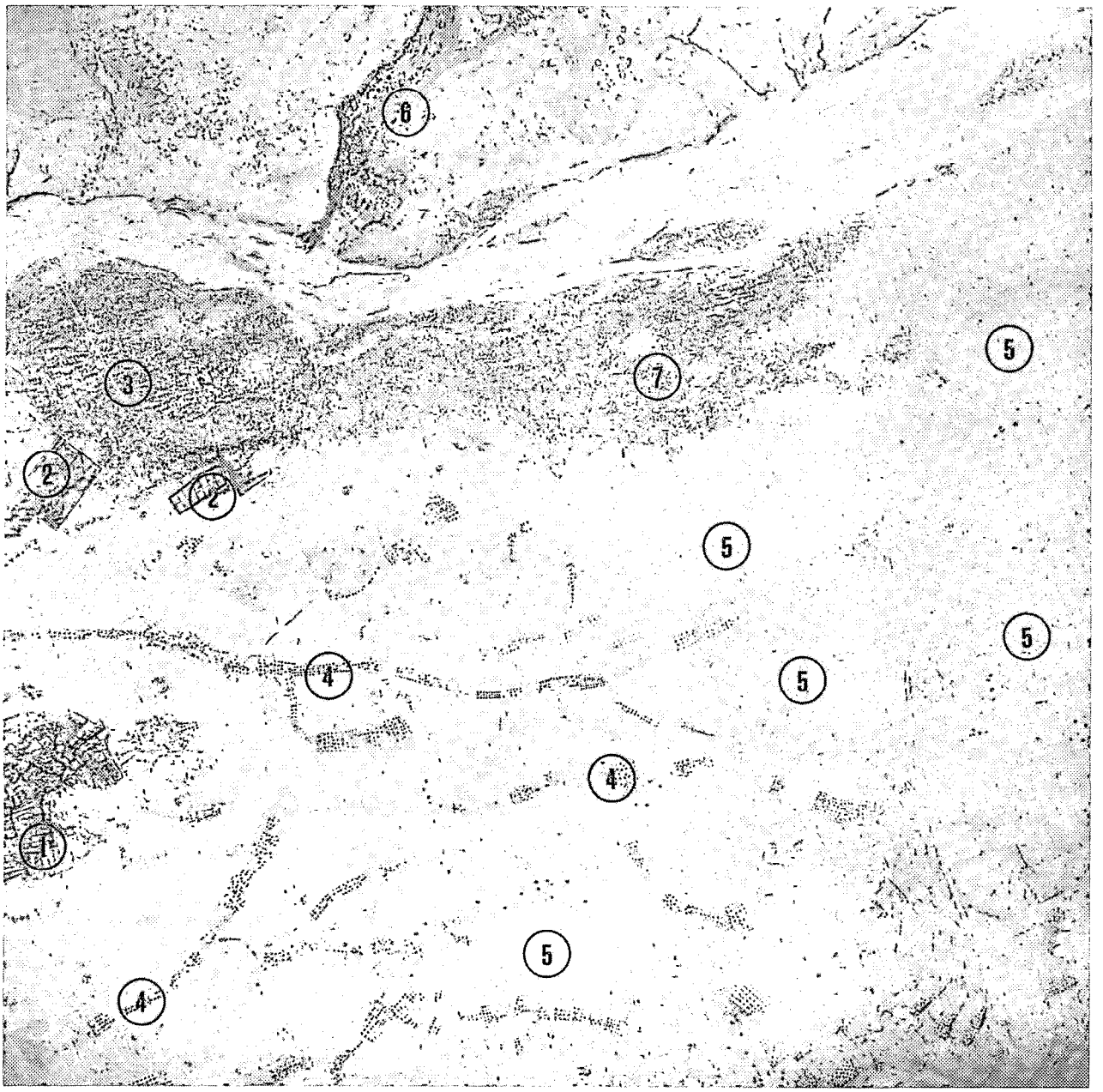
3.2.1. Les nappes phréatiques

Situées à quelques mètres ou quelques dizaines de mètres de profondeur, elles sont en général depuis très longtemps exploitées, à partir de puits de surface, par les populations de la Tunisie présaharienne ; certaines sont bien connues (Djerba, Zarzis, Rhenouch, Gabès, Mareth, etc.). Elles sont de qualité médiocre (résidu sec compris entre 3 et 6 g/l) à l'exception des inféroflux de certains oueds (le résidu sec est compris entre 1 et 3 g/l). Ces nappes, non artésiennes, exploitées traditionnellement pendant longtemps, ont vu leur niveau baisser et leur salure augmenter dangereusement au cours de ces dernières années avec l'introduction des motopompes. Ainsi, à Djerba, entre 1955 et 1972, on a vu l'abandon de 350 puits (servant à l'irrigation des jardins) sur les 1 000 existants, une augmentation moyenne du résidu sec de 2 g/l, (contamination par l'eau de mer), un abaissement du niveau moyen de la nappe de 3 m et une baisse de 30 % du débit.

Cependant, il existe encore de nombreuses zones, où ces nappes ne sont pas utilisées ou sont sous-utilisées et où les possibilités d'aménagement sont importantes. Dans les zones de *garâa* et à la suite d'une année très pluvieuse, leur exploitation peut atténuer l'aridité et la disette, due à 2 années sèches consécutives (cf. § IV.2). Certaines de ces nappes sont en relation directe avec les inféroflux des oueds (O. Metameur, O. Tatahouine, O. Beni Zeltene, etc.). Enfin, d'autres sont les exutoires naturels des nappes captives plus profondes (Rhenouch, Teboulbou). Dans l'ensemble, sensibles aux aléas de la pluviosité, ces nappes permettent, à défaut d'une agriculture à irrigation régulière, des arrosages d'appoints, et surtout l'abreuvement des troupeaux.

3.2.2. Les nappes profondes

L'ensemble de la Tunisie présaharienne se trouve bien pourvu en eaux souterraines profondes. Elles sont exploitées depuis longtemps, puisque autour des sources artésiennes du Nefzaoua, le long de celles de l'oued Gabès, etc., les industries néolithiques abondent. Plus près de nous, dans la presqu'île de Kébili, dans la région de Kriz-Deggache



VUE AERIENNE MONTRANT L'OCCUPATION DES TERRES DANS LA REGION DE KETTANA (Djeffara)

Cliché 008 CLVII/250 TUN 1963. Echelle 1/25 000

1 - Palmeraie traditionnelle (source aménagée)
2 - Périmètre irrigué de création récente 1955 (forage artésien)
3 - Zone de protection (reboisement et mise en défens) *(AR_2)*
4 - Zone d'arboriculture et céréaliculture, culture intensive dans les fonds alluviaux *(zr)*
5 - Zone de parcours et céréaliculture extensive sur les collines et plateaux gypseux à faible recouvrement sableux *(AZ_2, LK_3; rk_2)*
6 - Zone alluviale peu défrichée (Nebkas à jujubier) *(ZR)*
7 - Zone de parcours sur dunes fixées par *Aristida pungens* *(AR_2)*

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

(Djerid), le captage de ces eaux a été réalisé par les Romains au moyen du sytème connu sous le nom de "foggara" ; de même, ceux-ci ont conçu une partie du système d'irrigation actuel de l'oasis de Gabès.

Artésiennes, ou pompées, toutes sont actuellement exploitées de plus en plus à partir de forages. Si l'inventaire des nappes profondes de la région des Basses Plaines est peu avancé, celui du reste du Sud tunisien est achevé (Unesco, 1972).

La nappe de Sfax, de qualité médiocre, est exploitée actuellement au Nord-Est de la Tunisie présaharienne pour un débit d'environ 500 l/s ; les nappes de Gafsa et d'El Guettar donnent ensemble 780 l/s. C'est sur les bordures des chotts Djerid et Rharsa, et en Djeffarra, que les possibilités d'exploitation des nappes profondes sont réelles et importantes.

Les trois principales, dont les qualités chimiques apparaissent au tableau I.13 sont :

- la nappe du complexe terminal, largement exploitée au Djerid et au Nefzaoua ;
- la nappe du continental intercalaire, présente, mais plus profonde et encore inexploitée au Djerid et au Nefzaoua, mais utilisée dans la région du Chott Fedjej ;
- les nappes du complexe terminal de la Djeffara qui alimentent toute la bande côtière.

La situation actuelle est caractérisée par un tarissement progressif du débit des sources naturelles (58 % en Djeffara et 42 % dans le Nefzaoua-Djerid depuis le début du siècle), par un abaissement de l'artésianisme et par un accroissement de la salinité des eaux, surtout en Djeffara où le résidu sec peut atteindre 5 à 7 g/l dans les régions de Zarzis et de Ben Gardane. Le débit maximum fictif que l'on puisse espérer exploiter est seulement de 18.500 l/s. Pour l'ensemble des trois aquifères majeurs, les débits exploités en 1973 étaient de 8.100 l/s pour les usages agricoles, pour 9.000 l/s de débits équipés. Donc on peut actuellement penser à doubler les débits d'exploitations, mais les coûts (pompage) risquent d'augmenter, et la qualité des eaux diminuer. Le rythme moyen annuel du développement de l'exploitation des ressources en eau du complexe terminal et de la Djeffara, entre 1945-1970, n'a été que de 120 l/s ; il semble qu'il se soit accéléré depuis 1970.

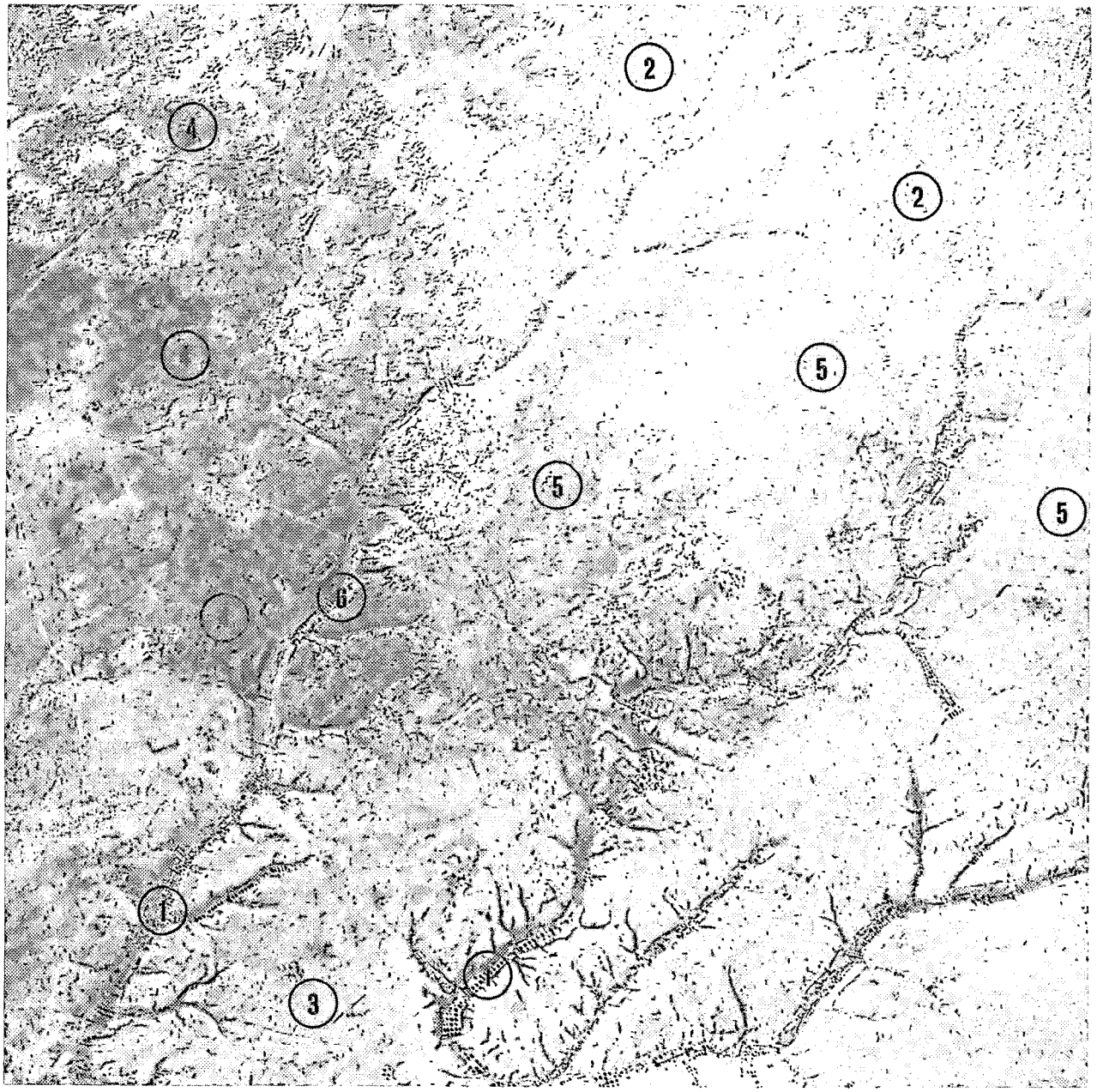
TABLEAU I.13 Qualité chimique des nappes profondes de la Tunisie présaharienne (d'après Unesco, 1972)

Régions	Résidu sec en mg/l			S.A.R.		
Complexe terminal	Minimum	Maximum	Moyen	Mini.	Maxi.	Moyen
Djerid	1 500	8 000	3 500	3	11	6
Nefzaoua	1 100	3 600	1 500	3	6	4
Gabès Nord	2 900	8 600	3 800	4	15	7
Gabès Sud	2 300	9 000	2 600	4	14	5
Djerba-Zarzis	4 800	7 400	6 000	8	26	20
Continental intercalaire Nefzaoua, Fedjej.	1 300	9 000	2 5000	4	7	5

3.3. PERSPECTIVES

Concernant l'ensemble des ressources en eaux, la Djeffara est la région la mieux pourvue grâce (a) à un aménagement de petite hydraulique agricole et domestique important, (b) à la présence et l'exploitation des nappes phréatiques et des inféroflux bien développées, (c) à une vaste zone importante d'artésianisme ayant permis l'installation de forages sans pompage, (d) et à une pluviosité et à une humidité supérieure à l'ensemble de la Tunisie présaharienne. Certaines régions, à la limite de l'étage saharien, telles que le Nefzaoua et le Djerid ont leur aridité atténuée par un artésianisme, se manifestant par des sources (on dénombrait 350 sources au Nefzaoua sur 80 000 ha au début du siècle), ayant favorisé par la suite la création de périmètres irrigués à partir de forages. En revanche, les "Basses Plaines Méridionales" ne peuvent compter que sur la maîtrise des eaux de ruissellement relativement importantes dans la zone des *seguis* et sur les piemonts.

Les agriculteurs de la Tunisie présaharienne auront en outre à faire face à un grave danger : dans la prochaine décennie, une partie de plus en plus importante de leurs ressources en eaux souterraines sera réservée à l'alimentation en eau des villes et des secteurs industriels et touristiques. Il devient donc urgent pour eux de trouver des solutions leur permettant d'intensifier, et de valoriser au mieux les ressources en eaux ayant pour origine les précipitations et le ruissellement et, surtout, d'améliorer l'efficacité de l'eau grâce à des techniques de pointe. En outre, avec l'augmentation du coût de l'énergie, les habitants du Sud ont vu s'envoler l'espoir de dessaler l'eau de mer, entrevu quelque 15 ans plus tôt.



VUE AERIENNE MONTRANT L'OCCUPATION DES TERRES DANS LA ZONE DE BIR LAHMAR (Djeffara)

Cliché TU 374/250 1974 . Echelle 1/25 000

1 - Chenaux d'alluvionnement aménagés (arboriculture et céréaliculture) *(sr)*
2 - Zone de parcours sur dunes peu fixées *(AR_1)*
3 - Zone de céréalicutlure extensive et parcours sur croûte calcaire à faible recouvrement sableux *(rk_1, RK_1, RK_2)*
4 - Zone de parcours sur sable fixé *(RK_3)*
5 - Zone de parcours sur croûte calcaire, à très faible recouvrement sableux *(GD_1, RK_1)*
6 - Ruines romaines

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

4. ARIDITÉ ET UTILISATION DES TERRES EN TUNISIE PRÉSAHARIENNE

La population humaine des zones arides et désertiques de Tunisie est estimée à plus de 2 800 000 habitants dont 2 200 000 ruraux (Recensement de 1975).La densité de la zone désertique est faible. Celle de l'ensemble de la zone aride est estimée à 31,8 hab/km^2 ; celle de la zone présaharienne à répartition irrégulière, est certainement plus faible, mais reste encore considérable en Djefarra. Cette population est en augmentation rapide. Son taux d'accroissement a été de 2,32 pour cent entre 1966 et 1975. Elle se divise en trois catégories principales en fonction de l'utilisation des terres : les pasteurs nomades, les cultivateurs, les gens des oasis. Ce clivage est beaucoup moins net que par le passé, car on note une forte tendance à la sédentarisation des pasteurs.

4.1. L'ELEVAGE TRANSHUMANT : MODE TRADITIONNEL DE LUTTE CONTRE L'ARIDITE ; SES DIFFICULTES FACE A LA SEDENTARISATION

L'élevage est pratiqué sur un mode extensif par les pasteurs depuis très longtemps. Les moutons, les chèvres et les chameaux, capables de valoriser la production végétale des terrains de parcours, sont tributaires à 95 % pour leur nourriture, en année à pluviosité moyenne, de cette végétation naturelle ; le reste leur étant distribué sous forme d'orge ou de déchets de culture. En année sèche, ces proportions sont très différentes. Pour conserver son cheptel, l'éleveur est obligé d'envoyer son troupeau dans des zones où la pluviosité a été favorable, et d'augmenter la supplémentation de la ration ; très souvent il vend une partie de ses animaux. Les effectifs des troupeaux sont fonction de l'état du parcours (de 1 à 0,1 tête ha/an), et donc des variations climatiques (précipitations essentiellement). En effet,l'irrégularité interan-

nuelle des précipitations a pour conséquence un développement fort variable de la végétation. Une suite d'années pluvieuses entraîne une augmentation spectaculaire du nombre d'animaux ; en revanche, une seule année sèche peut provoquer des hécatombes.

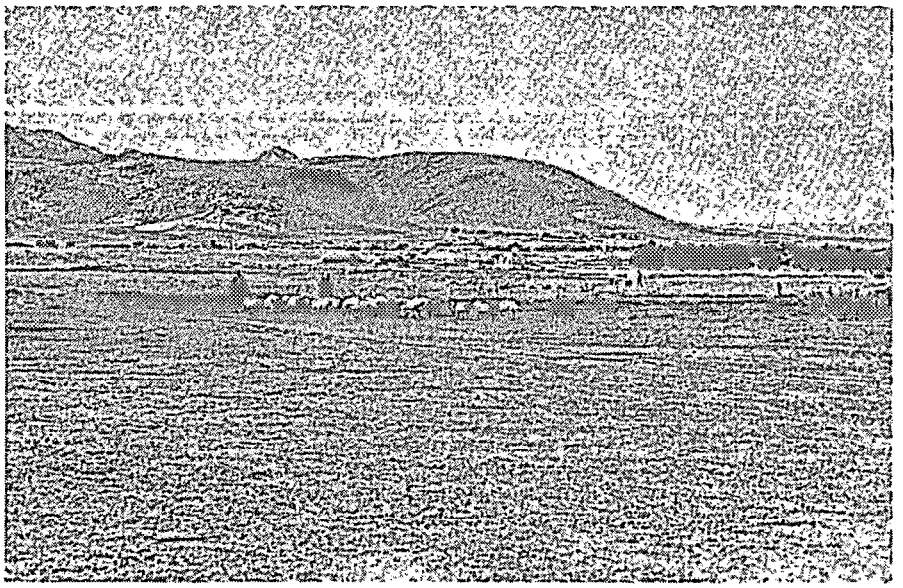
Les terres à pâturage occupent encore une place prédominante en Tunisie présaharienne, où la faible pluviosité ne permet pas une extension des cultures et des plantations en sec productives, en dehors de quelques zones mieux alimentées en eau, du fait de leur situation topographique. Le pâturage s'effectue essentiellement sur des formations ligneuses basses ou des formations herbacées pérennes. Cependant, des variations saisonnières existent, liées à la présence ou à l'absence d'une strate herbacée annuelle.

Divers facteurs (histoire de l'appropriation des terres, pratiques sociales, conditions écologiques, composition de la flore), déterminent des variations parfois importantes dans le type d'utilisation des steppes (pâturage ou cueillette du bois et des plantes à fibres pouvant être prédominant), dans le mode de conduite des troupeaux et dans le type d'animal élevé.

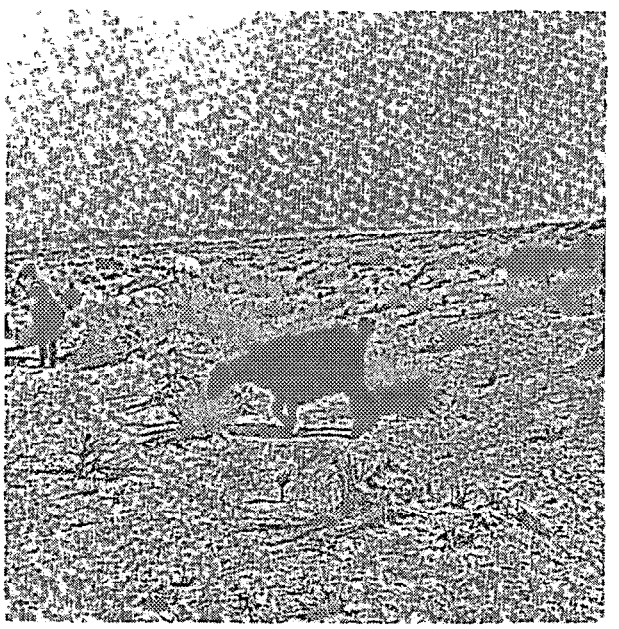
Les ovins prédominent presque partout; mais là où les conditions sont plus arides ou difficiles sur le plan topographique, les caprins sont plus nombreux, et dans les conditions de forte salinité ou de grande aridité, les camelins seuls peuvent subsister.

Les pasteurs prélèvent également sur les steppes les matériaux servant à un petit artisanat rural familial et le bois utilisé pour les divers usages domestiques (cuisson des aliments, chauffage, construction des abris et des enclos).

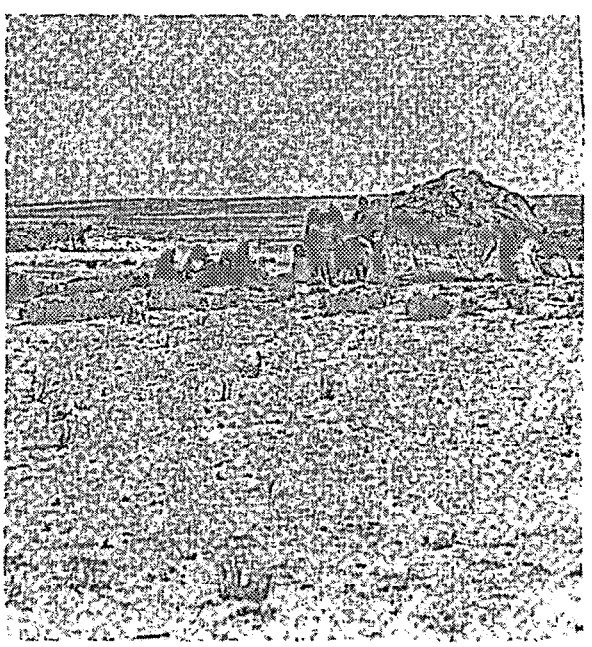
Depuis le début du siècle, on assiste à une rapide transformation du paysage dans le Sud tunisien, principalement en raison de la sédentarisation des populations qui, autrefois nomades, se regroupent dans des villages offrant écoles, dispensaires, etc. ou encore se fixent sur le piedmont des montagnes pour bénificier des eaux de ruissellement, ou à proximité des zones de dépression pour les cultures de décrue. D'une façon générale, là ou la sédentarisation est complète, la conduite des troupeaux ne se fait plus que rarement selon la technique du seminomadisme pratiquée autrefois, et qui permettait plus facilement de s'adapter à la variabilité spatiale et temporelle des pluies et des res-



Sédentarisation et exploitation agricoles au pied des *djebels*



Parcours éloignés des habitations dans la plaine sableuse



Sédentarisation récente au centre de la plaine sableuse

HABITAT ET UTILISATION DU SOL

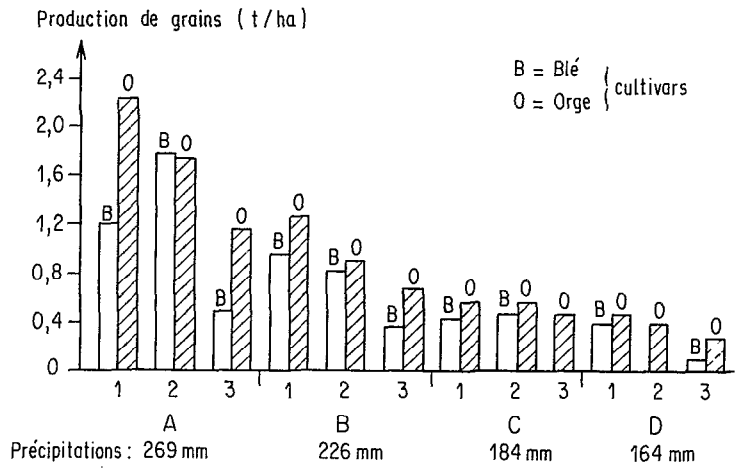
sources pastorales. La limite inférieure de cette zone correspond sensiblement à l'isohyète 100 mm. Les obligations de travail liées à la possession d'une plantation oléicole ou d'une parcelle de culture vivrière ne permettent pas de conduire le troupeau loin du lieu de sédentarisation, sauf dans certains cas de disette grave localisée où l'on reconstitue de grands troupeaux sous la conduite de bergers salariés. Le transport des animaux en camions vers des zones plus pluvieuses, pendant une période de l'année, est une forme moderne de transhumance qui se pratique aussi. L'évolution de cette sédentarisation, donc de l'appropriation des terres, est à peine ralentie par les difficultés nées de la structure foncière, le parcours étant traditionnellement pratiqué sur des terres collectives. Les petits troupeaux familiaux parcourent donc le plus souvent maintenant, une végétation de plus en plus dégradée située à proximité des habitations.

Dans les zones trop arides pour assurer, dans les conditions actuelles, la pérennité d'établissements humains (en général au-dessous de l'isohyète 100 mm et dans les grandes zones salées littorales ou continentales), il subsiste un rythme saisonnier d'utilisation des terres à pâturage : les troupeaux de camélidés sont toujours localisés dans ces zones. Le pâturage des dromadaires du Sud tunisien a pu se maintenir sur les bases suivantes : dès la fin du printemps, et sensiblement jusqu'au milieu de l'hiver suivant, les troupeaux parcourent les grandes steppes littorales ou continentales où dominent les halophytes, s'abreuvant dans les aquifères d'oueds, les sources ou les puits artésiens. Du milieu de l'hiver à la fin du printemps, soit durant trois à quatre mois, ils se regroupent sur les regs et hammadas du grand Sud, profitant d'une maigre végétation annuelle printanière suffisamment riche en eau pour leur permettre de ne pas s'abreuver durant ce séjour. Certaines de ces zones très arides servent également de pâturage complémentaire de printemps pour les troupeaux ovins et caprins. Il s'agit essentiellement des Dahars, utilisés soit par les troupeaux descendant du Djebel Matmata, soit par ceux de la zone de Douz. Dans ce cas, de nombreuses citernes en béton permettent d'abreuver les animaux pendant leur séjour. C'est le cas également des parcours du Nefzaoua, Djerid, Rherib, du Djebel, de l'Ouara, donc de toutes les zones où la rareté des implantations humaines oblige à un parcours saisonnier fortement lié au régime des pluies.

4.2. L'ARIDOCULTURE

4.2.1. La *céréaliculture* se pratiquait, depuis fort longtemps, dans des zones favorisées par des apports d'eau de ruissellement, peu étendues et localisées dans les *seguis*, les *garaet*, les *talwegs* et les *jessours*. Cette localisation des cultures était optimale pour la zone aride. Il est cependant certain qu'une mécanisation en extrême extension favorise la céréaliculture sur des milieux très sensibles à ces façons culturales répétées. Le phénomène est déjà visible sur les steppes des zones sableuses qui sont particulièrement sensibles à l'érosion éolienne. Celle-ci réduit progressivement l'épaisseur des horizons sableux superficiels et provoque la formation de dunes (cf. chap. II.1 et IV. 1). L'érosion éolienne s'ajoutant à l'érosion hydrique conduit à une diminution globale de la capacité qu'ont ces sols à stocker l'eau de pluie qui ruisselle sur les terres ainsi dénudées, ce qui contribue à grossir épisodiquement les oueds et à remplir les dépressions, voire à provoquer des inondations localisées catastrophiques. Simultanément, la pression des animaux domestiques s'accentue sur les steppes à sols superficiels qui sont peu aptes à la mise en culture, soit à cause de la présence des croûtes calcaires ou gypseuses, soit pour des raisons orotopographiques (montagnes calcaires). Le couvert végétal y régresse et, dans une première phase, les bonnes espèces ligneuses (chaméphytes, nanophanérophytes) sont arrachées pour les besoins en bois de chauffage ou de cuisson des aliments des populations. Il y a donc une diminution globale de la superficie des steppes pastorales en "bon état", au bénéfice de leurs stades de dégradation dont certains ont atteint des seuils à partir desquels il est difficile d'imaginer une possibilité de reconstitution du couvert végétal. La gestion des ressources naturelles est alors déséquilibrée : le prélèvement annuel dépasse la capacité de renouvellement (cf. chap. IV.1).

Le choix des espèces céréalières est également guidé par les conditions d'aridité. Le blé dur, dans les zones bien arrosées, est préféré aux autres céréales ; dans la zone moins favorable qui nous concerne, on utilise beaucoup l'orge qui plus précoce est mieux adaptée, comme le montre GIBBON (1981) à propos d'une étude sur les systèmes à agriculture pluviale dans la région méditerranéenne (cf. fig. I.7). Cette précocité est aussi un atout pour l'extension de la céréaliculture même



Type de sol : 1 – épaisseur supérieure à 100 cm , texture équilibrée
2 – épaisseur comprise entre 60 et 100 cm , texture légère
3 – épaisseur comprise entre 20 et 60 cm , texture caillouteuse

Fig. I.7 – Production de blé et d'orge suivant le type de sol et la pluviosité en zone méditerranéenne aride (année 1978-1979).(ICARDA d'après GIBBON, 1981).

dans les zones littorales peu salées. Le semis (30 kg/ha) s'effectue généralement en automne, immédiatement avant le labour. Les emblavures en dehors des zones les plus propices sont donc liées à l'existence des pluies d'automne qui y déterminent le caractère épisodique de la céréaliculture et de ses rendements. La production de grain est très inégale et peut varier, selon l'année, la région et les possibilités d'utiliser des eaux de ruissellement; elle se situe entre 0 et 15 qx/ha/an

4.2.2. *L'olivier* occupe maintenant la majeure partie des sols légers et profonds, au régime hydrique favorable (bonne infiltration des pluies, mulch sableux limitant l'évaporation) de la plaine de Sfax dans l'étage aride supérieur. Les plantations s'y sont développées déjà avant le début du siècle. L'olivier produit jusqu'aux isohyètes 100-120 mm environ grâce aux aménagements hydrauliques et avec un fort espacement des arbres (> 20m) ; à cette limite, sa culture est peu rémunératrice, et il faut de nombreuses façons culturales pour atténuer, par diminution de l'évaporation et élimination de la concurrence des espèces végétales spontanées (*Cynodon dactylon* surtout), le grave déficit en eau. Ce travail du sol et la pratique de ce type de culture en sec

sur des sols légers peuvent engendrer une forte érosion éolienne des horizons superficiels, d'où l'apparition de champs de dunes.

Si l'olivier est l'arbre le plus répandu, on rencontre cependant d'autres espèces ayant sensiblement la même répartition, telles que l'amandier, l'abricotier et, plus rarement, le pistachier. A la limite des bioclimats saharien et aride inférieur, ces espèces cèdent progressivement la place au figuier et au palmier derrière *jessours*.

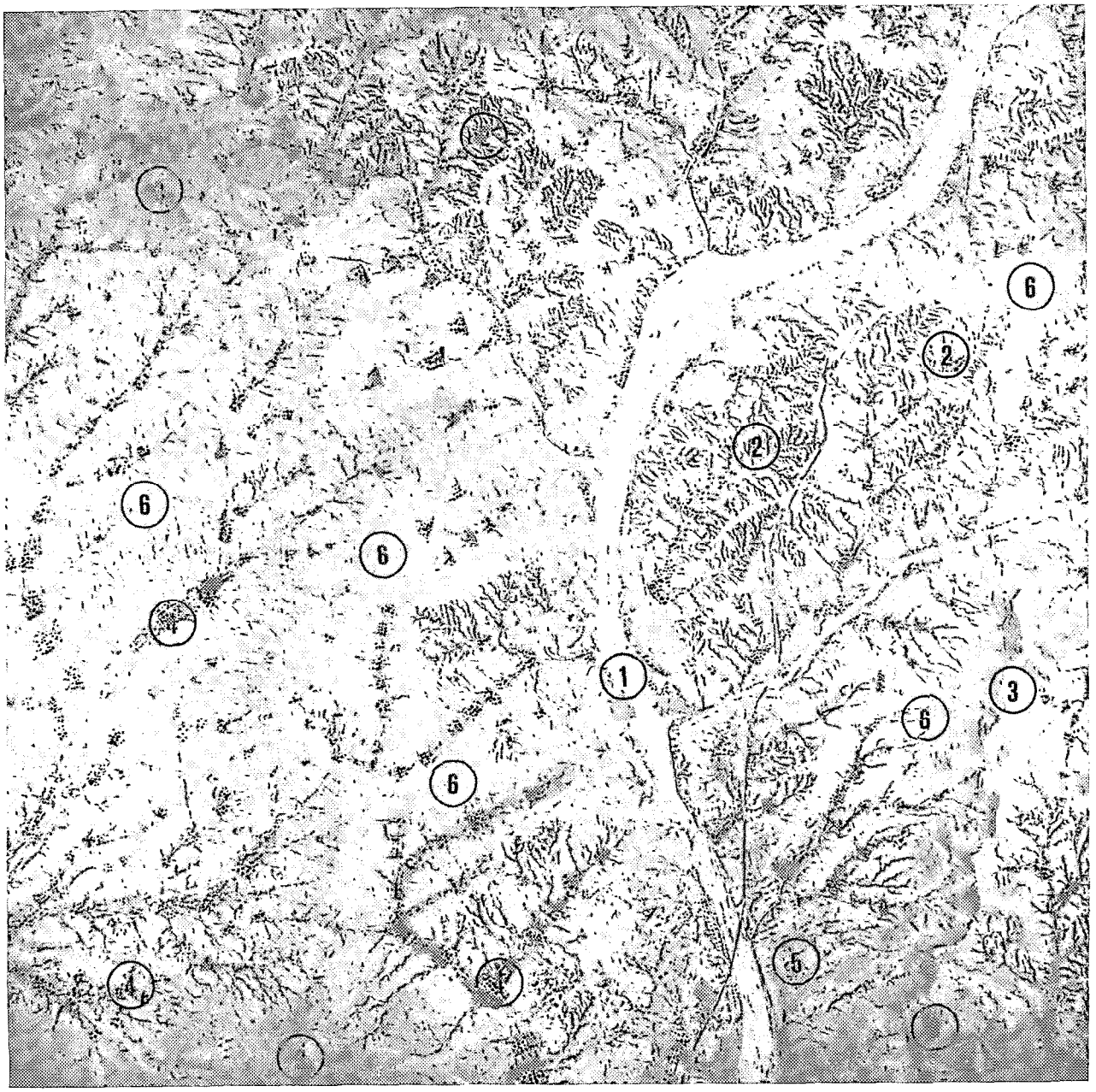
Les habitants ont développé localement, et surtout au-dessous de l'isohyète 150 mm, une petite hydraulique de surface qui permet de conserver et de concentrer les eaux et de limiter l'érosion. On trouvera donc une concentration de polyculture surtout familiale derrière ces ouvrages (levées de terre, barrages en pierres sèches, *jessours*, etc.).

4.3. L'IRRIGATION

Le développement des *périmètres irrigués* et des oasis est évidemment une des meilleures façons de corriger les excès de l'aridité climatique. Toutes les conditions y sont en principe réunies pour obtenir une production importante (rayonnement, eau, chaleur, fumure traditionnelle du sol). Il existe dans les oasis trois "strates chlorophyliennes"; la plus haute est celle des palmiers dattiers qui domine une strate intermédiaire composée de fruitiers (grenadiers, oliviers, figuiers,...) et la plus basse est constituée soit de cultures légumières, soit de fourrages pour la complémentation de la ration des animaux de la steppe. Les nouveaux périmètres irrigués sont équipés, avant leur mise en fonctionnement, d'un réseau de brise-vent constitué d'arbres à croissance rapide (Eucalyptus, Acacias) pour diminuer les effets des vents desséchants et de l'érosion éolienne.

La production végétale peut, grâce à l'irrigation, atteindre 10 à 25 fois celle de la végétation spontanée suivant les situations. Ainsi, la production des cultures de luzerne (*Medicago sativa*, cultivar Gabès) est, en système traditionnel d'oasis ancienne, de 4 à 8 tonnes de matière sèche/ha/an, de 12 à 15 tonnes dans les périmètres modernes de création récente; nous avons même pu obtenir en parcelle expérimentale (EL AMAMI *et al.*, 1975) jusqu'à 25 tonnes MS/ha/an, avec 8 à 10 coupes dans l'année (cf. § III 3.8.3).

Actuellement, sur l'ensemble du territoire de la Tunisie pré-



VUE AERIENNE MONTRANT L'OCCUPATION DES TERRES DANS LA ZONE A LIMONS A NODULES CALCAIRES DES MONTS MATMATAS

Cliché 091 CLVII/250 TUN. 1963 - Echelle : 1/25 000

1 - Oued Djir
2 - Zone de parcours sur limons à nodules calcaires très ravinés par l'érosion *(AA_1, AA_2)*
3 - Zone de parcours sur reliefs calcaires du cretacé *(SD_1)*
4 - Arboriculture et céréaliculture dans les fonds alluviaux aménagés en gessours *(zr, aa)*
5 - Céréaliculture épisodique et parcours dans le lit majeur de l'Oued Djir *(rk_2)*
6 - Zone de parcours sur les glacis de raccordement encroutés façonnés dans les limons. *(GD_1, AA_1)*.

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

saharienne, 17 000 ha de périmètres irrigués ou oasis sont recensés. Une grande partie de ceux-ci sont actuellement en voie d'abandon, principalement pour les raisons suivantes : (a) manque de main-d'oeuvre, (b) inadaptation des structures foncières et du parcellaire à une agriculture moderne mécanisée, (c) coût à la production trop élevé, prix de vente des produits agricoles trop bas, et enfin (d) manque d'eau à la parcelle.

4.4. LES MODIFICATIONS ACTUELLES DES MODES DE VIE

L'utilisation des terres de cette région, que nous venons de résumer rapidement, montre bien comment l'homme a essayé de s'adapter aux conditions arides, traditionnellement par un nomadisme de type pastoral, soutenu par la production régulière des oasis, puis depuis le début du siècle, par le développement d'une petite hydraulique de surface (connue depuis longtemps) permettant la concentration des eaux de surface pour la culture. L'augmentation rapide de la population et un désir de sédentarisation viennent contrarier ce schéma d'utilisation des ressources. Des modifications rapides se produisent actuellement affectant à la fois, les modes de vie des populations et le milieu naturel. D'éleveurs nomades à semi-nomades, les populations rurales tendent à devenir céréaliculteurs sédentaires, ce qui les oblige à opter pour une économie de marché le plus souvent incompatible avec une autonomie alimentaire. Un des moyens actuels de lutte contre l'aridité consiste à recourir à l'émigration, temporaire ou définitive, d'un ou de plusieurs membres de la famille, vers les nouveaux centres industriels ou touristiques, ou à l'étranger. L'élevage sur les terres à pâturage apparaît de moins en moins aux populations comme une ressource rémunératrice de leur patrimoine foncier, compte tenu du prix des denrées agricoles (cf. Conclusions générales). Plusieurs éléments les incitent à cette évolution dont il est difficile de contester certains avantages à court terme. La dégradation perceptible de ce patrimoine devrait inciter à des choix différents pour le long terme. Notre étude a pour objet de participer à l'identification de ces nouvelles orientations, grâce à une meilleure connaissance des types de milieux, de leur production et de leur dynamique.

SECTION II

LES SOLS DE LA TUNISIE PRÉSAHARIENNE

Suivant le type de milieu édaphique et son utilisation par l'homme, l'aridité d'origine climatique peut être, soit atténuée, soit au contraire accentuée en fonction de la redistribution, provoquée ou non, de l'eau des précipitations. Le sol joue donc un rôle d'autant plus déterminant que l'eau est rare. NOY MEIR (1973) souligne que les variations du régime hydrique des sols sont le principal facteur limitant de la production de l'écosystème aride et que "*le sol agit comme (i) un réservoir temporaire de l'eau infiltrée... (ii) comme un régulateur contrôlant la répartition des différents flux d'eau : ruissellement, drainage, évaporation et transpiration...*".

Concernant les variations des régimes hydriques des sols, il y a, naturellement, celles qui sont liées au régime des précipitations (cf. II.2.1); ce sont évidemment les plus contraignantes pour le végétal : elles sont le plus souvent annuelles. En revanche, certaines variations du régime hydrique sont moins apparentes et sont, elles, essentiellement liées à l'utilisation des ressources en sols et en eau par l'homme. Comme nous l'avons déjà signalé, une partie de la population avait développé depuis très longtemps, sur des sols appropriés, une agriculture basée sur la collecte de l'eau et l'irrigation, l'autre partie, nomade, vivait essentiellement de l'élevage et accessoirement d'une agriculture itinérante en parcourant la steppe à la recherche des zones où il avait plu suffisamment ; ces deux modes de vie étaient complémentaires et correspondaient à une adaptation à l'aridité du milieu. Actuellement, ce précaire équilibre est rompu et on assiste depuis le début du XXème siècle à de profonds bouleversements dans les modes de vie, l'occupation des terres et les activités agricoles. C'est maintenant dans les zones où il n'existe pratiquement aucune possibilité d'eau supplémentaire par ruisellement que se trouve refoulée une céréaliculture

pratiquée de manière peu organisé et à caractère très aléatoire ; ces pratiques déjà décrites (FLORET *et al.*, 1975, 1976, 1978) sont une des causes principales de la désertisation de ces régions, concrétisée par la disparition du couvert végétal pérenne, la mise à nu des substrats géologiques, l'extension des phénomènes d'ensablement, la diminution de l'efficacité de l'eau à l'interface atmosphère-plante-sol.

Notre propos ne sera pas de réaliser ici une monographie exhaustive des sols de la zone aride de Tunisie, mais de dégager, grâce aux nombreuses études pédologiques et expérimentations entreprises, certains caractères et traits importants de leur comportement vis-vis de l'eau et de leur utilisation par l'homme. Il sera en outre fait brièvement allusion aux principales relations existant entre la végétation spontanée et le sol, étudiées par ailleurs (FLORET et PONTANIER, 1978 et 1980) et développées dans la Section III. Nous n'avons considéré ici que la composante édaphique du système écologique.

Dans une première partie de cette Section II, les sols seront situés rapidement dans leur contexte régional ; certains aspects dynamiques de la couverture pédologique actuelle seront aussi étudiées ; dans la deuxième partie, l'étude des problèmes de l'eau et du sol en zone aride sera abordée au travers des expérimentations et mesures entreprises dans les régions de Zougrata, du Telmam, du Dj. Dissa, en Djeffara, etc. ; enfin, nous essaierons d'examiner quel peut être l'apport de l'inventaire des ressources en sols dans la lutte contre l'aridité, la gestion de l'espace rural et l'aménagement rural sur les bases écologiques.

1. LA COUVERTURE PÉDOLOGIQUE

1.1. PAYSAGES ET SOLS

1.1.1. Le matériau originel

Malgré l'importance des matériaux allochtones souvent remaniés, la lithologie reste un des facteurs les plus importants de la différenciation et de la localisation des sols dans les régions arides.

En Tunisie présaharienne, le matériel rocheux est caractérisé par la grande puissance des couches sédimentaires du Secondaire et du Tertiaire affleurant sur de larges surfaces (CASTANY *et al.* 1952,1961, BUSSON 1967).

- *le Trias*, calcaire et gréseux, est bien représenté dans la région de Médenine, Tatahouine, Sidi Toui, Kirchaou et Ksar Morra ;
- *le Jurassique*, calcaire, marno-calcaire et marneux, affleure sur les piémonts orientaux des Dahars entre Médenine et Dehibat ;
- *le Crétacé*, étage bien représenté en Tunisie présaharienne se divise en :
  - *Crétacé inférieur*, caractérisé essentiellement par les faciès du "continental intercalaire (gréseux) et du Weald (marnes gypseuses versicolores) localisés dans les régions de Fedjej et les versants orientaux des Dahars ; l'Aptien est en général dolomitique ;
  - *Crétacé moyen*, surtout marno-calcaire, se termine au

Turonien, caractérisé par une falaise de calcaire dolomitique, couronnant la presque totalité des reliefs du Sud ;

- *Crétacé supérieur*, marno-calcaire à la base (Sénonien) calcaire au milieu (Campanien et Maestrichien) et marneux au sommet (Danien) ; il constitue la totalité de la plate-forme saharienne de la Tunisie (Dahars Occidentaux) ; il est abondant dans les reliefs de la partie Sud-Ouest des Hautes Steppes ;

- l'*Eocène*, très fréquent dans les régions de Metlaoui, Redeyef, Tamerza, Maknassy ; il est caractérisé par les couches complexes détritiques et néritiques, calcaires, marno-calcaires, plus ou moins gypseuses et phosphatées ;

- le *Mio-Pliocène* couvre de vastes surfaces dans le Sahel de Sfax, dans les Basses Plaines, en Djeffara, Nefzaoua, etc.; il est continental ou lagunaire (gréseux, argilo-sableux, marneux) ; il est très souvent gypseux à son sommet ;

- le *Quaternaire* est essentiellement continental ; il est caractérisé par de vieilles formations pédologiques : croûtes calcaires, gypseuses, limons à nodules calcaires, lunettes, dunes consolidées, etc. A proximité du littoral (I. de Djerba, presqu'île de Djorf, Zarzis et zone des Bibanes) se rencontrent des faciès lithologiques marins (plage à strombes, dune consolidée du Thyrrénien).

On considère généralement que la mise en place du relief était terminée au début du Quaternaire pour les Matmatas, les Dahars et la plate-forme saharienne (1ère phase orogénique lutétienne) et que, dans le domaine atlasique, elle s'est prolongée durant tout le Villafranchien (2ème phase) surtout dans la partie septentrionale. "*Il n'existe plus de preuves d'une participation de la tectonique à la morphogénèse post-villafranchienne... le modèle du paysage actuel résulte uniquement de la variabilité climatique* (COQUE, 1962). Certains auteurs pensent cependant que des mouvements mineurs post-villafranchiens ont affecté la Djeffara et la Steppe à Djerba, Zarzis, Maknassy-Mezzouna (CASTANY, 1952, FOURNET, 1960). En effet la croûte villafranchienne est ondulée, démantelée et même faillée en de nombreux sites (Djerba, Médenine).

1.1.2. Les paysages morphologiques

On distingue en Tunisie présaharienne trois grands ensembles ou domaines : celui de l'Atlas, celui de la Steppe et celui du Sahara. Les deux premiers forment des paysages de plaines et de plateaux isolant tout un système d'anticlinaux en "guirlande", le dernier présente une morphologie propre aux régions désertiques.

1.1.2.1. *Les paysages du domaine steppique*

Il s'agit d'un ensemble de plateaux, de plaines et de dépressions endoréiques (*chotts, garâas, sebkhas*) qui, depuis la dorsale tunisienne jusqu'aux premiers contreforts de la plate-forme saharienne, ennoie les chaînons de l'Atlas ; il se prolonge vers le Sud-Est par la plaine côtière de la Djeffara.

Le paysage, en général à relief très faible, est constitué essentiellement de plaines alluvio colluviales, se raccordant aux djebels vers l'amont par tout un système de glacis d'érosion et d'accumulation, et aux *chotts* et *garâs* vers l'aval par des terrasses souvent emboîtées.

La plus ancienne surface d'érosion observable est celle du Villafranchien que l'on rencontre partout ; fortement démantelée, elle se présente sous la forme des témoins constitués de collines ou de reliefs tabulaires (Bir Ali, Mezzouna, Djerba, Djeffara, etc.) couronnés par une puissante croûte calcaire à Hélicidés. En Djeffara, on en trouve aussi des vestiges sous forme de reg autochtone ; elle a pu être reprise lors d'une phase de cimentation calcaire ultérieure.

Au Tensiftien, s'est façonnée la surface moyenne, caractérisée par l'extension de la croûte et de l'encroûtement calcaire dans la partie septentrionale, et des croûtes gypseuses dans la partie méridionale du domaine.

Le niveau le plus récent présente les mêmes formations que le précédent. On attribue en général au Soltanien la phase la plus importante de la formation des limons à nodules calcaires qui existent dans la presque totalité des steppes méridionales de la Tunisie. Cependant FOURNET (1968), pense que la mise en place de certains de ces limons a débuté au Villafranchien et qu'elle s'est poursuivie lors des phases pluviales post-villafranchiennes. Plusieurs de ces formations ont

pu être colluvionnées, car on explique difficilement sans cela, l'épaisseur de certaines d'entre elles.

Les systèmes écologiques des domaines steppiques et atlasique et les types de sol qui leur correspondent se répartissent presque toujours suivant la toposéquence schématique de la figure II.1- (FLORET et PONTANIER, 1978).

a) lithosols, régosols et sols bruns-calcaires dégradés sur les croûtes et encroûtements calcaires superficiels des hauts et moyens glacis, colonisés essentiellement par l'alfa ;

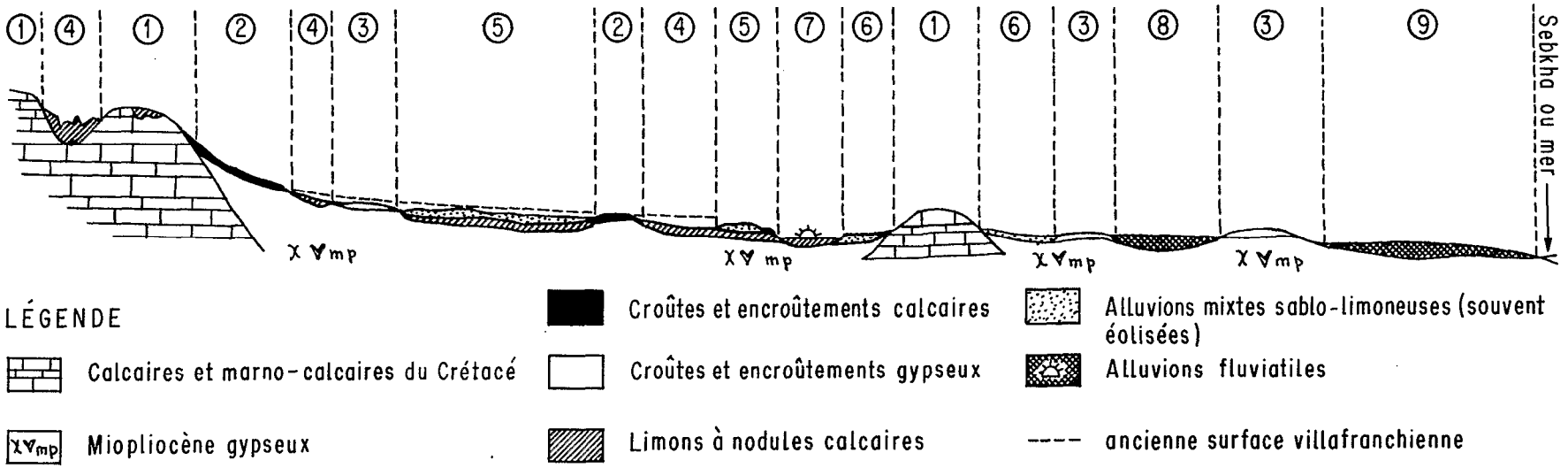
b) sols calcomagnésimorphes, à croûtes et encroûtements calcaires ou gypseux superficiels sur les moyens et bas-glacis : domaine des steppes à *Stipa tenacissima*, (alfa) à *Gymnocarpos decander* ou à *Anarrhinum brevifolium* et *Lygeum spartum* (sparte) ;

c) régosols, sols régosoliques et sols peu évolués d'apport sur les limons à nodules calcaires des bas-glacis d'accumulation, domaine d'*Artemisia herba alba* (Armoise blanche) ; ces sols et principalement ceux des *seguis* sont ceux des domaines traditionnels de l'aridoculture;

d) sols isohumiques (bruns et sierozems), sols peu évolués (steppisés et gris subdésertiques), pouvant présenter des croûtes et encroûtements calcaires ou gypseux à moyenne profondeur dans les plaines d'apport alluvial éolien ou mixte ; leur texture est légère sableuse à sablo-limoneuse et leur répartition est zonale. (degré d'évolution diminuant avec l'aridité) ; c'est le domaine d'*Artemisia campestris* (armoise champêtre) d'*Arthrophytum schmittianum* et de *Rhantherium suaveolens* dans la partie méridionale ;

e) dans les bas fonds : sols peu évolués alluviaux, de texture moyenne à lourde, plus ou moins hydromorphes,

Fig. II.1 - Coupe schématique montrant la distribution des systèmes écologiques des domaines steppique et atlasique et les types de sol qui leur correspondent (cf. Tableau III.1).



1 - Lithosols, regosols et sols rendziformes de montagne. Formations à Rosmarinus officinalis. Steppes à Stipa tenacissima (SD).

2 - Lithosols et regosols sur croûte calcaire des hauts et moyens glacis. Steppes à Gymnocarpos decander (GD).

3 - Sols calcomagnésimorphes à croûte et encroûtements gypseux des moyens et bas glacis. Steppes à Anarrhinum brevifolium, Zygophyllum album Lygeum spartum (AZ, LZ).

4 - Sols d'ablation régolosiques, ou bruns steppiques ou peu évolués des épandages et des bas glacis limoneux. Steppes à Artemisia herba-alba (AA).

5 - Sols gris subdésertiques, peu évolués steppiques, sierozems des plaines sableuses. Steppe à Rhantherium suaveolens (RK, HK).

6 - Sols peu évolués d'apport sableux sur encroûtement gypseux. Steppe à gypsophytes (OZ, LK, TV).

7 - Sols peu évolués alluviaux des bas-fonds peu salés. Pelouse à herbacées, avec nebkhas à Ziziphus lotus (ZR).

8 - Sols halomorphes des garaets inondables (PV).

9 - Sols halomorphes des bordures de sebkhas et de mer. Steppe à halophytes (NS, VA, FL).

N.B. Les sigles entre paranthèses sont ceux utilisés pour les séquences de végétation.

plus ou moins salés, suivant leur position topographique, ou abondent *Ziziphus lotus* (jujubier), *Nitraria retusa* et *Lycium arabicum* ; ces sols sont régulièrement cultivés ;

f) sols halomorphes dans les zones endoréiques ou semi-endoréiques, dans les systèmes des grands *chotts* et sur le littoral, présentant des peuplements de *Tamarix* sp. pl. et d'*Atriplex halimus*, ainsi qu'une grande diversité de Chénopodiacées ; le réseau hydrographique est très dégradé et tend à l'endoréisme.

L'ensemble du domaine steppique était, il y a encore un siècle, à l'exception de quelques zones de la bande côtière et sur le pourtour des reliefs, essentiellement utilisé pour le parcours des troupeaux ovins, caprins et camélins, et pour une agriculture itinérante.

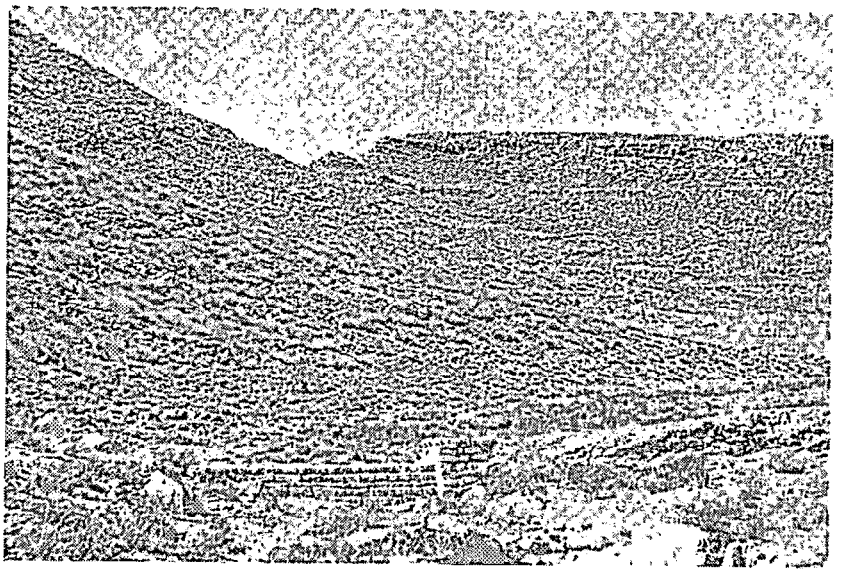
Commencée aux environs de Sfax et accentuée au début du XXème siècle, la modification essentielle du paysage rural a été l'extension importante des plantations arboricoles et plus particulièrement oléicoles ; ces plantations ont rapidement eu pour conséquence le refoulement du pastoralisme au-dessous de l'isohyète moyen annuel de 150 mm.

Les formations végétales spontanées dominent encore le paysage en-dessous de l'isohyète 150 mm, bien qu'actuellement une céréaliculture très aléatoire réduise à un rythme très rapide la surface réservée au parcours, entraînant une dégradation rapide des sols dans les plaines sableuses.

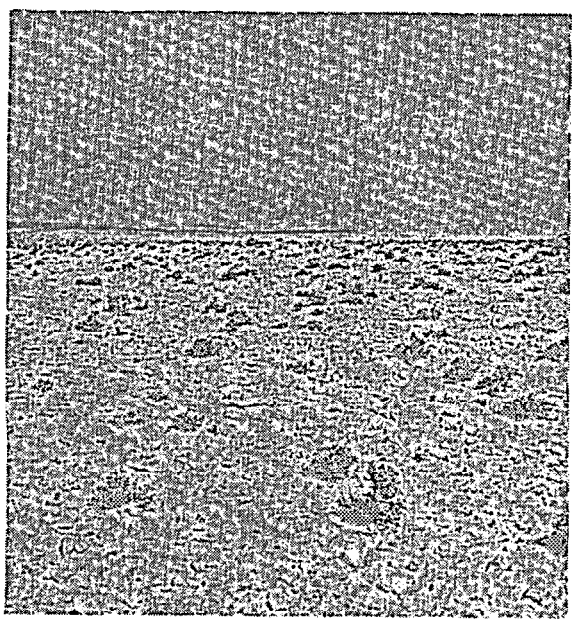
Les formations végétales spontanées situées au-dessous de l'isohyète moyen annuel de 100/120 mm sont, si l'on exclut les zones irriguées et les oasis qui s'y trouvent, exclusivement utilisées comme terrains de parcours.

1.1.2.2. *Les paysages du domaine des chaînons atlasiques*

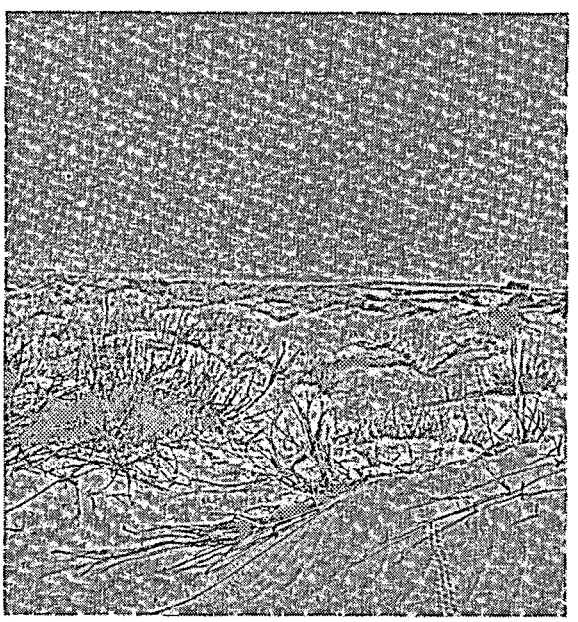
Il s'agit de tous les djebels des régions déjà citées. La tectonique y est de style jurassien, à flancs raides et à versants dissymétriques. Les alternances des calcaires durs, des marnes et des marno-calcaires (du Crétacé principalement) forment des pentes irrégulières et érodées en ravins. L'érosion y est intense et le réseau hydrographique



Steppe d'alfa en montagne *(SD_2)*



Parcours sur croûte calcaire *(GD_1)*



Dune colonisées par *Aristida pungens* *(AR_1)*

SYSTEMES ECOLOGIQUES DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

bien hiérarchisé. Les sols se développant sur ces reliefs sont le plus souvent des lithosols sur les dalles structurales calcaires et des régosols sur les formations marneuses et gréseuses (bad-lands) ; ils sont parfois associés à des croûtes et encroûtements calcaires et gypseux. Sur les versants, les éboulis et colluvions sont tout aussi peu évolués (sols bruts d'apport très grossiers). Dans la partie la plus septentrionale et sur les reliefs les plus élevés et les moins affectés par l'érosion hydrique, on peut encore trouver des sols forestiers de type rendziniforme ou brun calcaire, et quelques vestiges des forêts de *Pinus halepensis* (Pin d'Alep).

Ces montagnes sont essentiellement le domaine de la garrigue à *Rosmarinus officinalis* ponctuée de quelques peuplements de *Juniperus phoenicea* (Genévriers de Phénicie) dans la partie nord de la zone et sur les hauteurs de Matmata. Vers le Sud, la nappe à *Stipa tenacissima* (alfa) est la formation végétale dominante des *djebels*. Cette nappe fait parfois l'objet d'une exploitation, associée au pâturage.

Dans certaines vallées (Matmata, Dj. Orbata, Chemsi, etc.) une agriculture pluriséculaire, basée sur la maîtrise du ruissellement, la conservation des sols derrière barrages, est parfois encore pratiquée avec succès par des populations sédentaires d'origine berbère, sur des formations limoneuses à nodules calcaires (BONVALLOT et BEN AMOR, 1979).

1.1.2.3. *Les paysages du domaine saharien*

Le flanc occidental du vaste anticlinal éventré de la Djeffara, se terminant par une ligne de cuestas (Turonien) au-dessous de la plaine côtière, constitue en Tunisie l'essentiel de la plate-forme saharienne. Il s'agit d'un vaste plan faiblement incliné vers l'Ouest disparaissant sous le Grand Erg.

Sur les surfaces structurales se développent des lithosols ou *hammadas*. La dissociation des anciens glacis à croûte calcaire et gypseuse, donne des *regs* pedochtones pierreux (BOULAINE, 1975), pouvant faire place à des *regs à fech-fech* pulvérulents (COQUE, 1962) si les encroûtements sont tendres. Les anciennes terrasses des *oueds*, leurs cônes d'épandage, ainsi que tout les matériaux colluvionnés fortement soumis à la déflation donnent des regs à matériaux allochtones souvent encore épais. Les produits du tri granulométrique se redéposent surtout au con-

tact *erg-reg* sous forme des *nebkas*, *barkanes*, voile éolien, ou bien vont grossir le Grand Erg.

Vers le Nord, ce domaine est limité par la dépression des grands *Chotts* sur les bordures desquels se développe une végétation à halophytes.

Les terrasses à conglomérat calcaire de l'Oued El Hallouf témoignent de l'ancienne puissance des cours d'eau du passé. Actuellement le réseau est totalement désorganisé et ennoyé par les apports sableux ; ce n'est qu'à l'occasion d'évènements pluviométriques exceptionnels que certains *oueds* des Dahars, avant de disparaître sous l'*erg*, nettoient sporadiquement leur lit.

Cet ensemble est dominé par des steppes à végétation très clairsemée permettant un semi-nomadisme à la fin de l'hiver, et au début du printemps. En dehors des périmètres irrigués et oasis (Nefzaoua et Djerid), aucune agriculture n'y est possible, sauf à l'occasion de pluies exceptionnelles qui favorisent une céréaliculture (orge) dans les cuvettes (*dayas*).

1.2. CARACTERISTIQUES DES SOLS DES DOMAINES STEPPIQUE ET ATLASIQUE

Nous n'aborderons pas les sols du domaine saharien, peu ou mal connus en Tunisie en raison de leur manque d'intérêt pédologique et agronomique. En effet, mise à part les zones où l'homme a pu développer les cultures par irrigation, rappelons que la plupart d'entre eux sont représentés par les sols salés des grands *Chotts* ou par des sols d'apport ou d'érosion non ou peu différenciés, représentés principalement par des *hammadas* sur calcaires durs, des *regs* calcaires ou gypseux, des *ergs*. Les sols bruts d'apport plus ou moins profonds, de texture très grossière, d'origine alluviale ou colluviale, à fine d'origine éolienne ou mixte, sont abondants ; ces derniers non structurés, poreux et mal fixés par une maigre végétation, sont très fragiles et très sensibles à l'érosion éolienne ; les sols anciens y sont nombreux (COQUE, 1962 ; DUTIL, 1971).

1.2.1. Quelques processus et caractères pédogénétiques généraux des sols de la Tunisie présaharienne

1.2.1.1. *Les principaux processus de différenciation des sols*

Dans les domaines steppique et atlasique qui nous intéressent, malgré un pédoclimat actuel (sècheresse pendant la saison chaude) peu favorable, les sols sont relativement bien différenciés. Pour certains d'entre eux très anciens, l'évolution s'est faite à des vitesses différentes au cours des pulsations sèches et humides du Quaternaire ; nous pensons en particulier aux puissantes formations à croûtes calcaires, qui marquent fortement les paysages pédologiques actuels et qui ont vu l'essentiel de leur formation sous des climats plus humides. Cependant ces mêmes sols continuent à évoluer actuellement comme le montre POUGET (1981). Pour notre part, nous affirmons qu'à l'occasion d'années à énergie pédogénétique supérieure à la moyenne, la différenciation des sols est encore très active. Il s'agit essentiellement des processus de migration des sels solubles qui contribuent à la formation ou a l'enrichissement (pour les sols les plus anciens) d'horizons d'accumulation de calcaire, de gypse et de chlorure de sodium, et à un degré moindre, ceux qui affectent la nature et la distribution de la matière organique dans le profil.

Les sols de la Tunisie présaharienne, n'évoluent pas tous à la même vitesse ; cela dépend essentiellement, de la solubilité du sel dominant, et de la nature du matériau originel du paysage environnant : un encroûtement gypseux se forme plus vite qu'un encroûtement calcaire, de même qu'un sol peu devenir salsodique en quelques mois suite à une irrigation mal conduite.

Sauf dans les zones irriguées et les zones où le régime hydrique a été modifié, les vitesses d'évolution sont lentes, la période pédogénétiquement active n'étant que de 5 à 6 mois/an en moyenne, et l'intensité des phénomènes très variable suivant la pluviosité de l'année.

Enfin notons que de nombreuses zones sont sans cesse rajeunies par l'érosion, ou par les apports de matériaux, si bien que ces phénomènes de remaniement ont souvent tendance à masquer les processus d'évolution.

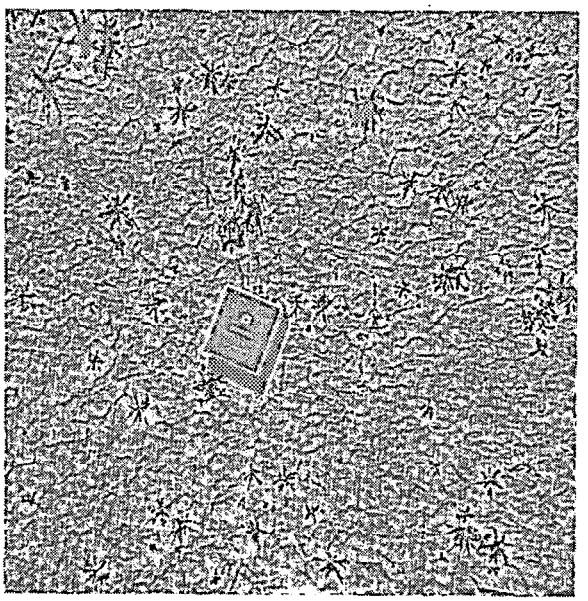
- *La steppisation*

A l'occasion de séries d'années pluvieuses favorables à la végétation, le processus de steppisation (envisagé ici seulement pour le sol) peut encore jouer sur certains horizons sableux : redistribution du calcaire, et pénétration en profondeur d'une matière organique bien humifiée, liée à la pénétration racinaire (celles-ci bien que peu abondantes vont chercher l'eau profondément, et meurent en saison sèche). Mais en règle générale, l'aridité croissante du pédoclimat dans de nombreux sites (les pluies pénétrant de plus en plus mal en raison de la raréfaction du couvert végétal et de la généralisation des pellicules de battance), a vraisemblablement ralenti ce type de pédogenèse.

Les taux de *matière organique* des horizons supérieurs, à l'exception des pellicules de battance de l'ensemble des sols de la steppe, dépassent rarement 0,6 à 0,7 % de la terre fine, sauf pour quelques sols forestiers reliques des massifs montagneux (2 à 3 % de matière organique). L'humus est de type "mull calcaire de steppe" (DUCHAUFOUR, 1970 ; POUGET, 1980) très stable ($C/N < 10$) et difficilement minéralisable ; il est " *caractérisé par une forte proportion de composés stables très fortement polymérisés : acides humiques gris et humine*" (POUGET, 1980).

- *La lexivation et l'accumulation des sels solubles*

Dans cette région présaharienne, certains sels solubles sont très abondants dans les sols ; il s'agit essentiellement des sels de calcium (SO_4, CO_3, HCO_3) et du chlorure de sodium principalement. D'autres éléments tels que le potassium et le magnésium peuvent être relativement abondants dans certains sols. Il ne semble pas que dans le contexte pédoclimatique actuel, la dynamique des *bicarbonates de calcium* soit très importante. Les croûtes, encroûtements, que l'on observe dans les sols sont certainement le résultat d'une pédogenèse ancienne (paléosols ; KOVDA *et al.*, 1979), ayant eu lieu lors de périodes plus pluvieuses. On observe cependant, encore aujourd'hui, des cas mineurs de redistribution du calcaire (pseudomycelium et amas) dans certains sols jeunes, à l'occasion d'évènements pluvieux exceptionnels, qui peuvent être liés à des phénomènes de dissolution et de reprécipitation instantanés (CALLOT *et al.*, 1980). Le *gypse*, plus soluble et plus mobile, présente dans de nombreuses situations une dynamique actuelle ; il est présent dans de nombreuses roches, dans certains dépôts récents et dans les eaux souter-



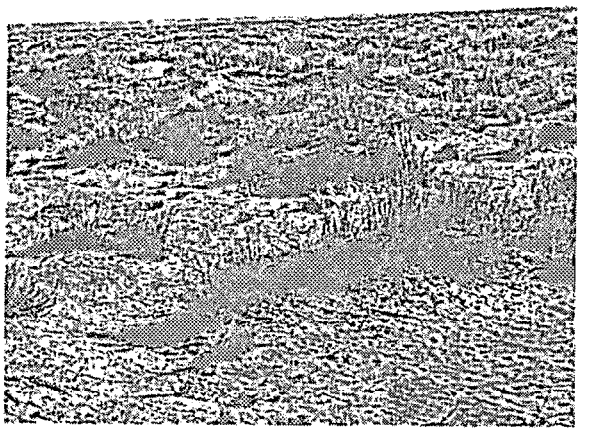
Pellicule de battance sur sol limoneux



Surface d'une croûte gypseuse



Surface caillouteuse et pellicule de la battance sur colluvions calcaires



Voile éolien et *micronebkas* fixées par la végétation (steppe sur zone sableuse)

QUELQUES ASPECTS DE LA SURFACE DU SOL EN TUNISIE PRESAHARIENNE

raines et de ruissellement (UNESCO, 1972 ; BUSSON et PERTHUISOT, 1977). On le trouve dans les matériaux de recouvrement dans des proportions pouvant atteindre 50 %. En général, comme le régime hydrique actuel des sols présente des phénomènes "*per ascensum*" dominant les phénomènes "*per descensum*", le gypse a tendance à s'accumuler vers la surface pour former croûtes et encroûtements. En revanche, dans les sols engorgés, il tend à se déposer dans les zones de battement des nappes phréatiques pour former des croûtes de profondeur. Les sols hydromorphes sont en général salés ; l'originalité des manifestations hydromorphes est liée à la présence de gypse qui conduit à la formation d'horizon à sulfures. Cependant, dans le domaine steppique, à l'exception de la zone littorale, ces formations hydromorphes sont peu représentées ; il s'agit le plus souvent de zones d'inondation à caractère temporaire et aléatoire (garaet).

Le *chlorure de sodium* se trouve en général en abondance à l'aval du système général de drainage (chott, sebkha, garaet, basses plaines alluviales), où les eaux ont tendance à se rassembler et à se concentrer, sans être totalement évacuées vers la mer. La conductivité de l'extrait de saturation des sols est très variable et croît en principe le long de la toposéquence générale (de 1 à 2 mmhos/cm à l'amont pour atteindre 50-60 voire même 80 mmhos/cm (1) dans les sebkhas de la zone littorale et les chotts).

De grandes surfaces sont affectées par cette salure due principalement aux chlorures, qui sont essentiellement d'origine sédimentaire (Miopliocène et Crétacé, marine, (alluvions fluvio-marines) ou hydrogéologique (sources, forages d'eau saumâtre employée pour l'irrigation).

1.2.1.2. *Importance des états de la surface du sol en zone aride*

A l'occasion d'études sur le bilan d'eau et l'érosion, CLAUDE et PONTANIER (1971), CLAUDE *et al.*, (1971), BOURGES *et al.* (1973, 1975, 1977, 1980), et sur la dynamique de la végétation, FLORET *et al.* (1973, 1977, 1978, 1980), TELAHIGUE (1976) et GADDAS (1978), ont mis en évidence le rôle bénéfique des microformations éoliennes sableuses de surface

(1) L'ensemble des données analytiques physiques et chimiques citées dans ce texte proviennent d'analyses effectuées au laboratoire de l'arrondissement Direction Ressources en Eau et en Sols de Gabès, conformément au "Recueil de méthodes d'analyses" de SUSINI (1973).

(voiles éoliens, micronebkhas, nebkhas, etc.) et celui néfaste des pellicules ou croûtes de battance, pour l'efficience de l'eau, la germination et la croissance des végétaux. De même LE FLOC'H et PONTANIER (1976 et 1978 *in* Expérience ARZOTU) signalaient l'importance de la prise en compte de l'état de la surface du sol dans l'interprétation des données de la télédétection spatiale. Depuis peu, R. ESCADAFAL a entrepris en Tunisie présaharienne une étude dynamique sur la typologie des états de la surface du sol, ainsi que des travaux sur la battance (apparition et formation des pellicules) et ses conséquences sur le bilan de l'eau, l'érosion et la dynamique de la végétation (ESCADAFAL, 1981).

- *Les formations sableuses d'origine éolienne de la surface du sol*

Elles sont constituées de sable d'origine éolienne (transport ou remaniement sur place) ; leurs formes sont très variées, cela va du fin voile éolien (de l'ordre du centimètre), au champ de dunes mobiles dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs mètres. Certaines de ces formations peuvent être fixées par la végétation : *micronebkhas* de quelques décimètres de hauteur et de 1 mètre de diamètre, fixées par de petits chaméphytes, et les touffes de graminées de la steppe. Les *nebkhas* plus imposantes, dont certaines sont immobilisées par des arbustes épineux (*Ziziphus lotus* ou *Nitraria retusa*),peuvent atteindre plusieurs mètres de hauteur et de diamètre.Ces formations sableuses, fixées,d'origine éolienne, bien décrites par LONG (1954), sont des sites privilégiés pour le développement de la vie végétale et animale. Les autres formations, à condition de ne pas être trop importantes en épaisseur, et pas trop mobiles, sont bénéfiques aux germinations, et grâce à leur fonction de "mulch" jouent un rôle déterminant dans l'économie de l'eau.

- *Les pellicules de battance*

Ce sont des formations de quelques millimètres d'épaisseur, se développant de façon continue ou discontinue à la surface du sol, de porosité plus faible, de rigidité plus grande que le substrat sur lequel elles reposent. Elles sont très développées en zone aride et sont très souvent correlées à la raréfaction du couvert végétal, mais aussi à la disparition de l'action de l'homme et des animaux sur la steppe. Elles gènent le développement des végétaux et favorisent le ruisellement.

TABLEAU II.1 Analyses sommaires de quelques pellicules de battance en Tunisie présaharienne (région de Gabès)

		Granulométrie					% $CaCo_3$	% $Ca\ SO_4, 2H_2O$	% Matière organique
		Argile %	Limons fins 2.20 µ	Limons grossiers 20.50 µ	Sables fins 50.2000 µ	Sables grossiers > 2000 µ			
Sierozem (Km 52)	Substrat 5-10 cm	3	2	6	78	11	10,0	0,7	0,72
	Pellicule de battance	4	6	7	74	9	12,5	2,0	1,14
Sierozem (Dissa)	Substrat 5-10 cm	9	7	10	68	6	15,6	1,2	0,43
	Pellicule de battance	10	9	11	65	5	16,2	2,8	0,93
Sol peu évolué *Segui* (Telman)	Substrat 5-10 cm	12	15	31	40	2	15,7	0,5	0,53
	Pellicule de battance	14	18	30	36	2	16,1	1,8	1,08
Sol peu évolué gypseux (BV.O.Gabès)	Substrat 5-10 cm	4	8	9	79	0	10,2	8,8	0,39
	Pellicule de battance	6	11	9	74	0	10,4	15,6	1,28
Sol régolosique sur limon à nodules calcaires (Zougrata)	Substrat 5-10 cm	16	10	11	59	4	25,3	0,6	0,42
	Pellicule de battance	19	11	11	54	5	27,4	1,5	0,90

Dans les zones irriguées, les *croûtes* de battance, peuvent être plus importantes et plus développées, en raison des sédimentations répétées de matériaux transportés par l'eau d'irrigation (BISHAY et STOOPS, 1975). Certains auteurs les ont en partie étudiées ; tous s'accordent, avec EVANS et BUOL (1968), à reconnaître qu'elles présentent une épaisseur comprise entre 1 et 5 mm, que leur structure litée résulte d'un réarrangement, ou réorganisation, des particules et de la porosité dans le plan horizontal, que leur densité apparente est élevée (HILLEL, 1960), à l'inverse de leur macroporosité. BISHAY et STOOPS (1975) signalent sur les terres nouvellement irriguées du désert Côtier Nord-Occidental égyptien, des croûtes de battance où la présence de substances amorphes isotropiques (résidus organiques) pourrait être due au développement d'algues lors des périodes humides. EL AYOUTY (1978), a entrepris une étude, en termes qualitatifs, sur les algues des pellicules de battance des sols sableux de la côte nord du Désert égyptien, ainsi que sur les relations entre leur biomasse et les composés organiques de la surface. De même SKUJINS (1975, 1977) signale la présence d'algues dans les pellicules du Sud tunisien, ainsi que leur rôle dans la formation de celles-ci.

Enfin, nombreux sont les auteurs qui ont montré l'existence d'une porosité vésiculaire de ces pellicules, immédiatement sous la surface du sol (HILLEL, 1960 ; SPRINGER, 1958 ; BUOL, 1965) et qui ont essayé de mesurer leur résistance mécanique à la pénétration ou à la rupture (HILLEL, 1960).

Si la présence de ces pellicules de battance est relativement facile à expliquer et à concevoir sur des sols argileux ou limoneux (HILLEL, 1960 ; EPSTEIN et GRANT, 1967), à structure très instable en raison des faibles teneurs en matières humiques, en revanche nous les avons aussi observées, de manière quasi permanente, sur des sols sableux, non éolisés, du Sud tunisien. Par exemple au Djebel Dissa, sur un sierozem sableux (89% de sables dont 11 % sont grossiers), se développe une pellicule de battance de 1 ou 2 mm d'épaisseur, à notre avis fortement liée à la mise en défens de la zone. Signalons que les différents états de la surface sont souvent associés ; on n'observe jamais 100 % de pellicule de battance et rarement 100 % de voile éolien en recouvrement de la surface du sol ; mais plutôt des associations des deux, auxquelles il faut ajouter les recouvrements de la végétation et celui des pierres

et des cailloux. Ceux-ci jouent, très souvent, un rôle identique dans la fixation du sable, le ralentissement du ruissellement ; en augmentant la rugosité, ils rendent les conditions immédiates de surface moins arides (FLORET *et al.*, 1980 ; COLLINET et VALENTIN, 1979 ; VALENTIN 1980).

Sur ces pellicules de la Tunisie présaharienne, actuellement en cours d'études (cf. recherches de ESCADAFAL), nous disposons de quelques analyses sommaires (tableau II.1). Les résultats, à notre avis peu significatifs en raison des difficultés des prélèvements et des imprécisions de l'analyse, montrent cependant un certain enrichissement systématique en éléments fins (argile et limons fins), en sels de calcium (sulfates et carbonates) et en matière organique, des pellicules de battance par rapport au substrat sous-jacent. Des teneurs plus élevées en matière organique (carbone total) dans les pellicules de battance, sont aussi signalées par GRISHINA et EROSHICHEVA (1972) sur des sols sableux du Karakoum au Turkmenistan. Ces résultats, trop fragmentaires, doivent être confirmés par des examens microscopiques montrant des précipitations de calcite et de gypse dans les pellicules. Cependant, on peut avancer, quelques *hypothèses* au sujet de leur formation.

Tous les auteurs s'accordent sur le fait que ces pellicules se développent très rapidement et sont essentiellement liées à la pluie. Pour EPSTEIN et GRANT (1967) effectuant des essais *in vitro*, ces phénomènes de battance apparaissent en quelques dizaines de minutes de simulation d'averse. Pour notre part, nous dirons que ces pellicules se forment sur les labours ou les terrains de parcours dès les premières pluies d'automne ; les causes mécaniques liées à l'énergie cinétique des pluies semblent donc déterminantes, bien que d'autres phénomènes interviennent comme nous le soulignons ci-dessous.

Mc INTYRE (1958) donne les stades successifs de la formation des croûtes : (1) désorganisation des agrégats de la surface, (2) mise en mouvement des fines particules dans les premiers centimètres du sol et dépôt dans les pores, (3) compaction de la surface par formation d'une pellicule qui empêche l'entrée de l'eau, (4) dépôt à la surface des fines particules en suspension avec réarrangement de celles-ci lors du dessèchement. Nous noterons que cet auteur différencie "pellicule" (de l'ordre du mm) et "croûte" (de l'ordre du cm).

SKUJINS (1975) reconnaît, en fonction de leur origine, trois

types de pellicules de battance (*crust*) en Afrique du Nord.

a) *des pellicules d'origine physico-chimique* qui proviennent d'un tri, par le vent, des éléments de la texture, suivi d'une cimentation par les carbonates et les sulfates de calcium et les algues, à la faveur des cycles annuels de déssèchement et de réhumectation ;

b) *des pellicules d'origine mécanique* : à l'occasion de cultures épisodiques, la charrue contribue à assurer une compaction du sol en profondeur (semelle) et à pulvériser l'horizon de labour qui est très vite enlevé par le vent, mettant ainsi à nu la semelle qui devient "crust" ;

c) *des pellicules d'origine biologique* : qui sont principalement dues à l'activité des algues, des champignons et des hépatiques ; sur les sols sableux ces pellicules sont plutôt fragiles ; sur les sols argileux elles contiennent des lichens qui les rendent plus résistantes.

Il note en outre que ces trois types de pellicule des zones sableuses arides de l'Afrique du Nord ont une microflore fungique identique, distincte de celles des zones non "encroutées".

JOVEST-AST et BISCHLER (1975) signalent la présence de nombreuses Hépatiques dans les déserts méditerranéens (9 Marchantiales en Tunisie) ; elles se développent à la surface du sol sur 3 millimètres d'épaisseur au maximum. Ces auteurs concluent : "*par leur disposition en croûtes superficielles, elles stabilisent le sable qui n'est plus entraîné par l'eau et le vent...en outre, les semences y sont immobilisées et peuvent germer...La présence d'Hépatiques est la preuve d'un bon équilibre entre le régime pluviothermique et la structure du sol*". En réalité, nous avons observé que la germination est plutôt contrariée par la pellicule de battance qui s'oppose à l'enfouissement de la graine.

L'hypothèse d'origine mécanique liée au labour nous paraît peu probable ; en effet, elle n'explique pas la présence des pellicules là où il n'y a jamais eu de labour. Par ailleurs, dans la mesure où actuellement les labours sont fréquents et récents et les pellicules abondantes, la présence de celles-ci correspondrait à une érosion éolienne de 10 cm

en 1 ou 2 ans. En revanche, nos analyses des sols confirment les hypothèses (a) et (c) de SKUJINS (1975), d'autant plus que RIOU *et. al.*, (1979) et LAGOUARDE (1979) viennent de mettre en évidence sur un sol sableux de la région de Gabès des phénomènes de réhumectation nocturne et diurne de la surface du sol, pouvant expliquer en partie les dépôts de sels de calcium à la surface.

1.2.2. Caractères des principaux sols

Dans l'aire de la zone aride, c'est le matériau originel, autochtone, allochtone et même pédochtone (BOULAINE, 1975) ainsi que ses formes et sa répartition dans le paysage, qui sont déterminants pour les propriétés des sols et la structure de la couverture pédologique. Aussi les principaux types de sols du domaine steppique sont présentés et regroupés par grands secteurs écologiques qui intégrent les principales formations superficielles et formes de terrain. Des descriptions de profils pédologiques sont données en annexe ; le lecteur pourra aussi se reporter au Chapitre II.3 *Ressources en sols*, et en particulier au tableau II.8.

1.2.2.1. *Sols des formations sableuses*

Les formations de texture légère, à sables siliceux calcaires et parfois gypseux, sont largement représentées sur l'ensemble de la zone étudiée ; elles occupent l'essentiel de l'espace à l'aval des vastes glacis de raccordement des chaînons atlasiques ; elles abondent dans les "Basses Plaines Méridionales", les "Basses Steppes", et la partie Sud-Ouest de la "Djeffara".

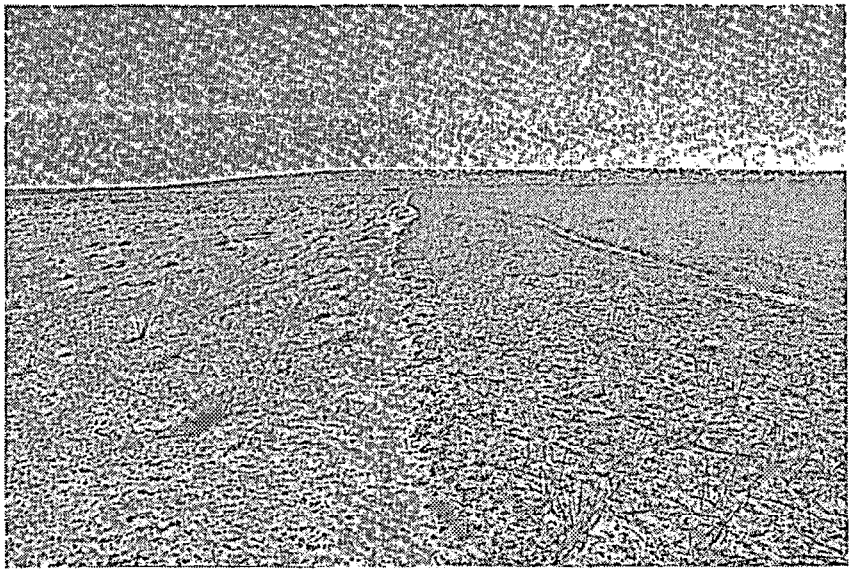
Les sols observés ont tendance à présenter des caractères isohumiques ; ils appartiennent suivant leur degré d'évolution (lié à la pluviosité) aux groupes suivants : bruns subtropicaux, sierozems, gris subdésertiques, peu évolués d'apport steppisés et bruts d'apport (AUBERT, 1965). POUGET (1980) décrit ces types de sols sur les steppes sableuses du Sud algérien (Sierozems modaux sur sables siliceux) et BALBA (1965) les signale en abondance dans la zone côtière entre Alexandrie et Salloum en Egypte, ainsi que GOMAA *et al.* (1978).

Certains sont encore jeunes et en voie de formation (sierozems) ; d'autres sont des sols anciens rajeunis (bruns subtropicaux sur

formations limoneuses à nodules calcaires, à croûtes ou encroûtements calcaires (Neoautomorphic landscapes : KOVDA *et al.*, 1979). L'ensemble de ces sols, couramment désignés sous l'expression de "*sols steppiques*," "*est différencié dans les roches-mères meubles, principalement des colluvions et des alluvions*" (LE HOUEROU, 1960). Cependant, nous devons ajouter que, dans les conditions du pédoclimat actuel, la steppisation ne semble plus devoir s'effectuer sur les matériaux les plus lourds de ces formations, trop battants et sur lesquels les eaux ont un trop faible pouvoir de pénétration.

Ils sont en général épais (40 à 150 cm), reposent le plus souvent sur le substrat gypseux du Miopliocène, ou sur des croûtes et encroûtements calcaires ou gypseux, ainsi que sur un horizon limoneux à nodules calcaires, pouvant être plus ou moins encroûté. En conclusion, nous pouvons dire qu'ils enterrent très souvent des sols anciens qui peuvent leur servir pour partie de matériau originel.

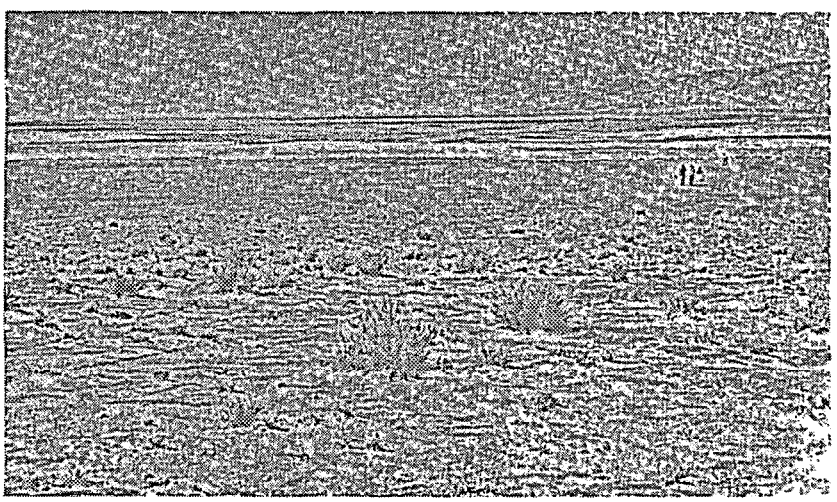
De texture sablo-limoneuse à sablo-argileuse en surface, leur structure est peu développée ; leur fragilité et sensibilité à l'érosion éolienne sont grandes. Ils offrent une grande porosité d'ensemble (45 à 48 %). Les plus évolués d'entre eux, présentent, en général, un horizon d'accumulation calcaire se développant souvent dans le matériel de surface en voie d'évolution et éventuellement dans un sol ancien recouvert ; il peut y avoir *reprise* des croûtes, encroûtements et des nodules par le calcaire, c'est-à-dire un nouvel enrichissement calcaire à partir d'éléments déjà néoformés. En l'absence d'une couverture végétale pérenne suffisante, ces sols se glacent rapidement, avec extension d'une pellicule de battance de un à quelques millimètres d'épaisseur ; dans le cas contraire, la végétation permet le piégeage d'un voile sableux éolien relativement mobile, ce qui empêche la formation de la pellicule de battance. Le caractère dominant de ces sols, est qu'ils possèdent tous à des degrés divers des gradients inversés de matière organique et de $CaCo_3$ sur au moins 60 à 80 cm ; la matière organique bien que peu abondante (0,6 % en surface à 0,2 % à 80 cm pour les plus riches), bien décomposée (mull calcaire de steppe C/N = 8 à 9, pH $\simeq$ 7,8 à 8,2), pénètre profondément dans le profil grâce à l'excellente adaptation de la végétation de la steppe à s'enraciner profondément à la recherche de l'eau souvent stockée en profondeur. La figure II.2 présente les grands traits morphologiques de quelques-uns de ces sols



Steppe à *Rhantherium suaveolens* surpâturée sur sierozem tronqué *(RK_1)* et défriche *(rk_1)*

Jachère dans une zone alluviale caractérisée par un scrub à jujubiers *(zr)*





Au premier plan terrasse gypseuse *(AZ_1)* ; en arrière plan paysage de *garaa (pv)*

SYSTEMES ECOLOGIQUES DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

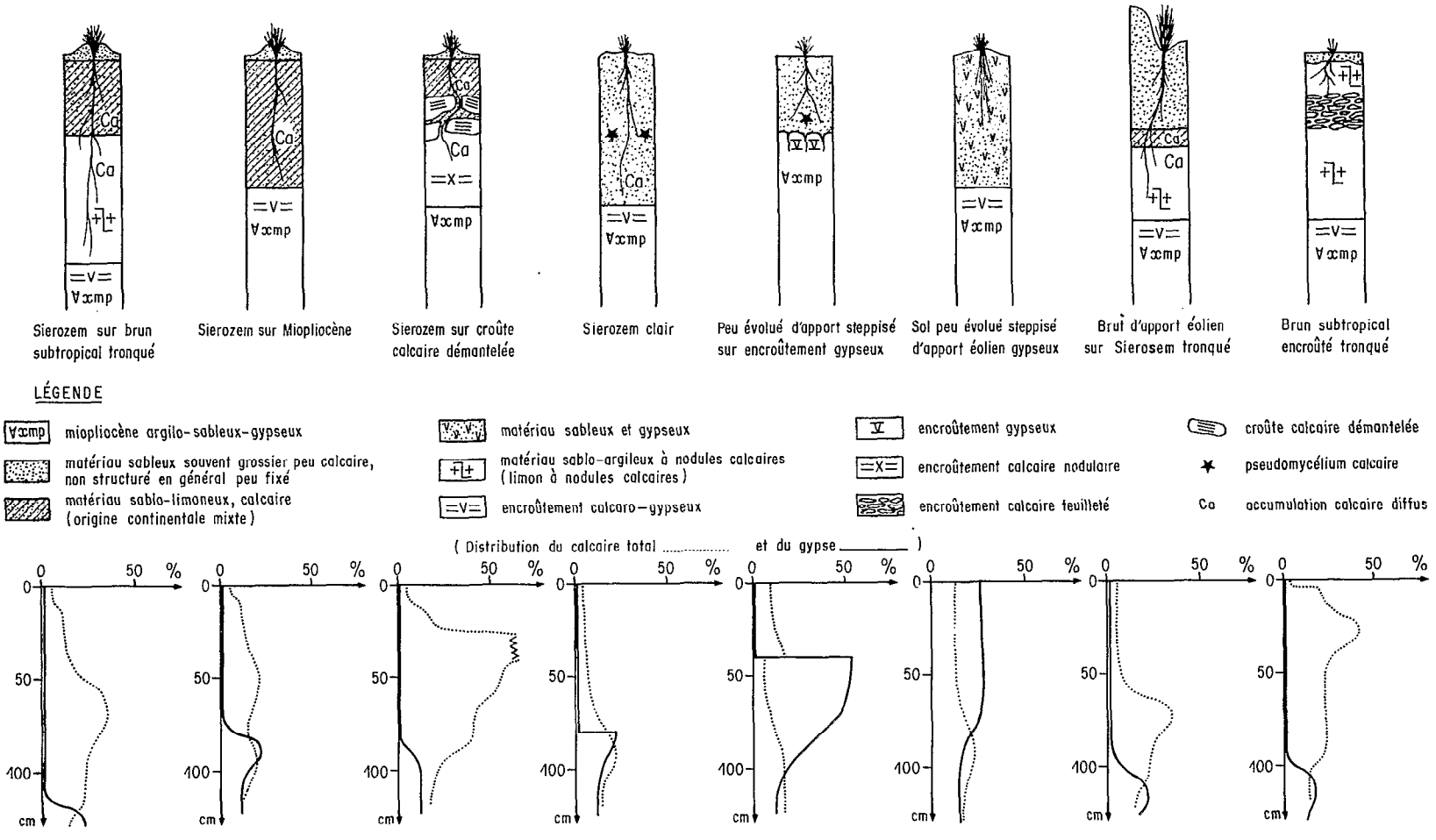


Fig. II.2 - Exemples schématiques de sols des steppes des zones sableuses en Tunisie présaharienne.

steppiques. En raison de leurs caractéristiques physico-hydriques très favorables, ces sols présentent un grand intérêt pour l'aridoculture ; ils sont actuellement un peu partout en voie de défrichement. Malheureusement leur fertilité chimique est très basse, surtout en ce qui concerne l'azote (CE = 5 à 8 meq/100 gr ; Azote total : 0,3 à 0,5 ‰ ; P_2O_5 assimilable = 0,03 à 0,08 °/₀₀ ; K20 totale = 1,0 à 1,5 °/₀₀) SKUJINS (1974, 1975) étudiant les processus biochimiques des sols sableux de Chabania (Sud tunisien) constate que la majorité de ces processus se développent dans les 3 premiers centimètres, que les accumulations d'azote (dues à la décomposition de la litière ou aux fixations par les algues bleues), sont 8 fois plus importantes en surface (0-3 cm) que dans l'horizon sous-jacent, que le maximum d'azote est trouvé dans les mois humides (104 ppm à 0-3 cm). Les pertes par volatilisation sont importantes.

1.2.2.2. *Sols des formations limoneuses*

Bien que d'origines très différentes (COQUE, 1962, BELAID, 1967), les glacis d'accumulation, les plaines alluviales, les dépressions endoréiques, etc., supportent des sols au comportement physico-hydrique très comparable en raison d'une texture d'ensemble relativement plus lourde présentant de fortes proportions de limons, de sables fins et parfois d'argile. En outre ils bénéficient tous d'une façon ou d'une autre d'apport d'eau par ruissellement. Ces sols limoneux, calcaires, souvent riches en gypse, sont plus ou moins salés suivant leur position sur la toposéquence générale ; certains sont d'origine autochtone : marnes versicolores gypseuses à faciès wealdien du Crétacé inférieur dans la région du Fedjaj, Miopliocène argilo-sableux et gyseux en Djeffara et dans les Basses plaines orientales ; ou d'origine allochtone : limons à nodules calcaires des vallées des Matmatas (PONTANIER,ZANTE, 1976), ou des piémonts des montagnes, alluvions et colluvions des glacis d'accumulation des *Seguis*, alluvions des zones d'épandage à l'aval des réseaux hydrographiques, alluvions des dépressions inondables temporairement (Garaet ou dayas ; POUGET, 1980) (1).

(1) A l'exception de certains sols de Garaet, les teneurs en argile de ces sols sont peu importantes, si bien que les fentes de retrait,"les craquelures" (THALEN, 1979) si souvent décrites durant la saison sèche, sont peu abondantes.

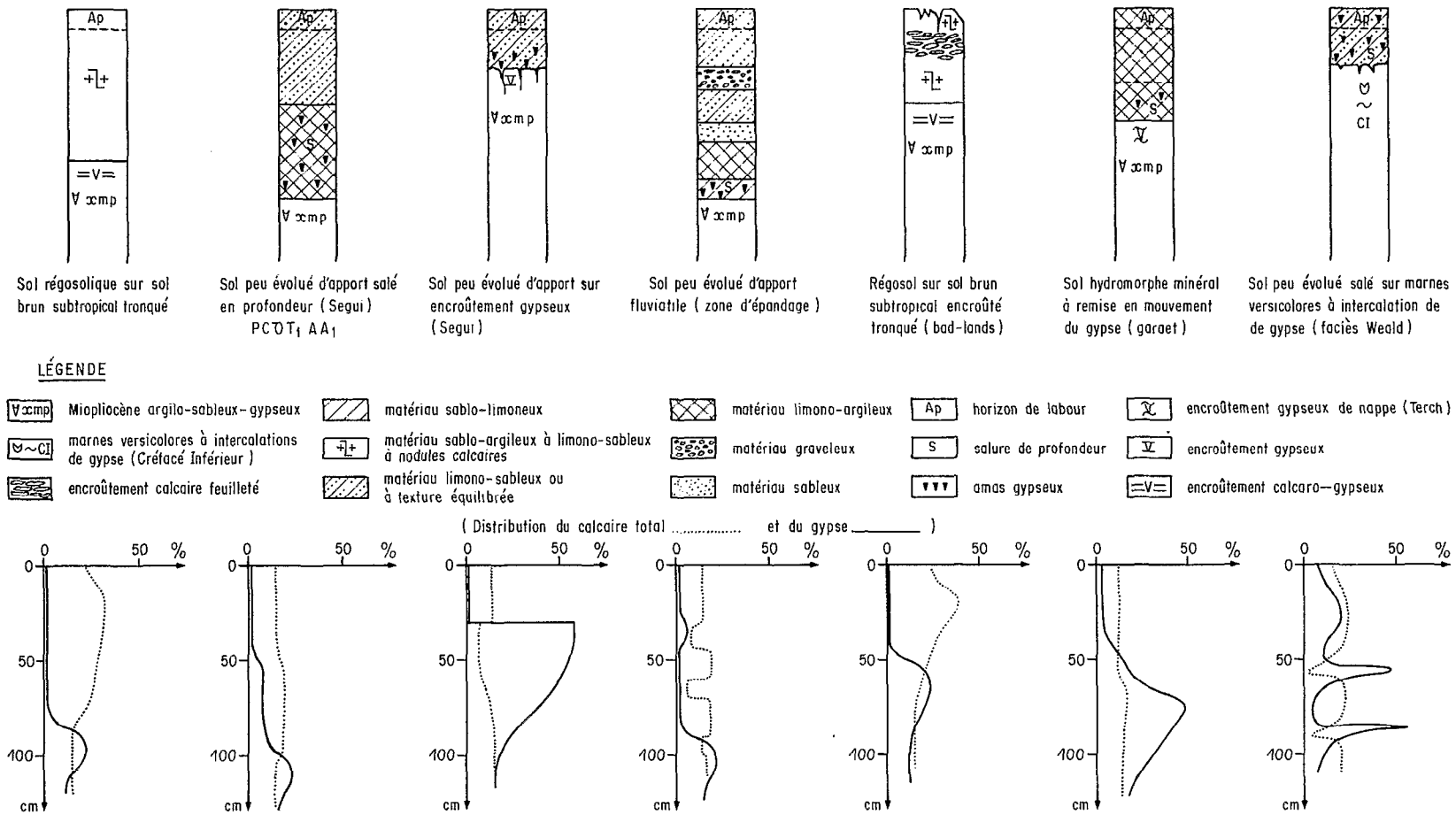


Fig. II.3 - Exemples schématiques des sols des zones limoneuses en Tunisie présaharienne.

Ces sols sont en général peu différenciés (figure II.3.4) car sans cesse rajeunis par les apports ou l'érosion. Certains d'entre eux sont classés dans les sols peu évolués d'apport alluvial avec des tendances à l'hydromorphie ou à l'halomorphie à moyenne profondeur en fonction de leur position dans le paysage.
Dans les *garaet*, avec la présence des nappes phréatiques temporaires les manifestations de l'hydromorphie sont plus marquées avec phénomènes de redistribution du gypse essentiellement sous forme de nodules, amas, encroûtements et croûtes de nappe (*terch*)(POUGET, 1968). D'autres, très affectés par les phénomènes d'érosion sont classés en sols peu évolués régosoliques ou régosols (bad-lands) ; il s'agit principalement des formations limoneuses à nodules calcaires, plus ou moins colluvionnées, mais héritées pour la plupart de l'horizon à accumulation calcaire d'un ancien sol brun subtropical (FOURNET, 1968).

Dans l'ensemble, ces sols souvent épais, moins sensibles à l'érosion que les formations sableuses précédentes mais très battants, sont les terres réservées traditionnellement à la céréaliculture, à condition de leur donner un supplément d'eau par ruissellement (Système *Segui* ; BOURGES *et al.*, 1980. Planches 13 et 14).

Plus fertiles que les précédents (CE = 10 à 15 meq/100 g, Azote total = 0,5 à 1,0 ‰ ; P_2O_5 assimilable = 0,07 à 0,15 ‰ ; K20 totale = 0,2 à 0,4 ‰), souvent salés en profondeur (4 à 5 mmhos entre 60 et 100 cm), ils présentent des pH compris entre 7,5 et 8,0 (FLORET , PONTANIER, 1978; cf. annexe 1).

1.2.2.3. *Sols des formations gypseuses*

L'originalité édaphique de la Tunisie présaharienne est évidemment l'abondance des formations gypseuses ; de nombreux pédologues et auteurs les ont décrites et étudiées (en particulier : LE HOUEROU,1960a 1960b; BUREAU et ROEDERER, 1961 ; COQUE, 1962 ; SOURDAT, 1962 ; MORI et FOURNET, 1964 ; POUGET, 1968 ; PONTANIER, 1968, BOUKHRIS, 1973, etc.). D'une façon générale, le gypse abonde dans les matériaux géologiques, dans les eaux souterraines et de surface de la région, si bien que pratiquement tous les sols présentent des manifestations gypseuses pouvant aller des puissantes croûtes polygonées à seulement quelques traces de sulfates dans les solutions du sol.

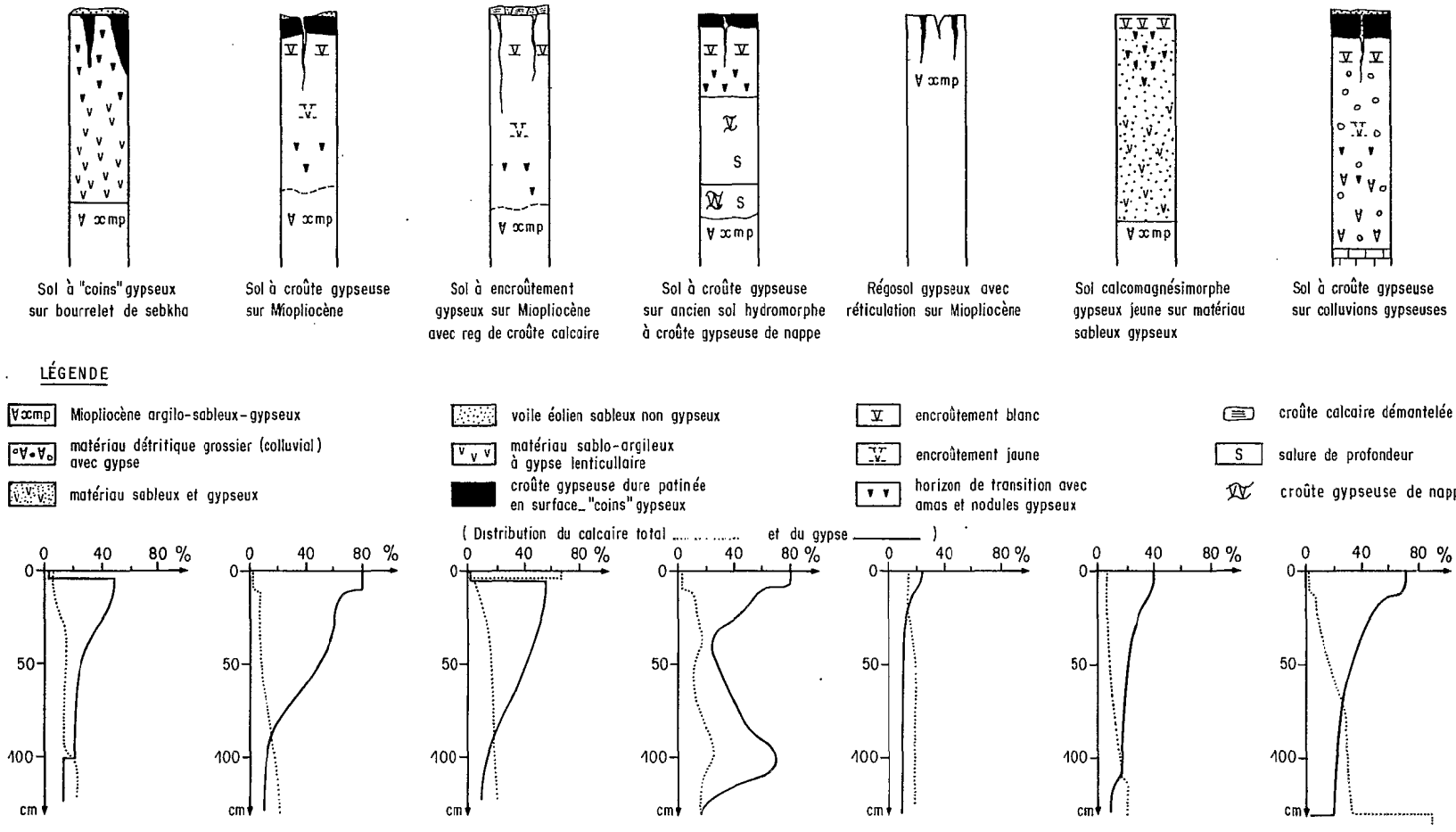


Fig. II.4 - Exemples schématiques des sols gypseux à accumulation de surface en Tunisie présaharienne.

Nous avons déjà cité précédemment certaines de ces manifestations, dans les formations sableuses et limoneuses ; en général, à l'exception des sols de bourrelet de *sebkha*, elles ont lieu à moyenne profondeur et ne sont alors que moyennement contraignantes pour la végétation et l'agriculture. Il n'en est pas de même lorsque ces manifestations se produisent dès la surface ; en effet, sur les hauts et moyens glacis, ainsi que sur certains plateaux et certaines terrasses, l'érosion a mis à nu le substrat géologique gypseux, ou des paléosols gypseux (anciens sols hydromorphes salés et gypseux), sur lesquels se développent de puissants encroûtements et croûtes gypseuses, inaptes à la culture, portant une maigre végétation, et offrant un faible pouvoir de pénétration aux eaux de pluie.

VEILLEFON réalisant en 1976 (1) un inventaire critique des sols gypseux de Tunisie, synthétise les observations macroscopiques de différentes sources :

" *Tous les observateurs s'accordent pour montrer que si les encroûtements sont très souvent surmontés d'une croûte, il existe aussi de vastes encroûtements nus, mais jamais de croûte sans encroûtement, au moins de faible épaisseur. Génétiquement, la croûte procède toujours de l'encroûtement... La croûte, dont l'épaisseur moyenne varie entre 5 et 10 cm, parfois plus dans des cas très particuliers, est généralement morcelée en polygones dont l'amorce est visible dans l'encroûtement sous-jacent. Les faces supérieure et inférieure sont nettement individualisées ; la face supérieure souvent patinée, montrant en coupe un liseré verdâtre, peut être unie ou rugueuse ou même lapiazée... On note parfois une structure lamellaire dans la partie supérieure, au-dessous d'un matériau blanc homogène et moins dur...*

... La croûte repose sur l'encroûtement par une nette discontinuité soulignée par la pellicule durcie de la face inférieure et un mince lit très pulvérulent au sommet de l'encroûtement.

On observe habituellement dans les encroûtements de surface deux parties distinctes : la partie supérieure, ou encroûtement blanc, généralement pulvérulent, mais parfois lamellaire ou stratifié, et la partie inférieure, ou encroûtement jaune, plus compact que le précédent, et comportant des amas durcis dits têtes d'épingles...

(1) Une partie des observations de VIEILLEFON est reprise par WATSON, (1979) à l'occasion d'une abondante recherche bibliographique.

... La base de l'encroûtement présente encore parfois un aspect nodulaire ou gréseux...

Lorsque l'encroûtement n'est pas surmonté d'une croûte, il arrive qu'il soit revêtu d'une mince pellicule de lichens qui semble lui assurer une certaine protection, et une certaine patine".

Les teneurs en gypse de ces formations peuvent dépasser 90 % dans le cas des croûtes, mais atteignent fréquemment 70 % dans le cas des encroûtements ; les teneurs en gypse sont moindres en profondeur. En outre "*C'est aussi un fait d'observation courante que les variations du gypse et du calcaire dans les profils ne semblent pas indépendantes.*

"*Le contraste le plus net concerne les sols à croûte ou encroûtements gypseux dans lesquels le gypse augmente vers la surface, tandis que le calcaire diminue*". (VIEILLEFON, 1976).

Mais cela dépend aussi du matériau originel. Dans la figure II.4 nous donnons un aperçu schématique de la macromorphologie de ces sols gypseux de la classe des sols calcomagnésimorphes.

1.2.2.4. *Sols des formations squelettiques calcaires*

Au-dessus de 300 mètres d'altitude, ils sont principalement représentés par l'ensemble des lithosols des montagnes, ainsi que par des colluvions très grossières de versant. Quelques rares vestiges, dans des sites privilégiés à l'abri de l'érosion, sont les témoins d'une ancienne pédogenèse sous végétation forestière, aboutissant à des sols de type rendziniforme et brun calcaire, avec mull calcaire bien évolué, et avec des horizons d'accumulation calcaire pouvant "emballer" les colluvions.

La disparition des derniers genévriers de Phénicie et des pins d'Alep, et aujourd'hui la surexploitation des petits ligneux et de l'alfa, ainsi que le surpâturage, ont entraîné la disparition des horizons organiques, mettant à nu soit les dalles calcaires, soit les horizons d'accumulation du calcaire.

Dans les plaines, et sur les glacis, principalement en Djefarra, à Djerba, dans les régions de Maknassy, de Mezzouna, et de Bir Ali Ben Khalifa, se développent des formations à croûte calcaire, vestiges de sols anciens. Ces horizons à accumulations calcaires sont comparables

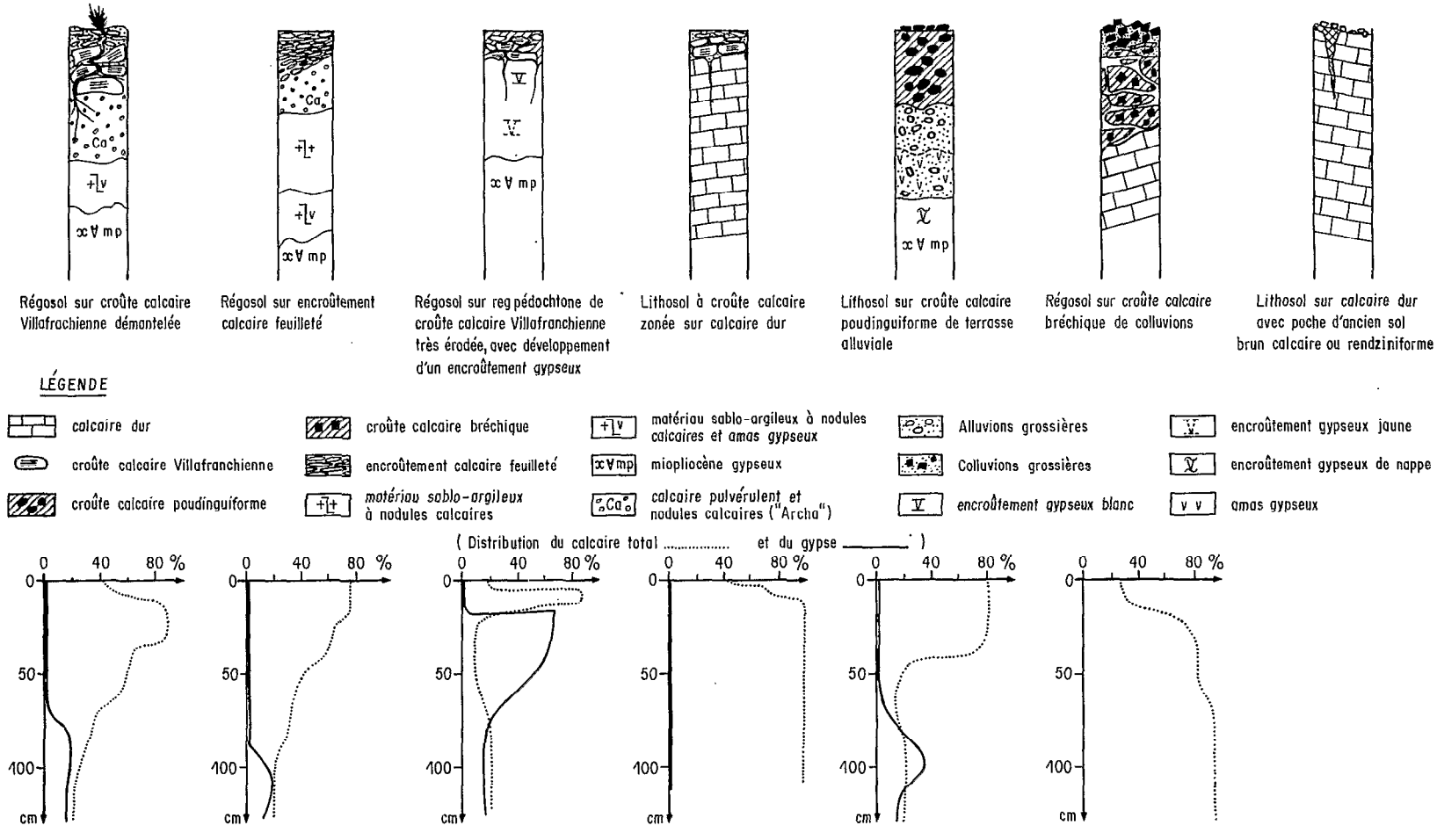


Fig. II.5 - Exemples schématiques des sols squelettiques calcaires en Tunisie présaharienne.

à ceux décrits par RUELLAN (1971) au Maroc, DURAND (1959), BOULAINE (1961) et POUGET (1980) en Algérie, ou ceux que nous avons observés sur le Northern Western Coastal Desert Egyptien. Pour KOVDA *et al.*, (1979), l'ensemble de ces croûtes calcaires a été formé lors d'époques pluviales, même si certaines manifestations sont contemporaines (POUGET, 1980).

Ces formations à croûte calcaire dominent en général les croûtes et encroûtements gypseux ; la plupart des auteurs s'accordent sur le fait que ces accumulations calcaires se sont mises en place au cours des phases humides du Quaternaire, la plus ancienne étant celle du Villafranchien ; celle-ci se retrouve aujourd'hui dans le paysage sous forme de buttes-témoins à sommet tabulaire (Bir Ali, Djerba), ou encore sous forme de vastes ensembles plats se raccordant aux glacis des Matmatas et des Dahars en Djeffara (région de Médenine). Démantelée lors des derniers mouvements atlasiques, cette formation ne se présente pas sous l'aspect d'une carapace continue. Lorsqu'ils affleurent, les gros blocs de la croûte saumonée se fragmentent dans leur partie supérieure constituant un reg très dense de minces plaquettes souvent vernissées (COQUE, 1962 ; ESCADAFAL, 1979). Cette croûte fracturée peut atteindre plusieurs décimètres d'épaisseur et constitue souvent un obstacle majeur à la mise en valeur, bien que les racines des ligneux et des arbres puissent pénétrer entre les blocs. En-dessous, se développe généralement, un horizon calcaire pulvérulent riche en petits nodules indurés calcaires, exploité par les racines ("Archa" à Djerba, Zarzis, Djorf) ; puis s'éffectue une transition progressive vers les argiles sableuses-gypseuses du Miopliocène, par des horizons où les manifestations de calcaire et de gypse secondaires sont très variées suivant la situation.

Les éléments du démantèlement de la croûte villafranchienne ont souvent été recimentés, ou simplement enrichis en calcaire lors de phases pluvieuses ultérieures, contemporaines vraisemblablement des formations tensiftiennes de la Tunisie Centrale, puis plus tard par l'encroûtement feuilleté fréquemment rencontré dans les formations limoneuses à nodules calcaires.

Les différentes formes de ces accumulations sont abondamment décrites par ailleurs ; cependant, en Tunisie présaharienne, à l'exception de la région de Médenine (LE HOUEROU, 1960a ; ESCADAFAL, 1979) elles ne dominent pas le paysage ; et encore sont-elles souvent enterrées par des recouvrements sableux ou limoneux. La figure II.5, schématise quel-

ques-unes de ces formations au potentiel biologique très bas.

1.2.2.5. *Sols des formations halomorphes*

Ces formations sont directement liées aux exutoires des systèmes de drainage ou soumises à une nappe phréatique salée, ou à l'influence de la mer ; elles sont donc essentiellement associées aux formes suivantes : *chotts*, *garaet*, et toutes autres zones à caractères endoréiques ou semi-endoréiques dans le domaine continental, et marais côtiers, *sebkhas*, zones lagunaires, deltas en bordure de mer. Elles se développent sur des matériaux le plus souvent alluvionnaires, calcaires, et/ou gypseux.

A l'exception de certains cas d'halomorphie résiduelle, ou pétrographique, ces zones, à excès de sels, sont soumises du moins temporairement, à des excès d'eau plus ou moins salée avec présence de phénomènes d'oxydoréduction , soit par inondation, soit par marées, soit par remontée des nappes phréatiques à rythme saisonnier marqué, d'où de nombreuses manifestations d'oxydo-réduction sur le soufre et le fer. Ces sols, sont représentés essentiellement, par les sols sodiques à structure non dégradée. En effet, en raison de matériaux riches en calcaire et en gypse, de complexes absorbants très faible (CE < 10 meq/100g de terre), de la prédominance des textures légères, les sols à alcalis ou alcalins sont rares. En général, vers le haut de la toposéquence des sols salins, l'halomorphie est présente à moyenne profondeur, puis à mesure que l'on descend elle s'accentue et se manifeste sur tout le profil ; dans les zones les plus basses et les plus mal drainées (Hydromorphic landscapes, KOVDA *et al.* 1979), ou encore à l'exutoire des systèmes hydrogéologiques salés, elle est alors maximale, et avec des nappes phréatiques souvent situées à moins de un mètre de profondeur qui peuvent présenter des résidus secs dépassant 300 g/l. La conductivité moyenne de l'horizon de surface (0-40 cm) peut donc ainsi varier le long de la pente de 3-4 mmhos/cm à 200 mmhos/cm. Sur un même site, en raison de son caractère très fugace, la conductivité de surface varie du simple au triple, suivant la saison et la hauteur des précipitations récemment tombées. Les manifestations de salure peuvent aller de quelques auréoles d'efflorescences salines à des croûtes de sel dont certaines atteignent 20 cm d'épaisseur dans la Sebkha de Zarzis, en passant par tous les intermédiaires possibles (pellicules salées, horizons à pseudosables,

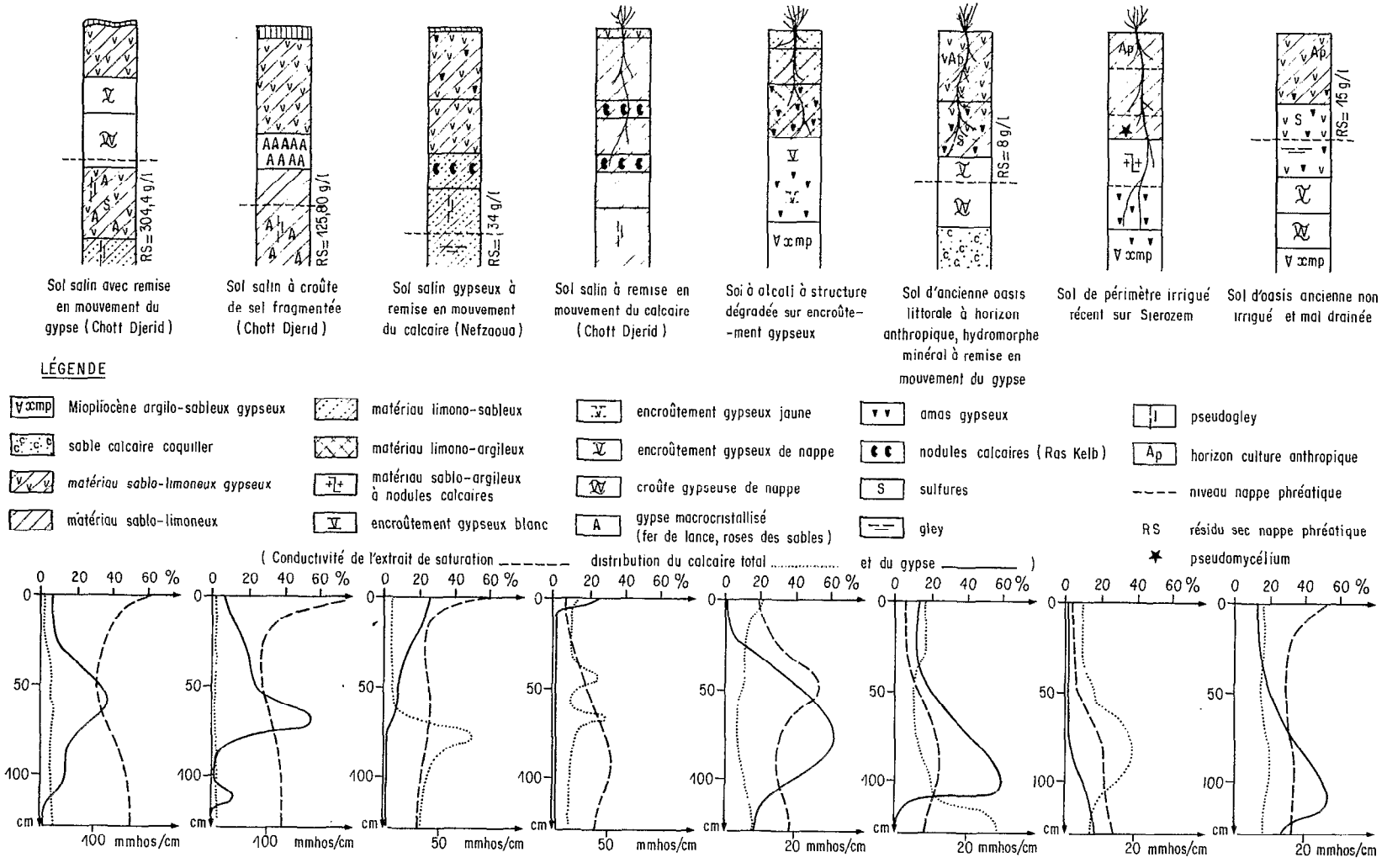


Fig. II.6 - Exemples schématiques des sols halomorphes et d'Oasis en Tunisie présaharienne.

efflorescences généralisées, etc.). Si les chlorures, surtout de sodium, sont les sels qui, en raison de leurs grandes solubilité et mobilité, influencent le plus les paysages salés de la Tunisie présaharienne, une grande partie de ces sols halomorphes est aussi le siège de manifestations gypseuses importantes liées à une nappe phréatique riche en sulfates. Dans la zone de battement de la nappe phréatique, ou dans la frange capillaire exploitée par les racines, les sulfates, et à un degré moindre les carbonates et les bicarbonates dissous peuvent précipiter. Situées à moyenne profondeur ces formes d'accumulation gypseuse très variées (amas, nodules, croûtes et encroûtements, roses des sables, macro-cristaux, *terch*, *deb-deb*, *ras-kelb*, etc.), ont été décrites et étudiées en Tunisie surtout par POUGET, 1968 ; PONTANIER, 1968 et VIEILLEFON, 1976 (cf. figure II.6). Elles sont en particulier spectaculaires dans la partie aval des oasis anciennes et mal drainées et sur le pourtour du Chott Djerid et de la Sebkha de Zarzis.

En raison de la distribution de la salure en auréoles concentriques, il apparaît, sur ces formations halomorphes, une répartition des espèces végétales reproduisant assez bien celle de la conductivité, principalement des horizons de surface ; on constate habituellement l'absence totale de végétation pour une conductivité supérieure à 60-80 mmhos/cm dans les 40 premiers centimètres, pendant au moins une période de l'année ; différents auteurs ont largement abordé ce sujet (LE HOUEROU, 1959, 1969; COINTEPAS, 1968 ; NOVIKOFF, 1961 ; BELKHODJA, 1972, etc.). En général, ces sols ne sont pas cultivables, exceptions faites de certaines parties qui grâce à l'utilisation de l'irrigation peuvent être lessivées et drainées, ainsi que de quelques franges qui à l'occasion d'années pluvieuses peuvent supporter, en raison du lessivage temporaire, une céréaliculture épisodique (orge).

1.2.2.6. *Les sols d'oasis et des périmètres irrigués*

Les périmètres irrigués et surtout les oasis traditionnelles. sont constitués par un ensemble de sols, dont l'évolution est le reflet d'une longue utilisation par l'homme. Ces sols anthropiques, bien étudiés dans le Sud tunisien par NOVIKOFF (1961), POUGET (1963, 1968) et COINTEPAS *et al.*, (1966), ont fait l'objet d'une classification spéciale, où les caractères d'halomorphie en raison de leur fugacité sous l'influence de l'irrigation, sont en général retenus à un niveau infé-

rieur.

En effet, ces formations sont toutes plus ou moins marquées par l'action de l'homme qui a parfois profondément modifié la morphologie initiale du profil de sol, ainsi que ses caractéristiques physico-chimiques.

La culture et des apports de matière organique et de sables, ont, au cours des siècles, profondément modifié la texture, la structure et la fertilité de ces sols ; c'est le cas des oasis traditionnelles où un horizon homogène anthropique de 40 cm riche en matière organique (2 à 4 %), bien aéré, peut être régulièrement observé.

L'irrigation à partir des eaux souterraines, sources et oueds autrefois, forages aujourd'hui, a une influence prépondérante sur la typologie de ces sols (cf. Fig. II.6). Les eaux utilisées étant salées (de 1,5 g/l à 7 g/l suivant la zone), l'agriculteur pour éviter de "chargées" le sol en surface, est obligé de pratiquer régulièrement des apports massifs d'eau, dits de "lessivage", qui ne sont pas sans inconvénients. En effet, en l'absence de réseau de drainage efficace on assiste à des phénomènes d'engorgement des profils, à des remontées de nappes phréatiques avec concentration des sels en surface et formation de croûtes et encroûtements gypseux et calcaires à moyenne profondeur (POUGET, 1968 ; UNESCO, 1970).

Lorsque l'irrigation de ces sols est abandonnée, très vite les taux de salure croissent en surface ; inversement, avec quelques irrigations de lessivage accompagnées d'une évacuation des sels par drainage, les horizons de surface peuvent revenir à des taux de salure acceptables pour la culture.

Actuellement, on dispose environ, de 10 m^3/s permettant d'irriguer les 17 000 ha d'oasis et de périmètres irrigués de la Tunisie présaharienne (UNESCO, 1972) mais on assiste à un abandon progressif des oasis traditionnelles pour des raisons techniques (manque d'eau, détérioration des équipements hydrauliques, mécanisation, etc.) et socio-économiques (exode rural, prix agricoles trop bas, etc.). Aussi, on peut considérer qu'environ 60 % des sols des oasis littorales et semi-continentales sont actuellement non ou mal cultivés et sont en cours de salinisation (FLORET *et al.*, 1977).

En revanche, les périmètres irrigués de création récente desti-

nés aux cultures fourragères dans la zone côtière, aux palmeraies pour les dattes de qualité dans le Djerid et le Nefzaoua, ont tendance à se développer souvent sur des sols mieux appropriés que ceux des oasis traditionnelles, situées obligatoirement à proximité des points d'eau naturels.

1.2.3. Classification des sols

La présentation des principaux sols de la Tunisie présaharienne telle qu'elle a été faite dans le cadre élargi des secteurs écologiques, nécessite des précisions sur la position systématique de ceux-ci, dans la classification proposée par la Comission Française de Pédologie et de Cartographie des sols (CPCS, 1967). Notons que les propositions de cette commission ne nous satisfont pas entièrement, en ce qui concerne les sols gypseux à accumulation de surface ainsi que certains sols sodiques, a remise en mouvement du gypse.

CLASSE DES SOLS MINERAUX BRUTS

SOUS-CLASSE NON CLIMATIQUE

Groupe d'érosion

sous-groupe lithosols sur roches dures

Il s'agit de l'ensemble des sols, dominants dans le domaine atlasique, se développant sur les affleurements et les surfaces structurales des roches calcaires, calcarodomitiques et gréseux du Jurassique et du Crétacé. Dans le domaine steppique, ils sont le résultat du décapage par les eaux et le vent des croûtes calcaires continues (principalement villafranchiennes), des glacis, plateaux et terrasses. (Djeffara, Ouara, Ile de Djerba).

sous-groupe régosols sur roches meubles

Ils sont très représentés sur les matériaux marneux et gypseux du Néocomien (marnes versicolores à faciès Wealdien) de la combe du chott Fedjej, sur les affleurements sablo-argileux et gypseux du Miopliocène (Djeffara et Basses Plaines Méridionales), et sur les anciennes formations limoneuses à nodules calcaires (Matmata), où les eaux de ruissellement ont façonné des paysages de ravines (bad-lands). Nous classons aussi dans ce groupe tous les glacis à croûtes et encroûtements calcaires de surface fortement démantelés et fragmentés décapés par le vent et l'eau, qui s'apparentent à des regs pédochtones.

Groupe d'apport alluvial

Ces sols sont localisés sur les cônes de déjection des oueds, au débouché des massifs, ainsi que sur les lits mineurs. Leur épaisseur peut-être importante (plusieurs mètres), leur texture est toujours grossièrement sableuse, et comporte une forte charge en galets et blocs roulés, de roches le plus souvent calcaires.

Groupe d'apport colluvial

Très abondants sur les versants du domaine atlasique, ils constituent les éboulis à gros blocs calcaires, dolomitiques et gréseux ; ils sont pratiquement dépourvus d'éléments fins.

Groupe d'apport éolien

Mises à part les dunes littorales, et les formations dunaires voisines du domaine saharien (erg), ces sols sont essentiellement dans le domaine steppique d'origine anthropique ; on rencontre ce type de sols à la périphérie des zones où la pression sur le milieu est forte. Il s'agit le plus souvent de formations finement sableuses calcaires ou gypseuse inorganisées, mobiles, pouvant prendre l'aspect de dunes de 0,5 à 2 mètres de hauteur ; un allégement de la pression, permet une recolonisation par la végétation de ces sables.

CLASSES DES SOLS PEU EVOLUES

SOUS-CLASSE NON CLIMATIQUE

C'est sans conteste la classe de sols la plus importante en Tunisie présaharienne.

Groupe d'érosion

sous-groupe régolosique

Le décapage continu, par l'eau et le vent, des horizons superficiels et la mise à nu des horizons meubles d'accumulation calcaire des anciens sols bruns subtropicaux, des sierozems ou la reprise de l'érosion hydrique sur certains glacis d'accumulation de piémont, conduit à des profils de type BCa C ou C, se développant sur des matériaux sablo-argileux à limono-argileux. L'érosion hydrique en nappe ou en rigoles, le glaçage superficiel et généralisé (pellicule de battance) dominent en saison humide, la déflation éolienne en saison sèche. Ces sols régolosiques sont d'autant plus abondants (Matmata, Djeffara, Basses Plaines Méridionales) que la pression des hommes et des animaux sur le milieu est forte.

Groupe des sols d'apport alluvial

Ce groupe très important, par son intérêt agricole en Tunisie présaharienne, a son extension maximale sur les moyennes et hautes terrasses des oueds et l'aval des systèmes de drainage dans les zones d'épandage des oueds, zones endoréiques, et dans les basses plaines littorales ou à la périphérie des chotts. Les sols de texture sablo-limoneuse à argilo-sableuse à sables fins sont toujours saturés, assez bien pourvus en matière organique pour la région (0,5 à 0,7 %), souvent très épais (>1m) et fréquemment soumis à l'influence de nappes phréatiques ou d'inféroflux plus ou moins salés. Ils sont sans cesse rajeunis par des apports alluviaux lors des années pluvieuses ; certains présentent des caractères d'halomorphie et d'hydromorphie au niveau du sous-groupe et des remises en mouvement des sels de calcium plus ou moins accentués, en fonction de leur position sur la toposéquence générale.

Groupe des sols d'apport alluvio-colluvial

Ce groupe n'existe pas dans la classification CPCS 1976. Il s'agit essentiellement des sols se développant sur les glacis d'accumulation dans les zones de "Séguis" formés de la coalescence des éboulis des reliefs et des épandages divaguants des oueds.

Ils sont abondants dans la région de Gafsa-Sidi Mansour, et présentent, en plus de leur forte charge en éléments grossiers, les mêmes caractéristiques que les sols du groupe précédent.

Groupe des sols d'apport éolien

Les formations éoliennes récentes sont abondantes en Tunisie présaharienne, et sont sans cesse rajeunies par des apports éoliens continuels. Les sols y sont donc jeunes, de texture sableuse à sablo-limoneuse à sables calcaires ou gypseux. Le profil toujours saturé, pauvre en matière organique (0,1 à 0,3 %), et d'épaisseur très variable (0,30 à 1 ou 2 mètres), est de type A (C) et présente souvent en surface un voile éolien mobile entre de petites dunes fixées par la végétation (nebkhas, micro-nebkhas). Des tendances isohumiques peuvent se manifester (distribution profonde d'une matière organique bien évoluée et léger gradient de $CaCo_3$). Pour les formations éoliennes gypseuses (dunes, lunettes, bourrelets, le gypse tend sensiblement à migrer vers la surface (faible gradient). Ces sols d'apport éolien enterrent très souvent des sols plus anciens (Sierozems, croûtes et encroûtements calcaires et ou gypseux, sols hamorphes, limons à nodules calcaires hérités d'anciens sols bruns).

Groupe des sols d'apport anthropique

L'apport continu d'amendements organiques et minéraux, et l'utilisation de l'irrigation, dans les oasis traditionnelles et les périmètres irrigués, ont profondément modifié le profil originel des sols, qui sont actuellement caractérisés par un horizon Ap (horizon de "sape") de 20 à 40 cm d'épaisseur, riche en matière organique (1,5 à 3 %) et en sables fins (amendements ayant pour origine les sables de dunes littorales ou continentales).

Suivant la conduite de l'irrigation et la position topographique, les manifestations de la salinité et de l'hydromorphie (gley, pseudogley, sulfures, remise en mouvement du gypse et du calcaire) peuvent être plus ou moins intenses, et permettent de définir plusieurs sous-groupes dans ce groupe, ou de reclasser ces sols en sols hydromorphes ou sodiques à origine anthropique (oasis littorales des régions de Gabès, Kettana Zarsis, ou oasis continentales des régions de Kebili, Djerid, El Hamma).

CLASSE DES SOLS CALCIMAGNESIQUES

SOUS CLASSE DES SOLS CARBONATES

Nous pouvons citer pour mémoire des reliques de sols bruns calcaires riches en matière organique (2 à 5 %) sous forme de poches de dimensions restreintes (diaclases) dans certaines stations humides et peu dégradées du domaine atlasique (Matmata, Dj. Orbata).

SOUS-CLASSE DES SOLS GYPSEUX

Les sols gypseux comptent parmi les plus originaux de la Tunisie présaharienne. Ils se développent uniquement sur des roches gypseuses, sur leurs produits transportés ou sur un matériau pédologique gypseux (ancien encroûtements ou croûtes gypseux de nappe).

Groupe des sols bruns gypseux

sous-groupe modal

Nous n'avons pu observer ce sous-groupe en Tunisie présaharienne ; POUGET (1981) le signale en Algérie sous des climats plus humides (P > 300 mm). Par contre, des sols peu évolués d'apport éolien récent à faciès steppisé peu épais enterrant des encroûtements gypseux, sont fréquents dans notre zone.

sous-groupe à encroûtement gypseux

Le profil, de type B C, est caractérisé par une accumulation de gypse en surface, avec des gradients inversés du calcaire et du gypse, sous forme d'encroûtements friables ou de croûtes dures patinées et polygonées, où les teneurs en gypse dépassent fréquemment 70 %. Ces sols représentent près de 25 % de la surface du territoire. Leur classification proposée par le CPCS (1967) est actuellement insuffisante et ne traduit pas leur diversité morphologique ni leur processus de formation (VIEILLEFON 1976).

CLASSE DES SOLS ISOHUMIQUES

SOUS-CLASSE A COMPLEXE SATURE ET A PEDOCLIMAT FRAIS PENDANT LA SAISON HUMIDE

Groupe des Sierozems

En Tunisie présaharienne, ces sols représentent le "climax" actuel dans la mesure où ils supportent une végétation steppique relativement ancienne. Les profils sont moyennement différenciés et présentent une zonalité climatique dans leur degré d'évolution. Ils se développent essentiellement sur des matériaux d'apport calcaire de texture légère (sableuse à sablo-argileuse). La matière organique bien évoluée (C/N < 10) de type Mull calcaire de steppe est bien répartie dans le profil, mais peu abondante (< 0,6 %). Toujours saturés les profils A BCa C montrent un enrichissement progressif en calcaire (pseudomycellium ou amas) à moyenne profondeur (limite du front d'humectation). Ils peuvent être épais (>1 mètre) et enterrer des croûtes et encroûtements calcaires ou calcaro-gypseux, ou d'anciens horizons limoneux à nodules calcaires hérités de sols bruns.

La plupart d'entre eux sont modaux, mais certains, au voisinage des plaines littorales ou des dépressions salées, peuvent présenter une certaine salure de profondeur. Les types polyphasés sont fréquents.

CLASSE DES SOLS HYDROMORPHES

En Tunisie présaharienne, du fait de la géochimie des eaux, l'hydromorphie est pratiquement toujours liée à l'halomorphie (chotts, plaines littorales, exutoire des réseaux de drainage). Aussi ce n'est que dans des situations très localisées que les sols hydromorphes non salés existent.

SOUS-CLASSE DES SOLS HYDROMORPHES MINERAUX

Groupe des sols à gley

On les observe principalement dans les zones mal drainées des anciennes Oasis (Rhenouch, Gabès, Kebili, Djerid, El Hamma) ; ils sont donc d'origine anthropique. Le gley peut être peu profond (<80 cm) profond (>80 cm) et plus ou moins salé suivant la qualité de l'eau d'irrigation et celle de la nappe phréatique. Les sulfures sont en général abondants.

Groupe des sols à pseudogley

La présence d'une nappe phréatique temporaire ou à fort battement dans les oasis, périmètres irrigués ou dans les dépressions inondables temporairement et dans les basses terrasses, engendre des pseudogleys d'autant plus développés que le sol est de texture lourde et la nappe peu circulante. Ils peuvent être salés en profondeur, et présenter des horizons d'accumulation de gypse sous forme d'amas et nodules.

Groupe des sols à redistribution du gypse

Ces sols sont observés dans les mêmes situations que précédemment ; suivant leur position dans la toposéquence générale, ils sont peu salés a non salés à l'amont, et deviennent franchement sodiques à l'aval. Le profil du type A BCa C se développent sur des matériaux d'apport gypseux, mais aussi non gypseux (Nefzaoua).

L'horizon BCa est caractérisé par des amas, nodules, pseudomyceliums, encroûtements et croûtes gypseux dont l'origine est due à une nappe phréatique battante riche en sulfates et aussi à une forte activité racinaire. (POUGET 1968). Ces horizons d'accumulation gypseuse se manifestent surtout dans la zone de battement, à des profondeurs variables (0,3 à 3 mètres), et sont souvent associés à des sulfures et pseudogleys.

CLASSE DES SOLS SODIQUES OU HALOMORPHES

Ils occupent près de 20 % du territoire de la Tunisie présaharienne.

SOUS-CLASSE A STRUCTURE NON DEGRADEE

Groupe des sols salins (Solontchak)

Bien représentés dans la zone des grands Chotts et dans les plaines littorales, ces sols se développent sur des matériaux alluviaux ou d'origine fluvio-marine calcaire et gypseux à texture légère (sablo-limoneuse à limono-sableuse). Ils sont soumis à l'action de nappes phréatiques très salées dont le résidu sec varie de quelques grammes par litre à plus de 300 g/l (Chott Djerid et Sebkha Melah). La conductivité de leur extrait de saturation peut atteindre plus de 100 mm hos/cm pour les hypersolonchaks.

Les sous-groupes à efflorescences salines, à horizon superficiel friable à encroûtement salin superficiel coexistent un peu partout. Il conviendrait de leur adjoindre un sous-groupe à croûte saline ; en effet des croûtes salines superficielles épaisses et compactes pouvant atteindre 10 à 15 cm s'observent dans certains chotts (Djerid, Rharsa, Sebkha Melah). La présence de croûte et encroûtement gypseux de nappe à moyenne profondeur est la règle générale.

SOUS-CLASSE A STRUCTURE DEGRADEE

Groupe des sols salins à alcalins

sous-groupe à structure poudreuse

de l'horizon de surface en saison sèche

Dans les mêmes situations que précédemment, mais sur des matériaux à la texture plus riche en argile, évoluent ces sols à structure dégradée. Durant la saison humide, ces formations peuvent être engorgées en surface et submergées temporairement en raison de la dispersion des argiles sodiques de surface. A la fin de la saison des pluies, une pellicule saline (argile + Nacl) se forme en surface puis se désagrège avec la sécheresse, aboutissant en fin de saison sèche, à la formation d'un horizon superficiel de quelques centimètres, à structure poudreuse (pseudo-sables). La conductivité de l'extrait de saturation peut aller de 7 mm hos/cm à plus de 100 mm hos/cm ; elle est maximale en saison sèche. La présence de calcaire et de gypse ne semble pas atténuer ce caractère de structure dégradée. Comme les précédents sols sodiques soumis à l'action de nappes phréatiques salées et sulfatées, ils présentent des phénomènes de remise en mouvement du gypse.

1.2.4. Répartition des principaux sols

Nous terminerons cette partie en donnant un bref aperçu de l'importance relative des différentes formations décrites ci-dessus. Sur l'ensemble du territoire de la Tunisie présaharienne, d'une surface approximative de 30 000 km^2, on considère d'après LE HOUEROU (1969) et BELKHODJA *et al.*, (1973), que la répartition des sols est la suivante :

- Sols des formations sableuses .....19 %
- Sols des limons des glacis, terres de *Seguis*, des plateaux de déflation, des zones d'épandage et des bas fonds.....13 %
- Sols gypseux.....24 %
- Sols squelettiques calcaires (glacis à croûtes calcaires, djebels).....25 %
- Sols des formations halomorphes (*chotts, sebkhas* et leur bordure).....19 %
- Sols d'oasis et des périmètres irrigués (17 000 ha)..... pour mémoire

Notons que les deux tiers environ des sols peuvent être considérés comme ayant un faible potentiel biologique (salure forte et épaisseur insuffisante), et sont pratiquement inaptes à l'agriculture ; et que près de la moitié sont caractérisés essentiellement par des accumulations de sels solubles dans le profil ou en surface, d'ordre majeur telles que croûtes et encroûtements (cf. II.3).

1.3. LES TENDANCES ACTUELLES DE L'EVOLUTION DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

Depuis quelques décennies, en raison de la pression sans cesse croissante de l'homme et de l'animal sur le domaine steppique, on constate un déséquilibre dans la gestion des ressources naturelles : le prélèvement dépasse le renouvellement.

Sous l'effet de la mise en culture, de l'éradication des ligneux, du surpâturage, les sols se dégradent et s'érodent rapidement ; cependant, les produits des différentes formes d'érosion peuvent être transportés dans d'autres zones et reconstituer des sols plus jeunes, mais de fertilité et de propriétés physico-hydriques moins favorables que celles des précédents. Donc, s'il y a parfois régénération des sols, elle ne fait que ralentir le processus général de dépréciation de l'ensemble du potentiel édaphique des régions présahariennes (figure II.7).

1.3.1. Dégradation des sols

Dans de nombreux cas, la dégradation des sols est la phase qui prépare l'érosion. D'une façon générale, elle est liée à la dégradation de la végétation naturelle ; la disparition progressive du couvert végétal conduit (NAHAL, 1975 ; FLORET *et al.*, 1976) :

- à un appauvrissement en matière organique se traduisant, d'une part, par une désorganisation de la structure et des propriétés physiques du sol (surtout en surface), et d'autre part, par un abaissement de la fertilité chimique ;
- à la disparition du voile éolien, très mobile, mais qui, lors des fortes pluies, joue un rôle énorme en diminuant l'énergie cinétique des gouttes d'eau, et en limitant les phénomènes de ruissellement primaire. En l'absence du voile éolien, les sols se glacent très vite en surface (quelques pluies y suffisent en l'espace de 2 à 3 mois), et une "pellicule de battance" de quelques millimètres d'épaisseur se développe rapidement, même sur des sols très sableux tels que les sierozems. La généralisation de ce phénomène conduit : (a) à une diminution de l'efficacité de la pluie (1)

(1) Sur une steppe sableuse, dans les mêmes conditions topographiques, il a été mesuré, au cours d'une période de 3 ans, que les précipitations ont une efficacité de 15 à 20 % inférieure lorsqu'elles tombent sur le sol sans voile éolien sableux.

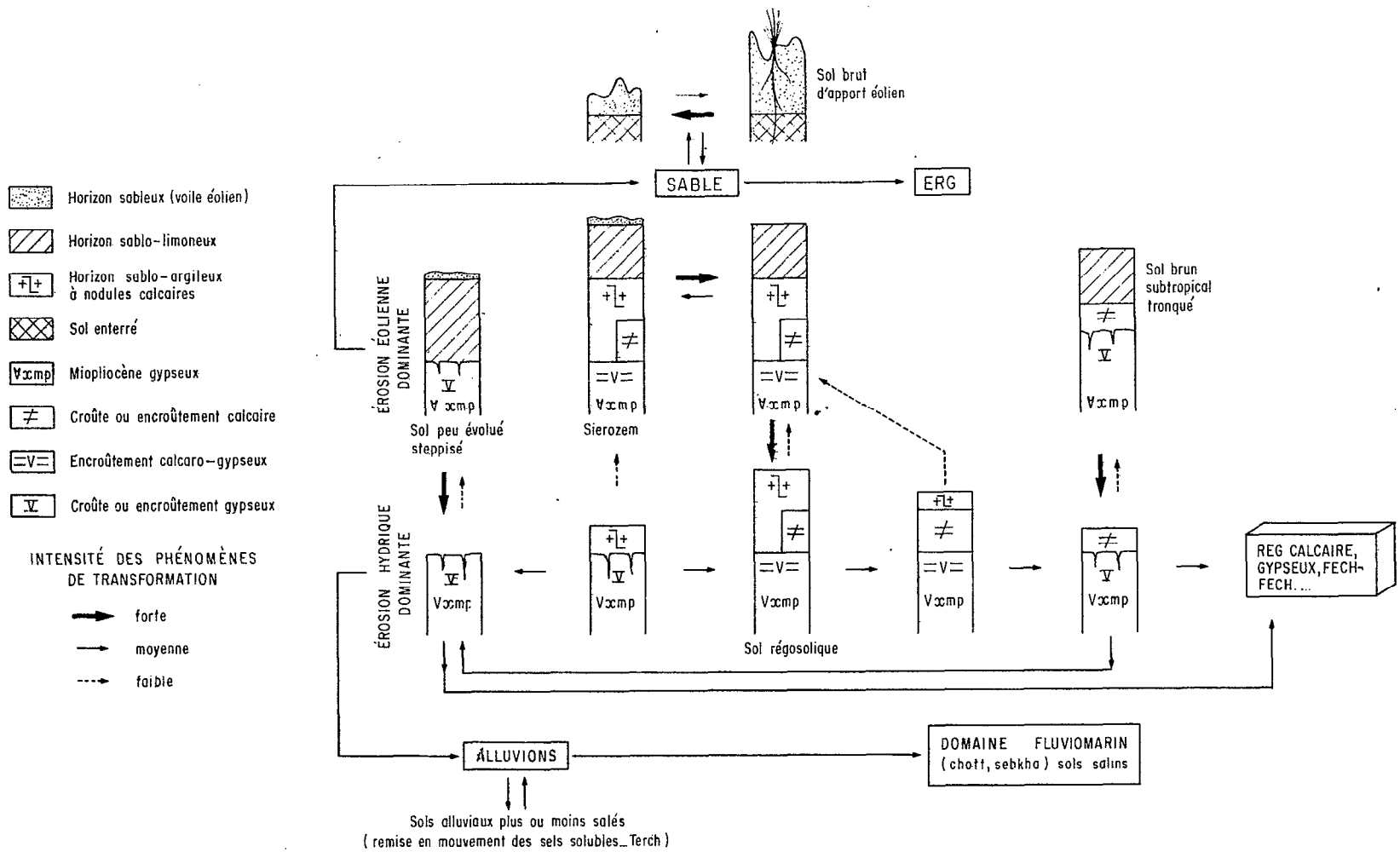


Fig. II.7 - Exemple de schéma d'évolution actuelle de la couverture pédologique du domaine steppique de la Tunisie présaharienne.

dans la recharge des réserves en eau du sol, par une augmentation du ruissellement, qui entraîne les graines des espèces végétales, loin de la zone, (b) à une mauvaise économie de l'eau du sol au cours de l'année (augmentation de l'évaporation, absence de "*mulch*"), (c) à favoriser et accentuer les phénomènes de l'érosion hydrique, (d) à gêner les germinations surtout des espèces annuelles.

Un autre aspect de la dégradation des sols à prendre en compte est celui de sa quasi-stérilisation des milieux par des apports éoliens massifs sous forme de dunes non fixées. Ce phénomène s'est beaucoup développé ces dernières années avec l'introduction de la céréaliculture mécanisée. Il consiste en un véritable ennoyage de la steppe et du sol qui la porte par quelques décimètres, voire parfois un mètre ou deux, de sable d'apport éolien, au voisinage des surfaces emblavées ; dans certains cas la végétation spontanée peut recoloniser ces formations, mais souvent elle en est incapable; le résultat en est la formation de dunes vives qui, dans les zones présahariennes, conduisent rapidement à la formation d'un *erg*.

Dans ces zones présahariennes, où les sols déjà dégradés sont d'une grande fragilité, les phénomènes d'érosion sont actuellement en voie d'accentuation.

Enfin, un autre équilibre est actuellement rompu, c'est celui du bilan d'eau et du bilan des sels dans les zones irriguées : nombreux sont aujourd'hui les sols en voie de dégradation par stérilisation par la salure.

1.3.2.L'érosion hydrique

Elle est surtout active dans les *djebels*, sur les piémonts, les glacis, et le long des berges d'oueds ; elle intéresse très peu les basses plaines sableuses (BELAID, 1967 ; BONVALLOT et BEN AMAR, 1979). Citons les principaux aspects :

- dans les *djebels*, elle conduit généralement à la mise à nu des structures calcaires du Crétacé ;
- sur les glacis encroûtés, elle décape les croûtes calcaires et gypseuses, favorisant ainsi l'apparition de sols très squelettiques ;
- sur les glacis d'accumulation, elle se traduit par une tron-

cature en nappe des sols, ou une érosion en rigoles ; ce type d'érosion peut aboutir à la troncature totale des sols, souvent jusqu'aux encroûtements calcaires, et même jusqu'à l'assise gypseuse du Mio-Pliocène ou du Weald, favorisant ainsi le développement d'une croûte gypseuse ;

- sur les berges des oueds, qui drainent ces zones de piémonts et de glacis, on assiste actuellement à une érosion régressive des hautes terrasses constituées pour la plupart du matériau à nodules calcaires, sous forme de ravines, aboutissant à un relief de "bad lands" (CLAUDE et PONTANIER, 1971);
- à chaque pluie importante, les crues décapent le fond des lits moyens et amont des oueds, et remanient sans cesse leurs zones d'épandage ; seules les dépressions les plus en aval ne sont pas soumises à ce phénomène et bénéficient d'apports alluviaux relativement fins.

L'érosion hydrique est favorisée par la dégradation du couvert végétal, la dégradation des propriétés physiques qui augmente le ruissellement, des façons culturales inadaptées et le caractère violent des pluies (intensité, durée).

Il est très difficile de quantifier en moyenne l'érosion hydrique de la région. Néanmoins, nous avons pu estimer en certains sites cette érosion hydrique. Ainsi, entre le 3 octobre 1972 et le 12 août 1977, l'érosion hydrique en nappe d'un glacis limoneux du type "*Segui*" a été d'environ 8 000 tonnes/km^2, suite à une hauteur précipitée de 1 155 mm, une lame d'eau ruisselée de 328 mm et un indice de Wischmeier (RUSA) pour les 5 années égal à 382 ; ceci représente une ablation moyenne du bassin d'environ 1 à 2 mm/an. Par contre, dans la même région, lors des crues exceptionnelles du 12 décembre 1973, sur le petit bassin versant de l'Oued Zita (320 ha), nous avons évalué la masse transportée à 9 000 t/Km^2 soit environ 6mm de troncature moyenne, en 24 heures pour une pluie de 250 mm (BOURGES *et al.*, 1973, 1975, 1977, 1980).

1.3.3. L'érosion éolienne

Elle est surtout localisée dans les steppes des zones sableuses. Elle est liée (FLORET *et al.*, 1976) :

- aux propriétés du sol : texture sableuse à sablo-limoneuse à sable fin à très fin, peu ou pas structuré, offrant une

grande sensibilité à la déflation ;

- au couvert de la végétation : plus ou moins dégradé, retenant insuffisamment le sol ;
- à une grande attractivité pour les agriculteurs, des sols sableux mis en culture pour la céréaliculture épisodique ;
- au surpâturage et à l'éradication des végétaux ligneux bas, qui accentuent la dégradation du couvert ;
- au régime éolien très sévère auquel est soumise la zone ;
- à la sécheresse prolongée.

Sur les steppes des zones sableuses, l'érosion éolienne conduit généralement à la disparition du voile éolien et à la troncature du sol jusqu'à l'horizon à nodules calcaires et parfois à la croûte calcaire ou gypseuse. A ce stade, c'est l'érosion hydrique qui intervient. Sur les steppes graminéennes à *Lygeum spartum*, le stade ultime est la mise à nu des croûtes gypseuses.

Sur les steppes sableuses à *Aristida pungens*, la dégradation de la végétation conduit à une transformation rapide des dunes fixées en un erg allant ensevelir les milieux avoisinants.

Concernant l'érosion éolienne, nous disposons seulement de mesures très sommaires. LE HOUEROU (1969), cite sur des steppes à *Rhantherium suaveolens*, dans les régions de Ben Gardane, Tatahouine, Sidi-Toui, des valeurs moyennes annuelles de troncature de sols sableux, établies sur 10 ans, allant de 1 à 1,5 cm d'épaisseur de sol. Cela représenterait une érosion d'environ 15 000 à 22 500 tonnes/km^2/an.

Cependant, il faut tenir compte du fait que le sable enlevé va souvent se redéposer ailleurs et, parfois, pas très loin de la zone de déflation, et sur des milieux identiques. Pour notre part, entre 1971 et 1974 (figure II.8), nous avons mesuré des départs de sable avoisinant 10 000 t/km^2/an sur une steppe à *Rhantherium suaveolens* où le surpâturage était simulé (FLORET, PONTANIER, 1973, 1974, 1975).

En conclusion, il apparaît que sur certaines zones bien localisées, l'érosion éolienne est plus importante que l'érosion hydrique, principalement en raison de la régularité du régime éolien, en général assez violent, alors que le ruissellement lié essentiellement à la pluviosité, est plus épisodique.

Steppe sableuse à Rhantherium suaveolens en bon état (RK_3) située à proximité de zones cultivées.

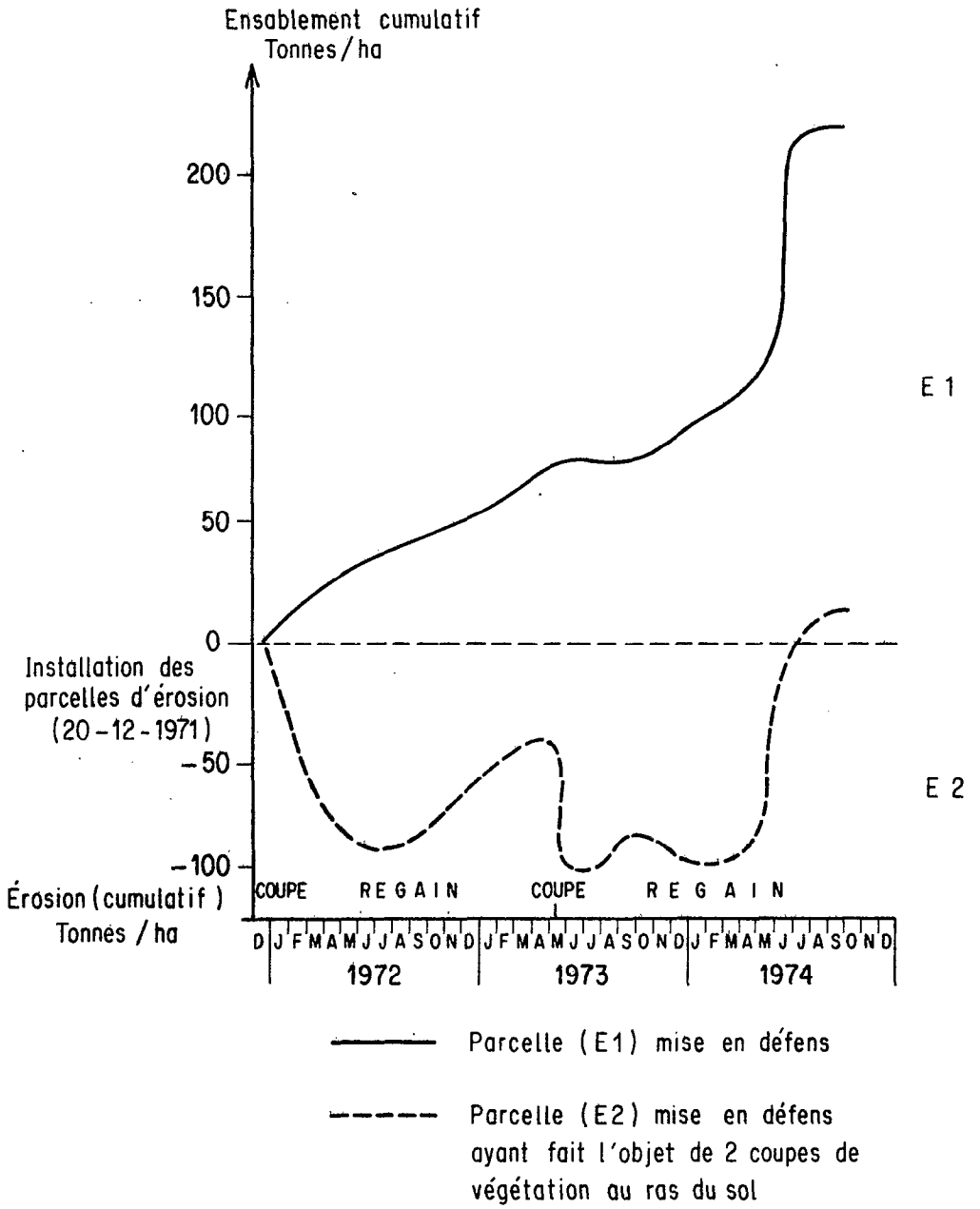


Fig. II.8 - Mesure de l'érosion et de l'accumulation du sable éolien (d'après FLORET et al., 1978).

1.3.4. Dégradation des sols par l'irrigation

Un autre processus de la dégradation des sols abordé précédemment, fréquent dans les oasis du Nefzaoua, du Djerid, de la région de Gabès et d'El Hamma, est celui de la stérilisation de certains sols des zones irriguées par les sels ; celui-ci est dû à une mauvaise conduite de l'irrigation utilisant des eaux saumâtres. De nombreuses études concernant cet aspect se sont développées en Tunisie ces dernières années (UNESCO, 1970 ; EL AMAMI *et al.*, 1975) ; elles font apparaître que ces phénomènes sont surtout liés :

- à des doses et à des fréquences d'irrigation insuffisantes, en raison de la baisse générale des niveaux d'artésianisme des nappes profondes, ce phénomène se traduit par un abandon de la culture dans les zones les plus éloignées de la tête du réseau (partie en aval des oasis) et par l'abandon de la pratique du lessivage . En effet,la seule satisfaction des besoins en eau des cultures (ETR max), laisse environ 25 à 30 tonnes de sels par hectare et par an dans la zone littorale ;
- à un réseau de drainage peu entretenu, manquant souvent d'un exutoire permettant de drainer les nappes phréatiques salées très loin à l'aval, d'où une stérilisation accrue (alcalisation et halomorphie) des parties aval des périmètres par remontée capillaire des sels de sodium principalement, et formation d'encroûtement gypseux de nappe (POUGET, 1968) ;
- à une qualité de l'eau qui, déjà saumâtre, a tendance par surexploitation (pompage), à se saler davantage (UNESCO, 1972 ; FLORET, LE FLOC'H, PONTANIER, 1976);
- à un mauvais choix des sols à irriguer : les sols lourds, à drainage intrinsèque insuffisant, s'alcalisent et se salent très facilement (AUBERT et OLLAT, 1969 ; DUTIL, 1975, PONTANIER et VIEILLEFON 1977 ; cf. aussi II.3).

1.3.5. Régénération des sols

C'est un ensemble de processus qui ramène un sol à un état proche de celui antérieur à la dégradation.

Dans le cas de dégradation mineure des sols sableux (disparition d'un horizon sableux superficiel et mobile), la régénération (re-

tour d'un voile éolien), est relativement aisée ; elle est principalement liée à la remontée de la végétation et à la recolonisation par celle-ci d'un dépôt éolien mobile, en deux ou trois années. Ceci apparaît sur la figure II.7.

Sur les milieux de texture plus lourde que les précédentes, affectés par l'érosion hydrique, la régénérations des sols, même faiblement dégradés est pratiquement inexistante sous les conditions climatiques actuelles ; les processus de l'érosion dominant de loin les processus de pédogenèse, même sur des roches mères meubles.

Par contre, dans les milieux sableux, sans équilibrer les processus de l'érosion éolienne, certaines régénérations contribuent à la ralentir ; il s'agit principalement des milieux à *Rhantherium suaveolens* à *Arthrophytum schmittianum*, à *Retama retam* et à *Aristida pungens* qui, par la faculté de ces espèces à s'élever rapidement au-dessus des ensablements, arrivent à fixer relativement bien les apports sableux éoliens et permettent au sol de se réorganiser un peu (sols peu évolués steppisés).

1.3.6. Quelques exemples de genèse actuelle des sols

Actuellement, on n'observe pratiquement pas de cas de genèse évolutive sur les roches dures et compactes ; mis à part le cas des matériaux marneux gypseux et salés, c'est surtout sur les roches sableuses, et les matériaux allochtones (alluvions et colluvions), que l'on peut diagnostiquer une pédogenèse actuelle des sols ; elle concerne essentiellement la dynamique des sels solubles.

1.3.6.1. *Les sols à croûte et encroûtement gypseux de surface*

Il existe un cas où les processus de dégradation des sols, conduisent à une dynamique évolutive : c'est celui où l'érosion, surtout éolienne, en mettant à nu le substrat gypseux, favorise l'organisation des sols gypseux à croûte et encroûtement de surface ; des exemples de séquences de dégradation favorisant cette pédogenèse gypseuse sont donnés dans la figure II.7 (PONTANIER et ZANTE 1976).

Concernant la mise en place et la redistribution du gypse, au

sein de ces matériaux gypseux "dégagés", de nombreuses théories ou modèles ont été avancés : hypothèses du transport éolien (COQUE, 1962), des migrations *per descensum* (FOURNET, 1962 ; DONNAY, 1966 ; MORI, 1968), de la migration latérale (SOURDAT, 1961 ; LOYER, 1971) qui ne donnent en général pas entière satisfaction. En définitive, c'est surtout autour de l'hypothèse des migrations *per ascensum* favorisées par un bilan hydrique avec déficit, préconisée par BUREAU et ROEDERER (1961), que semble aujourd'hui se réaliser un consensus quasi général. PLET-JALOUX a précisé sur des modèles "in vitro" certaines modalités de ces migrations (PLET - JALOUX *et al.*, 1971).

Récemment, VIEILLEFON (1976), s'intéressant aux sols gypseux de Tunisie, pense que "*cette dernière hypothèse reste dans bien des cas la plus séduisante ; il est nécessaire de l'étayer par des observations et des analyses plus fines (micromorphologie,...), des expérimentations plus diversifiées, ainsi que par des tentatives de bilan*".

Avec certains milieux fortement artificialisés par l'homme (périmètres irrigués), c'est surtout sur les produits de l'érosion hydrique et éolienne, redéposés dans le paysage, que peuvent être observés le plus facilement des cas de dynamique actuelle dans le sens d'une réorganisation des sols.

1.3.6.2. *Les alluvions fluviales récentes*

L'exemple des alluvions déposées par les crues exceptionnelles de l'automne 1969, un peu partout en Tunisie présaharienne, est à cet égard très représentatif (CLAUDE et PONTANIER, 1971).

Dans le delta de l'Oued Leben-Oudrane, sur deux sites voisins d'un même sol étudié avant les inondations (sol sodique à remise en mouvement du gypse sous l'influence d'une nappe phréatique salée à niveau variable), ont été suivis entre le 7 janvier 1970 et le 15 mars 1971, (les profils étant ressuyés jusqu'à 100 cm) les évolutions de deux dépôts mis en place entre le 21/9 et le 31/10 1969 (cf. figure II.9) :

a) sur le premier site, le dépôt était de texture sablo-limoneuse (62 % de sable, 30 % de limon et 8 % d'argile) et présentait 80 cm d'épaisseur ; il était peu salé (1,3 mmhos/cm de conductivité) ;

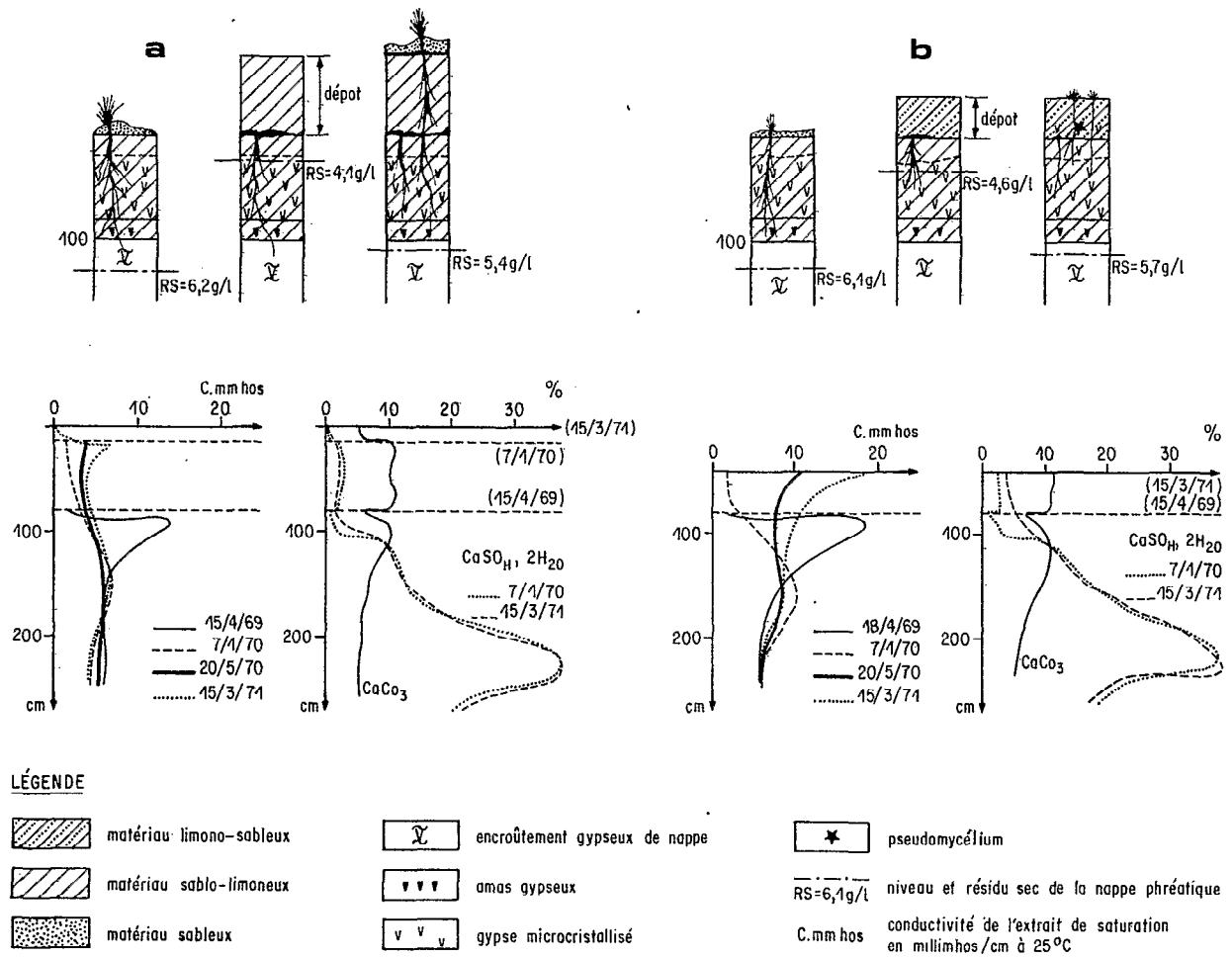


Fig. II.9 - Evolution d'alluvions de l'Ouadrane-Leben à Hachichina (Tunisie) après les crues de l'automne 1969.

b) sur le deuxième site, l'épaisseur de l'alluvionement était plus faible (40 cm), la texture en était différente (45 % de sable, 40 % de limon et 15 % d'argile) ; la conductivité de son extrait de saturation était faible (1,5 mmhos/cm).

Dans les deux cas, la crue a dessalé le sol enterré ; en revanche, sur les alluvions limoneuses la conductivité de l'extrait de saturation est remontée très vite en surface, pour atteindre le 15 mars 1971 : 19,5 mmhos/cm entre 0 et 10 cm, contre 7 mmhos/cm dans les alluvions sablo-limoneuses.

En outre sur b), un an et demi après les crues, des recristallisations, des pseudomycelliums gypseux et des remontées gypseuses pouvaient être observés dans les 40 premiers centimètres, ainsi qu'au sommet du sol enterré d'où ils étaient absents le 15 avril 1969.

La différence d'évolution entre a) et b) est due uniquement à la différence, au départ, des textures des recouvrements alluvionaires, ainsi qu'à la présence d'un voile sableux en a) qui n'a pu se reconstituer sur b), et qui limite très fortement les remontées capillaires. La dynamique des sels semble être plus lente dans ce cas, et peu perceptible à l'échelle de durée d'observation. Néanmoins, d'une façon générale, ces alluvions déposées à l'occasion des grandes crues à l'aval des systèmes de drainage, ou dans les bas fonds, soumises à des nappes phréatiques plus ou moins salées, riches en sulfates, évoluent très vite, en quelques années, vers des sols salés ou hydromorphes à remise en mouvement du gypse. Il en est de même lorsque l'on veut les dessaler ; un état de salure n'est jamais acquis en permanence pour ces sols (CHEVERRY, 1974 ; RIEU, 1978).

1.3.6.3. *Dépôts éoliens récents*

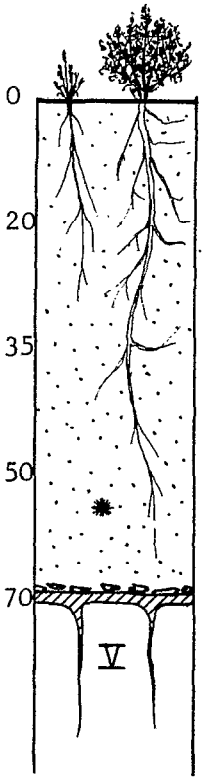
Nous évoquerons ici les cas de réorganisation des dépôts éoliens très abondants, hérités par érosion, des sierozems ou sols bruns subtropicaux sableux.

Il nous est arrivé très fréquemment de pouvoir dater ces dépôts, grâce à des "témoins" piégés entre le dépôt et l'ancienne surface enterrée ; les plus anciens dépôts reconnus datent de la dernière guerre mondiale ; certains, plus récents, datés par les fèces des animaux domestiques de la steppe, ou certains déchets anthropiques, sont en place

depuis moins de 10 ans, et ont une épaisseur pouvant dépasser un mètre.

Ainsi, dans la région du Draa Oudref, au Nord-Ouest de Gabès, sur un dépôt de texture homogène sablo-limoneuse (68 % de sable, 22 % de limon, 10 % d'argile) dont le début de la mise en place est postérieur au printemps 1943 (vestiges de "la bataille de Tunisie" à l'interface dépôt et croûte gypseuse), on observe le profil PHN 284 (tableau II.2), dominé par une steppe à *Rhantherium suaveolens, Lygeum spartum Plantago albicans* (25 % de couvert).

TABLEAU II.2 Description du profil PHN 284 (PONTANIER, 1972)



cm		pH	Matière organique %	$CaCo_3$ %	$CaSO_4 2H_2O$ %
0	Pellicule de battance	8,05	1,25	15,2	2,3
Pellicule		8,15	0,42	13,6	1,0
20	Recouvrement sablo-limoneux, brun clair.	8,05	0,32	14,3	1,1
35	Structure polyédrique, émoussée peu développée	8,10	0,24	15,0	0,7
50	Pseudomycelium calcaire à partir 50 cm	8,00	0,18	16,8	1,4
70	"balles, boutons" sur croûte gypseuse, polygonée, à liseré vert de surface (algues sèches).	7,80	–	9,5	64,7

L'interprétation des observations effectuées sur le profil PHN 284 peut être la suivante (cf. tableau II.2) :

- en avril 1943, le sol sur le site PHN 284 était constitué d'un sol calcimagnésique à croûte gypseuse de surface, dont la formation était sans doute favorisée par une phase érosive. Depuis au moins avril 1943, et peut-être plus tard, cette croûte a été recouverte par des apports sablo-limoneux provenant de zones voisines nouvellement défrichées et mises en culture, avec certainement une intensité maximale entre 1949 et 1952 (plantations d'olivier du "Contrôle civil" à El Mida). Le 5 mars

1971, date de l'observation, le site ne présentait aucune trace d'apport récent. Les observations et les analyses ont montré qu'en l'espace de 28 ans, et certainement moins, sous une pluviosité moyenne efficace de 180 mm (aucun apport ou départ d'eau par ruissellement sur ce site), un dépôt sablo-limoneux de 70 cm avait été apporté et s'était organisé (entraînement du $CaCo_3$ vers le bas, dans un rapport de 10 à 15 % ; pénétration profonde d'une matière organique peu abondante ; légère structuration). Ce nouveau sol, jeune, s'apparente d'ailleurs aux sols peu évolués steppiques, ou aux sierozems jeunes, très fréquents dans les steppes de la Tunisie présaharienne.

Ce cas de steppisation a pu être observé fréquemment en Djeffara, et dans les Basses Plaines Orientales, toujours sur des dépôts sablo-limoneux, calcaires, à forte proportions de sables fins et sables très fins.

Lorsque ces dépôts éoliens sont gypseux (lunettes ou dunes) et soumis à un régime hydrique dépendant uniquement des précipitations, les évolutions sont encore plus rapides ; les sulfates, essentiellement, tendent à migrer vers la surface sous l'effet d'un appel climatique et de la végétation. Ainsi, sur un dépôt éolien gypseux (16 % $CaSO_4$, $2H_2O$ et 9 % $CaCO_3$), fixé et piégé par des travaux entrepris par la Direction des Eaux et Forêts dans la région de Bouchemma (5 km au Nord de Gabès), nous avons pu constater qu'en 34 mois, la teneur en gypse de la surface (0-1 cm) était passée de 16 % à 23 %, avec une légère induration, et celle de l'horizon, de 1 à 10 cm, de 16 % à 19 %, alors qu'en dessous de 10 cm les migrations de gypse étaient peu significatives.

Par la suite, nous avons dû abandonner le suivi de ce site ; mais, nous pensons que, très vite, en une ou deux décennies, ce type de dépôts gypseux peut évoluer vers un sol calcimagnésique gypseux à encroûtement de surface.

Il est évident, que tous ces arguments en faveur d'une pédogenèse actuelle, basée essentiellement sur la mobilité des sels solubles et leur redistribution dans le profil en fonction des différents régimes hydriques, nécessiteraient des observations et analyses plus fines permettant de renforcer des faits, qui demeurent pour l'instant trop fragmentaires.

En conclusion, malgré un pédoclimat peu favorable à une diffé-

renciation actuelle très poussée des sols en Tunisie présaharienne, nous affirmons que dans certaines situations liées à la nature des matériaux et à leur position topographique, il existe actuellement des processus qui tendent à faire évoluer certains substrats vers un climax steppique: redistribution des sels solubles dans le profil, phases d'humectation et de dessèchement qui confèrent une certaine structure aux horizons supérieurs, et développement d'un caractère isohumique de la matière organique pénétrant profondément dans le profil.

1.3.7. Sensibilité des sols à la désertisation

Les sols de la Tunisie présaharienne, ne présentent pas, pour une même utilisation par l'homme, des résistances égales aux facteurs de la dégradation et de la désertisation. Il est donc possible de classer les sols selon leur sensibilité potentielle (FLORET *et al.* 1976 ; PONTANIER, VIEILLEFON, 1977).

D'une façon générale, la sensibilité du sol dépend essentiellement de la texture, de la structure, de la pente, et de la teneur en matière organique des horizons de surface, et de sa position dans le paysage (pente). Par exemple, les sols à texture légère sont sensibles à l'érosion éolienne pour une utilisation en sec, et peu sensibles à une stérilisation par le sel en cas d'irrigation.

Par ailleurs, plus un sol se dégrade, plus il devient sensible : un sol qui voit son taux d'humus baisser par suite d'une surexploitation voit sa sensibilité à l'érosion augmenter (déstructuration) ainsi que sa sensibilité à la stérilisation par les sels en présence d'irrigation (plus fortes évaporations et remontées capillaires).

En Tunisie présaharienne, la dégradation des sols est plus rapide que la régénération (1), la sensibilité d'ensemble augmente donc et on assiste actuellement sur l'ensemble du territoire à une aggravation de la désertisation liée aux processus de dégradation des sols :

- généralisation des phénomènes qui conduisent à la formation de la pellicule de battance,

(1) TRICART et KILIAN (1979) mettent en opposition morphogenèse et pédogenèse, pour évoquer ces déséquilibres édaphiques. Pour ces auteurs un milieu géodynamique stable présente un bilan morphogenèse/pédogenèse très en faveur de la pédogenèse.

- augmentation, due à l'érosion hydrique ou éolienne, des surfaces occupées par les sols squelettiques (croûtes calcaires, croûtes gypseuses, lithosols des djebels, etc.).
- augmentation des surfaces occupées par les sols bruts d'apport éolien, très sensibles,
- accumulation d'alluvions qui, à l'aval des systèmes de drainage, se salent très rapidement,
- stérilisation progressive par le sel des parties basses des périmètres irrigués,
- diminution de l'efficacité de l'eau dans la recharge des réserves en eau du sol (augmentation du ruissellement, augmentation de l'évaporation et diminution de la réserve utile).

A titre d'exemple, l'érosion d'un sierozem sableux (RK_3 ou LK_3 ou RK_2) sur une épaisseur de 50 cm, correspond à une diminution de la réserve utile du sol d'environ 50 à 60 mm. La régénération de 50 cm de sol à partir de ces mêmes produits d'érosion correspond, seulement, à une augmentation de 20 à 25 mm de la réserve utile pour les végétaux. Donc, même lorsqu'il y a reconstitution par transport éolien de la masse érodée, la régénération du sol, en l'absence de la restructuration et de la réorganisation du profil, est incomplète.

1.4. CONCLUSION

En Tunisie présaharienne, la nature du matériau originel, qu'il soit autochtone, allochtone ou pédochtone, ainsi que ses formes et sa répartition dans le paysage, sont déterminantes pour les types de sol et la structure de la couverture pédologique. La grande diversité des sols, par ailleurs toujours saturés et en général pauvres en matières organique, est surtout liée à un substrat de roches sédimentaires et/ou à ses produits d'altération souvent transportés, très variés ; elle est liée aussi, à des situations topographiques contrastées et des bilans hydriques très divers, et à un degré moindre, à l'occupation des terres.

De nombreux sols sont très anciens, ils se sont différenciés au cours du Quaternaire, certainement sous une végétation plus dense et sous un climat aride du type méditerranéen, tel que nous le connaissons actuellement, entrecoupé de pulsations plus humides de type semi-aride ; ainsi la puissante croûte calcaire saumonée qui domine les paysages de

la Djeffara et de Djerba, et les formations limoneuses à nodules calcaires qu'elle fossilise se sont mises en place dès le Villafranchien.

Actuellement ces sols, souvent érodés ou recouverts d'alluvions et de colluvions, et malgré une énergie pédogénétique faible (pluviosité moyenne de 100 à 200 mm, concentrée pendant les mois froids), continuent à évoluer, surtout à l'occasion d'années exceptionnellement humides (il pleut plus de 250 mm 1 année sur 5 dans la région). Le processus pédogénétique le plus actif est la lexivation des sels solubles ($CaCo_3$, $CaSO_4$, $2H_2O$, et NaCl) et leur accumulation dans le profil en surface ou en moyenne profondeur (prédominence des phénomènes *per ascensum*) sous forme de croûtes, encroûtements, amas, nodules et pellicules. A celui-ci s'ajoute l'évolution de matière organique peu abondante vers un mull calcaire de steppe, pénétrant profondément et régulièrement dans le profil, conformément à la distribution de l'enracinement de la végétation steppique, et donnant un caractère isohumique même aux sols les plus jeunes.

Il apparaît donc, compte tenu du pédoclimat actuel, que peuvent avoir lieu des néopédogenèses aboutissant dans la région à des sierozems clairs (surtout sur les matériaux légers), à des sols gypseux à accumulation de surface sous forme de croûte et d'encroûtement, ainsi qu'à des sols halomorphes et/ou hydromorphes à remise en mouvement du gypse et/ou du calcaire dans des situations topographiques particulières. Les sols les plus anciens, à croûtes, encroûtements, nodules calcaires et/ou gypseux, continuent, très lentement pour le calcaire, leur évolution par enrichissement de leurs horizons d'accumulation.

Conjointement à cette pédogenèse, on assiste à une dégradation des sols, d'abord biologique, due à l'homme et ses animaux, qui entraîne une forte érosion hydrique et éolienne, variable suivant la sensibilité des milieux, marquant fortement les paysages pédologiques ; c'est ainsi que se généralise le décapage des surfaces structurales sur les reliefs, des croûtes et encroûtement sur les glacis, le développement des pellicules de battance, et la déstructuration des horizons de surface sur les plaines, glacis et plateaux, alors que, parallèlement, des étendues de plus en plus importantes peuvent être recouvertes de sable mobile. A l'échelle du territoire de la Tunisie présaharienne, nous constatons que la morphogenèse domine actuellement la pédogenèse.

2. L'EAU ET LE SOL

Dans les régions présahariennes, la production de la végétation cultivée ou spontanée est, sauf utilisation de l'irrigation, fortement limitée par les quantités d'eau précipitées remises à sa disposition par le sol. Aussi, en raison des faibles précipitations, l'agriculteur a toujours intérêt, quand il le peut, à concentrer le peu d'eau que la nature lui offre afin d'intensifier ses productions, quitte à réduire sa surface cultivée. En zone aride, le sol joue donc un rôle prépondérant aux interfaces atmosphère - sol - plante ; suivant les situations, il sera capable d'absorber la totalité des précipitations, de les restituer rapidement ou lentement, ou bien on favorisera le ruissellement par aménagement de la surface, afin d'alimenter une citerne ou des champs à l'aval, ou encore, par certaines façons culturales, on essaiera de conserver l'eau du sol en profondeur pour les périodes de sécheresse.

Sur un certain nombre de milieux du Sud tunisien, entre 1971 et 1977, les problèmes de la recharge des réserves en eau du sol par les pluies ont été étudiés (BOURGES *et al.*, 1973, 1975, 1977 ; FLORET et PONTANIER, 1978), ainsi que l'efficacité de ces réserves sur la production végétale. Sur la figure II.10 sont schématisées certaines caractéristiques physico-hydriques des principaux sols des milieux pastoraux et cultivés et un exemple de comportement hydrique en début de saison des pluies ; sur la figure II.11, les courbes caractéristiques d'humidité des principaux matériaux constituant les horizons les plus représentatifs des sols du Sud Tunisien sont dessinées.

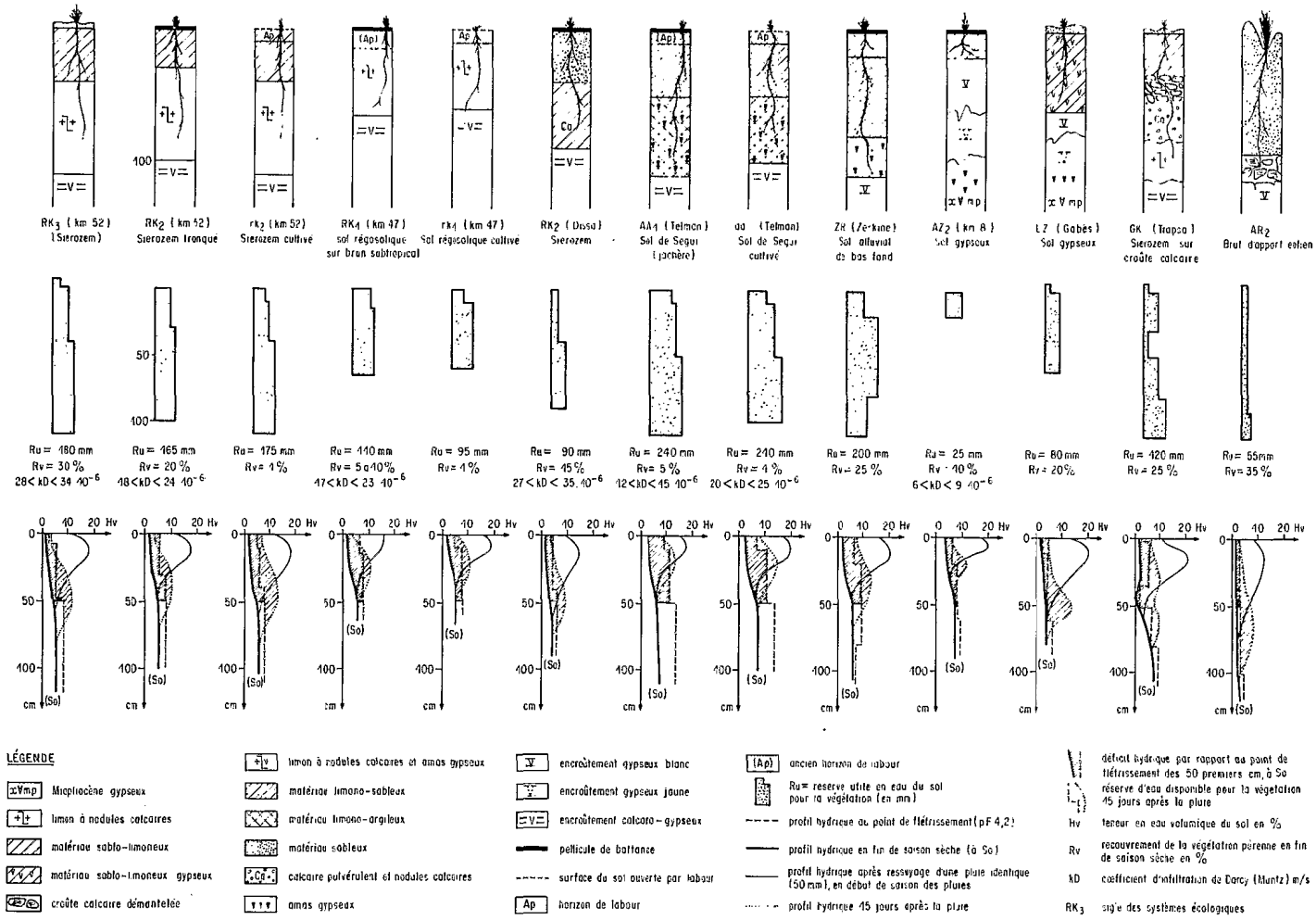


Fig. II.10 - Caractéristiques et comportements hydriques de quelques sols de la Tunisie présaharienne.

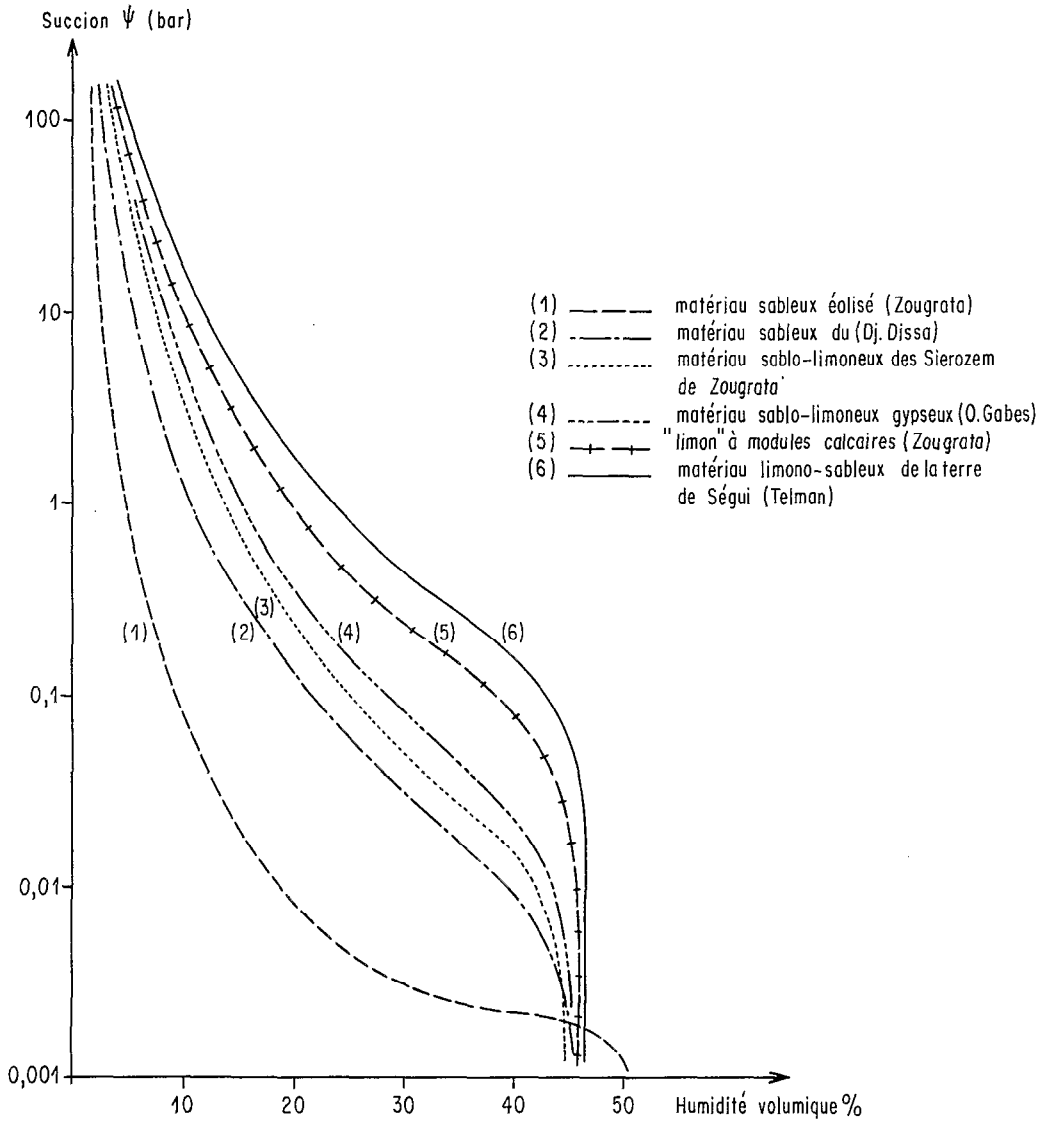


Fig. II.11 - Courbes caractéristiques d'humidité du sol de quelques horizons représentatifs de sols de la Tunisie présaharienne.

2.1. EFFICACITE DES PRECIPITATIONS ET RECHARGE EN EAU DES SOLS

Pour une même hauteur d'eau tombée durant une période, les pluies, du fait qu'elles peuvent ruisseler, n'ont pas le même effet pour la recharge des réserves en eau du sol ; ce phénomène est fonction de leurs répartitions (nombre de jours de pluie et époque des pluies par exemple), de leurs intensités (FLORET *et al.*, 1980; FERSI, ZANTE, 1980) et surtout du type de substrat qu'elles arrosent (pente, texture, recouvrement de la végétation, occupation des terres, humidité et perméabilité de la surface du sol, etc.) (1).

La fin de la saison sèche (septembre ou octobre en général mais parfois fin novembre) est une époque particulièrement critique, déterminante dans la recharge des réserves pour les raisons suivantes (BOURGES *et al.*, 1973, 1975, 1977, 1980) :

- le sol présente souvent une pellicule de battance très sèche à cette époque, donc difficilement mouillable ;
- le recouvrement de la surface du sol par la végétation naturelle est minimum ;
- les pluies se manifestent souvent sous forme d'orages de courte durée mais de forte intensité ;
- la demande évaporative est encore forte, surtout en septembre-octobre.

En conclusion, c'est à cette époque que les probabilités de ruissellement sont les plus importantes, et que les faibles quantités d'eau infiltrée ont le plus de chances d'être reprises immédiatement par l'évaporation, surtout sur les sols limoneux compactés.

Plus tard, dans le courant de la saison, avec le démarrage de la végétation, les risques de pertes d'eau par ruissellement s'amenuisent, du moins sur certains sols, d'autant plus que les intensités des averses ont tendance à décroître.

Par ailleurs, si certains sols perdent de l'eau par ruissellement, certains fonds alluviaux, *garaet* etc. reçoivent des apports d'eau

(1) Entre 1972 et 1977 des mesures de ruissellement sur 69 évènements, sur un site représentatif des Seguis (Citerne Telmam) montrent que :
kr (coefficient de ruissellement $^{o}/_{oo}$) = 0,903 I_{15}-1,59 DDC-0,11 IR + 65,0 (r=0,896)
où I15 = Intensité maximum de 15' (0,1 mm/h)

DDC = déficit par rapport à la capacité au champs des 20 premiers cm du sol (0,1 mm)

IR = indice de recouvrement de la végétation ($^{o}/_{oo}$)

TABLEAU II 3 - Valeurs du coefficient d'efficacité des précipitations dans la recharge des réserves en eau (Ke % = $\frac{Pe}{Pt}$) de quelques sols du domaine steppique.

Année ou épisode		Sols des steppes sableuses						Sols des steppes limoneuses					Fonds alluviaux		Sols squelettiques gypseux		Sols squelettiques calcaires	
	RK_3 (km 52)	RK_2 (km 52)	rk_2 (1) (km 52)	rk_2 (jachère km 52)	RK_2 (Dissa)	AR_2 (Trapsa)	LZ (km 8)	AA_2 (St-II Zita)	RK_1 (km 47)	rk_1 (1) (km 47)	AA_1 (Telmam)	aa (1) (Telmam)	ZR (Zerkine)	zr (1) (O. Zitoune)	AZ_2 (km 8)	AZ_1 (Dissa)	GD_1 (Trapsa)	GD_2 (Trapsa)
1969-70						100											53 (*188*)	76 (*188*)
1970-71						100											91 (*94*)	100 (*94*)
1971-72	100 (*194*)						88 (*282*)						112 (*252*)		53 (*282*)			
1972-73	119 (*210*)				100 (*164*)						86 (*164*)		120 (*134*)		68 (*148*)	92 (*164*)		
1973-74	93 (*315*)	60 (*315*)	85 (*315*)	70 (*315*)	77 (*260*)			41 (*360*)	41 (*374*)	60 (*374*)	39 (*371*)	81 (*371*)	75 (*451*)	182 (*315*)	61 (*267*)	62 (*249*)		
1974-75	100 (*186*)	95 (*186*)	100 (*186*)	100 (*186*)	100 (*199*)			90 (*169*)	92 (*199*)	100 (*199*)	83 (*167*)	100 (*161*)		130 (*186*)	60 (*267*)	75 (*199*)		
1975-76	100 (*295*)	88 (*295*)	100 (*295*)	100 (*295*)							86 (*357*)	95 (*357*)	120 (*431*)					
1976-77	100 (*85*)		100 (*84*)	100 (*84*)							98 (*96*)	100 (*96*)						
12-12 1973	89 (*221*)	47 (*221*)	65 (*221*)	53 (*220*)	54 (*129*)			31 (*241*)	26 (*271*)	48 (*271*)	26 (*256*)	45 (*256*)	20 (*119*)	205 (*220*)	25 (*104*)	29 (*142*)		

(1) Labouré - (2) L'année hydrologique va du 1/09 au 31/08.
Les sigles des unités RK_3, RK_2 etc... sont les sigles des systèmes écologiques (Floret et al., 1978).
Les chiffres entre parenthèses représentent les hauteurs totales précipitées (Pt).

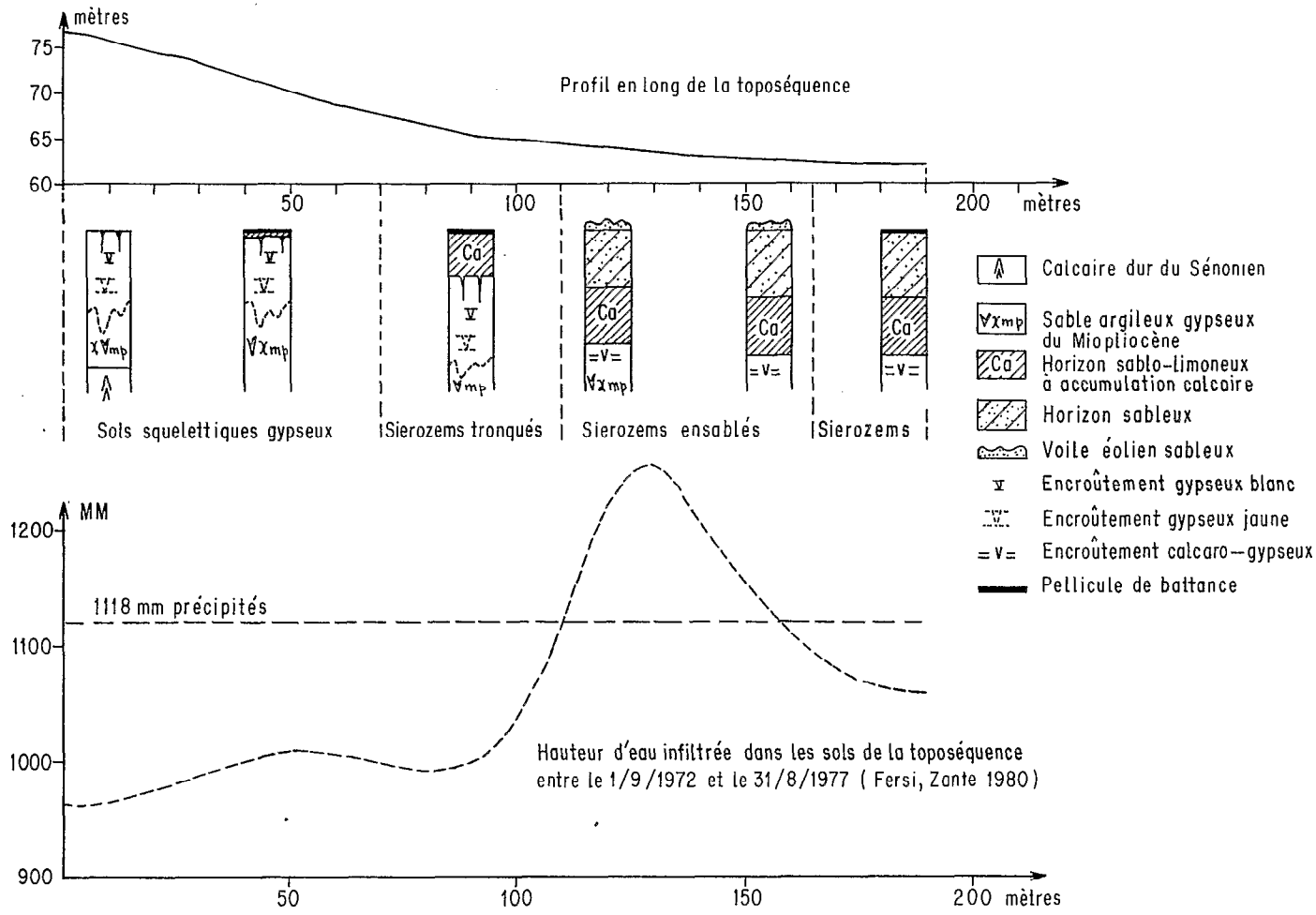


Fig. II.12 - Efficacité des précipitations pour la recharge des réserves en eau du sol d'une toposéquence type de la Tunisie présaharienne (Dj. Dissa).

supplémentaires par ruissellement ; c'est pourquoi nous appellerons *pluie efficace* (LE HOUEROU, 1969) la quantité d'eau qui après ressuyage contribue à l'accroissement des réserves en eau du sol accessibles à la végétation. En l'absence de drainage oblique ou vertical pratiquement inexistant actuellement dans le domaine steppique de la Tunisie présaharienne, la pluie efficace s'exprime par :

Pluie efficace (Pe) = Précipitations totales (P) $\pm$ *Précipitations ruisselées (R).*

Il est bien évident que, suivant le type de sol, les caractéristiques physico-hydriques, la position orotopographique et l'utilisation du sol, une même averse n'aura pas le même coefficient d'efficacité ($Ke = \frac{Pe}{P}$) dans la recharge des réserves. Le tableau II.3, fait état de quelques valeurs mesurées de ce coefficient pour différents types de milieux non ou très peu en pente ; dans l'ensemble, les sols sableux et profonds absorbent la totalité des précipitations, alors que les sols limoneux, surtout s'ils ne sont pas labourés en perdent une partie importante par ruissellement. Dans les fonds alluviaux, la recharge en eau du sol peut être très supérieure aux précipitations ; nous avons obtenu des valeurs de Ke proches de 200 %, pouvant être très largement dépassées en zones inondables (*garaet*).

La figure II.12, fournit un exemple de l'efficacité des précipitations pour la recharge en eau des sols d'une toposéquence de sols représentative en Tunisie présaharienne ; durant la période observée (5 années avec 1118 mm précipités),la partie des sierozems ensablés située à l'aval a infiltré entre 200 et 250 mm de plus que les autres sols de la toposéquence ; une telle situation est d'ailleurs souvent utilisée par les agriculteurs pour la plantation de vergers ; ce qui est tout à fait justifié.

2.2. REGIME HYDRIQUE DES SOLS

Les régimes hydriques des principaux sols de la Tunisie présaharienne ont été étudiés, et en particulier celui des types les plus intéressants pour la mise en valeur ; c'est pourquoi il sera surtout fait allusion dans ce qui suit au sierozem sableux profond de la steppe à *Rhantherium suaveolens*(RK_3 du km 52), parfois occupé par de la céréaliculture (rk_2) et au sol limoneux de *Ségui*, peu évolué, salé en profon-

TABLEAU II 4 - Appréciation globale du régime hydrique de deux types de sols de la Tunisie Présaharienne.

		Précipitations (mm)		Maximum de la réserve d'eau des 120 cm de sol (mm)	So (mm)	Durée ou les réserves du sol sont à S_o (mois) (1)	Profondeur maximale humectée (cm)	ET ETR (mm)
		Totales	efficaces					
1971-72	RK_3	191	191	132	56	2,5	95	192
1972-73	RK_3	210	253	170	58	2,5	115	251
	AA_1	164	139	137	107	4,5	60	139
1973-74	RK_3	315	293	270	57	2,5	150	294
	AA_1	371	145	189	109	5	80	145
1974-75	RK_3	186	186	135	62	2,5	90	186
	AA_1	167	137	149	109	5,5	55	137
1975-76	RK_3	295	295	200	58	0,5	130	293
	AA_1	357	304	218	108	2,5	110	304
1976-77	RK_3	84	84	80	60	6,0	30	86
	AA_1	96	95	135	110	6,5	35	97

(1) So : Stock d'eau totale pour 120 cm de sol en fin de saison sèche.

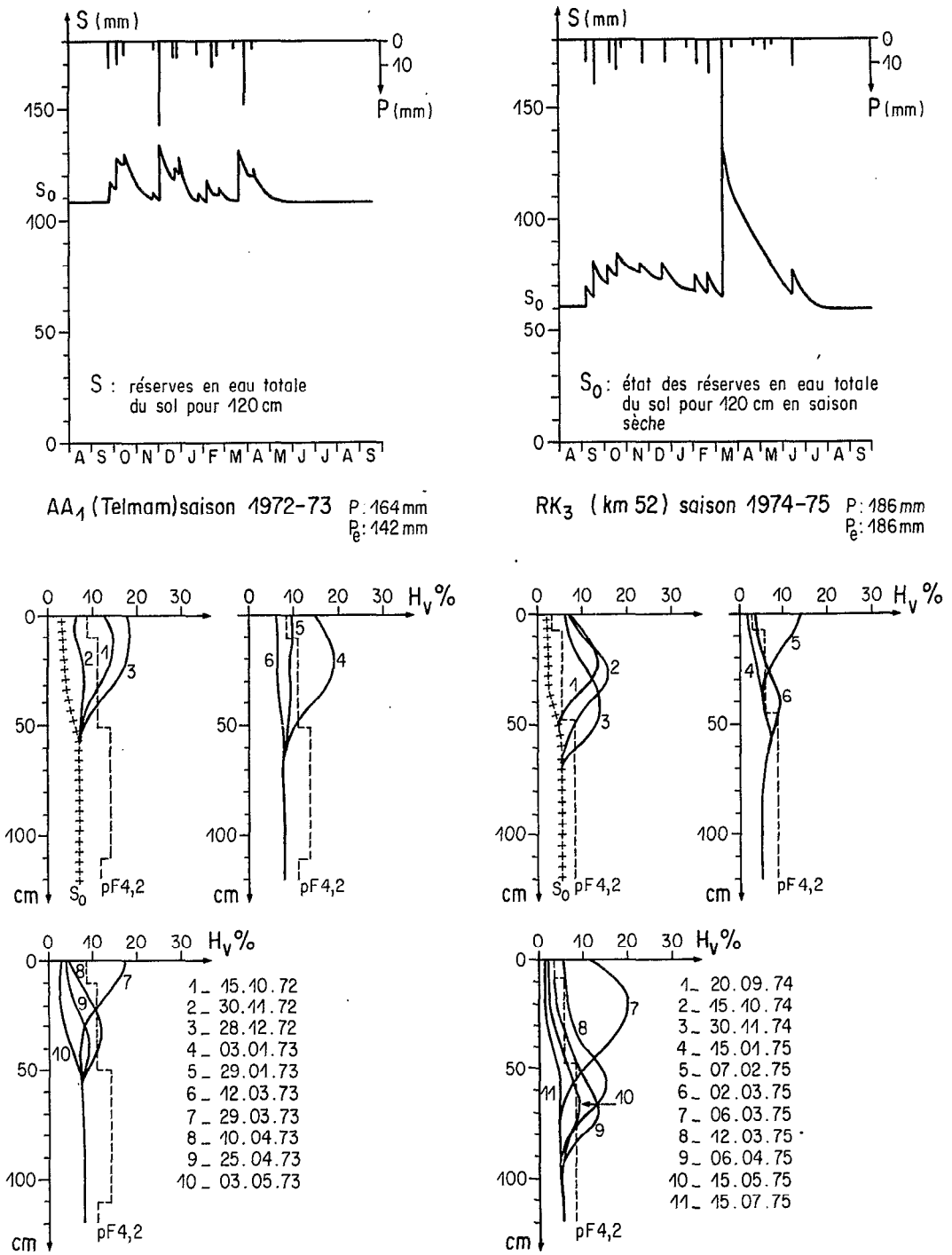


Fig. II.13 - Exemple de comportement hydrique d'une terre limoneuse de *segui* et d'un sol sableux, en année à pluviosité normale.

deur, qui peut-être en jachère (AA_1) ou cultivé (aa) (cf. figures II.2, 3 et 10).

En première approximation, il apparaît, sur le tableau II.4, ainsi que sur la figure II.13 où ont été données en exemple les évolutions des états hydriques des sols de la terre de *Segui* et de la steppe sableuse au cours d'années hydrologiques "proches de la moyenne", que quelle que soit la pluviosité de l'année, il n'y a jamais report d'eau d'une année à l'autre. Ceci a d'ailleurs été constaté sur l'ensemble des sols étudiés, exceptés les sols inondés temporairement et les sols d'oasis. Il faut aussi que la pluviosité soit supérieure à la normale pour humecter le sol au-delà de 70 cm sur les terres de *Segui*, et au-delà de 100 cm sur la steppe sableuse. En règle générale, et en l'absence de phénomène de drainage, la totalité des précipitations efficaces de ces milieux est reprises par l'ETR, et le profil hydrique revient durant la saison sèche à un état stable (cf. figures II.10 et II.13) représentant un niveau de réserve en eau totale S_o, pouvant se maintenir plusieurs mois lors des années très sèches. Cet état hydrique S_o de l'ensemble du profil, ainsi que la durée de celui-ci durant l'année, pourrait être un indice de l'aridité édaphique ; cela correspond à la longueur de la période durant laquelle il ne semble plus y avoir de transfert d'eau décelable dans le sol avec nos méthodes d'investigation. En effet VACHAUD *et al.*, (1981) à l'occasion d'essais sur l'infiltration de l'eau dans un sol du Sud tunisien, ont montré une certaine circulation de l'eau dans les horizons profonds non saturés (au-delà de 2 mètres).

2.3 DISPONIBILITE DE L'EAU DU SOL POUR LA VEGETATION

Il a été admis ici en première approximation, que les plantes ne peuvent plus s'alimenter en eau lorsque l'état hydrique du sol a atteint le point de flétrissement ($pF \simeq 4,2$). Cela est vrai, au moins pour les espèces annuelles et certaines espèces pérennes. Cependant, il semble que cetaines espèces de la steppe peuvent extraire l'eau du sol au-delà de 16 atmosphère et photosynthétiser. Néanmoins, d'une façon générale, on a pu constater que, dès que le potentiel du sol atteint la valeur pF = 4,2, la photosynthèse est pratiquement nulle pour la majorité des espèces, et que les végétaux souffrent d'un certain manque d'eau bien avant d'atteindre le point de flétrissement. A ce concept classique s'oppose celui plus récent du "Sol-Plante-Atmosphère-Continuum"

de PHILIP (1966) qui admet que le concept de "potentiel de l'eau" est valable et applicable aussi bien au sol, qu'à la plante et à l'atmosphère. Ainsi il est très fréquent d'observer en Tunisie présaharienne, un flétrissement temporaire des végétaux, alors que le sol est proche de la capacité au champ, les jours de sirroco ; cela signifie que le régime d'extraction de l'eau par les racines descend en-dessous de celui de la transpiration (HILLEL, 1974). En revanche, MAHBOUBI (1980) remarque qu'en période sèche la demande climatique a moins d'influence sur l'ETR que l'état hydrique du sol.

Nos différentes campagnes de mesure font apparaître le fait suivant : les premières pluies d'automne, font très vite redémarrer la végétation (espèces pérennes et espèces annuelles) dans les zones sableuses, alors que, sur les milieux plus limoneux ou plus argileux, aucune plante n'apparaît ou ne reverdit, sauf si la pluie est vraiment importante. En effet, à la fin de la saison sèche, l'état hydrique des sols de l'ensemble des stations est sensiblement le même (cf. figure II. 10) ; en revanche, le déficit hydrique pour l'alimentation en eau du végétal est très différent suivant les sols. Ainsi, pour ramener les 50 premiers centimètres du sol à pF = 4,2, il faut une pluie 2 à 3 fois plus importante pour les milieux limoneux que pour les milieux sableux. Par exemple, avec une pluie efficace de 15 à 20 mm sur RK_3 (Km 52) la végétation peut redémarrer, alors qu'il faut 40 à 45 mm sur AA_1 (Telmam) pour obtenir le même effet. Encore, faut-il que cette pluie du début de l'automne tombe en une seule fois. Dans le même sens, la fin de saison de végétation est plus précoce sur AA_1 que sur RK_3, le point de flétrissement étant plus rapidement atteint.

Donc, pour une recharge des réserves en eau annuelle identique, *les milieux limoneux présenteront une réserve d'eau disponible pour la végétation bien inférieure (et disponible plus tardivement) à celle des milieux sableux* ; AUBERT, 1960 ; HILLEL et TADMOR, 1962 *in* KOVDA *et al.*, 1979, faisaient les mêmes observations concernant le régime hydrique des sols de la zone aride. On peut dire qu'en moyenne, pour un sol humecté jusqu'à 1 m, ce sont 50 à 60 mm supplémentaires qui sont nécessaire sur AA_1 pour maintenir le sol au même potentiel matriciel que celui de RK_3, sur l'ensemble de l'année, ce qui représente le tiers de la moyenne interannuelle des précipitations en Tunisie présaharienne.

Le calendrier du tableau II.5, montre la distribution au cours

TABLEAU II 5 - Répartition des disponibilités en eau du sol pour la végétation de deux milieux de la Tunisie Présaharienne (point de flétrissement à pF 4,2).

			S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Nombre de mois dans l'année	Précipitations totales (mm)
STEPPE SABLEUSES RK_3	1971-72	0-50		+		+			+	+	+				5	191
		50-120								+	+	+			3	
	1972-73	0-50		+	+	+	+	+	+	+					7	210
		50-120		+	+	+	+	+	+	+	+	+			9	
	1973-74	0-50				+	+	+	+	+					5	315
		50-120				+	+	+	+	+	+	+			7	
	1974-75	0-50	+	+	+	+		+	+						6	186
		50-120		+	+	+			+	+					6	
	1975-76	0-50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			10	295
		50-120			+	+	+	+	+	+	+	+			9	
	1976-77	0-50			+	+		+	+						3	84
		50-120													0	
TERRE DE SEGUI (jachère) AA_1	1972-73	0-50				+	+	+		+					4	164
		50-120													0	
	1973-74	0-50				+	+	+	+						4	371
		50-120					+	+	+	+	+				5	
	1974-75	0-50						+	+	+					3	167
		50-120													0	
	1975-76	0-50	+		+		+	+	+	+					6	357
		50-120					+	+	+	+	+	+			6	
	1976-77	0-50													0	96
		50-120													0	

Nous considérons que la disponibilité en eau doit se maintenir au moins 7 jours dans le mois pour être mentionnée (+) ; en outre (+) ne signifie pas forcément une disponibilité en eau dans la totalité de la tranche considérée.

de l'année, et dans le profil, des disponibilités en eau pour la végétation de deux milieux (sableux et limoneux) entre 1971 et 1977. Il apparaît que les cinquante premiers centimètres peuvent alimenter l'ensemble des végétaux entre 5 et 6 mois en moyenne par an sur la steppe sableuse et entre 3 et 4 mois sur le sol de *Segui*. Entre 50 et 120 cm, les espèces à enracinement profond seules peuvent absorber de l'eau pendant 5 à 6 mois dans les sols sableux, contre environ 2 mois dans les sols limoneux. Remarquons que sur 5 années de mesure, il y a 3 années où il n'y a pas d'eau disponible au-delà de 50 cm dans le sol de *Segui*. Rappelons que, sur ces deux types de sol, la hauteur moyenne des précipitations pour ces 5 années a été supérieure d'environ 30 % à la normale.

Il est intéressant de noter que les disponibilités en eau pour la végétation se prolongent pendant 1 à 2 mois dans les horizons profonds par rapport à ceux de surface. Donc, pour les espèces pérennes dont les points de flétrissement se situent à pF = 4,2, il y a en moyenne sécheresse absolue durant 4 à 5 mois sur les milieux sableux et 7 à 8 mois sur les milieux limoneux (cf. tableau II.5).

2.4. EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR)

L'évapotranspiration réelle mesurée sur des sites représentatifs des steppes montre d'importantes variations saisonnières interannuelles et spécifiques au milieu. Sur un même site, l'ETR est évidemment conditionnée par l'état des réserves en eau du sol, par les plantes, et aussi par la demande évaporative de l'atmosphère (PHILIP, 1966), dont les très grandes variations saisonnières sont données au tableau II.6.

2.4.1. Approche globale

Si globalement la totalité de l'eau infiltrée est en général consommée par l'ETR, suivant la pluviosité de l'année et le type de milieu, cette reprise s'effectue de manière différente (cf. figure II.14). En effet, les milieux limoneux, présentant peu de couvert ligneux (faible ombrage et faible rugosité contre le vent) ainsi qu'une pellicule de battance, évapotranspirent beaucoup plus vite que les steppes sableuses. En général, à partir d'avril, et même parfois avant, les sols de *Seguis* sont revenus à leur état hydrique sec initial (So), alors que, pour les steppes sableuses, cet état n'est atteint que fin juillet, grâce au *mulch* créé par l'horizon sableux de surface, et au stockage de l'eau en

TABLEAU II 6 - Aperçu sur l'évaporation en Tunisie Présaharienne (en mm) .

	S	0	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
ETP "Penman" - Gabès (météo)	128	88	48	40	43	56	89	119	144	161	177	162	1255
Evaporation "Piche" - Gabès (météo)	192	158	132	133	133	132	167	141	186	189	229	229	2022
Evaporation "Piche" - Gafsa (météo)	258	195	147	102	127	162	195	207	307	351	440	366	2858
Evaporation "Piche" km 52 (Zougrata - 1971-1977) (1)	220	215	140	121	117	148	178	190	248	269	317	299	2462
Evaporation "Piche" (Segui Telmam - 1972-1976) (1)	270	261	191	137	137	157	159	226	259	263	349	322	2731
Evaporation bac Colorado (Segui Telmam - 1972-1974) (2)	269	173	101	48	68	100	125	190	269	290	350	299	2282

(1) Floret, Pontanier (1978) ; Floret, Pontanier, Rambal (1980)
(2) Bourges, Floret, Pontanier (1977)

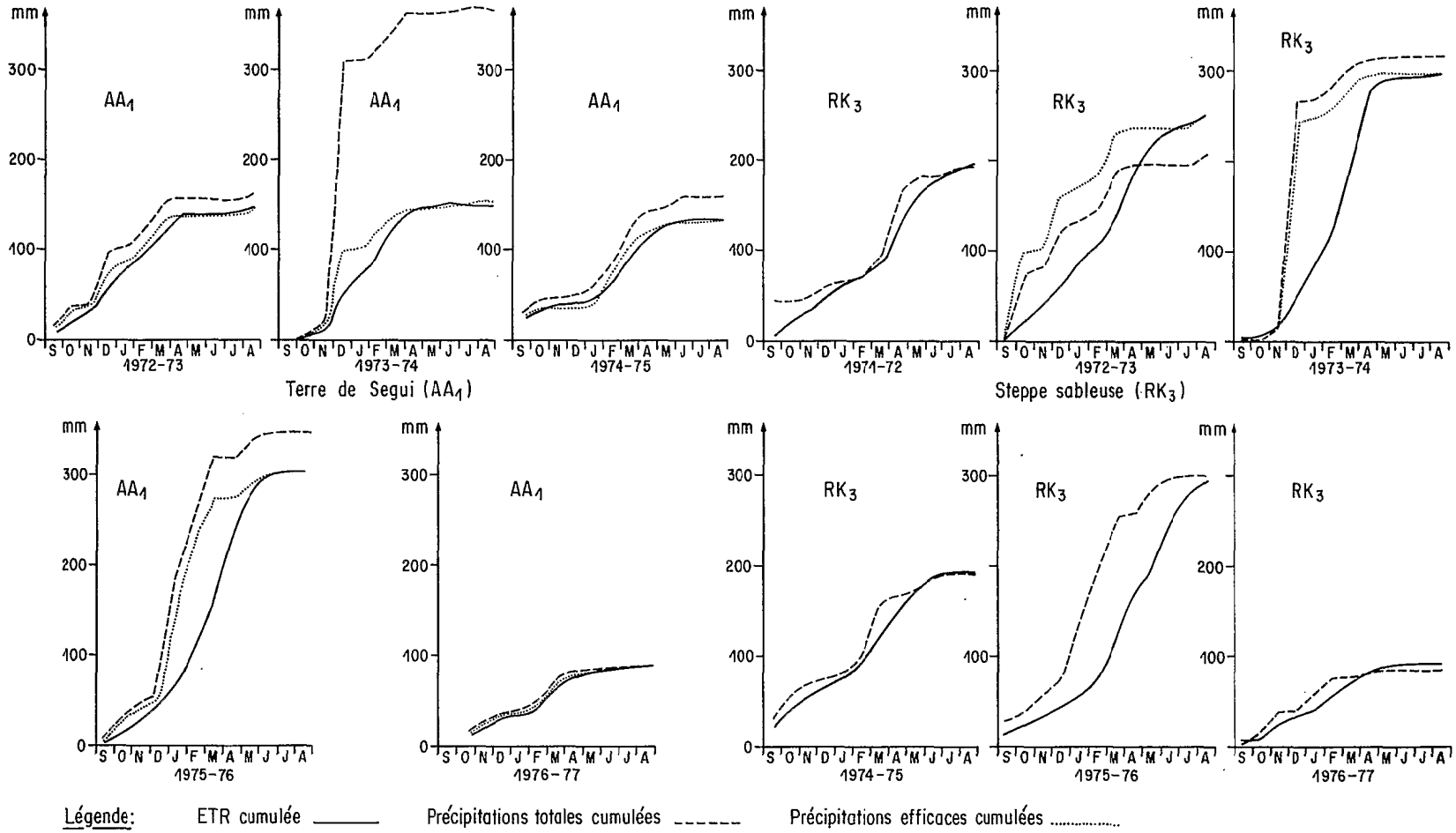


Fig. II.14 - Evolutions comparées des recharges en eau du sol et de l'ETR sur une terre limoneuse de Segui et sur un sol sableux entre 1972 et 1977.

profondeur (60-100 cm). Ceci a d'ailleurs été vérifié pour l'ensemble des sols sableux, y compris dans les zones irriguées.

Suivant l'utilisation du sol, l'ETR peut être modifiée. Aussi nous nous sommes proposés durant une année de suivre l'évolution de l'ETR sur les deux précédents types de milieux, utilisés de manières différentes : (a) en parcours, (b) labouré et emblavé en blé, (c) en sol nu stérilisé et débroussaillé et (d) en jachère travaillée et désherbée. Pour 295 mm précipités entre le 1 septembre 1975 et le 31 août 1976, les productions pour les steppes sableuses ont été de 515 UF/ha sur le parcours et de 8 qx/ha de blé, auxquels s'ajoutent 150 UF d'adventices et de chaumes pour la culture ; sur les terres de *Seguis* limoneuses, avec un total des précipitations de 357 mm, la production pastorale fut de 560 UF/ha et on a récolté 11 qx/ha de blé, ainsi que 200 UF/ha d'aventices et de chaumes sur les surfaces emblavées ; les résultats concernant le bilan d'eau de cette expérimentation sont portés sur la fgure II.15 d'où il ressort que pour cette année 1975-1976 de pluviosité très supérieure à la normale :

- sur les steppes sableuses, l'éfficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau reste identique pour les quatre traitements. En revanche, il apparaît que le terrain de parcours, compte tenu de sa production, semble mal utiliser l'eau, d'autant plus qu'en fin de saison, la culture de céréales laisse 60 mm d'eau dans le sol, pour une production nettement supérieure à celle du parcours ;
- sur les milieux limoneux, ce fait est encore plus marquant : non seulement la culture de céréale améliore le rendement de l'eau du sol en limitant l'ETR, mais, en plus, elle augmente l'efficacité de la pluie dans les recharges des réserves. Notons que, sur ce type de sol, le coefficient d'efficacité de la pluie est identique entre le sol nu et le terrain de parcours, car la végétation étant constituée essentiellement de plantes annuelles, l'état de la surface du sol jusqu'au 1er février est pratiquement le même dans les deux cas ;
- sur les deux milieux, la pratique de la jachère travaillée est peu opérante, puisque, par rapport à un labour emblavé, elle économise au mieux 15 à 25 mm d'eau ; cette pratique reporte néanmoins pour la saison suivante environ 40 % de l'eau précipitée sur le milieux sableux, et 25 % sur les milieux limoneux (ceci pour une année à pluviosité supérieure à la normale).

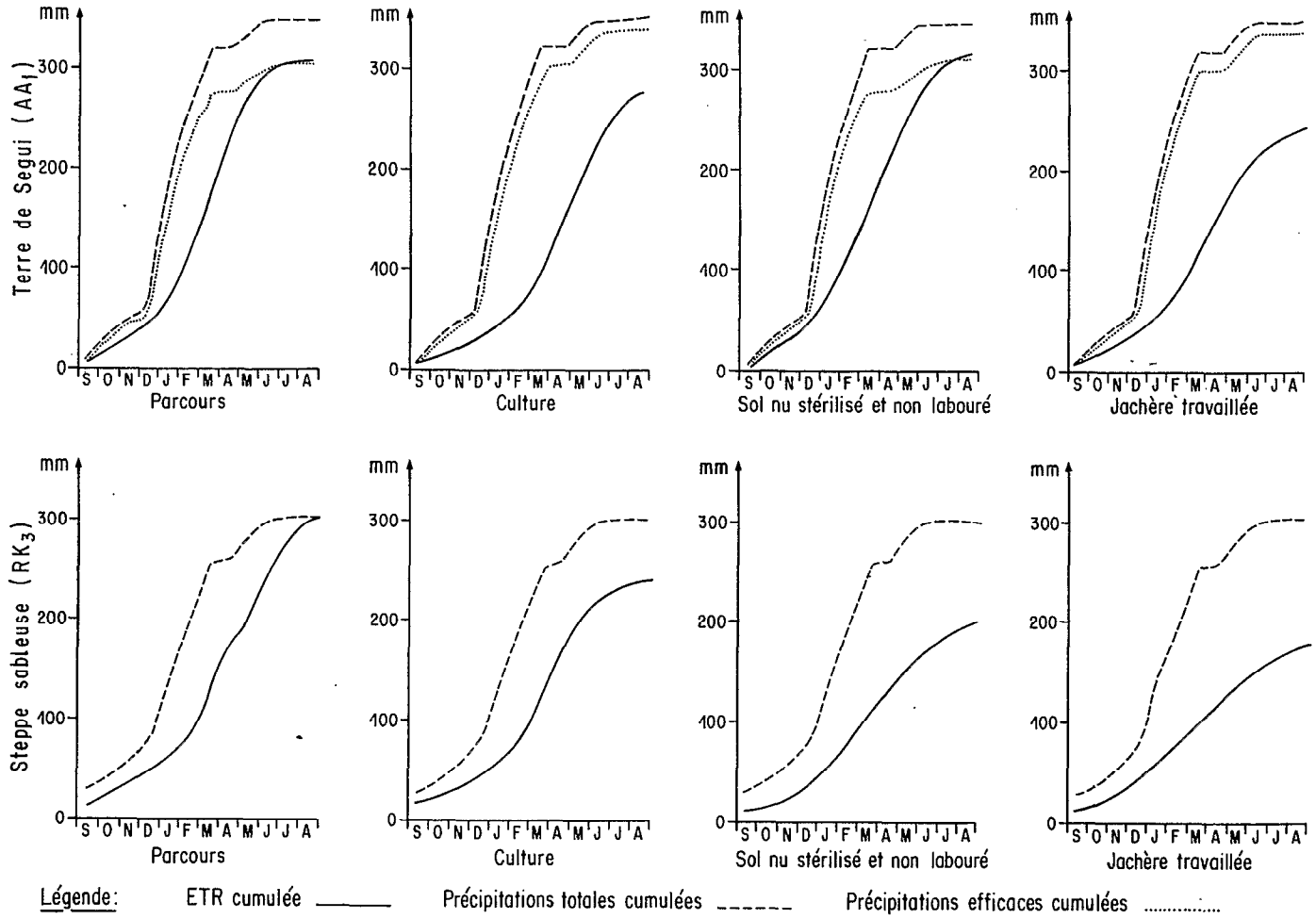


Fig. II.15 - Comparaison de l'ETR d'une steppe sur sol sableux et d'une terre limoneuse de Segui en fonction de l'utilisation du sol (1975-1976).

D'après les valeurs mesurées de l'évaporation du sol lors de ces essais il est difficile d'approcher les valeurs respectives des termes "évaporation du sol" et "transpiration de la végétation" de l'évapotranspiration réelle;en effet,dans le cas des sols limoneux ils représentent la totalité des précipitations infiltrées, et dans le cas des steppes sableuses, les deux tiers. De toutes façons, la part de l'évaporation est très importante en zone aride. Sur la steppe sableuse à *Rhantherium suaveolens* (FLORET, PONTANIER, RAMBAL, 1980), on a calculé, grâce à la modélisation, que la contribution de l'évaporation (E) à partir du sol nu, à l'évapotranspiration réelle (ETR), était comprise entre 40 et 69 % pour la période 1971-1977, avec une moyenne de 52 % (tableau II.7).

TABLEAU II.7 Contribution de l'évaporation calculée du sol à l'évapotranspiration réelle sur une steppe sableuse de la Tunisie présaharienne (FLORET *et al.* 1980).

	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77	Moyenne 1971-1977
Pluie efficace (mm)	191	253	292	186	295	85	217
Nombres de jours de pluies	32	35	18	34	44	15	30
$E/_{ETR}$ (%)	54	56	50	59	40	69	52

FISCHER et TURNER (1978) remarquent que l'évaporation du sol est importante en zone aride, en raison de l'abondance des petites averses.

2.4.2. Evapotranspiration moyenne journalière ($\overline{m}$ ETR)

L'ETR moyenne journalière dépendant, pour un milieu et une utilisation donnée, de l'état des réserves et de la demande évaporative de l'atmosphère, il est donc très difficile, compte tenu de la très grande variabilité pluviométrique, de donner des valeurs significatives. Néanmoins, nous proposons les maxima de $\overline{m}$ ETR mesurées : 1,92 mm/j sur des steppes sableuses, et 2,54 mm/j sur des zones d'épandage limoneuses, obtenues respectivement lors de la 1ère décade d'avril et la dernière de mars 1974 à des époques où les besoins de la végétation steppique ont été les plus importants. Lors de la période hivernale, s'il y a de l'eau, l' *ETR* moyenne journalière est faible, en général inférieure à 0,6 mm/j

sur les steppes sableuses et à 0,9 mm/j sur les terres de *Seguis*. En automne, elle dépend évidemment de l'occurrence des pluies : en septembre nous avons pu enregistrer des valeurs de 1,50 mm/j sur les steppes sableuses et de 1,90 mm/j sur les terres de *Seguis* ; mais, le plus souvent, en cette saison elle est proche de 0,4 à 0,6 mm/j dans les deux milieux. En été, évidemment, $\overline{m}$ *ETR* est pratiquement égale à zéro, sauf s'il se produit un orage.

Pour un état des réserves en eau du sol à peu près identique, dans les milieux sableux pâturés, $\overline{m}$ *ETR* est deux fois plus importante à la fin du printemps (avril mai) qu'en hiver, et 1,5 fois plus importante qu'à la fin de l'automne (mi-octobre - novembre). Dans les milieux pastoraux limoneux pâturés $\overline{m}$ *ETR* est trois plus importante en fin de printemps qu'en hiver, et deux fois plus importante qu'à la fin de l'automne.

Afin de comparer l'aptitude à évapotranspirer, au cours de l'année, de différents milieux ne présentant pas forcément le même état hydrique, nous avons été amenés à pondérer $\overline{m}$ *ETR* par un terme α faisant intervenir l'état des réserves en eau du sol considéré, tel que : $\alpha_i = S_i - S_o$, représentant en fait la partie "évapotranspirable" de l'eau du sol.

Un coefficient *K*, représentant à une époque donnée (intégration de la demande moyenne évaporative) l'évapotranspiration réelle moyenne journalière par millimètre d'eau du sol "évapotranspirable", est défini par la relation suivante :

$$K_{i,j} = \frac{\overline{m}\ ETR_{i,j}}{\alpha_i} \quad \frac{Pe_{i,j} + (S_i - S_j)}{(t_j - t_i)\ (S_i - S_o)}$$

$K_{i,j}$ = évapotranspiration moyenne journalière par millimètre de réserve évapotranspirable entre t_i et t_j ($mm.j^{-1}.mm^{-1}$)

$Pe_{i,j}$ = précipitations efficaces entre t_i et t_j (mm)
($Pe = P \pm R$ absence de drainage)

S_i, S_j = réserve en eau totale du sol à t_i et t_j (mm)

S_o = réserve en eau totale du sol considéré en dessèchement permanent (mm)

$t_j - t_i$ = nombre de jours.

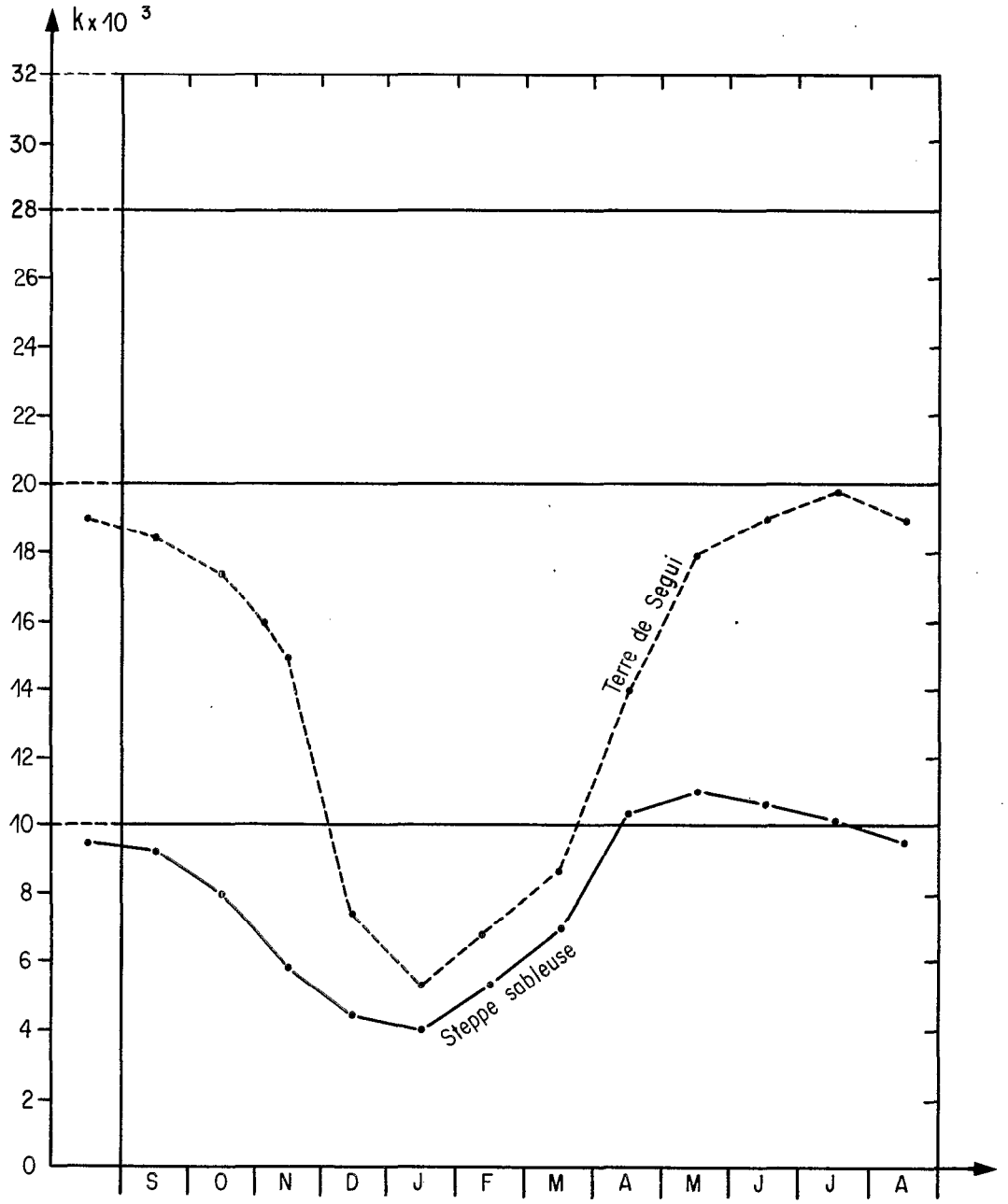


Fig. II.16 - Evolution annuelle du coefficient k moyen sur une steppe à sol sableux et sur une terre limoneuse de Segui (Période 1972-1976).

Entre 1972 et 1976, nous avons calculé k à différentes époques de l'année pour la steppe sableuse et la terre de *Segui*, utilisées toutes les deux en parcours ; les résultats moyens sont portés sur le graphique de la figure II.16. Le coefficient k moyen, établi sur 4 années de mesures, présente des amplitudes annuelles plus importantes sur les milieux limoneux.

Ceci signifie que, pour des conditions hydriques du sol, et une demande évaporative de l'atmosphère identiques, l'évapotranspiration réelle est pratiquement deux fois plus forte sur les milieux limoneux que sur les milieux sableux. L'intérêt de ce coefficient, établi sur la base de nombreuses mesures dans le temps, réside dans le fait qu'à chaque instant de l'année, connaissant l'état des réserves en eau du sol, on peut prévoir approximativement l'*ETR* de la période qui suit, $\bar{m}\ ETR = k\ (S_i - S_o)$. Nous insistons sur le fait que l'utilisation de ce coefficient doit se faire avec beaucoup de prudence.

2.5. CONCLUSIONS

2.5.1. Comportement hydrique des sols

Si l'on veut schématiser globalement le comportement hydrique des sols de la Tunisie présaharienne, la situation est la suivante. Les sols squelettiques calcaires ou gypseux perdent énormément d'eau par ruissellement ; de même, les limons ont du mal à s'humecter en raison de leur caractère battant ; en revanche, ils retiennent bien l'eau infiltrée et constituent de bons réservoirs s'ils sont *mulchés*.

Les sols profonds d'origine alluviale, mixte ou éolienne, de texture sableuse à sablo-limoneuse, malgré la présence éventuelle de pellicules de battance, s'humectent plus facilement ; mais ils peuvent présenter parfois un drainage excessif (texture grossière et caillouteuse), l'eau après les pluies étant très rapidement hors de portée de la végétation (surtout de la végétation annuelle). En conclusion, les sols qui présentent le meilleur comportement hydrique vis-à-vis d'un régime pluviométrique déjà peu favorable sont ceux qui (a) offrent une infiltration rapide, (b) peuvent stocker l'eau à moyenne profondeur grâce à un horizon réservoir limité par un obstacle à l'infiltration (croûte gypseuse), (c) offrent un self mulching contre l'évaporation (d) et se trouvent en position de bas de versant ou de bas fond (apport par ruissellement).

Nous citerons ici le cas des sierozems sablo-limoneux légèrement ensablés (absence de pellicule de battance), présentant à 50 cm un horizon limoneux calcaire (réservoir), et à 100 cm les sables argileux du Miopliocène (niveau peu perméable) ; malgré leur grande sensibilité à l'érosion éolienne, ce sont, incontestablement, les sols qui rentabilisent le mieux la pluviosité moyenne annuelle de 100 à 200 mm de ces régions. Un certain nombre de sols, en raison de leur position orotopographique, atténuent de façon très sensible l'aridité de la Tunisie présaharienne (cf. I. 2.4.5) ; il s'agit essentiellement des sols alluviaux des bas fonds, des *garaet* et autres dépressions qui, certaines années, présentent des recharges en eau du sol pouvant être le double de la pluviosité moyenne interannuelle.

2.5.2. Aridité édaphique

Pour caractériser l'aridité, nous avons admis que, sur le plan de la pluviosité: (a) que le mois est sec (SP) s'il pleut moins de 10 mm par mois, de juin à octobre inclus, et moins de 5 mm de novembre à mai, (b) qu'il y a sécheresse climatique théorique (SC) si "Précipitations efficaces - ETP Penman < 0", (c) qu'il y a sécheresse édaphique pour les végétaux (Se) lorsque les végétaux ne peuvent plus transpirer (on a admis que cela se produit lorsqu'il n'y a plus d'eau disponible dans le sol), (d) et que la sécheresse édaphique absolue (SE) est représentée à l'état hydrique So (cf. II.2.2.).

Le tableau II.8, est établi en considérant la région de Gabès pour la période 1971-1977 ; pour une sécheresse climatique théorique moyenne de 11,3 mois par an (correspondant à 6,2 mois pratiquement sans pluie), le sierozem sableux de la steppe à *Rhantherium suaveolens* a présenté en moyenne une sécheresse édaphique absolue de 2,8 mois et une sécheresse moyenne pour les végétaux de 4,8 mois/an.

En revanche, sur terre de *Segui*, pour des conditions de pluviosité et d'aridité climatique théorique identiques, la sécheresse édaphique absolue a été en moyenne de 4,5 mois/an, et celle pour les végétaux de 7,8 mois/an. Notons qu'en outre les sécheresses édaphiques surviennent en général 1 ou 2 mois après celles liées aux pluies.

On mesure donc de nouveau, par ces valeurs, l'attrait exercé par les sols sableux dans les opérations de mise en valeur grâce à l'a-

TABLEAU II 8 -Exemples d'évolution mensuelle de l'aridité climatique et édaphique en Tunisie Présaharienne.

			S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Nombre de mois secs	Pluie efficace (mm)
STEPPE SABLEUSE (RK_3)	71-72	SP		+								+	+	+	4	191
		SC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	
		SE	+											+	2	
		Se	+		+		+	+					+	+	6	
	72-73	SP	+		+						+	+	+	+	6	253
		SC	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	11	
		SE	+										+		2	
		Se	+										+	+	3	
	73-74	SP	+	+			+			+	+	+	+	+	8	293
		SC	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	11	
		SE	+	+										+	3	
		Se	+	+	+								+	+	5	
	74-75	SP					+				+	+	+	+	5	186
		SC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	
		SE					+						+	+	3	
		Se					+				+	+	+	+	5	
	75-76	SP		+					+		+	+	+	+	6	295
		SC	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	10	
		SE													0	
		Se												+	1	
	76-77	SP	+			+			+	+	+	+	+	+	8	84
		SC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	
		SE	+							+	+	+	+	+	6	
		Se	+	+		+			+	+	+	+	+	+	9	
TERRE DE SEGUI (AA_1)	72-73	SP			+					+	+	+	+	+	6	139
		SC	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	11	
		SE	+									+	+	+	4	
		Se	+	+	+				+		+	+	+	+	8	
	73-74	SP	+	+			+			+	+	+	+	+	8	145
		SC	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	11	
		SE	+	+								+	+	+	5	
		Se	+	+	+							+	+	+	6	
	74-75	SP			+	+	+				+	+	+	+	7	137
		SC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	
		SE				+	+					+	+	+	5	
		Se	+	+	+	+	+				+	+	+	+	9	
	75-76	SP								+		+	+	+	4	304
		SC	+	+	+	+				+	+	+	+	+	9	
		SE											+	+	2	
		Se		+		+							+	+	4	
	76-77	SP				+			+	+	+	+	+	+	7	95
		SC	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	
		SE				+			+	+	+	+	+	+	7	
		Se	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12	

+ signifie que le mois est sec au moins durant 3 semaines.

SP : *sècheresse liée à la pluviosité (P mensuelle < 5 mm en hiver et < 10 mm en été)*

SC : *sècheresse climatique théorique si Pluie efficace < ETP Penman.*

SE : *sècheresse édaphique absolue lorsque l'état hydrique du sol est à So (dessèchement permanent)*

Se : *sècheresse édaphique pour les plantes : il n'y a plus d'eau disponible dans le sol pour les végétaux ; l'eau se trouve à un potentiel supérieur à 16 atmosphères.*

ridoculture en Tunisie présaharienne (AUBERT, 1960 ; FLORET et PONTANIER 1978 ; KOVDA *et al.* 1979).

Lorsqu'il n'y a plus transpiration des végétaux, il y a encore mouvement d'eau dans le sol. Bien que ces transferts soient peu importants, et n'intéressent que de faibles volumes, du moins lors des phases de dessication, il nous faut insister sur le fait qu'il y a, en moyenne, une dynamique de l'eau de 1 à 2 mois plus longue par an, dans les sols sableux par rapport à celle des sols limoneux ; ceci explique en partie l'évolution, en général plus rapide et plus marquée, observée sur les premiers.

En conclusion, nous dirons que l'aridité d'origine climatique, peut être en partie corrigée par les facteurs édaphiques tels que texture, structure, profondeur, pente, aspect de la surface du sol, qui jouent sur l'infiltration, la mise en réserve de l'eau et sa restitution à l'atmosphère, ou au sous-sol.

Nous avons ici surtout abordé les problèmes avec deux types de sols "utiles" très répandus dans la région. Rappelons cependant que, certains sols ou milieux squelettiques peuvent être considérés comme des milieux à aridité bien supérieure, en raison du ruissellement.

Les sols salés, malgré la présence d'eau en théorie disponible, présentent des traits de sécheresse pour les végétaux (cf. Potentiel osmotique *in* WALTER, HENCKEL et STROGONOV, *in* UNESCO, 1961 ; SALISBURY et ROSS, 1969 ; POLJAKOFF-MAYBER et GALE, 1975). Pour MEIRI et SHALHEVET (1973), "*la transpiration et les prélèvements d'eau par les racines sont réduits par la salinité et la brusque augmentation de celle-ci est suivie d'un flétrissement, identique à celui de la sécheresse...c'est l'effet osmotique*", qu'ils distinguent de "l'*effet spécifique ionique*" ou toxicité ionique. Dans la région étudiée, ces cas d'aridité édaphique liée à la salure sont très fréquents ; cependant, il convient de nuancer ces remarques, étant entendu que certaines espèces végétales (famille des Chénopodiacées) sont mieux adaptées que d'autres à s'alimenter à partir de solutions saumâtres d'eau du sol.

Enfin, nous resituerons ces travaux sur le comportement hydrique des sols, réalisés en Tunisie présaharienne, par rapport aux essais de typologie des régimes hydriques des sols, proposés par Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) et BILLAUX (1978).

D'après les tentatives d'estimation proposées par cet auteur, l'ensemble des sols de la Tunisie présaharienne présente un régime hydrique de *type aridique* (avec une température moyenne à 50 cm située entre 19,5 °C et 21,3 °C suivant l'année et le type de sol ; BOURGES *et al.*, 1977). Toutefois les mesures réalisées entre 1971 et 1977 sur la "section de contrôle" (1), ne nous permettent pas de le confirmer : en effet, il apparaît que les sierozems sablo-limoneux sont en moyenne de type *xérique*, alors que les terres de *Segui* présentent en moyenne un régime hydrique des sols de types nettement *aridique*.

2.5.3. Conséquence du régime hydrique édaphique sur l'évolution des sols

Au cours de la période 1971 à 1977, nous avons pu mettre en évidence que : (a) il existe des mouvements d'eau, en général peu importants, dans le sol, durant environ 8 à 9 mois pour ceux qui sont de texture sableuse, et durant 7 à 8 mois dans les milieux limoneux, et (b) le front d'humectation moyen des pluies se situe entre 80 et 100 cm sur les sols sableux contre 60 à 70 cm sur les sols limoneux. Ces deux remarques précisent donc les limites du développement des profils pédologiques actuels. Cependant, il faut noter qu'il existe des années exceptionellement pluvieuses, et que c'est peut-être à l'occasion de celles-ci que peuvent avoir lieu les processus pédogénétiques qui sont principalement la lexivation et l'accumulation des sels solubles. Dans les fonds, où les quantités d'eau infiltrée sont plus importantes que sur le reste du territoire, des phénomènes d'engorgement temporaire peuvent se produire, ainsi que certains phénomènes d'accumulation de sels solubles ($CaCo_3$ et $CaSO_4$, $2H_2O$) sous l'influence de nappes phréatiques temporaires.

(1) La "section de contrôle" (BILLAUX, 1978) est définie par la tranche de sol limité comme suit : "la limite supérieure de la section de contrôle à l'intérieur du profil est la profondeur à laquelle un sol sec (tension supérieure à 15 bars...) est humidifiée par un apport de 25 mm en 24 heures.
Sa limite inférieure est la profondeur à laquelle un sol sec (mêmes conditions) est humidifié par un apport de 75 mm en 48 heures". Pour la terre de segui étudiée cette section est comprise entre 20 et 55 cm et pour le sierozem de la steppe sableuse entre 30 et 75 cm.

La plus grande partie des eaux infiltrées dans le sol est reprise par la transpiration et l'évaporation, si bien que l'essentiel des phénomènes de dissolution, de transport et de reprécipitation des sels est localisé dans une tranche de sol de 70 à 100 cm d'épaisseur maximum. L'intensité de ces processus est dans l'ensemble faible, en raison des faibles quantités d'eau mises en jeu (100 à 200 mm, à l'exception des bas fonds), et des températures relativement basses du sol durant les périodes où le profil pédologique est humide. Les sels ont donc tendance à rester *in situ*, sauf pour les plus solubles (NaCl) qui s'accumulent à l'aval de la toposéquence générale (*sebkhas* et *chotts* du littoral ou des systèmes endoréïques), en raison du ruissellement.

Lorsqu'il n'y a pas présence de nappe phréatique, les sulfates, plus solubles que les carbonates, forment souvent des accumulations proches de la surface (croûtes et encroûtements polygonés), ou autour des racines (gaines), alors que les carbonates moins solubles précipitent le plus souvent à moyenne profondeur, (en amas et pseudomycelium), qui peuvent enrichir des formes d'accumulation plus anciennes.

Enfin, concernant la matière organique, le régime hydrique des sols conditionne indirectement sa pénétration dans le profil. En effet, les végétaux sont adaptés aux conditions de sécheresse du profil, en allant chercher l'eau disponible dans l'horizon où elle se trouve. Ainsi, sur les sols steppiques, rares sont ceux qui présentent des accumulations de surface importante ; en revanche, la matière organique, due à la décomposition d'un système racinaire mort lors des périodes de sécheresse et représentant 50 % de la phytomasse totale, pénètre profondément dans l'ensemble du profil, lui conférant le caractère isohumique ; elle est constituée d'un humus stable représentatif des zones arides au Nord du Sahara, appelé "mull calcaire de steppe" (POUGET, 1981).

3. RESSOURCES EN SOLS DES DOMAINES STEPPIQUE ET ATLASIQUE

Au cours des trente dernières années, de nombreux inventaires et études pédologiques ont été effectués en vue de l'aménagement et de la planification en Tunisie présaharienne ; ils avaient surtout pour but de préparer l'implantation des périmètres irrigués et de chercher la localisation optimale de l'aridoculture. C'est ainsi qu'à différentes échelles (du 1/5.000 au 1/200.000), des cartes pédogénétiques, complétées par des cartes d'aptitudes aux cultures en sec ou en irrigué, ont été produites (BUREAU, 1959, Division des sols de Tunisie, 1961, COINTEPAS *et al.*, 1966).

Plus récemment, des études sur le comportement des sols sous utilisation agropastorale extensive (FLORET *et al.*, 1973, 1974, 1975, 1976, 1978 a et b ; BOURGES *et al.*1973, 1975, 1977, 1980 ; UNESCO 1977 ; NHAM *non publié)*, ou sous utilisation intensive avec irrigation (BALDY *et al.*, 1967, 1968, COINTEPAS *et al.*, 1966, COINTEPAS 1968, AUBERT et COLLAT, 1969, EL AMMAMI *et al.*, 1975, CHATTAOUI, 1975, UNESCO, 1970), ont permis, grâce à leur caractère pluridisplinaire, de préciser les contraintes d'utilisation des milieux et des sols souvent très fragiles de la Tunisie présaharienne.

Sous l'impulsion de la Division des Sols de Tunisie, s'est créé depuis 1977 un groupe de travail, en vue de la réalisation d'un atlas national des ressources en sols à l'échelle du 1/200 000. C'est ainsi qu'en 1977, PONTANIER et VIEILLEFON proposaient une méthode de classement des ressources en sols en Tunisie présaharienne, avec application à la cartographie (feuille Gabès-Sidi Chemmakh). Les buts de cette tentative étaient d'offrir à l'aménageur un outil simple synthétisant les caractères contraignants des sols en zone aride pour la production

végétale, en insistant sur les problèmes de leur conservation et ceux de la lutte contre la désertisation, le tout sur la base d'inventaires cartographiques et d'expérimentation au champ.

3.1. PRINCIPES DE CLASSEMENT DES RESSOURCES EN SOLS EN ZONE ARIDE

Les sols sont classés, par référence aux spéculations agricoles existantes ou à effectuer, sous les conditions climatiques moyenne, et dans le contexte socio-économique actuel de la région. Compte tenu des progrès de la recherche agronomique, de l'évolution de la technicité rurale, des efforts d'investissement et des changements socio-économiques possibles, il est évident qu'un classement des sols peut être remis en question et réactualisé. Néanmoins, dans le contexte actuel, les principales contraintes édaphiques limitant la production végétale en Tunisie présaharienne sont :

- *pour les cultures pluviales* : (a) l'efficacité des précipitations, liée à la topographie et aux propriétés physico-hydriques du sol, (b) les exigences édaphiques de la plante (profondeur du sol, nature et texture de la couche meuble, salure, pH, niveau trophique, etc.) et (c) la sensibilité des sols à l'érosion éolienne et hydrique (texture, structure, teneur en matière organique, etc.).
- *pour les cultures en irrigué* : utilisant toujours des eaux saumâtres (résidu sec allant de 1,5 à 7,5 g/l avec une très forte proportion de NaCl): (a) la nature, la texture, la structure et l'épaisseur de la couche meuble, en relation avec la qualité de l'eau d'irrigation (un sol limoneux, au drainage intrinsèque insuffisant, se sale rapidement, alors qu'un sol de texture légère et profond, supporte avec de moindres risques l'irrigation à l'eau salée); (b) la pente qui doit être suffisante pour effectuer le lessivage des sels par drainage, mais pas trop importante pour éviter des aménagements trop conséquents; (c) la nature et le niveau trophique du 1er niveau permettant des cultures intensives.
- *pour les terrains de parcours* : (a) l'efficacité des précipitations dans la recharge des réserves en eau du sol, (b) la sensibilité des sols à l'érosion due à un surpâturage.

La profondeur du sol, les caractéristiques physico-hydriques des différents horizons, l'état de la surface, qui conditionnent la ca-

pacité de stockage en eau et le volume exploitable par les végétaux, la salure, la nature chimique de la couche meuble et son niveau trophique qui limitent, ou excluent certaines cultures, ou encore la pente, la texture et la structure qui conditionnent la sensibilité, sont les critères fondamentaux à prendre en considération pour classer les sols.

Suivant l'usage et la précision des informations que l'on attend d'un classement des ressources en sol, ces critères interviennent à plusieurs niveaux de perception (cf. figure II.17).

1er niveau de classement

On a considéré, que *l'épaisseur de la couche meuble* (1) (c'est à dire la tranche de sol pénétrable facilement par les racines) était, avec le niveau de la *salure* (liée à l'hydromorphie), et la pente, les critères fondamentaux permettant de classer les sols en (a) cultivables en sec, (b) irrigables et (c) non cultivables. Les sols irrigables sont, sauf rares exceptions, tous cultivables en sec, la réciproque n'étant pas vérifiée.

2ème niveau de classement

Nous avons tenu à introduire à ce niveau la notion de sensibilité des sols (cf. II.1.3.8).

- sensibilité à l'érosion hydrique et éolienne, pour les sols cultivables en sec, et les sols non cultivables (les sols légers et les plus en pente sont les plus sensibles) ;
- sensibilité à la stérilisation par les sels, pour les sols irrigables aux eaux saumâtres (les sols de texture lourde sont les plus sensibles).

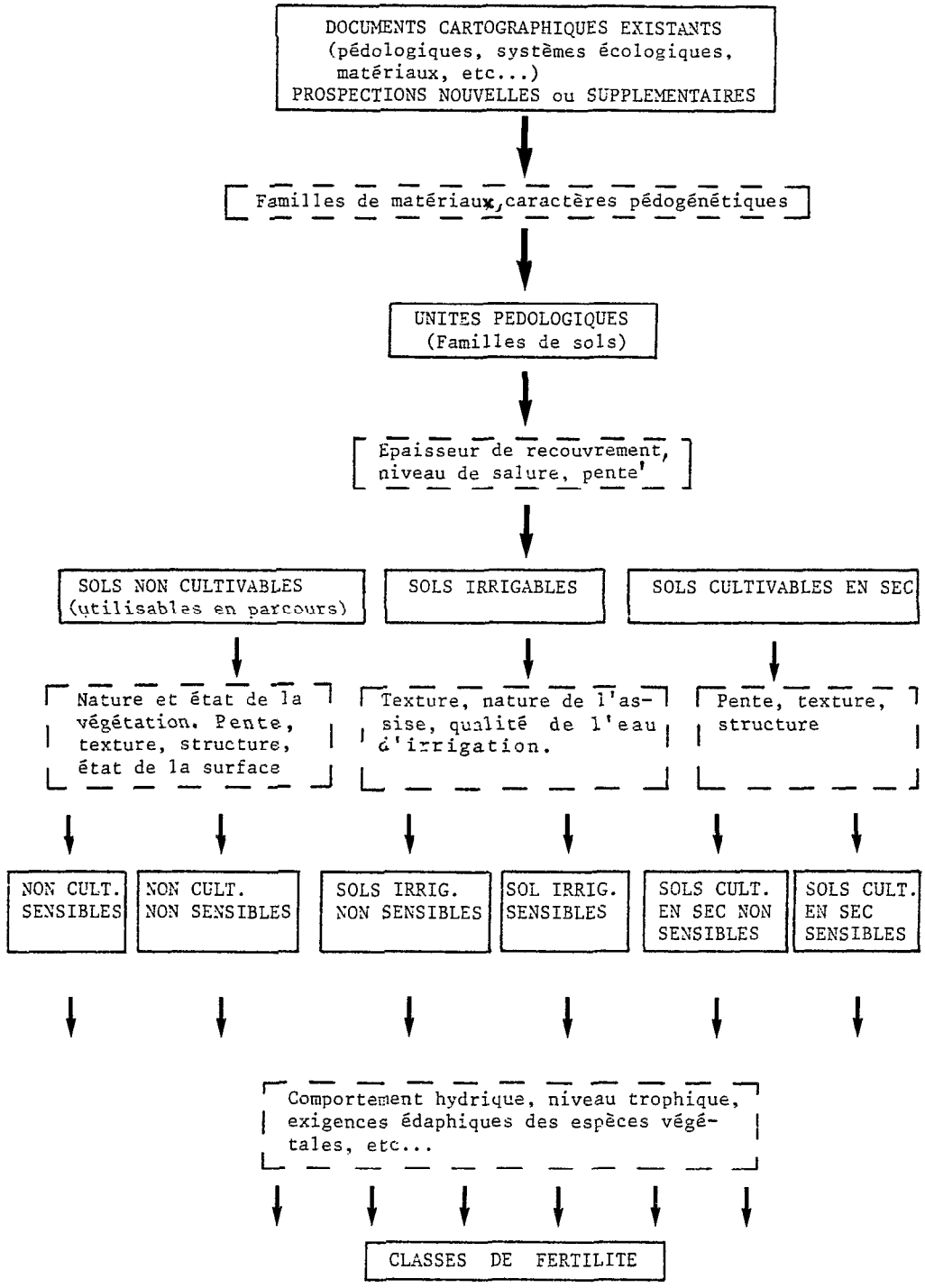
La texture, la structure, la nature de l'assise, ainsi que les aspects de la surface du sol et la pente, interviennent à ce niveau (FLORET *et al.*, 1973, 1976, 1977).

3ème niveau de classement

Les végétaux cultivés ont des exigences édaphiques spécifiques; certains sont rustiques et présentent une bonne adaptation à la sécheresse, d'autres très exigeants en eau et/ou en éléments nutritifs; il en est de même pour les végétaux spontanés. Aussi est-il très important de pouvoir caractériser les régimes hydriques et les niveaux trophiques

(1) Nous considérons comme "couche meuble" la couche superficielle du sol reposant sur un obstacle majeur à l'enracinement, (soit une couche géologique, soit un horizon induré d'origine pédologique fissuré ou pas); ne doit pas être confondu avec la profondeur de l'enracinement qui lui est au moins égale.

Figure II. 17 - Organigramme de classement des ressources en sols en Tunisie Présaharienne.



moyens des sols. Cette dernière étape, qui exige des expérimentations et des quantités de mesures assez élevées a malheureusement été trop souvent négligée par les pédologues ; elle nous permettrait de dégager des renseignements sur la fertilité des sols cultivables, et des sols de parcours.

Cette hiérarchisation des contraintes peut être discutée ; il est bien évident que la sensibilité, surtout des sols cultuvables en sec, pourrait intervenir au plus haut niveau. Nous pensons, en particulier à l'ensemble des sols sableux, très fragiles et non irrigables par manque de profondeur, et pour lesquels nous avons préconisé d'ailleurs, après d'autres auteurs, l'interdiction de la céréaliculture pluviale (FLORET et al., 1976, 1977, 1978).

3.2. CONTRAINTES D'AMENAGEMENT ET VARIABLES EDAPHIQUES

Parmi les variables édaphiques mentionnées ci-dessus, cinq interviennent de façon prépondérante, du moins aux deux premiers niveaux du classement, il s'agit de :

3.2.1. Epaisseur de la couche meuble

Cette variable est essentielle ; nous avons considéré que, en zone aride, tout sol présentant une couche meuble inférieure à 40 cm n'est pas cultivable. Les possibilités de stockage d'eau et de volume exploitable par les racines ne sont pas suffisantes.

Cependant, dans le cas d'un sol constitué d'une couche meuble inférieure à 40 cm surmontant une croûte calcaire *démantelée* ou un encroûtement nodulaire (*arcba*), nous estimons que celui-ci est plantable après décroûtage (oliviers, amandiers), l'horizon à nodules calcaires, situé alors sous la croûte, s'avérant un excellent réservoir d'eau exploitable par les racines.

De même, nous considérons que tout sol présentant une couche meuble inférieure à 80 cm n'est pas irrigable, les possibilités de drainage naturel s'avérant alors très réduites, d'où des problèmes d'engorgement, d'aphyxie, et de remontée des sels (qualité de l'eau d'irrigation).

3.2.2. Texture et nature de la couche meuble

La texture joue un rôle essentiel dans l'hypothèse d'une irrigation. Les eaux du Sud tunisien sont en général saumâtres (résidu sec variant de 1,5 g/l à 7 g/l). Compte tenu des très fortes remontées de sels par capillarité, il est indispensable d'avoir des sols drainant bien et à faible pouvoir de rétention ; aussi nous considérons qu'il est très dangereux d'irriguer des sols dont la teneur en argile + limons + sables très fins est supérieure à 45 %. A l'opposé, des sols très sableux (plus de 80 % de sable) sont d'utilisation délicate en irrigué, puisque les pertes par drainage vertical sont très importantes, surtout si le pourcentage de sable grossier est fort. Aussi conseillons nous dans ce cas des irrigations par aspersion.

On considère qu'en Tunisie présaharienne, pour une même culture annuelle irriguée avec une eau identique (RS = 2,5 g/l), pour les mêmes rendements, et pour maintenir le sol au même état de salure, il faut 15 à 20 % plus d'eau sur un sol limoneux-sableux que sur un sol sablo-limoneux. De même, pour une dose identique d'irrigation, la fréquence des irrigations doit être nettement supérieure dans le cas des sols grossièrement sableux (UNESCO 1970 ; EL AMMAMI *et al.*, 1975).

La nature de la couche meuble, est souvent une indication sur les spéculations agricoles à entreprendre et sur le régime hydrique du sol. En revanche, dans le cas des matériaux gypseux (plus de 20 %), elle peut gêner la mise en valeur en irrigué; si l'on ne prend pas les précautions nécessaires en matière de drainage, des phénomènes de remise en mouvement du gypse peuvent se produire, aboutissant parfois à la formation d'une croûte gypseuse de nappe.

Dans le cas des cultures pluviales, la texture de l'horizon de surface intervient au niveau de la sensibilité à l'érosion :

- les sols sableux, peu structurés, rendus fragiles par le passage des charrues à disques, sont très sensibles à l'érosion éolienne, qui peut atteindre 10 000 à 20 000 t/Km^2/an (FLORET et PONTANIER, 1975) ;
- à l'inverse, les sols plus lourds, donc plus cohérents, sont peu sensibles à cette érosion ; en revanche ils sont battants et générateurs de ruissellement qui, sur de fortes pentes, entraîne une érosion hydrique importante (nappes, rigoles, ravines).

Il en est de même pour les terres non cultivables ; les parcours à recouvrement sableux sont très sensibles à l'érosion éolienne, due au surpâturage. La texture et la nature du recouvrement, dans ce cas, peuvent aussi fournir une indication aux utilisateurs quant à l'aménagement des parcours.

Lors du classement des sols, on s'efforce dans la mesure du possible de donner une expression simplifiée de ces deux variables (ex. couche meuble sablo-limoneuse présentant 15 à 20 % de $CaCo_3$).

3.2.3. Nature de l'assise

L'assise peut être soit un horizon pédologique difficilement pénétrable par les racines (croûte et encroûtement calcaires, ou gypseux), ou le substrat géologique (calcaire dur, grès, ou marnes et argiles gypseuses). Cependant suivant sa nature physique et chimique, elle n'entraîne pas les mêmes contraintes :

- une croûte calcaire continue, une roche calcaire ou un grès calcaire, sont des obstacles quasiment absolus pour l'enracinement ;
- une croûte calcaire démantelée, ou un encroûtement nodulaire calcaire, tout en dépréciant un sol, ne sont pas cependant des obstacles à la mise en culture en sec, sauf s'ils sont affleurants ;
- les encroûtements et croûtes gypseuses (en général continus) sont peu perméables et sont un obstacle pour le drainage en cas d'irrigation par des eaux saumâtres ; en revanche, "en sec", si le recouvrement est important (40-80 cm), ils revalorisent un sol trop léger en évitant les pertes par drainage.

3.2.4. Salure

Les sols possédant une conductivité de leur horizon superficiel (0-40 cm) supérieure à 7 mmhos/cm ne sont pas cultivables en sec, à l'exception des années très pluvieuses qui lessivent alors en partie les sols et permettent de faire des cultures dérobées de céréales rustiques ; mais ceci est rare (1 année sur 10 environ).

En revanche, on estime que les sols sableux et sablo-limoneux, d'une épaisseur supérieure à 120 cm, présentant une salure comprise entre 7 et 20 mmhos/cm, peuvent être irrigués après lessivage et drainage,

alors que les sols de texture plus lourde et mal structurés, ne le sont pas. Dans tous les cas, une conductivité supérieure à 20 mmhos/cm entraîne le déclassement en non cultivable en sec et en irrigué, sauf mise en oeuvre de moyens exceptionnels. (1).

3.2.5. Pente

Une pente trop forte est un handicap pour l'installation des périmètres irrigués ; par contre, dans beaucoup de zones, étant génératrice de ruissellement, la pente peut-être au contraire un atout dans l'aménagement des terres situées à l'aval qui bénéficient ainsi d'apports d'eau supplémentaire, à condition de laisser une partie de la surface jouer son rôle d'impluvium. C'est ainsi, que dans l'étage climatique saharien des hautes vallées des Dahars, on peut trouver de magnifiques vergers, sous une pluviosité moyenne parfois inférieure à 100 mm, grâce aux aménagements d'hydraulique de surface (AUBERT, 1960 ; EVENARY *et al.*., 1971 ; National Academy of Sciences, 1977).

Cependant, lorsque la pente est trop importante, les risques d'érosion hydrique sont grands, surtout si les systèmes de "*gessours, seguis*" ne sont plus entretenus, comme c'est le cas dans de nombreuses zones de piémont. On considère qu'au-delà de 20 % de pente, le sol très peu épais est non cultivable compte tenu de la technologie actuelle. KASSAM (1981), à propos des régions arides de l'Afrique du Nord et du Proche Orient, considère qu'un terrain présentant plus de 14 % de pente n'est pas cultivable mécaniquement. Cet auteur propose trois classes de pente (0-8 %, 8-30 % et >30 %) à l'occasion d'un classement des terres.

L'absence totale de pentes (zones endoréiques, parfois inondables), interdit par ailleurs l'installation de cultures en irrigué, et même de vergers, en raison de l'absence de drainage.

(1) Dans la région du Chott Djerid, des cas de mise en valeur sur des sols réputés incultivables, ont été observés. Ainsi, sur un sol sablo-limoneux, non gypseux, salin (pellicule de sel en surface et conductivité moyenne entre 0 et 40 cm = 25 à 30 mmhos/cm) les techniciens d'une société de mise en valeur, grâce à l'irrigation (avec une eau à 2,6 g/l dont 68 % de chlorures, à doses massives au début, puis à 1,25 ETP ensuite) et un drainage efficace, ont réussi au bout de 24 mois à ramener la conductivité de surface à 5 à 6 mmhos/cm, à maintenir la nappe phréatique à 150 cm (RS = 6 g/l), après avoir planté une palmeraie de Deglat en Nour.

3.3. LE CLASSEMENT DES RESSOURCES EN SOLS ; LEUR CARTOGRAPHIE

3.3.1 Pondération des variables édaphiques

Chacune des cinq variables édaphiques principales peut être divisée en classes d'intensité (pente, salure, épaisseur de la couche meuble) ou en classes de nature (texture et nature du recouvrement et de l'assise) ; le nombre de ces classes dépend de la précision souhaitée et du degré d'hétérogénéité de la couverture pédologique.

C'est ainsi que pour le classement des sols d'une partie de la Djeffara au 1/200 000, PONTANIER et VIEILLEFON (1977) regroupent en cinq grands types la texture et la nature de la couche meuble, en trois grands types les assises, et proposent trois classes d'épaisseur du recouvrement et trois classes de pente et de salure (cf. tableau II.10). ESCADAFAL (1979), réalisant une étude de détail au 1/25 000 dans la même région, augmente le nombre des classes de texture, pour fournir des informations supplémentaires en vue de la mise en valeur et de la conservation des ressources en sols de Bir Lahmar.

3.3.2. Compensations de facteurs

Nous n'avons pu les aborder de façon exhaustive, parce que nous ne disposions que de renseignements fragmentaires et ponctuels sur le niveau trophique, et sur le régime hydrique des sols des milieux non irrigués. Il est évident que c'est surtout à ce niveau du classement que des compensations peuvent intervenir : on a pu montrer qu'en zone aride, le régime hydrique du sol n'était pas toujours le facteur principal de limitation à la production végétale, mais que celui-ci peut être souvent le faible niveau des réserves en azote (FLORET et PONTANIER, 1978; FLORET *et al.*, 1980).

En revanche, nous possédons suffisamment de données sur les compensations intervenant entre salure et texture (une conductivité de 7 mmhos/cm sur un sol sableux, n'a pas la même valeur que sur un sol limoneux par exemple), la texture et la pente au niveau de la sensibilité se compensent ou s'ajoutent (un sol en pente s'il est sableux est moins sensible à l'érosion hydrique qu'un sol limoneux) etc. Suivant les situations, les variables édaphiques prises en compte pour classer un sol peuvent jouer dans le même sens ou en sens contraire; un sol, par exemple,

de faible profondeur, peut être encore déprécié par une salure excessive, alors que ce même sol de faible profondeur peut être revalorisé par la nature de son assise : croûte démantelée, que l'on peut donc enlever, etc. (PONTANIER et VIEILLEFON, 1977 ; BARBERY et DELHUMEAU 1979).

3.3.3. Application à la cartogaphie des ressources en sols

En utilisant les cartes pédogénétiques et/ou de systèmes écologiques (relations sol-végétation), et/ou de roches-mères existantes, et/ou de prospections supplémentaires, des unités pédologiques, assimilables à la *famille de sol* (sens de la classification française), sont identifiées, sur la base de la nature des matériaux, et des caractères pédogénétiques (1). Ces unités pédologiques et leur zonation sont les éléments de base d'une carte des ressources en sols ; ainsi, lors de l'établissement de la feuille Gabès - Sidi Chemmakh (1977), 22 familles de matériaux simples ou composés ont été reconnues, à partir desquelles ont été identifiées 41 unités pédologiques (cf. tableau II.9), essentiellement en fonction de critères pédogénétiques.

La prise en compte d'une formule synthétisant les niveaux des 5 variables retenues, conduit à des regroupements ou à des éclatements des unités pédologiques en unités de ressources en sols.

Pour la feuille Gabès - Sidi Chemmakh, 48 unités de ressources en sols ont été regroupées en 5 grandes classes ; nous en proposons une sixième "sols irrigables sensibles" (cf. tableau II.10), pour tenir compte du fait que certains sols sont plus sensibles que d'autres à la stérilisation par les sels lors des irrigations à l'eau saumâtre, et que certains sables grossiers très salés peuvent être utilisés en irrigué après lessivage et drainage, avec certaines précautions.

- *Classe I Les sols irrigables peu sensibles*

Ce sont tous les sols très profonds (assise non observable à 120 cm) de texture grossière à très grossière, peu à non salés, non gypseux, et de pente inférieure à 2 % ; ils sont symbolisés par les formu-

(1) Il est évident que pour une même famille de matériaux, nous pouvons avoir plusieurs unités pédologiques. Par exemple : sur des alluvions sablo-limoneuses à limono-sableuses calcaires épaisses, peuvent exister des sols peu évolués modaux et/ou salés et/ou steppisés ou des siérozems, ou des sols salins, etc...

Tableau II 9 - Exemple d'identification des unités pédologiques et du classement des sols en Tunisie présaharienne (D'après PONTANIER, VIEILLEFON 1977)

Classe	Sous-Classe	Groupe	Sous-Groupe	Famille de matériaux	N° unité	Classement des sols	Localisation
SOLS MINERAUX BRUTS	NON CLIMATIQUES	D'EROSION	LITHOSOLS	Calcaires, et grès calcaires Dune consolidée.	1	Fp_1, Fp_2	B.V.O. Gabès, Piémont Matmata
				Grès calcaires du Thyrenien,	2	$3A'$, F	Gourine, Djorf, Djerba
				Croûte calcaire non démantelée, Villafranchien	3	Fp_1	Nouvelle Matmata, Zarzis
			REGOSOLS	Croûte calcaire démantelée, Encroûtement calcaire nodulaire (Archa)	4	D, Dp_1 $3A'$, $3B'_1$	Djerba, Zarzis, Djorf, Mareth, El M'dou, N.Matmata etc...
				Marnes du Crétacé, Argiles gypseuses du Miopliocène	5	Ep_1, Ep_2	Nord de Gabès, Djerba
		D'APPORT	ALLUVIAUX	Alluvions grossières sableuses des oueds. Parfois éolisés	6	$1B_1$	O. R'mel
			MARINS	Dunes littorales	7	$1A$	Djerba, Rhenouch
SOLS PEU EVOLUES	NON CLIMATIQUES	D'EROSION	REGOSOLIQUES	Croûte calcaire démantelée, ou encroûtement plus ou moins recouvert	8	$3A'$, $3B'_1$	Djerba, Djeffara
				Limons à nodules calcaires érodés	9	$1C_1p_2$	Piémont des Matmatas
		D'APPORT ALLUVIAL	MODAUX et/ou STEPPISES	Alluvions sablo-limoneuses à limoneuses (Hautes terrasses et zones d'épandage des oueds)	10	$1B_1$	Oueds de Djeffara, Limaoua
				Alluvions SL/L et dépôts éoliens sur croûte calcaire démantelée ou "Archa"	11	$1B'_1$, $2B'_1$ $2B'_1p_1$	EL M'Dou, Djorf, Limaoua
				Alluvions SL/L et dépôts éoliens sur argiles gypseuses du Miopliocène, ou encroûtement calcaro-gypseux	12	$1B''_1$, $2B''_1$, $2B''_1p_1$	Gabès Nord, Kettana, Zerkine, Presqu'île de Djorf
				Alluvions SL/L sur conglomérat calcaire, parfois gypseux	13	$1B'_1$	Matmata Nouvelle
				Alluvions SL/L et dépôts éoliens sur limons à nodules calcaires.	14	$1B_1$, $1B_1p_1$	Matmata Nouvelle, Mareth
				Sables calcaires grossiers éolisés sur croûte calcaire démantelée.	15	$2A'$	Djerba, Nellita
				Sables calcaires grossiers éolisés sur limon à nodules calcaires.	16	$1A$	Djerba, Guellala
			HYDROMORPHES	Alluvions SL/L des zones d'épandage	17	$1B_1$	Gabès Nord, Djorf
				Alluvions SL à L sur sables gypseux (plus ou moins encroûtés) à encroûtement gypseux de nappe	18	$1B''_2$ $1B''_2s_1$	Gabès Nord, Kettana
			SALES	Alluvions SL à L parfois à encroûtement gypseux de nappe	19	$1B''_1s_1$	Gabès, Teboulbou
				Alluvions sableuses calcaires d'origine marine sur sables gypseux encroûtés (nappe)	20	$2A''s_1$	Djerba
	EOLIEN	D'APPORT	MODAUX et STEPPISES	Sables calcaires grossiers éolisés d'origine marine	21	$1A$	Djerba
SOLS CALCO-MAGNESIMORPHES	GYPSEUX	A ACCUMULATION LOCALISEE	A CROUTE	Argiles gypseuses du Miopliocène	22	E, Ep_1	Gabès, Mareth, Kettana, Djorf
			A ENCROUTEMENT	Argiles gypseuses du Miopliocène	23	E, $3B''_1p_1$	Gabès, Mareth, Djorf, Kettana, Methouia
				Sables gypseux	24	$3B''_2$	B.V.O. Gabès, Bou Chemma, Rhenouch
SOLS ISOHUMIQUES	COMPLEXE SATURE Pédoclimat frais pendant la période humide (subtropicaux)	BRUNS STEPPIQUES	TYPIQUES (Tronqués)	Limon à nodules calcaires, Ancien horizon B (Ca) de ces sols	25	$1C_1$, $1C_1p_1$, $1C_1p_2$, $2C'_1p_1$ $3C'_1p_1$	Piémont des Matmatas
		SIEROZEMS (clairs)	MODAUX	Alluvions SL à L profondes	26	$1B_1$	Kettana, Gara el Beiri, O. Gabès
				Alluvions SL à L sur croûte calcaire démantelée, ou "Archa"	27	$2B'_1$, $2B'_1p_1$	Kettana, El M'dou, Zarzis, Djorf
				Alluvions SL à L sur Miopliocène gypseux ou encroûtement calcaro-gypseux	28	$2B''_1$, $2B''_1p_1$ $3B''_1$	Djorf, Kettana, Zarkine, Mareth, Bled Touiacha
				Alluvions SL à L sur sables gypseux (parfois ancien "terch")	29	$2B''_1$, $3B''_1p_1$	Teboulbou, Limaouia
				Alluvions sableuses plus ou moins calcaires	30	$1B_1$	Zarzis
				Sables calcaires grossiers éolisés profonds	31	$1A$	Djerba
				Sables calcaires grossiers éolisés sur croûte calcaire démantelée.	32	$1A'$, $2A'$	Djerba
				Sables calcaires grossiers éolisés sur conglomérat et mio miopliocène gypseux	33	$1A'$, $2A'$ $3A'$	Djerba
				Sables calcaires grossiers éolisés sur limons à nodules calcaires.	34	$1A$	Djerba
			SALES	Alluvions SL à L sur sables gypseux à encroûtement gypseux de nappe	35	$1B''_1s_1$	Zarzis
SOLS HALOMORPHES	STRUCTURE NON DEGRADEE	SALINS	HORIZON SUPERFICIEL FRIABLE	Sables gypseux	36	$1B_2s_2$	Zarzis, Gourine, Teboulbou
			A REMISE EN MOUVEMENT DU GYPSE (encroûtement de nappe)	Sables gypseux	37	$1B''_2s_1$	Kettana, Teboulbou, Gabès, Mareth
				Alluvions SL à L sur sables gypseux	38	$1B''_1s_2$, $1B''_1s_1$	O. Melah, Gabès, Mareth
				Alluvions sableuses marines plus ou moins calcaires sur sables gypseux	39	$2A''_2s_2$	Djerba
	STRUCTURE DEGRADEE	A ALCALI NON LESSIVES	A ENCROUTEMENT SALIN SUPERFICIEL	Sables gypseux à encroûtement de nappe	40	$2B''_2s_2$, $1B''_2s_2$	Djerba, Teboulbou Gabès, Djorf
			A SULFURES	Alluvions fluvio-marines	41	$1C''_2s_2$	Zarzis, Djerba, Djorf, littoral de Djeffara

Tableau II . 10 – Exemple de légende d'une carte de ressources en sols en Tunisie présaharienne
(d'après Pontanier-Vieillefon 1977 , Gabès - S^{i} Chemmakh)

Epaisseur z →	1					2				3				Affleurements		
Textures →	A	B_1	B_2	C_1	C_2	A	B_1	B_2	C_1	A	B_1	B_2	C_1	D	E	F
pente < 2 % et salure < 7 mm hos /cm	$1A$ $1A'$	$1B_1$ $1B'_1$ $1B''_1$ $1B'''_1$	$1B''_2$	$1C_1$		$2A'$	$2B'_1$ $2B''_1$ $2B'''_1$			$3A'$	$3B'_1$ $3B''_1$	$3B'''_2$		D	E	
Pente < 2 % $\mathcal{S}_1$		$1B'''_1 s_1$	$1B''_2 s_1$			$2A's_1$ $2A'''s_1$		$2B'''_2 s_1$								
Pente < 2 % $\mathcal{S}_2$		$1B'''_1 s_2$	$1B_2 s_2$ $1B'''_2 s_2$		$1C_2 s_2$ $1C'''_2 s_2$	$2A'''s_2$	$2B'''_1 s_2$	$2B'''_2 s_2$								
salure < 7 mm hos /cm p_1	$1Ap_1$	$1B_1 p_1$		$1C_1 p_1$			$2B'_1 p_1$ $2B''_1 p_1$		$2C'_1 p_1$		$3B'_1 p_1$ $3B''_1 p_1$	$3B'''_2 p_1$	$3C'_1 p_1$	Dp_1	Ep_1	Fp_1
salure < 7 mm hos /cm p_2				$1C_1 p_2$									$3C'_1 p_2$		Ep_2	Fp_2

$2A'$ ㉜ sols cultivables en sec sensible, à sables grossiers calcaires, sur croûte calcaire démantelée, de pente inférieure à 2 %, et présentant une conductivité de l'extrait de saturation des 40 premiers centimètres inférieure à 7 mmhos/cm (25°C). Unité pédologique 32 (Sierozem clair de Djerba).

CLASSES DE RESSOURCES EN SOL

- (I) Sols irrigables non sensibles à la stérilisation par les sels.
- (II) Sols irrigables sensibles à la stérilisation par les sels.
- (III) Sols cultivables en sec non sensibles.
- (IV) Sols cultivables en sec sensibles.
- (V) Sols non cultivables, non sensibles (parcours).
- (VI) Sols non cultivables sensibles (parcours).

Épaisseur de la couche meuble

1 $z > 80$ cm
2 $80 > z > 40$ cm
3 $0 < z < 40$ cm

Texture et nature de la couche meuble

A texture très grossière calcaire (sables grossiers).
B_1 texture grossière calcaire (sablo - limoneux).
B_2 texture très grossière gypso - calcaire .
C_1 texture moyenne à fine calcaire origine continentale .
C_2 texture moyenne à fine origine fluvio - marine .

NIVEAU DES VARIABLES ÉDAPHIQUES

Pente (p)

p_1 $2 < p < 5\%$
p_2 $p > 5\%$
(pas de sigle $p < 2\%$

Nature de l'assise

' sur croûte démantelée calcaire , ou encroûtement calcaire .
'' sur encroûtement gypseux ou matériau gypseux .
''' sur encroûtement gypseux de nappe .
(pas de sigle , pas d'assise apparente avant 120 cm)

Conductivité (c) de l'extrait de saturation (0-40 cm)

$\mathcal{S}_1$ $7 < c < 20$ mm hos / cm (25°C)
$\mathcal{S}_2$ $c > 20$ mm hos / cm (25°C)
(pas de sigle $c < 7$ mm hos /cm

Assise affleurante

D croûte calcaire démantelée, encroûtement, conglomérat calcaire .
E matériaux gypseux (marnes, sables etc...) plus ou moins encroûtés en surface .
F roche dure calcaire , grès calcaire , croûte calcaire non démantelée .

les 1A (16, 21, 31, 34), $1B_1$ (6, 10, 14, 17, 26, 30).

- *Classe II Les sols irrigables sensibles*

Ce sont tous les autres sols d'épaisseur supérieure à 80 cm, de pente inférieure à 2 %, à l'exception des sols à texture moyenne à à fine et/ou très salés ; ils sont symbolisés par :

1A' (32,33), $1B_1$ (11, 13), $1B''_1$ (12, 28) $1B'''_1$ (18), $1C_1$ (25)

$1B'''_1s_1$(19, 35, 38), $1B''_2s_1$ (37)

$1B_2s_2$ (36) $1C_2s_2$(41)

- *Classe III Sols cultivables en sec peu sensibles*

Il s'agit de tous les sols, de texture moyenne à fine, non salés, de pente inférieure à 5 %, et de profondeurs supérieure à 40 cm; ils sont représentés par :

$1C_1P_1$ (25), $2C'_1P_1$ (25) et évidemment par $1C_1$ (25) classé précédemment

- *Classe IV Sols cultivables en sec sensibles*

Sont compris dans cette classe tous les sols irrigables à · c l'exception de ceux qui sont salés et de $1C_1$ (25) ; en outre, nous trouvons ici les sols de texture légère non ou peu salés, dont l'épaisseur est comprise entre 40 et 80 cm, ainsi que tous les sols profonds en pente :

$1Ap_1$ (16), $1B_1P_1$(14), $1C_1P_2$ (9,25)

2A' (32, 33, 34), $2A's_1$ (15)

$2B'_1$ (11, 27), $2B''_1$ (12, 28), $2B'''_1$ (29)

$2B'_1P_1$ (11, 27), $2B''_1P_1$ (12, 28)

Nous avons évoqué précédemment la possibilité de reclasser ainsi certains sols sableux peu profonds sur croûte calcaire démantelée, par suite de leur décroûtage ; il s'agit de 3A' (4, 8) $3B'_1$ (4, 8)

- *Classe V Sols non cultivables peu sensibles*

Sont classés ici les sols dont l'assise affleure, les sols des dépressions très salées (*chotts, garaet, sebkhas*), ou les sols peu épais, ainsi que les sols salés irrigables :

$1B'''_1s_2$ (38), $1B'''_2s_2$ (40), $1C'''_2s_2$ (41)

$2A'''_2s_2$ (39), $2B'''_1s_2$ (38), $2B'''_2s_2$ (40)

$3C'_1P_1$ (4), $3C'_1P_2$ (4)

D (4), D_{p1} (4), E (22, 23, 24), E_{p1} (22), E_{p2} (5)

F_{p1} (1, 3), F_{p2} (1, 4)

- *Classe VI Sols non cultivables sensibles* (parcours)

Ce sont les sols présentants un faible recouvrement (< 40 cm) de texture légère ; certains peuvent être salés.Les sols identifiés par 3A' (4, 8, 33) et $3B'_1$ (3, 4, 8), s'ils ne sont pas décroûtés, font partie de cette classe. Certaines dunes littorales ou continentales 1A (7), trop sensibles à l'érosion éolienne même pour l'installation de périmètres irrigués $2A'''s_1$ (20), $2B'''_2s_1$ (37), trop salées pour être cultivé en sec et trop peu profondes pour être irriguées ainsi que $3B'_1P_1$ (3, 4), $3B''_1$ (28), $3B''_1P_1$ (23), $3B'''_2$ (24), $3B'''_2P_1$ (24) apparaissent ici.

Il est évident que chacune de ces classes jugée à un 3ème niveau du classement pourrait être divisée en unités inférieures ou sous-classes, en faisant intervenir le niveau trophique, le régime hydrique et les exigences édaphiques des espèces. Nous pourrions ainsi produire des documents thématiques à grande échelle dans lesquels les niveaux de fertilité pour telle spéculation pourraient être mentionnés.

3.4. CONCLUSION

Dans de nombreuses situations, les ressources en sols que nous inventorions actuellement, reflètent une longue utilisation par l'homme. Par exemple, la plupart des sierozems sableux ou assimilés sont consécutifs à une steppisation récente ; certains sols squelettiques sont liés à une surexploitation ancienne etc. En effet, l'utilisation des terres en Tunisie présaharienne est riche d'une longue histoire. Les hommes néolithiques étaient déjà sédentarisés autour des sources du Nefzaoua, du Djerid, et de la zone littorale. L'Afrique carthaginoise connaîssait les cultures en sec qui se pratiquent aujourd'hui. Les comptoirs du Golfe de Gabès jouissaient déjà d'une grande réputation. Cependant, les populations restaient essentiellement pastorales. L'époque romaine a vu l'extension des plantations d'oliviers et le développement de la céréaliculture (le défrichement a été important à cette époque). Cette période correspond aussi à l'âge d'or de la petite et moyenne hydraulique en

vue de domestiquer le ruissellement. Le Moyen Age voit la récession de l'agriculture au profit de l'élevage et du nomadisme. La colonisation française a influencé le mode d'utilisation des sols, grâce à la création de périmètres irrigués par des forages artésiens dans la zone continentale et à l'extension de l'oléiculture dans la partie septentrionale de la zone et sur le littoral.

Nous ne prétendons pas, dans ce qui suit, fournir un inventaire exhaustif des ressources en sols de la région, mais donner un aperçu de celles-ci sur trois zones de la Tunisie présaharienne dont la physionomie est assez différente.

- *Zone Gabès-Sidi Chemmakh*

C'est la partie la plus peuplée de la zone d'étude et celle où l'utilisation des sols par l'homme est très ancienne (en sec et en irrigué) ; on assiste aujourd'hui à une forte migration rurale vers la ville. En 1973, environ 65 % de la superficie avaient été ou étaient cultivés, avec environ 30 à 35 % de cultures au moment de l'évaluation (LE FLOC'H, 1973). En 1977, PONTANIER et VIEILLEFON ont proposé une évaluation des ressources en sols de cette région littorale (cf. tableau II.11). Remarquons qu'actuellement, la mise en culture des sols dépasse de 10% le potentiel cultivable d'après nos estimations.

- *Zone test de Zougrata*

Sur une partie représentative des Basses Plaines Méridionales orientales, dominée encore en 1975 par le parcours (58 %), mais avec un recul des terrains de parcours très net depuis 20 ans (cf.tableau §III. 4), FLORET *et al.*, (1978), relèvent pour un territoire de 81 000 ha, une distribution de ressources en sols, différente de la précédente (cf. tableau II.11). Le pourcentage des sols cultivables avoisine 70 % alors qu'il n'est que de 55 % dans la plaine littorale ; les surfaces cultivées actuellement ne représentent que 40 % du total.

- *Hamda de Bir Lahmar (région d'El Ababsa)*

Située dans la partie Sud-Ouest de la Djeffara la région d'El Ababsa est dominée par un puissant glacis à croûte calcaire, plus ou moins recouvert par du sable et des limons à nodules calcaires, se développant à partir des contreforts orientaux et des montagnes calcaires du Dahar. ESCADAFAL (1979) inventoriait seulement 22 % de sols cultivables. Cependant, grâce au décroûtage, principalement des sols bruns

TABLEAU II.11 Exemples de répartition des ressources en sol en Tunisie présaharienne(d'après PONTANIER et VIEILLEFON 1977, FLORET *et al.*, 1978 ; ESCADAFAL, 1979).

Superficie des zones tests et échelle de cartographie	Gabès-Sidi Chemmakh (248 700 ha) 1/200 000	Zougrata (81 000 ha) 1/50 000	Bir Lahmar (9 157 ha) 1/25 000
Sols irrigables non sensibles	8,1 %	16,7 %	6,4 %
Sols irrigables sensibles	12,1 %	11,5 %	4,2 %
Sols cultivables en sec peu sensibles	2,1 %	32,5 %	5,2 %
Sols cultivables en sec sensibles	33,2 %	9,3 %	6,1 %
Sols non cultivables peu sensibles (parcours)	30,5 %	23,5 %	40,3 % (1)
Sols non cultivables sensibles (parcours)	14,0 %	6,5 %	37,8 % (2)

(1) dont 15 % sont plantables après décroûtage

(2) dont 96 % sont plantables après décroûtage.

subtropicaux à croûte calcaire, recouverts par des apports éoliens, la part des sols non cultivables pourrait être réduite à 40 % environ.

Ce rapide aperçu des ressources édaphiques de la région nous montre qu'une grande partie des sols est cultivable (entre 50 et 70 % pour les cas cités). En effet, les sols profonds sont encore abondants en Tunisie présaharienne ; mais, dans l'ensemble, leur sensibilité à l'érosion hydrique et éolienne est grande (entre 50 à 75 % des sols cultivables en sec y sont sensibles). Aussi, convient-il, lors de leur mise en culture, d'appliquer les principes de l'aménagement rural des zones arides tels que nous les proposons dans la Section IV.

La méthode que nous avons proposée par l'inventaire des ressources en sol peut être discutée, surtout en ce qui concerne la hierarchisation des contraintes. En effet, compatible avec le contexte socio-économique actuel de la Tunisie présaharienne, le système de classification adoptée n'est pas extrapolable à l'ensemble de la zone aride, surtout si les conditions biotiques et abiotiques de l'environnement sont différentes de celles auxquelles nous avons été confrontées. Néanmoins, nous pensons que les contraintes édaphiques retenues ont une valeur absolue, que l'aménageur, en fonction de ses objectifs, peut faire intervenir à différents niveaux et moduler grâce aux compensations de facteurs.

SECTION III

PHYTOMASSE, PRODUCTION ET DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION EN TUNISIE PRÉSAHARIENNE

La végétaion des zones arides d'Afrique du Nord a fait l'objet de nombreux travaux. GUINOCHET (1951), LONG (1954), NOVIKOFF (1961), mais surtout LE HOUEROU (1955, 1959, 1969) pour la zone qui nous concerne, ont publié d'excellentes synthèses axées en général sur les relations entre les communautés végétales et le milieu. LE FLOC'H (1973), TELAHIGUE (1976, 1980), SASSI (1978), GADDES (1978) y ont apporté des compléments.

Dans notre étude, nous n'ajouterons pratiquement rien à la diagnose des associations ou groupements végétaux réalisée par ces auteurs, parce que nos objectifs sont de mieux connaître la phytomasse, la production et la productivité des unités principales déjà décrites, et de tenter d'en mesurer les évolutions possibles. Nous avons choisi les plus étendues, celles qui présentent le plus grand intérêt économique. Très souvent, les associations ou groupements végétaux décrits par les auteurs, pour des échelles d'étude plus petites, se situent au niveau de la séquence de végétation (1). Les mesures que nous avons effectuées intéressent des stades des séquences (systèmes écologiques tels que nous les avons définis dans l'introduction) qui sont parmi les plus représentés.

Après une réflexion sur l'adaptation des espèces végétales à l'aridité du milieu, nous donnerons dans un premier chapitre une brève description des systèmes écologiques que nous avons retenus. Leur caractérisation en phytomasse (principalement aérienne) fera l'objet du chapitre suivant qui comporte aussi une tentative d'appréciation de la valeur relative des parcours sur la base de cette phytomasse.

---

(1) La séquence comprend des "stades d'évolution dont la succession est prévisible en fonction des principaux critères in situ et dans l'hypothèse d'un abandon de la de la pression humaine" (GODRONetPOISSONET, 1972).

Le troisième chapitre a pour objet l'évolution de la phytomasse en fonction des conditions plus ou moins arides du milieu (variabilité du climat et des sols). L' "efficacité" de ces systèmes écologiques (c'est à dire le rapport de la production végétale à la pluviosité et à l'eau évapotranspirée) sera ensuite comparée à celle de systèmes d'autres régions du monde, et l'on tentera de discuter comment les animaux domestiques peuvent tirer le meilleur parti de la production pastorale. Enfin, un dernier chapitre commentera les résultats obtenus par l'étude, en mode synchronique et diachronique, de la dynamique des systèmes écologiques en zone aride (dégradation, régénération).

Le problème de la désertisation et celui de l'aménagement, dans lesquels la végétation tient une place importante sont traités dans la Section IV. Les conclusions sur la végétation sont intégrées aux Conclusions Générales, à la fin de l'ouvrage.

1. ADAPTATION DE LA VÉGÉTATION A L'ARIDITÉ

1.1. LA FLORE

Nous ne nous étendrons pas sur les caractéristiques floristiques de la Tunisie méridionale. GRISEBACH (1877) et EIG (1931), ont nommé "région saharo-sindienne" la zone intermédiaire comprise entre l'empire floral holarctique comprenant la région méditerranéenne et l'empire paléotropical. Elle s'étend depuis la côte atlantique du Sahara jusqu'à l'Indus et recouvre l'ensemble du Sahara central et septentrional.

La flore, dans la région qui nous concerne, est surtout le résultat de l'interpénétration entre cet élément saharo-sindien et l'élément méditerranéen. LE HOUEROU (1959) répartit les 1275 espèces de la Tunisie méridionale de la façon suivante :

76 % d'espèces méditerranéennes
16 % d'espèces saharo-sindiennes (ou saharo-arabes)
8 % d'espèces pluri-régionales

Il existe aussi un faible pourcentage d'espèces (une dizaine) d'origine paléotropicale, sans doute reliques de la flore tertiaire. QUEZEL (1965) signale aussi la pénétration en Afrique du Nord d'immigrants récents septentrionaux appartenant à la flore eurasiatique qui s'ajoutent aux éléments précédents, mais qui sont relativement peu importants ; ces taxons sont en effet surtout localisés dans les zones

(1) La nomenclature utilisée dans le texte est celle de la "Nouvelle Flore de l'Algérie et des Régions Désertiques méridionales" de QUEZEL et SANTA (1962-1963). Pour les espèces ne figurant pas dans cette flore, nous avons utilisé la terminologie de LE HOUEROU (1959). En Annexe 277 figure une révision nomenclaturale pour une partie des espèces citées, d'après LE FLOC'H (1981).

humides et dans les palmeraies. OZENDA (1977) souligne que le milieu désertique produit "*un appauvrissement général* (par rapport à la flore méditerranéenne), *mais très inégalement réparti d'une famille à l'autre, et qui n'a pas été compensé par un facteur positif de diversification, c'est-à-dire par le développement de familles typiquement sahariennes*" (sauf le cas des Zygophyllacées). En particulier, Graminées, Légumineuses, Composées, représentent plus du 1/3 de la flore. Chénopodiacées et Crucifères sont aussi relativement très abondantes.

1.2. TYPES BIOLOGIQUES ET ADAPTATIONS A LA SECHERESSE

La littérature concernant l'adaptation des plantes à la sécheresse est très abondante. Nous n'en reprendrons que quelques traits, en essayant de les appliquer aux espèces les plus répandues de la zone aride présaharienne. RAUNKIER (1937), ADAMSON (1939), SHREVE (1951), ORSHAN (1953), ZOHARY (1954), CABRERA (1955), ont proposé des classifications des types biologiques dont certaines sont bien adaptées aux zones arides ; mais c'est SHANTZ (1927) qui, à notre avis, donne le premier une classification intéressante des plantes de ces régions vis-à-vis de la sécheresse, en distinguant des catégories telles que "*plantes échappant à la sécheresse, plantes supportant la sécheresse*, etc." Plus récemment, et sur des principes analogues, EVENARI *et al.*, (1975), divisent les plantes des zones arides en 2 groupes principaux : les espèces *aridopassives* et *arido-actives*. Nous examinerons aussi les trois types biochimiques de photosynthèse dans leurs relations avec l'aridité. Enfin, nous évoquerons les stratégies adaptatives des espèces à la sécheresse, en particulier par la germination et le système racinaire (1).

1.2.1. Spectres biologiques de RAUNKIAER

La classification des espèces selon les types biologiques de RAUNKIAER (1934) apparaît moins intéressante pour la zone aride que certaines proposées ci-dessus qui font intervenir le moment où l'eau, facteur limitant, est disponible. ADAMSON (1939) puis ORSHAN (1953), ont montré que cette classification ne donnait pas la possibilité de classer correctement les nombreux types biologiques des zones désertiques.

(1) Les types biologiques des principales espèces tunisiennes dont il est question dans ce texte sont donnés en Annexe A 2.

ELLENBERG et MUELLER-DOMBOIS (1967) ont considérablement subdivisé les types biologiques de RAUNKIAER, dans une classification qui tient mieux compte d'adaptations possibles à la sécheresse. Il faut d'ailleurs avoir présent à l'esprit que RAUNKIAER a conçu sa classification en fonction de la façon qu'ont les espèces de passer la période froide, dans les zones présentant une saison froide marquée.

Les spectres biologiques sont de plus en plus souvent présentés en tenant compte des recouvrements respectifs de chacun des types biologiques (TUXEN et ELLENBERG, 1937 ; CARLES, 1948 ; GODRON *et al.*, 1968) et il nous a paru intéressant d'aller plus loin dans cette voie, et de les exprimer, pour les principaux types de milieux que nous avons étudiés, en considérant les pourcentages de la phytomasse aérienne. La phytomasse est mesurée à la fin du printemps.

La figure III.1 compare les spectres biologiques de RAUNKIAER obtenus sur la base de la composition floristique et de la contribution à la phytomasse pour une steppe des zones sableuses et pour une steppe des zones gypseuses encroûtées. Pour cette dernière, les différences entre les deux modes de représentation sont donc moindres. Sur les sables, le nombre d'espèces annuelles est toujours très important, même si la contribution de celles-ci à la phytomasse est relativement faible en moyenne.

La figure III.2 montre les spectres biologiques de quatre autres groupements végétaux peu dégradés.

D'une façon générale, les Chaméphytes fournissent la plus grande part de la biomasse dans l'ensemble de la région présaharienne. Les Hémicrytophytes, ou les Cryptophytes, dominent dans quelques systèmes écologiques, à base de Graminées, qui couvrent de grandes surfaces. Les Phanérophytes dominants sont liés à des systèmes bien alimentés en eau et relativement peu salés. Plus un système est influencé par l'homme (surpâturage, culture), plus les Thérophytes y prennent de l'importance. Il apparaît nettement qu'il ne saurait y avoir un spectre biologique particulier aux zones arides. Selon les conditions du milieu, un type biologique prend souvent le pas complètement sur les autres.

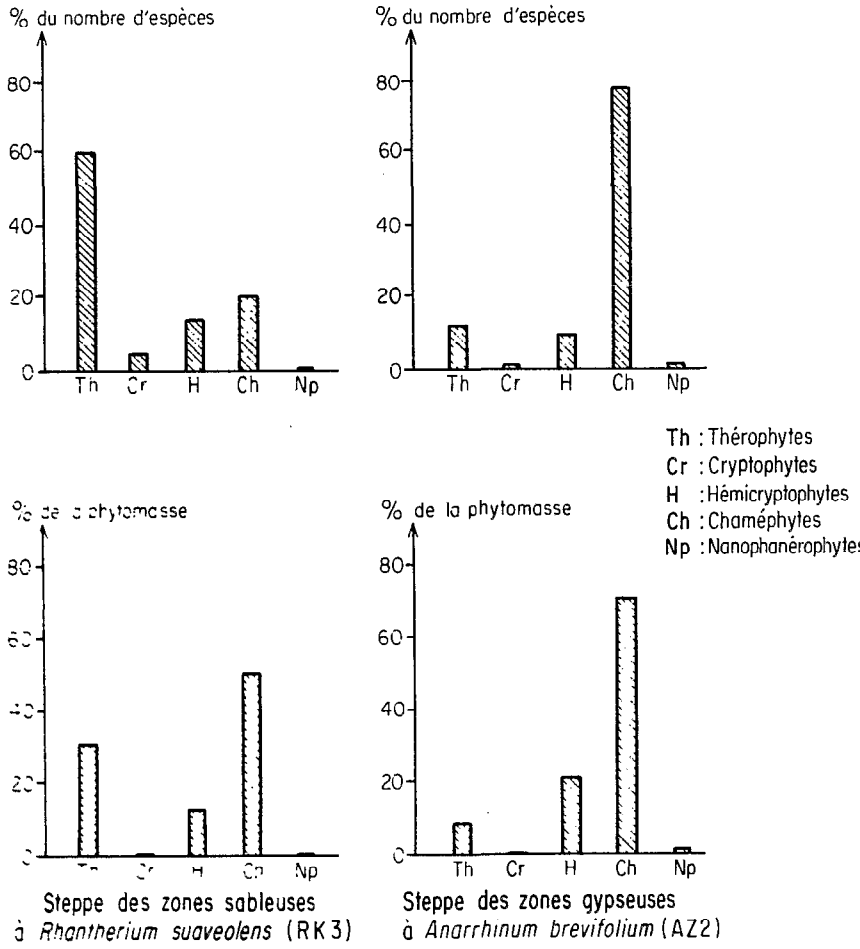


Fig. III.1 - Spectre biologique (Raunkier) de deux systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne. Comparaison des spectres obtenus sur la base de la composition floristique et la contribution à la phytomasse (au printemps).

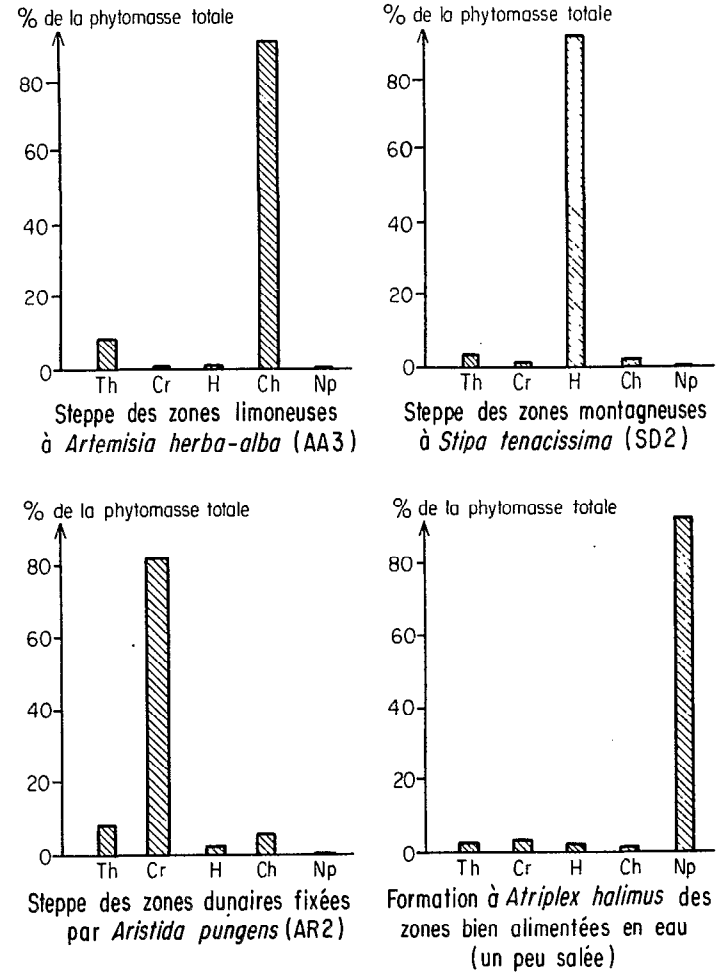


Fig. III.2 - Spectre biologique (Raunkier) de quatre systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne (en % de la phytomasse totale).

1.2.2. Espèces arido-passives, arido-actives

EVENARI *et al.*, (1975) distinguent les espèces "arido-passives" qui ne présentent pas de tissus photosynthétiques actifs durant la période sèche et les espèces "arido-actives" qui entretiennent une activité photosynthétique, même minime, durant cette même période (figure III. 3).

Les *espèces arido-passives* comprennent les annuelles qui complètent leur cycle plus ou moins rapidement durant la période pluvieuse et dont les graines, durant la période sèche, résistent facilement à la dessication ; elles comprennent aussi des espèces pérennes qui perdent leurs feuilles durant la période sèche et ont leurs réserves sous forme de rhizomes ou de bulbes. Ce sont, au sens de RAUNKIAER, soit des Chaméphytes, soit des Hémicryptophytes, soit des Géophytes, qui sont prêts à mobiliser leurs réserves très rapidement, plus rapidement même que les annuelles au début de la période pluvieuse suivante.

Les *espèces arido-actives* doivent disposer de réserves en eau pour fonctionner, même au ralenti. Ce sont exclusivement des espèces pérennes, que NOY MEIR (1973) sépare en deux catégories : les "*persistantes fluctuantes*" qui réduisent et perdent leurs feuilles, ou encore les remplacent par de plus petites, en période de sécheresse (dimorphisme souligné par ORSHAN, 1964), et les "*persistantes permanentes*" qui possèdent les caractéristiques classiques des xérophytes (cuticule épaisse ; stomates rares et enfoncés ; tiges et pousses photosynthétiquement actives ; feuilles petites, succulentes ou épineuses). Les arido-actives conservent une biomasse verte durant toute l'année ; elles sont en général capables d'extraire l'eau du sol à des potentiels supérieurs à 16 bars. Ce sont, dans notre zone, surtout des Chaméphytes et quelques Hémicryptophytes.

Les Phréatophytes, plantes arbustives aux racines très longues capables de plonger dans les écoulements souterrains, ont une place à part ; c'est la plupart du temps dans cette catégorie que se situent les rares phanérophytes qui subsistent maintenant dans ces régions. Bien que celles-ci soient peu représentées en Afrique du Nord, il faut également mentionner dans ce groupe les vraies "succulentes".

En fait, il nous semble que la distinction entre "persistantes

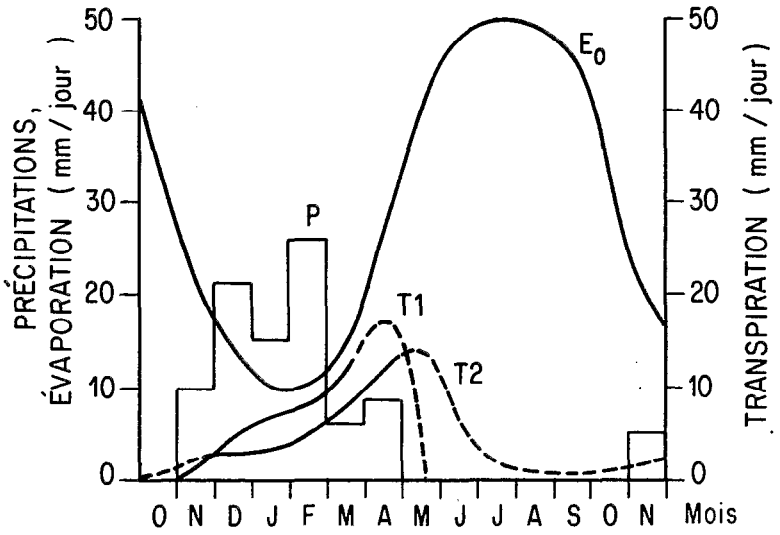


Fig. III.3 - Distribution annuelle probable de la transpiration journalière pour des communautés de plantes aridopassives (T_1) et aridoactives (T_2) dans une région méditerranéenne semiaride de l'hémisphère nord, tenant compte de valeurs typiques des précipitations mensuelles (P) et de l'évaporation journalière d'eau libre (Eo) pour une année donnée (d'après FISCHER et TURNER, 1978).

fluctuantes" et "persistantes permanentes" ne soit pas évidente, ces dernières étant presque un mythe en zone présaharienne. Rares sont en effet, les espèces qui ne présentent pas un dimorphisme saisonnier lié à la sécheresse. La figure III.4, illustre la perte de poids considérable durant la période sèche, de la partie verte d'espèces considérées comme de vraies xérophytes.

La figure III.5, donne les pourcentages, en phytomasse, des espèces arido-passives, arido-actives et phréatophytes, tels que nous venons de les définir dans quelques systèmes écologiques du Sud tunisien (décrits sur le tableau III.1). Les arido-actives, forment bien la plus grosse partie de la masse végétale dans la plupart des systèmes écologiques, sauf dans quelques systèmes post-culturaux. Les phréatophytes sont évidemment localisés dans les zones basses.

1.2.3. Types biochimiques de photosynthèse

Il est également intéressant de réfléchir à l'adaptation des espèces aux conditions arides en fonction des 3 modes biochimiques de photosynthèse reconnus à ce jour. SOLBRIG (1977), résume ainsi leur caractéristiques :

- les plantes C3 (Cycle de CALVIN) peuvent fonctionner avec la plus grande gamme de températures optimales pour la photosynthèse (de 10° à 35°C), mais ont l'efficacité pour l'utilisation de l'eau (Water Use Efficiency : WUE) la plus faible ;
- les plantes C4 (Cycle des acides dicarboxyliques) ont une meilleure efficacité pour l'utilisation de l'eau, photosynthétisent à une température optimale plus élevée que les autres, présentent la plus grande vitesse de photosynthèse et une moins bonne résistance à la sécheresse ;
- les plantes CAM (métabolisme acide crassulescent) ont une excellente efficacité pour l'utilisation de l'eau (puisqu'elles absorbent le CO^2 à des heures où la demande évaporative est faible et qu'elles terminent le processus photosynthétique, ensuite, dans la journée) ; mais la vitesse de photosynthèse est faible.

Nous n'avons malheureusement que peu de données sur l'apparte-

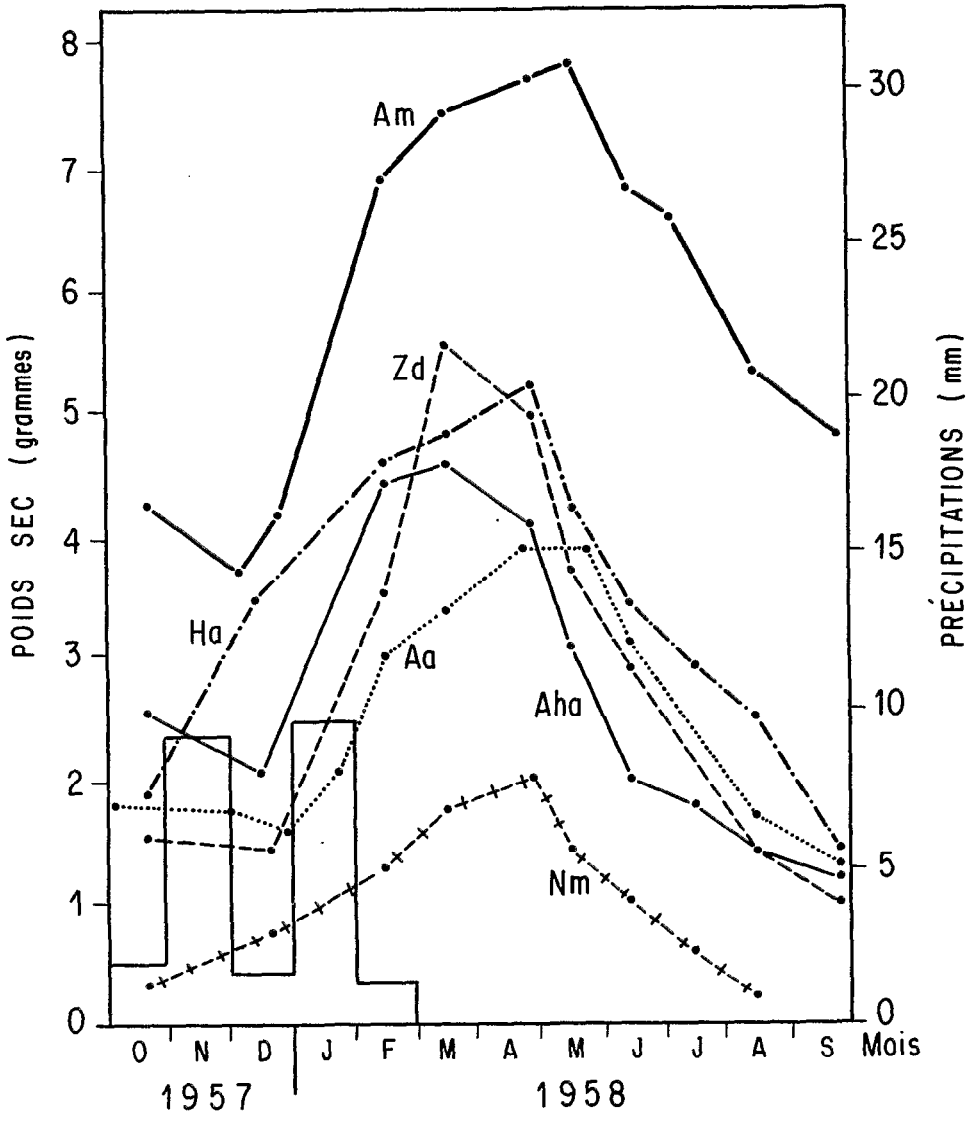


Fig. III.4 - Evolution annuelle du poids sec (en grammes) de la partie transpirante de plantes désertiques (d'après ORSHAN, 1964).

A.m. - *Artemisia monosperma*
A.ha.- *Artemisia herba-alba*
A.a. - *Anabasis articulata*
H.a. - *Haloxylon articulatum*
N.m. - *Noea mucronata*
Z.d. - *Zygophyllum dumosum*

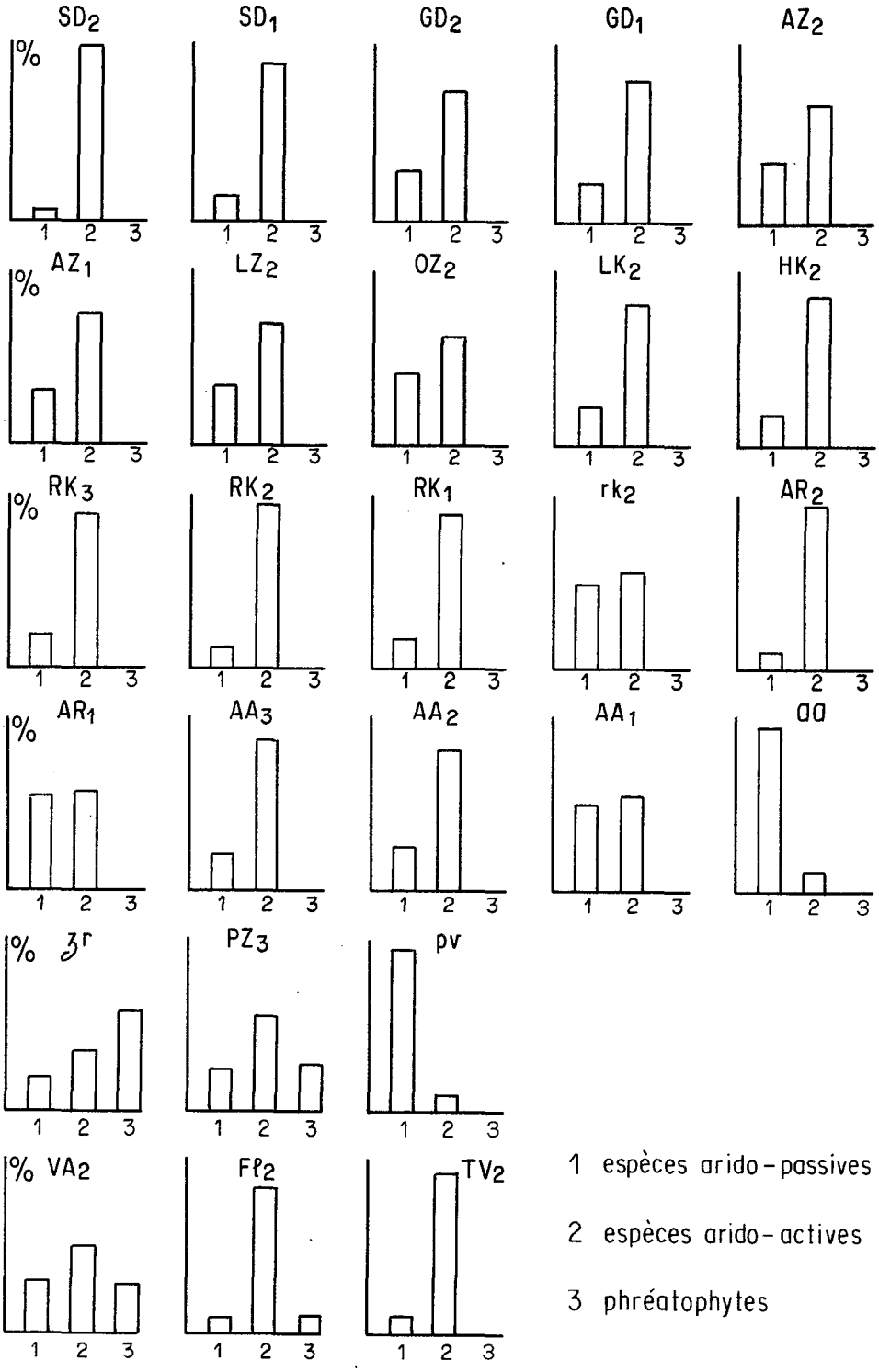


Fig. III.5 -Spectres biologiques des principaux systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne, établis en % de la phytomasse aérienne au printemps (espèces arido-passives, arido-actives, phréatophytes).

nance des plantes de la zone aride nord-africaine à l'un ou l'autre de ces types, et il faut extrapoler avec prudence les résultats obtenus ailleurs. Il est évident qu'il n'y a presque pas de vraies succulentes (types CAM) dans notre région (à l'exception peut-être du genre *Caraluma*), malgré l'intérêt de ce mécanisme pour résister à la sécheresse. Cependant, des succulentes introduites, telles que cactus (genre *Opuntia*) ou agaves se développent bien.

Nous donnons dans l'annexe A 20, une liste d'une cinquantaine d'espèces, appartenant à des familles diverses, dont le type de photosynthèse a été déterminé dans d'autres régions de monde, mais que l'on trouve aussi dans le Sud tunisien. SCHOMER-ILAN *et al.*, (1981) montrent que 70 % des *Chénopodiacées* d'Israël sont de type C_4. Dans cette famille, la plupart des rudérales et des hydrohalophytes sont de type C_3 ; les xérophytes et les xéro-halophytes sont surtout de type C_4. WINTER (1981) analysant 175 espèces de *Chénopodiacées* et 18 espèces de *Calligonum* du Moyen-Orient et d'URSS relève 80 % de C_4 chez les *Chénopodiacées* et 100% pour les *Calligonum* ; beaucoup sont des espèces à phytomasse importante. ZIEGLER *et al.*, (1981) classent 128 espèces des zones désertiques d'Inde, d'Arabie Saoudite, d'Egypte et d'Irak : les types C_4 et CAM ne sont pas dominants dans les familles analysées, sauf chez les *Poacées*. Ils estiment que la plupart des espèces végétales des zones désertiques, ont résolu les problèmes de l'adaptation à l'aridité, non par un type de fixation de CO_2 particulier, mais surtout par d'autres moyens. On peut donc conclure, que malgré les caractéristiques à priori favorables pour la production du type de photosynthèse C_4, il y a proportionnellement peu d'espèces qui en bénéficient, sauf dans quelques familles. La grande majorité des espèces doit appartenir au type C_3 qui résisterait mieux à la sécheresse.

1.2.4. Germination

Dans cette courte revue des adaptations à la sécheresse, nous devons au moins mentionner, l'importance du comportement des espèces vis-à-vis de la germination. Les phénomènes qui concernent la germination, ont attiré de nombreux auteurs travaillant sur la zone aride. Parmi d'autres, WENT (1955) remarque que les annuelles refusent de germer si la pluie ne dépasse pas 10-15 mm, en raison de la nécessité de lessiver des substances inhibitrices, et si la température n'est pas suffi-

sante, pour assurer la survie de la plantule. Les graines de ces annuelles ont évidemment des périodes de viabilité variables, mais MOTT (1971) dans une partie aride de l'Australie, remarque qu'il reste très peu de graines dans le sol après une vague de germinations et qu'il est donc nécessaire qu'au moins quelques plantes arrivent à graine pour renouveler le stock. Certaines espèces produisent deux sortes de graines, les unes pouvant germer immédiatement, les autres nécessitant une période de dormance. EVENARI *et al.*, (1971)ont d'écrit en détail ces phénomènes pour quelques espèces. On conçoit l'importance de la dormance pour des annuelles qui fructifient souvent avant la fin de la saison des pluies. Ces observations sont confirmées par les études récentes sur la germination, effectuées dans le cadre du Projet REMDENE en Egypte. IMAM (1979), qui expérimente sur la germination d'espèces voisines de celles que l'on trouve dans notre zone, sur substrat sableux, arrive aux conclusions suivantes : la germination est maximum entre 10 et 20°C, nulle audessous de 3°C ; les hautes températures induisent la dormance ; chaque espèce étudiée demande une hauteur de pluie différente pour germer, mais 10 mm semblent suffisants pour toutes ; aucune ne germe à moins de 2,5 mm. EVENARI et GUTTERMAN (1976) semblent avoir trouvé une relation entre la quantité minimale de pluie nécessaire à la germination et le taux moyen d'évaporation quotidienne. En fait les graines ne peuvent "mémoriser ou intégrer" la précipitation. Elles réagissent au potentiel du sol, lequel varie avec la profondeur. Nous avons même observé plusieurs vagues de germination d'annuelles différentes au cours de l'année, en fonction de la température au moment des pluies, souvent et surtout des Crucifères à la période froide, puis des Légumineuses. De même, les germinations de plantes pérennes que nous avons pu voir (*Plantago albicans, Rhantherium suaveolens, Artemisia herba-alba*) ont bien lieu en général à l'automne quand les pluies sont abondantes et précoces, les plantules pouvant ainsi bénéficier de températures suffisantes pour se développer. Il est à noter que ces pérennes sont loin de germer tous les ans, et qu'il faut une succession d'évènements pluviométriques favorables pour que les plantules puissent se développer et les plantes boucler leur cycle végétatif. EVENARI *et al.*, (1971) notent que les arbres et arbustes phréatophytes ont des graines dures et très longévives ; dans ce cas surtout, il faut des circonstances climatiques et édaphiques exceptionnelles, qui doivent se reproduire une ou deux fois par siècle, pour que les racines de la plantule aient le temps d'atteindre la nappe

avant que le sol ne soit complètement sec. Remarquons, pour les annuelles (et peut-être pour ces phréatophytes), que la sélection pour "l'adaptation à la sécheresse" à dû s'opérer plus sur les caractéristiques de la germination et de la reproduction des végétaux, que sur les caractéristiques morphologiques de la plante adulte.

L'observation de la phénologie des espèces durant quelques saisons, montre clairement que les plantes pérennes se divisent en deux catégories : celles, les plus nombreuses, qui fleurissent et mettent à graine avant l'été, celles qui le font (quelques Chénopodiacées), après l'été ; ce qui pour ces dernières, comme le note SOLBRIG (1977), est un facteur favorable pour une germination aux premières pluies d'automne, sans avoir eu a subir une longue période de prédation possible. En effet NOY MEIR (1979-80), rapporte que 50 à 90 % de la production totale de graines des zones arides, sont prélevées par les prédateurs (rongeurs, fourmis, oiseaux).

On peut remarquer, avec EVENARI (1981), que les pérennes (arido-actives) ne fleurissent pas tous les ans et que la floraison est sans doute sous la dépendance d'un stress hydrique. La floraison des annuelles, au contraire, arrive dans presque tous les cas et ne serait pas sous la dépendance d'un manque d'eau.

1.2.5. Systèmes racinaires

L'observation des systèmes racinaires renseigne sur les adaptations des différentes catégories de types biologiques. DREW (1979) est à l'origine d'une synthèse récente sur le développement et l'activité racinaire en zone aride. Les Thérophytes ont une partie épigée, beaucoup plus importante que la partie hypogée. Les annuelles et les petites pérennes, ont leurs racines dans les couches superficielles du sol, ce qui leur permet d'utiliser l'eau des faibles pluies qui seraient perdues par évaporation. Elles croissent avec beaucoup d'eau, donc avec une faible WUE. Les chaméphytes arido-actives, au contraire, dont nous avons observé l'enracinement jusqu'à la profondeur ordinairement atteinte par le front d'humectation des grosses pluies, ont souvent une partie hypogée plus importante ou au moins égale à la partie épigée. Elles poussent plus lentement, plus longuement et ont une meilleure efficacité pour l'eau. Notons en passant qu'au contraire, au regard de l'énergie, les annuelles doivent être plus efficaces, puisqu'une partie de l'énergie

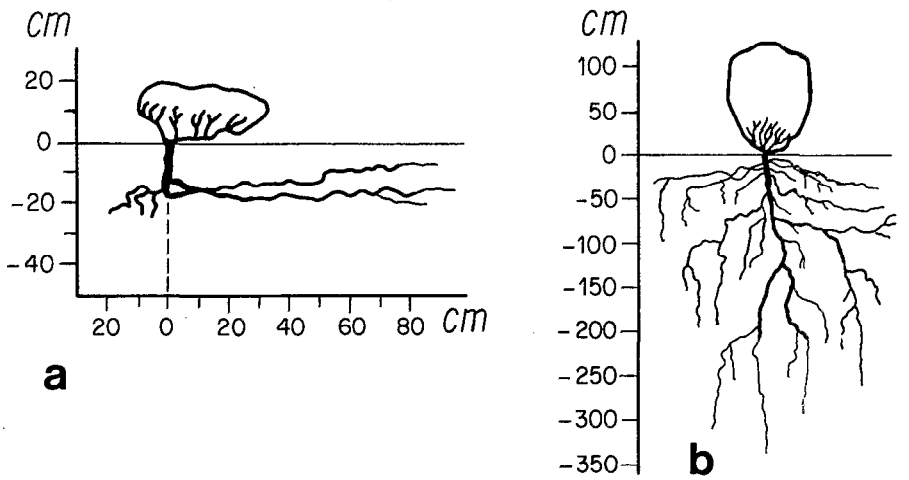


Fig. III.6 - Système racinaire d'*Arthrophytum scoparium*

a) sur une plaine de loess

b) sur les berges d'un oued

(d'après TADMOR *et al.*, 1962)

reçue par les pérennes sert à leur maintenance. Les phréatophytes envoient des racines dans la nappe, à des profondeurs considérables que nous n'avons pu observer, mais que de nombreux auteurs mentionnent : 8 m pour *Atriplex halimus* et 20 m pour *Retama raetam* (ZOHARY, 1961) et jusqu'à 60 m pour *Ziziphus lotus* (LE HOUEROU, 1972).

Les systèmes racinaires sont évidemment très différents selon l'épaisseur de la couche meuble, et la profondeur atteinte par les pluies (cf. figure III.6). Sur les sols limoneux (systèmes AA), l'enracinement n'est pas profond et dépasse rarement 50 cm, mais les racines peuvent s'étendre latéralement sur de grandes longueurs. *Arthrophytum scoparium*, une des rares espèces à subsister dans les jachères anciennes sur ces sols,est dans ce cas. Sur le même type de substrat, KILLIAN et LEMEE (1956), citant BOYKO, rapportent qu'*Artemisia herba-alba*, à la limite de son aire, à des racines qui se ramifient déjà à 5 cm de la surface du sol, car les pluies ne pénètrent pas profondément ; en région plus pluvieuse, ses racines atteignent 50-60 cm. En revanche, dans les sols sableux, l'ensemble du profil meuble est exploité, souvent jusqu'à plus de 130 cm. En fait, beaucoup de Chaméphytes ont un système racinaire qui exploite l'ensemble du profil (ex. :

Rhantherium suaveolens, *Retama raetam*) avec des racines étalées dans les couches de surface, et des racines pivotantes profondes. Il est intéressant de se demander, avec COHEN (1970), si ces plantes utilisent en priorité l'eau de surface, quand il y en a, gardant "en réserve" l'eau des couches profondes ; ceci pose le problème de savoir ce qui indique à la racine à quelle profondeur elle se trouve (température ? concentration en CO^2?).

Cette combinaison de systèmes racinaires dans le même profil, conduit à l'étalement de la production dans l'année. La répartition des pluies est évidemment très importante pour la répartition des systèmes racinaires dans le profil. Des pluies répétées et faibles favorisent le développement des racines dans les couches superficielles du sol où la compétition entre les différents types biologiques est la plus forte; Pendant notre période de mesure,nous avons ainsi observé des "années à annuelles" et d'autres sans. KILLIAN et LEMEE (1956) donnent de nombreux exemples de la grande vitesse de croissance des racines des xérophytes en tant que mécanisme adaptatif pour lutter contre le sécheresse, alors que BARBOUR (1975) cite des exemples montrant que cette vitesse n'est pas supérieure à celle des mésophytes, sauf peut-être dans les premiers stades du développement de la plante. Nous ne pouvons trancher sur ce point, en remarquant toutefois, que ce ne peut être un mécanisme adaptatif important pour les plantes annuelles.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier le rôle de l'humidité atmosphérique pour l'économie en eau des plantes. Il y a d'abord l'eau de condensation qui peut s'égoutter sur le sol et être absorbée par les racines. De nombreux auteurs, à l'exemple de SLATYER (1957), observent aussi que, quand le sol est très sec, l'eau atmosphérique peut être absorbée directement par les pousses vertes, sans transiter par le système racinaire.

1.3. LES SYSTEMES ECOLOGIQUES PRINCIPAUX ET LEUR STRUCTURE

1.3.1. Caractérisation sommaire

La végétation actuelle montre, sur la plus grande partie de la région, une physionomie de steppe, sauf dans les zones de culture dans les vallées, et sur les montagnes. Sur celles-ci, surtout dans les zones les plus arrosées, subsistent quelques formations arbustives basses à *Rosmarinus officinalis*, restes de forêts qui étaient à base de *Pinus hale-*

pensis et de *Juniperus phoenicea*. Parmi les formations arbustives, on note encore des vestiges d'une savane arborée à *Acacia raddiana* dans certaines parties plus sèches. Des Nanophanérophytes, épineux pour la plupart (*Ziziphus lotus*, *Nitraria retusa*,..) individualisent une formation particulière dans le fond de vallées et dépressions ; ces arbustes forment des îlots clairsemés (*Nebkhas*) dans ces dépressions, cultivées pour la plupart, mais laissées parfois en pelouses pour le parcours.

D'une façon générale, là où la végétation naturelle subsiste, elle reste très basse (dépassant rarement 40 cm de haut), souvent clairsemée ; elle est constituée d'espèces vivaces (recouvrement maximal le plus souvent voisin de 40 %). Ceci correspond sensiblement à la définition de la steppe. Après une période pluvieuse, au printemps surtout, la végétation couvre jusqu'à cent pour cent de la surface du sol pendant de courtes périodes, grâce au développement d'espèces annuelles ; ces annuelles sèchent rapidement sur pied à la fin du printemps. Plus on se rapproche du désert, plus cette végétation est clairsemée et tend à se concentrer dans les ravins et dépressions (mode de répartition "contracté" selon la terminologie proposée par MONOD, 1973).

Le tableau III.1 donne la liste et les caractéristiques principales des systèmes écologiques (sol, végétation et utilisation des terres) que nous avons étudiés, ainsi que la correspondance avec les associations végétales décrites par les auteurs. Nous n'en reprendrons pas la description détaillée. Très schématiquement, ces systèmes se répartissent en fonction des secteurs écologiques qui apparaissent sur la toposéquence de la figure II.1. A l'intérieur de chaque secteur, les systèmes sont apparentés entre eux dans une séquence dynamique de dégradation ou de régénération (1) (cf. chapitre III.4).

Ces systèmes ont fait l'objet d'études plus ou moins intensives portant sur la phytomasse, leur production et leur dynamique. Tous les systèmes écologiques du Sud n'ont pas été étudiés.

Répétons, la description des systèmes écologiques du tableau III.1 est volontairement schématique et non exhaustive. Il n'est pas question de remettre en cause la typologie des milieux déjà existante, mais de faire ressortir les unités les plus largement représentées et

(1) Les systèmes écologiques sont représentés dans le texte et sur les tableaux et figures par des sigles formés de 2 lettres majuscules et d'un chiffre qui donne leur état de dégradation : 1 très dégradé, 2 état moyen, 3 bon état. Les systèmes écologiques des zones cultivées sont représentés par 2 lettres minuscules.

TABLEAU III.I. - CARACTERISATION SUCCINCTE DES PRINCIPAUX SYSTEMES ECOLOGIQUES ETUDIES EN TUNISIE PRESAHARIENNE (par FLORET, LE FLOC'H et PONTANIER)

SIGLE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES	DENOMINATION DES GROUPEMENTS VEGETAUX (d'après LE HOUEROU, 1959, 1969 et LE FLOC'H 1973)	SECTEURS ECOLOGIQUES	SOL, VEGETATION ET UTILISATION DES TERRES	VEGETATION PERENNE		
				Couvert (%)	Phytomasse aérienne moyenne au printemps (kg M.S./ha (nombre de mesures)	ESPECES DOMINANTES (% de la phytomasse)
SD_2	Faciès à *Stipa tenacissima* de AA	Montagne à prédominance calcaire du domaine atlasique, Hauts glacis à croûte calcaire	- Lithosol et regosol, fort ruissellement, forte erosion hydrique - Steppe à dominance d'alfa - Parcours en assez bon état. Cueillette de fibres	30	2202 (1 mesure)	*Stipa tenacissima* 94,8
SD_1			- Lithosol et regosol, fort ruissellement, forte erosion hydrique - Steppe à alfa et ligneux bas - Parcours dégradé	15	657 ± 124 (5)	*Stipa tenacissima* 73,3 *Gymnocarpos decander* 9,0
GD_2	Sous-Assoc. à *Gymnocarpos decander* de AA	Collines calcaires Glacis et cônes d'épandage caillouteux à croûte et encroûtement calcaire	- Regosol sur croûte démantelée. Faible recouvrement sableux ou limoneux ruissellement fort à moyen - Steppe à ligneux bas - Parcours en assez bon état	20	633 ± 69 (12)	*Gymnocarpos decander* 45,3 *Astragalus armatus tragacanthoides* 10,5 *Rhantherium suaveolens* 12,7
GD_1			- Sol idem GD_2, mais plus érodé - Steppe à ligneux bas très claire - Parcours dégradé	10	302 ± 37 (6)	*Gymnocarpos decander* 29,4 *Helianthemum kahiricum* 9,6 *Rantherium suaveolens* 9,6
AZ_2	Ass. à *Anarrhinum brevifolium* et *Zygophyllum album*	Collines, plateaux et glacis d'érosion à croûte ou encroûtement gypseux. Bourrelets de Sebkha	- Sols à accumulation gypseuse de surface, avec érosion hydrique et éolienne moyenne - Steppe à ligneux bas (qq. herbacées) - Parcours peu dégradés	15	769 ± 93 (11)	*Helianthemum lippii intricatum* 21,7 *Atractylis serratuloides* 12,9 *Launaea quercifolia* 11,6
AZ_1			- Sol idem AZ_2 , croûte affleurante - Steppe à ligneux bas très claire - Parcours très dégradé	5	332 ± 14 (26)	*Helianthemum lippii intricatum* 16,0 *Gymnocarpos decander* 13,9 *Atractylis serratuloides* 11,7
LZ_2	Sous-Ass. à *Lygeum spartum* de AZ		- Sol idem AZ_2 mais avec recouvrement sableux gypseux. Faible ruissellement - Steppe à herbacées et à ligneux bas - Parcours peu dégradé. Ceuillette des Fibres	20	1216 (1)	*Lygeum spartum* 45,7 *Helianthemum lippii intricatum* 19,1 *Helianthemum kahiricum* 9,8
OZ_2	Sous-Ass. à *Ononis natrix* ssp. *falcata* de AZ		- Sol peu évolué d'apport sableux sur encroûtement gypseux. Déflation - Steppe à ligneux bas - Parcours peu dégradé	10	288 ± 28 (4)	*Helianthemum lippii intricatum* 22,4 *Echiochilon fruticosum* 13,7 *Ononis natrix falcata* 8,3
LK_2	Sous-Ass. à *Lygeum spartum* de RK	Plaines et plateaux à accumulation sableuse à l'aval des reliefs	- Peu évolué d'apport éolien steppisé sur encroûtement gypseux. Erosion éolienne moyenne à forte - Steppe à ligneux bas et herbacées - Parcours en bon état	30	410 ± 103 (4)	*Lygeum spartum* 55,3 *Rhantherium suaveolens* 23,4 *Pituranthos tortuosus* 5,3
RK_3	Ass. à *Rhantherium suaveolens* et *Artemisia campestris* et Ass. à *Rh. suaveolens* et *Asphodelus refractus*		- Sierozem sableux, à voile éolien mobile. Erosion éolienne moyenne - Steppe à ligneux bas - Parcours en bon état	40	1125 ± 87 (13)	*Rhantherium suaveolens* 71,8 *Lygeum spartum* 6,2
RK_2			- Idem RK_3 sans voile éolien. Erosion éolienne moyenne - Steppe à ligneux bas - Parcours moyennement dégradé	20	546 ± 37 (12)	*Rhantherium suaveolens* 59,9 *Salsola vermiculata brevifolia* 6,9 *Anthrophytum schmittianum* 6,6
RK_1			- Regosol battant Sierozem ou subtropical tronqués. Ruissell. et érosion hydrique - Steppe à ligneux bas très claire - Parcours très dégradé	10	403 ± 50 (17)	*Rhantherium suaveolens* 34,9 *Anthrophytum scoparium* 12,1 *Thymelaea microphylla* 10,8
rk_2	Ass. à *Pituranthos tortuosus* et *Haphophyllum vermiculare*		- Idem RK_3 avec horizon de labour. Très forte érosion éolienne - Jachère à herbacées, adventices des cultures - Céréaliculture, et parcours sur chaumes	5	88 (2)	*Pituranthos tortuosus* 40,0 *Rhantherium suaveolens* 36,7 *Cynodon dactylon* 13,3
HK_2	Faciès à *Thymelaea hirsuta* de RK		- Idem sol RK_2 - Steppe à ligneux bas dont certains dépassent 1 mètre de hauteur - Parcours moyennement dégradé	25	1272 (2)	*Thymelaea hirsuta* 58,9 *Astragalus armatus tragacanthoides* 16,3 *Plantago albicans* 7,2

AR_2	Ass. à *Aristida pungens* et *Rumex tingitanus*	Formations dunaires plus ou moins fixées	- Sol brut d'apport éolien fixé. Erosion éolienne moyenne - Steppe à herbacées - Parcours peu dégradé. Cueillette des fibres	40	1514 ± 283 (4)	*Aristida pungens* 91,3
AR_1			- Sol brut d'apport peu fixé. Erosion éolienne forte - Quelques touffes d'herbacées - Parcours peu utilisable.	5	146 (1)	*Lygeum spartum* 41,0 *Astragalus armatus tragacanthoides* 15,1 *Harrubium deserti* 7,2
AA_3	Ass. à *Artemisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium*	Glacis d'érosion limoneux, plateau de déflation, zone d'épandage de limons à nodules calcaires ces formations peuvent être encroûtées	- Sols isohumiques subtropicaux tronqués, ou regosols sur limons à nodules calcaires ou sols peu évolués limoneux des glacis d'accumulation. Battants. Erosion en nappe - Steppe à ligneux bas - Parcours en bon état	45	1271 (1)	*Artemisia herba-alba* 75,8 *Farsetia aegyptiaca* 5,6
AA_2			- Idem sol AA3 - Steppe à ligneux bas - Parcours peu dégradés	20	488 ± 97 (6)	*Artemisia herba-alba* 41,8 *Arthrophytum scoparium* 14,2 *Gymnocarpos decander* 10,1
AA_1			- Idem sol AA_1, mais plus forts ruissellement et érodion hydrique - Steppe très claires, anciennes jachères - Parcours très dégradé	5	183 ± 48 (11)	*Arthrophytum scoparium* 67,7 *Diplotaxis harra* 11,0
aa	Sous-Ass. à *Ziziphus lotus* de AA		- Idem AA_3, AA_2, AA, avec horizon de labour. Plus faible ruissellement - Végétation herbacée des jachères, adventices des cultures - Céréaliculture et parcours sur chaumes	5	391 (2)	*Diplotaxis harra* 87,5 *Moricandia arvensis suffruticosa* 5,4 (pérennes à courte durée de vie)
ZR_2	Ass. à *Ziziphus lotus* *Retama raetam*	Bas fonds, zone d'épandage des oueds, présence de nebkas Zones inondables quelques jours dans l'année	- Sols peu évolués alluviaux, profond, à texture moyenne à fine pouvant être salés en profondeur - Steppe à ligneux bas ou pelouse à herbacées avec nebkas fixés par arbuste épineux - Parcours de bon état	50	4 000 estimé	*Ziziphus lotus* *Retama raetam* *Cynodon dactylon*
zr	Faciès à *Cynodon dactylon* de ZR		- Idem mais horizon de labour - Végétation de jachère à herbacées, adventices des cultures - Céréaliculture, arboriculture, parcours sur chaumes et jachères	10	518 (3) (3 000 estimé avec Z. lotus)	*Cynodon dactylon* 33,5 *Pituranthos tortuosus* 22,2 *Artemisia campestris* 19,8
PZ_3	Sous-Ass. à *Lygeum spartum* de ZR		- Sols peu évolués alluviaux de texture fine sur encroûtement gypseux - Steppe à herbacées, et nebkas fixés par - Parcours en état moyen (rarement cultivé)	40	1348 (1) (2 000 estimé avec Z. lotus)	*Lygeum spartum* 97,8
NS_2	Ass. à *Nitraria retusa*, *Suaeda mollis* et *Salsola sieberi*		- Sols halomorphes salins, peu salés, parfois gypseux sur encroûtement gypseux de nappe - Steppe à ligneux bas, avec nebkas fixés par arbustes épineux - Parcours en état moyen	40	4000 (estimé)	*Nitraria retusa*
pv	Ass. à *Pulicaria laciniata* et *Verbena supina*	Dépressions fermées (Garaet) submersion possible qq. mois dans l'année	- Sols peu évolués alluviaux ou hydromorphes, à texture très fine, légèrement salés en profondeur. Inondable. Nappe phréatique et croûte gypseuse de nappe - Pelouse postculturale à herbacées et chaumes - Agriculture de décrue et parcours sur chaumes et jachères	5	150 (estimé)	*Verbena supina* *Cynodon dactylon*
VA_2	Sous-Ass à *Atriplex halimus* de l'Ass. à *Salsola tetranda* et *Suaeda fruticosa*	Basses plaines alluviales salées, soumises à l'action d'une nappe phréatique Bordures des sebkhas continentales et littorales	- Sol halomorphes à alcalis, texture fine, avec encroûtement gypseux de nappe à moyenne profondeur - Scrub à *Atriplex* avec plantes crassulescentes - Parcours en bon état	50	784 (1) (8360 dans une mise en défens)	*Atriplex halimus schwenfortii* 30,2 *Salsola vermiculata* 18,4 *Reaumuria vermiculata* 8,5
FL_2	Ass. à *Frankenia thymifolia*, *Limonium pruinosum*		- Sol halomorphe salin, salé à horizon superficiel friable à croûte gypseuse de nappe - Steppe à ligneux bas - Parcours peu dégradé	40	1157 (1)	*Frankenia thymifolia* 27,1 *Arthocnemum indicum* 19,1 *Limonium pruinosum* 15,9
TV_2	Ass. à *Traganum nudatum* et *Anabasis articulata*	Glacis sur formations gypseuses encroûtées et ensablées	- Sols à accumulation gypseuse de surface, présentant un recouvrement sableux, pouvant être gypseux. Forte érosion éolienne - Steppe à ligneux bas (à la limite de l'étage saharien) - Parcours dégradé	10	384 ± 52 (4)	*Anabasis articulata* 18,9 *Arthrophytum schmittianum* 15,4 *Salsola tetragona* 10,0

qui feront l'objet de discussions et de précisions dans la suite du texte. LE HOUEROU (tableau III.2) chiffre les surfaces occupées par les principales communautés végétales de la Tunisie présaharienne ; ces valeurs correspondent à la période de 1965-1970. Nous avons étudié, du point de vue quantitatif et dynamique, comme on le verra dans la suite du texte, la plupart de ces communautés, à l'exception des steppes à *Arthrophytum schmittianum* (relativement continentales) et des steppes à halophytes.

TABLEAU III.2 Principales communautés végétales en Tunisie dans le sous-étage bioclimatique aride inférieur (pluviosité moyenne annuelle = 100-200 mm) (d'après LE HOUEROU, 1976).

Communautés végétales	Superficies en km^2
Steppes sableuses à *Arthrophytum schmitianum*	2 500
Steppes limoneuses à *Arthrophytum scoparium*	2 200
Steppes rocailleuses à *Gymnocarpos decander*	4 300
Steppes gypseuses à *Anarrhinnum brevifolium*	4 400
Steppes sableuses à *Rhantherium suaveolens*	4 200
Dunes à *Aristida pungens*	300
Champs cultivés et jachères (dont 1 500 km^2 d'oliveraies)	5 100
Total	22 700

(auxquelles s'ajoutent la végétation des montagnes et les steppes à halophytes non chiffrées).

1.3.2. Structure

Il est significatif que l'on ait pris l'habitude de nommer une steppe par l'espèce qui y est dominante ; en effet, la végétation des zones arides paraît bien souvent monotone, que la strate dominante soit graminéenne, chaméphytique, ou crassulescente. Souvent, une seule espèce arrive à occuper la majeure partie de l'espace, avec une distance plus ou moins régulière entre les individus. La première idée qui vient à l'esprit pour expliquer cette relative régularité de la structure horizontale, est la compétition pour l'eau. En effet, si la partie

aérienne a un faible couvert, les racines explorent apparemment l'ensemble du volume du sol. On a pu aussi mettre en évidence dans certains cas l'allélopathie comme une cause supplémentaire à cet espacement ; *Artemisia herba-alba* par exemple (FRIEDMAN *et al.*, 1977) empêcherait la germination d'autres plantes. Aux Etats-Unis, des observations de même nature ont été faites pour *Larrea tridentata* (WENT, 1955).

En fait, cette monotonie n'est qu'apparente. Rares sont les situations où le substrat est uniforme sur de grandes surfaces (cf. II. 1). Or, une des caractéristiques de cette végétation aride est bien son étroite dépendance vis-à-vis du substrat. De très légères variations dans la microtopographie, l'état de surface, la texture, la structure ou la profondeur du sol, suffisent à répartir l'eau de façon différentielle ; les espèces suivent cette répartition selon leur adaptation plus ou moins grande aux conditions d'aridité. D'autre part, une autre caractéristique de cette végétation aride est la coexistence au même endroit de formes biologiques qui ont des mécanismes d'adaptation à la sécheresse différents.

Il faut souligner l'influence de la strate supérieure de Graminées ou des grands Chaméphytes et des petits Phanérophytes sur la répartition de la strate sous-jacente des Thérophytes ou des petites espèces pérennes. Le sable transporté par le vent, est piégé par la partie aérienne des espèces pérennes à port végétatif dressé, et se dépose, ainsi que la litière, à leur pied, provoquant ainsi la formation d'une "micro-dune", où les conditions de germination et de bilan hydrique, sont favorables à des espèces de taille plus petite, souvent annuelles (ou aux semis des espèces pérennes de grande taille). D'autre part, le couvert végétal modifie également beaucoup les conditions thermiques dans ou au pied des touffes (cf. I.2.3.2). La strate basse se trouve donc souvent répartie par taches, les plages entre les buissons restant dépourvues de végétation, sauf les années où les bonnes conditions de pluviosité permettent une colonisation de l'ensemble de l'espace par les espèces de petite taille. Notons aussi en passant, la structure particulière des "nebkhas" (étudiée par LONG, 1954) où la plante hôte (*Zizi-phus lotus, Nitraria retusa*) sert d'abri à plusieurs autres espèces (végétales et animales) et donc de "centre de dissémination" pour les espaces voisins.

Il faut remarquer que la richesse floristique est très variable d'un système écologique à l'autre (cf. Annexe 2) et qu'elle varie notamment en fonction des espèces annuelles présentes. Les systèmes les moins riches seront ceux où, quelle que soit la pluviosité de l'année, les annuelles ont des difficultés à s'installer ; c'est le cas des zones calcaires montagneuses (systèmes SD) où l'alfa domine, des zones de croûte gypseuse (systèmes AZ) et aussi des systèmes dégradés par rapport au système en bon état qui leur correspond (AA_1 par exemple).

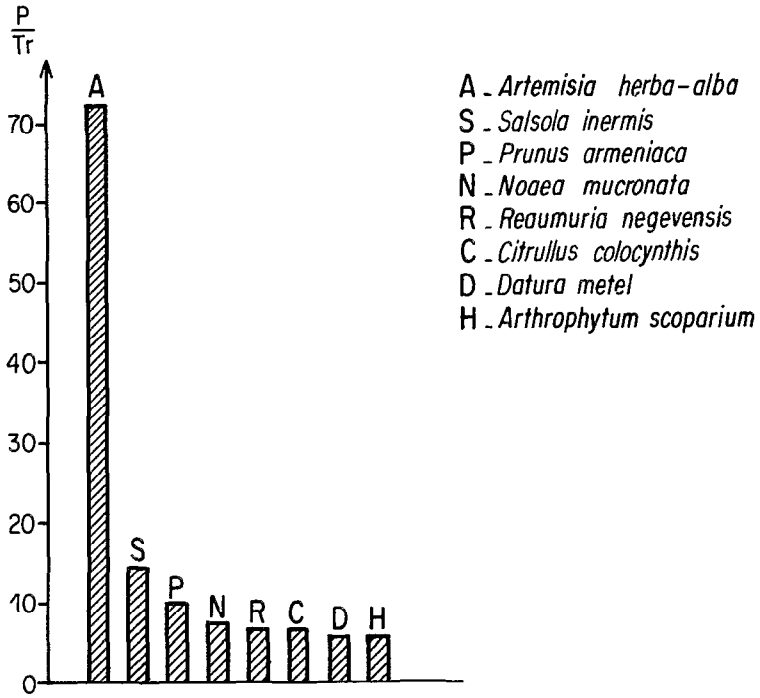


Fig. III.7 - Relation entre la photosynthèse nette (P) et la transpiration (Tr) (d'après EVENARI *et al.*, 1972).

1.4 CONCLUSION

En conclusion de cette courte analyse sur les relations entre la végétation et l'aridité, on peut souligner que l'adaptation à la sécheresse ne conduit pas à une convergence vers un type biologique unique considéré comme apte à assurer une résistance à celle-ci. Le tableau III.3 d'après SOLBRIG (1977), donne les caractéristiques *générales* (il existe de nombreuses exceptions et ces caractéristiques peuvent varier avec le degré d'aridité du milieu) des types biologiques des zones arides.

Les classifications des espèces selon les types biologiques, telles qu'elles sont proposées actuellement, ne sont pas entièrement satisfaisantes pour réfléchir sur les adaptations des espèces à leur environnement. Il faut souhaiter qu'aboutissent les efforts déployés récemment, en particulier à la suite des propositions d'ORSHAN (en cours de publication), pour une nouvelle approche de l'étude des formes de croissance des plantes méditerranéennes. Il s'agit d'envisager de nombreux caractères liés à la croissance et leurs combinaisons, pour chaque espèce, afin de mieux comprendre l'adaptation des espèces à ce climat particulier (sécheresse estivale) et les modes de sélection opérés par cet environnement.

En ce qui concerne plus particulièrement les xérophytes, le même SOLBRIG (1977) après WALTER (1951), souligne que toutes les adaptations morphologiques des xérophytes à la sécheresse, qui permettent la conservation de l'eau, réduisent parallèlement l'interception de la lumière et augmentent la résistance des stomates à l'entrée de CO^2. La vitesse de photosynthèse, donc la production, est ainsi relativement réduite, même si l'eau est abondante. Certaines espèces se distinguent heureusement des autres, de ce point de vue, par une efficacité de production considérable au regard de l'eau consommée. La figure III.7 montre des exemples de plantes à efficacités très différentes ; *Artemisia herba-alba* y semble particulièrement efficace. Il faudrait évidemment contrôler si ces efficacités obtenues au niveau d'un individu (en chambre où l'on mesure les échanges gazeux) se vérifient au niveau d'une population en conditions naturelles. Mais ne peut-on imaginer que les très grandes surfaces dominées par cette espèce, sont favorisées par ce type d'adaptation ?

TABLEAU III.3 QUELQUES CARACTERISTIQUES GENERALES DES TYPES BIOLOGIQUES DES PLANTES DES ZONES ARIDES (d'après SOLBRIG, 1977)

a. *Annuelles*

- longue viabilité des graines
- germination échelonnée
- grande vitesse de croissance des pousses et des racines
- comportement de mésophyte
- racines dans les couches superficielles du sol
- peu de caractéristiques des xérophytes
- durée de la phase active liée à la disponibilité en eau
- taille fonction de la quantité d'eau disponible

b. *Phréatophytes* (qui sont souvent des Phanérophytes)

- grosses graines
- vitesse de croissance des racines beaucoup plus grande que celle des pousses durant la phase d'installation
- racines dans les couches profondes du sol
- caractères de xérophytisme dépendant de la permanence de la nappe
- floraison en saison sèche et dispersion des graines avant l'arrivée des pluies
- photosynthèse principalement de type C3

c. *Xérophytes toujours verts*

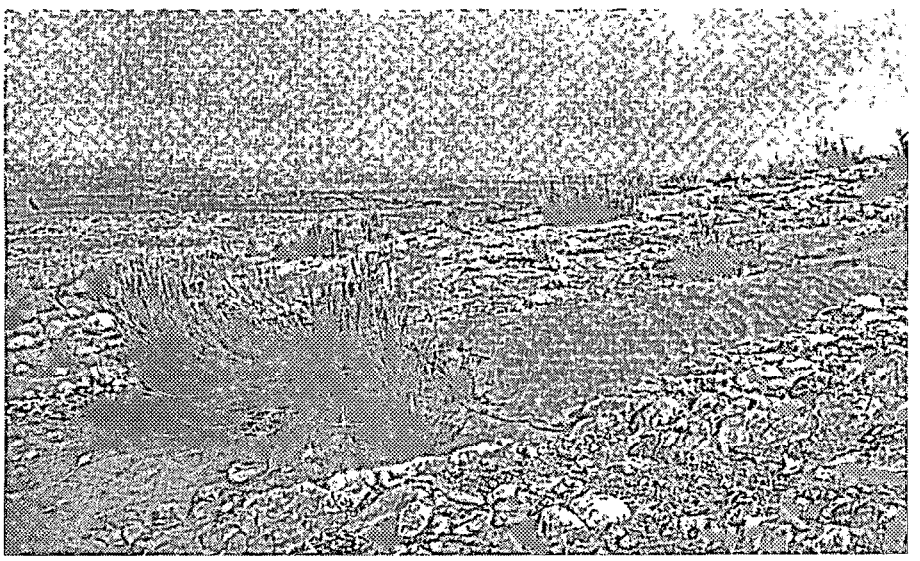
- Graines moyennes à grosses
- aptitude à tolérer des sécheresses prolongées
- système racinaire développé
- grand nombre de caractères de xérophytes : petites feuilles, cuticules épaisses, stomates enfoncées, petites cellules
- capacité de supporter un fort déficit en eau et de rester photosynthétiquement actif
- pas de floraison les années à fort déficit en eau
- photosynthèse de type C3
- défense contre les herbivores basée sur des substances réduisant la digestion

d. *Succulentes*

- conditions de germination spéciales
- racines dans les couches superficielles du sol
- racines éphémères et croissance rapide de nouvelles racines en cas de pluie
- aptitude à stocker l'eau
- incapacité à tolérer un faible potentiel hydrique dans les tissus
- photosynthèse de type CAM

Microhétérogénéité du sol et répartition préférentielle de la végétation dans le réseau des fentes de la croûte gypseuse





Flèche de sable provoquée par la végétation

Nebka à *Ziziphus lotus* dans un champ anciennement cultivé



QUELQUES ASPECTS DE LA VEGETATION

L'adaptation de la végétation aux animaux domestiques (co-évolution) et plus généralement au mode d'utilisation par l'homme, est souvent sousestimée. Les steppes souvent dominées par les ligneux, que nous avons sous les yeux actuellement, sont certainement très éloignées de ce qu'elles pouvaient être avant leur utilisation intensive. Par exemple, les graminées pérennes se sont certainement raréfiées au cours du temps; il suffit souvent de quelques années de mise en défens pour voir réapparaître en abondance certaines d'entre-elles. La steppe "climacique" n'aurait-elle pas été graminéenne et dominée par une strate arbustive clairsemée ?

La coexistence de nombreux types biologiques, dans une même station, accentue sans doute une richesse floristique stationnelle favorisée par l'importance que les espèces annuelles peuvent prendre en zone aride certaines années favorables.

Il arrive, au printemps, de trouver entre 50 et 100 espèces sur une station d'une centaine de m^2. Ceci est également dû à la microhétérogénéité du substrat ; l'eau, facteur limitant, ne se répand pas uniformément sur le sol ; le sable apporté par le vent ne se dépose pas d'une façon uniforme ; la perméabilité des centimètres supérieurs du sol varie d'un endroit à l'autre, il y a donc apparition de micromilieux qui favorisent la coexistence de nombreuses espèces sur une faible surface, même si une ou deux espèces prennent suffisamment le pas sur les autres pour donner une physionomie "monotone" à la steppe. Cette apparente homogénéité, les grandes distances entre les individus et la très forte dépendance des espèces à l'égard du macroclimat, ont conduit à proposer l'hypothèse auto-écologique comme suffisante pour étudier et expliquer le comportement des espèces de la zone aride. NOY MEIR (1979-80) dans un excellent article, conclut que cette hypothèse est une bonne approximation pour la compréhension et la prédiction de beaucoup de phénomènes écologiques importants, en particulier dans les zones de déserts extrêmes.

En effet, le développement des espèces y est tellement sous la dépendance de l'eau, et celle-ci est si peu abondante, et si vite évaporée, ou consommée, que la concurrence entre espèces n'est pas un facteur qui limite la longueur de la saison de croissance.

D'autre part, l'influence des espèces sur l'environnement est très faible. Les interactions entre espèces et entre les espèces et le milieu et les régulations qui en résultent, témoins de l'existence d'un "système écologique", semblent presque inexistantes dans les zones très arides. On peut pratiquement y étudier le comportement et la croissance des espèces indépendamment les unes des autres.

En revanche, dans la zone concernée par notre étude (100-200 mm de pluviosité moyenne annuelle), il existe de fortes interactions entre les plantes elles-mêmes, ce que traduit la structure. Nous avons aussi montré, dans la suite du texte, l'influence de la végétation sur les réserves hydriques du sol (piégeage du sable transporté par le vent, infiltration favorisée par les plantes). La composition floristique, la phytomasse en place, dépendent étroitement des modes d'utilisation des terres par l'homme et ses animaux. Pour toutes ces raisons, il est clair que la compréhension des phénomènes, nécessite de se placer au niveau du système écologique tout entier.

2. PHYTOMASSE DES PRINCIPAUX SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES

2.1. GENERALITES

La phytomasse est définie comme la quantité de matière végétale, vivante ou morte, au moment de l'observation. C'est encore la quantité d'énergie stockée à un moment donné. Elle est composée d'espèces pérennes, ligneuses ou herbacées, et d'espèces annuelles. La proportion ligneux-herbacées, est variable selon les situations locales, comme le montre le tableau III.4 établi par LE FLOC'H pour 2 zones-test de la Tunisie présaharienne.

Il est difficile de caratériser et de comparer entre eux les systèmes écologiques en terme de phytomasse. Celle-ci évolue en effet tout au long de l'année, passant en général par un minimum à la fin de l'été, et par un maximum, au début du printemps. Ceci se complique du fait que les espèces n'évoluent pas de la même façon et n'ont pas leur pic de phytomasse au même moment. D'autre part, il peut y avoir de fortes variations interannuelles liées à la pluviosité, surtout pour les systèmes écologiques où la proportion d'annuelles est forte. La meilleure période pour comparer la phytomasse des pérennes de différentes stations, pourrait être la fin de la période de végétation (été) si la pression pastorale de l'année était uniforme. Il vaut mieux en fait, faire ces comparaisons au printemps au moment où les animaux ont beaucoup plus d'herbe qu'ils ne peuvent en consommer et où les différences de pression pastorale s'atténuent. Ceci est particulièrement vrai pour apprécier la phytomasse des annuelles.

Nous avons suivi l'évolution annuelle et interannuelle de la phytomasse aérienne et de la litière de quelques systèmes écologiques de notre zone d'étude, afin d'en évaluer la production primaire (chapi-

tre 3). Dans le présent chapitre, nous tenterons, malgré les difficultés signalées ci-dessus, de donner des indications comparatives sur la phytomasse de la plupart des systèmes écologiques de la région et en particulier, sur la contribution des principales espèces à cette phytomasse. Nos mesures concernent presqu'exclusivement la phytomasse aérienne, mais nous donnerons des indications sur le rapport phytomasse souterraine / phytomasse aérienne, de 2 systèmes écologiques et de quelques espèces. Enfin, nous présenterons, un classement relatif des systèmes écologiques, en valeur pastorale, sur la base de la contribution des espèces à la phytomasse.

TABLEAU III.4 Importance relative des terres de culture et des steppes pâturées, dominées par des ligneux ou des herbacées dans deux zones-test du Sud tunisien (bioclimat aride inférieur). Résultats de 1975 (LE FLOC'H).

		Oglat Merteba 100.000 hectares	Zougrata 81.000 hectares
Terres de culture (%)		10	38
Steppes pâturées (%)		90	62
Proportion des steppes pâturées (%)	dominées par les ligneux bas	70	87
	dominées par les herbacées	30	13

2.2. METHODES D'ETUDE DE LA PHYTOMASSE SUR PIED

2.2.1. Relations entre le poids, le diamètre et la hauteur des individus de diverses espèces

Pour rechercher une méthode d'évaluation de la phytomasse aérienne, une étude avait été entreprise, en collaboration avec F. ROMANE, sur la recherche de liaisons, pour quelques espèces du Sud tunisien, entre le poids et les paramètres suivants : diamètre moyen de la couronne et hauteur maximale (FLORET, 1971). Il s'agissait principalement de Chaméphytes.

On mesurait, tout d'abord, le plus grand diamètre de la couronne, puis le diamètre perpendiculaire. La moyenne de ces deux mesures étaient notée. On relevait ensuite, la hauteur maximale de la touffe. Cette touffe était ensuite coupée au ras du sol et pesée.

Nous donnons ci-dessous, quelques exemples d'équations de droites de régression entre le diamètre et le poids pour quelques espèces. Les mesures ont été effectuées en novembre 1970, sur une végétation très lignifiée :

y = poids vert des touffes entières
x = diamètre moyen de la couronne

Artemisia herba-alba	$y = 9,20 + 0,2 \times$ $r = 0,95$
Helianthemum lippii var. intricatum	$y = 16,93 + 0,14 \times$ $r = 0,75$
Gymnocarpos decander	$y = 8,56 + 0,18 \times$ $r = 0,76$
Rhantherium suaveolens	$y = 10,98 + 0,12 \times$ $r = 0,93$

Des corrélations multiples faisant intervenir la hauteur ont également été calculées :

Y = poids vert des touffes entières
X_1 = diamètre moyen de la couronne
X_2 = hauteur maximale

Artemisia herba-alba	$Y = 25,32 + 4,27\ X_1 - 1,10\ X_2$ $r = 0,96$
Helianthemum lippii var. intricatum	$Y = 24,63 + 6,28\ X_1 - 5,34\ X_2$ $r = 0,77$
Gymnocarpos decander	$Y = 10,91 + 5,85\ X_1 - 3,25\ X_2$ $r = 0,85$
Rhantherium suaveolens	$Y = 100,81 + 7,01\ X_1 - 2,62\ X_2$ $r = 0,97$

Les coefficients de corrélation de cette série sont voisins des premiers : la mesure de la hauteur n'apporte pas une information supplémentaire appréciable pour ces espèces.

Les coefficients de corrélations entre le diamètre et poids sont très significatifs. Il semble donc que l'on puisse obtenir une bonne estimation du poids par la mesure du diamètre moyen de la couronne. Il faut, en fait, rechercher d'autres ajustements, ces ajustements linéaires n'étant valables, ni pour les très petits individus, ni pour les très gros. Par exemple, une vieille touffe d'Artemisia herba-alba fait du bois, continue à augmenter en poids, sans augmenter beaucoup de diamètre. JOFFRE (1978), dans une étude plus récente présente des conclusions comparables.

GADDES (1978), arrive à une bonne corrélation entre le poids et le diamètre moyen basal des touffes d'alfa (Stipa tenacissima) :

y = poids vert des touffes entières
x = diamètre basal moyen
$y = 26,7\ x - 44,6$ $r = 0,88$

Il obtient en fait, des régressions différentes, dans une zone d'alfa mise en défens et hors mise en défens. Ceci recoupe nos conclusions, et constitue la raison pour laquelle nous avions abandonné rapidement cette méthode. Pour chaque espèce, il aurait

fallu établir des corrélations de ce type, pour différents groupes de tailles d'individus, pour différentes périodes de l'année, et pour différentes régions, ce qui compliquait beaucoup cette approche. D'autre part, toutes les espèces ne se prêtent pas à des mesures morphologiques aussi simples.

2.2.2. Méthode utilisée

Les mesures ont été réalisées pour caractériser, en terme de phytomasse aérienne, les systèmes écologiques cartographiés à l'échelle de 1/50 000 environ (LE FLOC'H, 1973). Dans les unités retenues pour les mesures de phytomasse, d'une surface variant entre 5 et 25 ha, une trentaine de parcelles élémentaires étaient disposées au hasard et matérialisées par des piquets et des ficelles ; la taille de ces parcelles (en général 32 m^2) variant avec le type et la quantité de végétation présente.

Dans chaque première parcelle, d'une série de trois, on procédait pour chaque touffe des principales espèces pérennes présentes, à l'estimation du poids vert. Chaque touffe après estimation de son poids, était coupée à ras du sol et pesée en vert. Dans les deux autres parcelles de chaque série de trois, les poids de chaque touffe des mêmes espèces pérennes étaient estimés et ce, avec une précision satisfaisante (de 10 à 20 %), les observateurs ayant étalonné leurs estimations dans la première parcelle (méthode voisine de celle de PECHANEC et PICKFORD, 1937). Les petites plantes pérennes et la litière, étaient échantillonnées dans une sous-parcelle de 8 m , soit 30 petites parcelles par unité de végétation à cartographier. La phytomasse de l'unité était par la suite exprimée, par espèce, en poids de matière sèche par hectare (kg.MS/ha). Ces mesures ont été réalisées en général au début du printemps (avant la pleine période de pousse annuelle, car en plein printemps, le temps était occupé surtout par les mesures de production).

Environ 160 unités ont fait l'objet de mesures et d'estimation de la phytomasse aérienne des plantes pérennes. Sur une vingtaine d'entres elles, on a réalisé, pendant plusieurs années consécutives, des mesures de phytomasse des annuelles, au moment du maximum de végétation.

Il faut insister sur la subjectivité du choix des unités à mesurer : les parcelles choisies étaient physionomiquement assez homogènes et correspondaient, à des états jugés "moyens" des systèmes écologiques tels que nous les avions définis. En effet, un échantillonnage au hasard de ces unités à mesurer (d'après les photos aériennes ou les cartes phyto-écologiques disponibles), aurait conduit à caractériser, le plus souvent, des mosaïques de systèmes écologiques. D'autre part, nous ne pouvions multiplier le nombre d'échantillons en raison du travail considérable que présente, sur une station, la coupe, le tri et la pesée des grandes espèces pérennes sur 320 m^2, l'estimation touffe par touffe, de ces grandes pérennes sur 640 autres m^2, la coupe, le tri et la pesée de 240 m^2 pour les petites espèces pérennes, les annuelles et la litière et les pesées et l'étuvage des espèces pour l'expression des résultats en matière sèche. Chaque système écologique a donc été caractérisé en phytomasse, sur la base d'un petit nombre d'unités échantillonnés, allant de 26, pour les systèmes couvrant les plus grandes surfaces, ou considérés comme les plus importants, à 1 seulement, pour les systèmes présentant de grandes difficultés de mesure (végétation nettement arbustive par exemple) ou peu représentés dans la région.

2.3. RESULTATS ET DISCUSSION

2.3.1. Phytomasse aérienne

La phytomasse aérienne des plantes pérennes des principaux systèmes écologiques apparaît sur le tableau III.1. Cette phytomasse que nous avons mesurée est très variable d'un système à l'autre, puisqu'elle peut aller de 8 tonnes MS/ha pour les "scrubs" des zones basses, à moins de 100 kg MS/ha dans les friches. Une phytomasse moyenne a été calculée sur le tableau III.5, pour deux zones-test, en rapportant les phytomasses des systèmes écologiques aux surfaces qu'ils occupent dans ces zones. La phytomasse moyenne à Zougrata (510 kg MS/ha) est plus faible qu'à Oglat Merteba (725 kg MS/ha) car la proportion de zone cultivée y est plus forte.

TABLEAU III.5 Phytomasse aérienne moyenne dans 2 zones-test

Zone-test	Surface de la zone (ha)	Pluviosité moyenne annuelle (mm)	Phytomasse moyenne kg MS/ha
Oglat Merteba	20 000 (dont 10 % de culture)	150	725
Zougrata	81 000 (dont 38 % de culture)	175	510

80 espèces pérennes participent de façon notable à la phytomasse (tableau III.6) et, parmi celles-ci, 35 seulement dépassent 5 % de la phytomasse des pérennes dans au moins un système écologique. Sur 162 unités échantillonnées pour la phytomasse, *Atractylis serratuloides*, *Gymnocarpos decander*, *Helianthemum kahiricum*, *Linaria aegyptiaca*, *Rhantherium suaveolens* et *Pituranthos tortuosus* sont présents plus de 100 fois. Le tableau III.6, donne la liste complète de ces espèces "dominan-

Tableau III 6 - Phytomasse aérienne des espèces pérennes, au printemps (en %) dans les principaux systèmes écologiques. Indices de qualité spécifique. Maximum de pousses vertes par rapport à la biomasse aérienne. Maximum consommable.

ESPECES PERENNES	Indice de qualité spécifique	Maximum pousses vertes/biomasse aérienne (.)	Maximum consommable (.)	SYSTEMES ECOLOGIQUES																									
				SD_2	SD_1	GD_2	GD_1	AZ_2	AZ_1	LZ_2	OZ_2	LK_3	RK_3	RK_2	RK_1	rk_2	HK_2	AR_2	AR_1	AA_3	AA_2	AA_1	aa	ZR	zr	PZ_3	Pv	VA_2	FL_2	TV_2
Aeluropus littoralis	2	75	25								1,4																1,2	0,2
Anabasis oropediorum	4	20	20		0,1		1,3	0,2	0,4					0,1						1,0	0,1							18,9
Anarrhinum brevifolium	4	20	20			0,5	0,1	5,1	4,8	2,3	3,1									0,4								
Argyrolobium uniflorum	4	90	30			0,3	0,1	0,2	0,1		0,2	0,4	0,3	0,5	0,7		0,5						0,8	0,4		0,3		0,5
Aristida ciliata	3	70	10			0,1	0,1																					
Aristida plumosa	4	70	30						0,2																			
Aristida pungens	2	10	10																		0,1							
Artemisia campestris	2	30	10	0,5		0,3	0,1	0,1	0,1		1,3	0,1	0,9	1,2	0,9	5,0	0,8	0,3		4,5	2,5	2,7	0,5	1,4	19,8				
Artemisia herba alba	3	30	20				0,1		0,3				0,1							75,8	41,8	0,8		0,3				
Artrocnemum indicum	1	30	10																								19,1	
Arthrophytum schmittianum	2	30	00	0,5	0,7	0,9		0,1	0,1			2,0	0,3	6,6	0,3	1,7	4,6	1,0			0,9	0,5							15,4
Arthrophytum scoparium	1	25	00	1,0	2,0	1,3	2,7		0,6		1,3			0,1	12,1					0,7	14,2	67,7	1,4					2,2
Asparagus albus	1	20	00	1,9																									
Astragalus armatus tragacantoides	3	35	05		2,3	14,5	6,6	1,0	2,0		7,2	0,7	1,4	7,4	2,2	1,7	16,3	0,6	15,1	3,5	1,7	0,3		3,1	3,2		3,7		0,2
Astragalus caprinus lanigerus	2	80	30			0,1																							
Atractylis flava	1	10	05											0,1							0,3								
Atractylis serratuloides	2	50	05	0,1	2,3	3,0	7,6	12,9	11,7	2,8	7,0	1,1	1,0	0,1	2,1		0,6				3,3	0,5		1,4					1,5
Atriplex halimus	3	30	00					0,1																					
Calycotome villosa	3	20	10			0,1	0,1						0,7	3,6										46,8					
Cotis monspeliensis	0	05	00					0,6	1,0	0,5																			
Cynodon dactylon	4	85	80											1,0			0,3			0,2			1,2		33,5		12,5		
Diplotaxis harra	2	80	25													13,3				0,1	2,1	11,0	87,5					
Echiochilon fruticosum	4	50	40		0,3	2,7	2,8	1,9	3,8		13,7	0,6	2,1	3,4	4,3		0,3	0,2	1,4		1,0	0,3		2,1	2,1				0,9
Echium pycnanthum	1	80	05			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1					0,2					0,1							0,3
Erodium glaucophyllum	1	80	20					0,1	0,3	0,1																			
Fagonia cretica	1	40	05		0,1																								
Fagonia glutinosa	0	30	00		0,3	0,2	0,4		0,2			0,1	0,2		0,2														
Farsetia aegyptiaca	2	20	10																		0,3	0,8		0,1					
Frankenia thymifolia	2	20	05																	5,6									
Globularia alypum	3	20	15		0,1																						27,1	7,4	
Gymnocarpos decander	4	10	15		3,0	45,3	29,4	6,9	13,9	7,5	6,6	2,0	0,7	2,6	4,6		0,6				10,8	3,9		18,0				4,4	
Helianthemum crassifolium	1	30	05		0,1			0,5	1,0	1,9	0,5										0,1			0,6					
Helianthemum hahiricum	3	60	15		1,4	5,1	9,6	6,2	8,9	9,8	6,9	0,8	0,9	0,4	1,3		0,5				3,2	2,3		1,6				1,1	
Helianthemum lippii intricatum	3	45	15		0,2	2,3	4,3	21,7	16,0	19,1	22,4	0,2			0,2						2,6	0,2		0,7		3,7		1,7	
Helianthemum lippii sessiliflorum	4	70	25			0,6	0,4	0,5	0,3		0,6	0,4	0,2	1,2	1,5		0,7	0,4	0,7		0,7	1,2			0,3		0,4		0,1
Helianthemum virgatum	2	30	5		0,3	0,1				1,0																			
Herniaria fontanesii	2	30	5				0,1	0,1	0,1		0,1																		
Hyparrhenia hirta	3	70	30							0,1					0,1														
Launea quercifolia	1	50	5					11,6																					
Limoniastrum guyonianum	1	15	0						0,1																		7,6		
Limonium	1	60	5																								15,9		
Limonium pruinosum	1	60	5	0,1																									
Limonium tunetanum	1	60	5																								2,8	0,5	
Linaria aegyptiaca	3	90	70	1,2	0,1	0,2	0,9	0,4	0,7	0,4	0,5	0,4	0,5	1,1	0,7	1,7	0,2			1,1	0,7	1,4	0,6		0,8	0,1		0,3	
Lycium arabicum	2	15	0					0,1	0,4																			2,8	
Lygeum spartum	2	75	10	1,2	0,2	0,2	6,4	8,1	7,6	45,7	1,2	55,3	6,2	3,2	5,7			1,8	41,0		2,1		0,3	0,8		97,8		7,4	0,1	0,1
Marrubium deserti	1	26	5		0,1	0,2	0,8		0,1				0,1	0,1	0,1		1,0		7,2	0,5		0,2	1,0						
Moricandia arvensis suffruticosa	2	30	15		0,3																	0,2	5,4						
Nitraria retusa	1	15	0				2	0,4																					
Ononis natrix falcata	1	20	5		0,3				0,2		8,3																		
Peganum harmala	1	80	5														0,2	0,2					1,2	1,4	0,6		7,5		
Pituranthos chloranthus cossoneanus	1	50	20			0,7	1,9	4,4	1,8		5,0	0,3	1,2		1,2						0,6								
Pituranthos scoparius	1	50	5	0,5	0,1								0,4																
Pituranthos tortuosus	3	65	20		1,2	2,4	3,1	0,8	1,7	2,8	1,4	5,3	2,6	2,6	4,1	40,0	3,9	0,5	4,3	2,9	1,8	1,5	0,3		22,2	1,4		6,1	0,3	0,3
Plantago albicans	4	70	30		0,1	1,8	0,8	1,5	0,7		1,2	1,5	2,9	0,7	3,2		7,2	0,2	1,4	0,9	0,3	0,1		0,1	5,8	0,3		7,4	0,1	0,1
Polygonum equisetiforme	3	40	40		0,1		0,4																0,6		0,3			0,1		
Pulicaria laciniata	0	100	0																								73,5			
Reaumuria vermiculata	2	20	5		1,6		0,7	1,2	0,9												1,7							8,5		0,3
Roscida decursiva	3	90	5																											
Rotana retam	3	10	5		1,0								0,2	0,1													0,1			6,3
Ranthorium suaveolens	3	40	30		0,7	12,7	9,6	2,3	0,9		0,8	23,4	71,8	59,9	34,9	36,7	1,9	1,4	28,7	0,4	3,3	0,7		11,9	9,5				0,4	
Salsola tetragona	1	30	5																											
Salsola tetrandra	1	30	5																									4,9		
Salsola vermiculata	3	35	10		0,6	0,7	1,3	0,3	1,0			2,7	2,5	6,9	2,2			1,7			1,4	0,4		0,9				18,4		10,0
Salvia aegyptiaca	2	50	5	0,2													0,2				0,1								6,7
Salvia verbenaca	3	50	5												0,1															
Schismus nigricans	2	70	5						5																					
Scorzonera undulata	4	100	60																											
Stipa lagasae	3	70	30			0,6						0,4	0,9	0,7	0,7															
Stipa tenassissima	2	50	5	94,8	73,3	0,1																								
Suaeda mollis	2	30	5																									5,8		10,9
Teucrium polium	2	50	5		0,4	0,8	0,6	1,2	1,3	0,9	1,1	0,8	0,6	1,0	1,1		0,8				0,1	0,1								
Thymelaea hirsuta	0	20	0		0,3			0,1	0,1	0,6	0,1		0,6	0,1	0,6		58,9			2,3					0,8					
Thymelaea microphylla	3	40	30			1,8	6,4	1,5	2,0		6,5		0,7	4,0	10,8			0,3						1,0					0,2	
Thymus capitatus	0	20	0					1,3	3,3	1,5											0,3									
Thymus hirtus	2	20	5					0,1	0,1																					
Tragonum nudatum	2	10	5																										8,6	
Verbena supina	0	90	0																								14,0			
Ziziphus lotus	2	10	5																					8,3						
Zygophyllum album	0	40	0					4,7	10,1	2,2	2,8										1,0						8,2	11,8	0,6	

tes" que l'on retrouve dans de nombreux systèmes écologiques (1). A l'exception d'*Aristida pungens, Cynodon dactylon, Lygeum spartum* et *Stipa tenacissima*, ce sont toutes des espèces ligneuses ou suffrutescentes. En dehors des systèmes écologiques dominés par ces graminées (AR, zr, LK, SD), la contribution des ligneux à la phytomasse des pérennes dépasse 90 % dans tous les autres systèmes.

Aristida pungens, Artemisia herba-alba, Lygeum spartum, Nitraria retusa, Rhantherium suaveolens, Stipa tenacissima, Ziziphus lotus, sont les espèces dominantes des systèmes écologiques peu dégradés qui, par leur phytomasse pouvant représenter 80 % du total, marquent profondément la physionomie de ces systèmes. La phytomasse des plantes pérennes varie évidemment dans l'année (production, perte de matériel par mort d'une partie de la plante) et entre les années.

La phytomasse des plantes annuelles au printemps, représente en fait, la production des espèces annuelles des systèmes écologiques. Nous discuterons de cette production et de sa très grande variabilité au chapitre suivant. Il est évident que cette phytomasse est beaucoup plus fluctuante. que celle des espèces pérennes et fonction surtout des quantités de pluie et de leur répartition. Avec beaucoup de réserves, nous donnons sur le tableau III.7, ce que peut représenter la phytomasse des espèces annuelles au printemps pour les principaux systèmes écologiques étudiés et pour une année à pluviosité moyenne (cf. I.2.2.2). Il faut surtout considérer sur ce tableau, les valeurs relatives de ces phytomasses entre les différents systèmes écologiques. Pour les systèmes écologiques peu dégradés, le rapport phytomasse des pérennes/phytomasse des annuelles est souvent supérieur à 10, et évidemment bien supérieur encore dans le cas des formations à "nebkas".

---

(1) Dans les régions voisines plus sèches ou plus arrosées et dans les zones salées, d'autres espèces seraient à ajouter à celle liste ; mais les mesures concernant leurs phytomasses sont trop peu nombreuses et ne peuvent être incorporées ici. Il s'agit de :

- pour l'étage bioclimatique saharien

Anthyllis henoniana	Helianthemum confertum	
Traganum nudatum	Suaeda mollis	
Retama retam	Calligonum comosum ; C. azel ; C. arich.	

- pour l'étage bioclimatique aride supérieur :

Ziziphus lotus	Rosmarinus officinalis

- pour les zones salées :

Limoniastrum guyonianum	Salsola sieberi	Suaeda fruticosa
Salicornia arabica	Salsola tetrandra	Halocnemum strobilaceum

TABLEAU III.7 Estimation de la phytomasse aérienne des espèces annuelles au printemps, pour une année à pluviosité moyenne, dans les principaux systèmes écologiques (pour la signification des sigles de ces systèmes, voir tableau III.1).

Systèmes écologiques	Phytomasse aérienne des annuelles (kg MS/ha)	Systèmes écologiques	Phytomasse aérienne des annuelles (kg MS/ha
SD2	70	AR2	150
SD1	70	AR1	120
GD2	135	AA3	120
GD1	60	AA2	100
AZ2	70	AA1	100
AZ1	30	aa	50
LZ2	90	ZR2	500
OZ2	120	zr	200
LK2	150	PZ3	80
RK3	150	NS2	500
RK2	40	pv	150
RK1	30	VA2	200
rk2	50	FL2	100
HK2	100	TV2	30

N.B. Ces estimations s'appuient sur quelques mesures réalisées durant une ou plusieurs années pour la plupart de ces systèmes écologiques.

2.3.2. Phytomasse souterraine

Nous n'avons pas fait de mesures systématiques de phytomasse souterraine. Ainsi, au début de l'automne, donc en l'absence d'annuelles dans une steppe des zones sableuses en bon état (RK3), les racines représentent 45 % de la phytomasse totale (en poids sec); dans une steppe des zones gypseuses, en bon état, ce rapport est de 37,5 %. Des mesures effectuées sur des espèces pérennes à l'automne (*Arthrophytum scoparium*, *Moricandia arvensis* ssp. *suffruticosa*, *Plantago albicans*, *Echiochilon fruticosum*) donnent toutes des proportions inférieures à 50 % de la phytomasse sèche totale. Au printemps, une mesure effectuée sur des annuelles au pic de leur production, a donné une proportion de 28 % de racines.

Ces quelques chiffres, qu'il ne faut évidemment pas généraliser, font donc toujours apparaître un rapport partie souterraine/partie aérienne inférieur à l'unité. On trouve les chiffres les plus divers dans la littérature. RODIN (1976), s'appuyant principalement sur des données des steppes asiatiques, mais aussi d'Afrique du Nord (50 communautés au total), calcule que les parties vertes (assimilatrices), représentent 8 % de la phytomasse, les parties aériennes ligneuses 17 % et

Tableau III 8 - Rapports de la phytomasse souterraine à la phytomasse aérienne de différents xérophytes et communautés des zones désertiques.

Espèce ou communauté végétale	Origine	Age	S/A	Source
Atriplex lentiformis	Calif.	6 mois	0,21	Sankary, 1971
A. leucoclada	Syrie	6 mois	0,15	"
Citrullus colocynthis	Syrie	6 mois	0,21	"
Cucurbita palmata	Calif.	6 mois	0,40	"
Haloxylon articulatum	Syrie	6 mois	0,90	"
Salsola vermiculata	Syrie	6 mois	0,80	"
Acantholimon venustum	Anatolie	5 mois	0,86	Birand, 1961
Alhagi camelorum	Anatolie	4 mois	1,17	"
Astragalus micropterus	Anatolie	5 mois	1,50	"
Noea spinosissima	Anatolie	5 mois	0,17	"
Zygophyllum fabago	Anatolie	5 mois	0,43	"
Larrea divaricata	sw USA	40 jours	0,60	Barbour, 1967
Larrea divaricata	Arizona	1 - 65 ans	0,22 - 0,55	Chew and Chew, 1965
Acacia greggii	Calif.	adulte	1,20	Garcia-Moya and McKell, 1970
Brickellia incana	Calif.	"	0,50	"
Cassia armata	Calif.	"	0,70	"
Ephedra nevadensis	Calif.	"	1,20	"
Eriogonum fasciculatum	Calif.	"	0,40	"
Franseria dumosa	Calif.	"	0,60	"
Hymenoclea salsola	Calif.	"	0,70	"
Krameria grayi	Calif.	"	0,40	"
K. parvifolia	Calif.	"	0,60	"
Larrea divaricata	Calif.	"	0,30	"
Salazaria mexicana	Calif.	"	0,70	"
Thamnosma montana	Calif.	"	0,30	Pearson, 1966
Communautés d'Artemisia	Idaho	"	0,40 - 1,80	"
Artemisia/Poa (communauté)	Syrie	"	1,33	Rodin and Bazilevich, 1967
Hammada/Poa (communauté)	Syrie	"	3,29	" "
Artemisia/Poa/lichen (communauté)	Syrie	"	0,37 - 0,79	" "
Artemisia/Anabasis (communauté)	URSS	"	6,70	" "
Artemisia (communauté)	URSS	"	3,55	" "
Artemisia/Poa (communauté)	URSS	"	5,11	" "
Anabasis (communauté)	URSS	"	5,11	" "
Haloxylon/Salsola (communauté)	URSS	"	7,33	" "
Eleagnus/Tamarix (communauté)	URSS	"	0,96	" "
Populus/Halimodendron (communauté)	URSS	"	0,82	" "
Arthrophytum scoparium	Israel	"	1,14	Evenari et al., 1975
Artemisia herba-alba	Israel	"	0,92	" " "
Zygophyllum dumosum	Israel	"	0,87	" " "
Reaumuria negevensis	Israel	"	1,10	" " "
Rhantherium suaveolens (système écologique RK3)	TUN.	"	0,82	Floret
Anarrhinum brevifolium (système écologique AZ2)	TUN.	"	0,60	"
Arthrophytum scoparium	TUN.	"	0,43	"
Moricandia arvensis ssp. suffriticosa	TUN.	"	0,43	"
Echichilon fruticosum	TUN.	"	0,89	"
Plantago albicans	TUN.	"	0,52	"
Plantes annuelles	TUN.	"	0,20 - 0,40	"

N.B. - Tableau réalisé sur la base des données collectées par BARBOUR (1973), et des mesures faites par EVENARI *et al.* (1975) et par nous-mêmes.

les racines 75 %. Les steppes des déserts froids orientaux semblent,en effet, avoir un rapport phytomasse souterraine/phytomasse aérienne très élevé, mais le tableau III.8, donne une idée de sa variabilité dans des déserts de plusieurs parties du monde. Ceci tend à prouver que un rapport phytomasse souterraine/phytomasse aérienne élevé n'est pas une caractéristique des zones arides, comme on aurait pu le penser (l'idée étant que les racines seraient obligées d'avoir un grand développement pour extraire l'eau du sol). Les conditions de sol (texture, profondeur) et de climat modifient considérablement ce rapport.

2.4. PHYTOMASSE ET VALEUR PASTORALE

Nous avons cherché à calculer la valeur pastorale des systèmes écologiques sur la base de leur phytomasse consommable et de la qualité relative des espèces qui constituent cette phytomasse (FLORET, LE FLOC'H, 1980). En pays tempérés, ce genre de classement s'est effectué en général plutôt à partir de la composition floristique ou de la contribution des espèces au couvert végétal, reliés, là aussi, à la qualité relative des espèces (DE VRIES *et al.*, 1942 ; DELPECH, 1960 ; DAGET et POISSONET, 1965, 1971 ; LOISEAU et SEBILLOTTE, 1972).

A chacune des principales espèces végétales du Sud tunisien, un indice de qualité spécifique (Is) variant de 0 à 4, a été affecté sur la base des premières propositions faites par IONESCO et LE HOUEROU (1973). Certaines ont été modifiées en raison de nouvelles observations (tableau III.6). Ces indices tiennent compte , d'une façon assez subjective, de l'acceptabilité de l'espèce par les animaux et de sa valeur nutritive. Il faut noter, qu'un travail sur l'acceptabilité des espèces de la région et le comportement alimentaire des animaux, a été réalisé par WAECHTER (1982) , et qui pourra ultérieurement modifier Is , n'a pas été utilisé ici. Ces indices varient selon le type d'animaux, selon la composition floristique du parcours, selon la saison, la teneur de la plante en matière sèche, etc. A titre indicatif, le tableau III.6 donne aussi, pour chaque espèce pérenne, une moyenne des pourcentages maximums de pousses vertes, par rapport à la phytomasse totale de l'espèce, que nous avons mesurés (parfois estimés), durant plusieurs années ("turnover" des espèces). Mais pour le calcul, on a également évalué le pourcentage consommable (% C) par rapport au poids de la partie aérienne de la plante. Cette évaluation, tient compte à la fois de l'accessibilité des

TABLEAU III.9 Valeurs pastorales relatives de quelques systèmes écologiques établies sur la base de mesures de la phytomasse aérienne et des indices de qualité spécifique. (d'après FLORET et LE FLOC'H, 1979)

Type de substratum et état du couvert végétal (Sigle du système écologique)	Phytomasse des espèces pérennes (kg de mat. sèche/ha).	Valeur pastorale relative due aux seules pérennes (1) (2) (VPP)	Valeur pastorale relative due aux seules annuelles (2) (VPA)	Valeur pastorale relative due aux annuelles + pérennes (2) VP
1. *milieux squelettiques calcaires*				
- couvert en état moyen (GD2)	633 ± 69	35	20	35
- couvert en mauvais état (GD1)	302 ± 37	20	10	20
2. *mileux squelettiques gypseux*				
- couvert en état moyen (AZ2)	769 ± 93	35	15	30
- couvert en mauvais état (AZ1)	332 ± 14	15	5	10
3. *plateaux et glacis limono-sableux*				
- couvert en état moyen (AA2)	488 ± 97	20	15	20
- couvert en mauvais état (AA1)	183 ± 48	5	15	10
4. *plaines sableuses*				
- couvert en bon état (RK3)	1125 ± 87	100	25	75
- couvert en état moyen (RK2)	546 ± 37	45	5	30
- couvert en mauvais état (RK1)	403 ± 50	30	5	20
5. *bas-fonds et zones d'épandage*				
-(ZR_2)	725 (*Ziziphus lotus* exclu)	70	100 (*Ziziphus lotus* exclu)	100

(1) Phytomasse aérienne des pérennes x % consommable x indice de qualité spécifique de valeur pastorale

(2) Exprimée sur 100 par rapport au meilleur parcours (RK_3 ou ZR_2) auquel on attribue la valeur 100.

pousses à la dent des animaux et de la quantité de partie verte qu'il faut conserver pour ne pas épuiser la plante ("proper use factor") ; cette évaluation s'appuie sur certaines données bibliographiques (Anonyme, 1957).

Etant donné que nous avons affaire à des phytocénoses pastorales, donc fortement influencées par les particularités de la consommation de leur production par les animaux herbivores (essentiellement, ici, des animaux domestiques), il est justifié de chercher à exprimer les différences de valeur pastorales entre ces phytocénoses.

La combinaison du pourcentage consommable et de l'indice de qualité spécifique, affecté à la phytomasse des pérennes (B), a permis d'obtenir par sommation sur chaque station étudiée, une note de valeur pastorale (VPP) :

$$VPP = \sum B_i \times Is_i \times \%C_i$$

Cette note est exprimée en valeur relative par rapport au meilleur système écologique (du point de vue pastoral) considéré comme ayant la valeur 100 dans la région considérée (tableau III.9). Une autre note relative de valeur pastorale, sur 100, des mêmes systèmes écologiques, a été obtenue sur la base de leur production (mesurée ou estimée) issue des espèces annuelles (VPA).

La combinaison des deux notes (pour les pérennes et les annuelles), à nouveau ramenée à 100, permet de noter la valeur pastorale globale (VP) des différentes phytocénoses en présence. Les réserves que l'on peut faire sur ce genre de méthode sont évidentes, et des résultats de ce type, ne sauraient remplacer ceux obtenus par les mesures de production interannuelles sur quelques-uns des systèmes écologiques présents (chapitre 3). Il nous a cependant semblé intéressant de montrer la part relative que peuvent prendre les pérennes et les annuelles pour l'appréciation des valeurs pastorales des différentes phytocénoses étudiées, et de donner les différentes normes (indices, % consommable), même provisoires, pour les principales espèces qui contribuent à la phytomasse dans ces régions présahariennes.

En ce qui concerne la valeur pastorale relative, ce sont évidemment les phytocénoses des bas-fonds et des zones d'épandage qui, lorsqu'elles ne sont pas détruites par la mise en culture, ont les valeurs les plus élevées quand on additionne les notes dues aux pérennes

et aux annuelles. Viennent ensuite, les steppes des zones sableuses (RK), alors que les steppes à armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) sur glacis limoneux (AA), ont des valeurs faibles, car elles sont très dégradées à la suite de longues pratiques culturales et du surpâturage. Ces valeurs relatives sont en fait soumises à de fortes fluctuations selon la pluviosité de l'année. Ainsi, en année pluvieuse, la végétation annuelle des zones limoneuses, peut être beaucoup plus abondante que celle des zones sableuses.

Il faut noter, comme le montre le tableau III.9, qu'il n'y a pas proportionnalité entre phytomasse présente et valeur pastorale. Cela tient au fait que cette phytomasse est constituée, en grande partie, par des plantes plus ou moins refusées par les animaux. Cependant, quelles qu'elles soient, ces plantes pérennes ont un effet synergique sur la germination des annuelles, et permettent, comme on le verra, d'augmenter la période de consommation sur le parcours. D'autre part, la plupart des espèces pérennes, même refusées par les ovins et caprins, sont consommables par les camélins ; ce qui provoque des repousses tendres alors consommées par les autres animaux.

2.5. CONCLUSION

Les chiffres disponibles dans la littérature concernant la phytomasse sont relativement rares. Les revues faites au niveau mondial par RODIN et BASILEVICH (1967), LIETH (1970), WHITTAKER (1970), EVENARI *et al.*, (1975 a), font état de valeurs moyennes généralement plus élevées que celles obtenues par nous. NOY MEIR (1973) fait état de chiffres, pour la phytomasse aérienne des zones arides, allant de 300 à 2000 kg/ha, ce qui se rapproche des nôtres. La phytomasse totale pour les zones désertiques mondiales, varierait de 1 à 40 tonnes/ha (à comparer aux 600 tonnes/ha de nombreuses forêts). Cette phytomasse se rapproche de celle des toundras arctiques. La phytomasse des steppes froides continentales semble être en moyenne plus élevée que celle des zones plus chaudes.

La raison de cette faible accumulation d'énergie dans les zones présahariennes tient surtout à la relativement faible productivité du milieu, l'eau étant le principal facteur limitant. Mais, on peut estimer que l'homme, en prélevant régulièrement une part trop importante de la production, contribue à maintenir le niveau de cette phytomasse à

environ la moitié (cf. tableau III.1) de ce qu'elle pourrait être dans le cas d'une bonne utilisation de la végétation naturelle. Cette phytomasse est pourtant une ressource importante en zone aride. En dehors de son intérêt pastoral, déjà souligné, c'est la ressource principale en matière organique du sol. C'est aussi une source de bois, pour la cuisson des aliments, très utilisée. Plusieurs espèces sont employées pour leurs fibres (*Stipa tenacissima, Lygeum spartum, Aristida pungens*). Enfin, ces espèces jouent un rôle anti-érosif très important. Il convient donc de gérer convenablement ce capital, et de songer à favoriser et même à multiplier certaines espèces pérennes, par des techniques encore à mettre au point. D'une façon générale, nous verrons qu'il est intéressant de chercher à enrichir la structure (stratification) de ces phytocénoses, afin de tirer le meilleur parti des ressources du milieu (distribution de l'eau principalement), même s'il est évident qu'une partie de l'énergie reçue, servant au maintien de cette phytomasse, est perdue pour la production.

Insistons pour terminer, sur une des caractéristiques des communautés végétales des zones arides, ayant trait à la phytomasse : celle-ci est extraordinairement fluctuante dans l'année, et entre les années. Une grande partie de cette variation est le fait des annuelles qui ne sont présentes qu'une partie de l'année, et pas tous les ans. Mais les plantes pérennes également ont une phytomasse qui varie beaucoup dans l'année (lignification des pousses, pertes par mort d'une partie des organes, spécialement pour les plantes pérennes arido-passives). EVENARI *et al.*, (1976) donnent des coefficients de variation allant de 1 à 10,8 pour le rapport de la phytomasse aérienne d'une année sèche à celle d'une année pluvieuse (communauté dominée par *Arthrophytum scoparium* à Avdat, 80 mm de pluie moyenne annuelle). Les chiffres que nous avons obtenus pour une communauté semblable (cf. § 3.5.2.5) montrent des variations encore bien supérieures.

3. PRODUCTION VÉGÉTALE DE QUELQUES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES

3.1. INTRODUCTION

On a essayé de suivre, durant plusieurs années, l'évolution de la phytomasse végétale aérienne de quelques systèmes écologiques couvrant de grandes surfaces en Tunisie présaharienne. Plusieurs années de mesure étaient en effet nécessaires afin de pouvoir suivre cette évolution sous des conditions climatiques suffisamment différentes. D'autre part, le bilan hydrique des sols correspondants a été mesuré pendant la même période, pour suivre l'évolution de leur humectation et de leur dessèchement. On a ainsi pu évaluer l'évapotranspiration réelle (*ETR*) et l'efficacité de l'eau pour la production végétale selon la période de l'année.

En effet, suivre l'évolution dans le temps de la phytomasse et de la litière par la méthode des coupes, est encore le meilleur moyen d'obtenir une évaluation de la production primaire nette à l'échelle du système. La méthode directe, par mesure de la vitesse des échanges de CO_2, demandant un appareillage important, est difficilement réalisable en continu, et ne peut intéresser en général, que quelques espèces de la phytocénose. Elle n'a pas pu être abordée par nous. Nous avons donc procédé par la méthode des coupes successives dans l'année, aussi fréquentes que possible (pour éviter de trop grosses pertes par sénescence), et en mesurant séparément les principales espèces. La production a donc pu être "approchée" en faisant la somme des pics de production de ces espèces prises individuellement ; ce qui reste actuellement la meilleure méthode d'estimation de la production (même si celle-ci est forcément sous-estimée) comme le soulignent SINGH *et al.* (1975) après avoir comparé différentes techniques. Cette estimation est toutefois compliquée en

zone aride, car des périodes de sécheresse peuvent parfaitement conduire à une diminution temporaire de la phytomasse sur pied suite à des vents de sable désséchants et traumatisants pour les plantes.

Certains facteurs agissant indirectement sur la production par diminution de la surface foliaire, n'ont pas pu être contrôlés. Il s'agit principalement de consommateurs permanents de cette production, insectes phytophages, rongeurs, etc. Différentes sources font état de prélèvements pouvant représenter jusqu'à 15-20 % de la production par ces consommateurs. D'autre part la production des algues et des lichens, qui peuvent se trouver à la surface du sol, n'a pas été prise en considération.

Notons que, plutôt que de consacrer tous les efforts et les moyens sur un système écologique pour obtenir des mesures plus fréquentes et plus précises, nous avons préféré utiliser des dispositifs expérimentaux plus légers sur plusieurs stations. Au total 8 systèmes écologiques différents, ont ainsi fait l'objet de mesures. Certaines stations ont été suivies pendant 6 ans, d'autres durant 2 ou 3 ans.

L'ensemble des données recueillies ne peut évidemment figurer dans ce mémoire. Après avoir localisé et donné les principales caractéristiques des stations, ainsi qu'un aperçu des méthodes d'étude, nous présenterons les résultats des mesures sous une forme aussi synthétique que possible. Une discussion suivra sur les principaux facteurs de la production dans ces zones arides, ainsi que sur l'efficacité pour la production végétale des systèmes écologiques étudiés et sur leur productivité (1). Enfin nous évoquerons les principes d'utilisation de cette production primaire pour les animaux domestiques en zone aride.

(1) Nous employons, dans le texte, le terme de "productivité" dans le sens de "production potentielle" d'un milieu.

3.2. LOCALISATION ET REPRESENTATIVITE DES STATIONS

Les stations de mesure devaient être représentatives des principaux systèmes écologiques que l'on se proposait d'étudier, afin de pouvoir généraliser les résultats à la région. D'autre part, l'accès devait être facile à partir des laboratoires de Gabès, afin de pouvoir intervenir rapidement et au moindre coût. Elles ont été localisées après de nombreuses prospections de terrain, afin de représenter les conditions environnementales "moyennes" de ces systèmes. La figure III.8 et le tableau III.10 donnent la localisation des stations. On constate qu'elles sont alignées sur un axe NW - SE, allant de "Zerkine" au "Km 52", stations distantes d'environ 65 à 70 km.

* Les sites des systèmes écologiques, RK_3, RK_2, rk_2 du "km 52" de la route de Gafsa et RK_1, du "km 47" sont représentatifs des steppes sableuses d'une zone limitée au Nord-Ouest par les Seguis de Sidi Mansour, au Nord par le Dj. Bou Hedma et l'olivette du Chahal, à l'Ouest par la région d'Oglat Merteba, et englobant la Djeffara jusqu'à Ben Gardane, à l'exception de la région Sud de Médenine.

* La station RK_2 du Dissa est représentative des anciennes jachères surpâturées des piémonts sableux situés au pied des collines gypseuses de la Djeffara servant de terrains de parcours .

* La station du Km 8 (route de Kébili) est située sur un sol gypseux à encroûtement de surface très répandu en Djeffara septentrionale et dans la partie orientale des basses plaines, et principalement localisé sur le Miopliocène et le Crétacé inférieur (système écologique AZ2). Notons cependant que cette station, bien que pâturée régulièrement, n'est pas aussi fortement surpâturée que certaines zones situées à proximité des villages. Ces steppes à gypse, impropres à la culture, constituent en effet, dans de nombreux lieux de la Djeffara, les seuls terrains de parcours pour les nombreux troupeaux communaux .

* La station de Zerkine (20 km au Sud de Gabès), située dans un bas-fond anciennement cultivé, est représentative de toutes les vallées alluviales de la Djeffara et des "Basses Plaines Méridionales Orientales". Notons cependant que ce système écologique (ZR) caractérisé par une pelouse à Cynodon dactylon et par des formations à Ziziphus lotus, arbuste fixant des dunes (nebkhas), a été incomplètement étudié. En effet, la végétation des nebkhas, représentant environ 5 à 10 % de la surface, mais à haut potentiel de production, n'a pas pu être prise en compte en raison des moyens trop importants à mettre en oeuvre .

* La station du Telmam, est bien représentative des jachères du milieu de Segui sur le plan du sol et du bilan d'eau ; mais les Séguis des "Basses Plaines Méridionales Orientales" bénéficient d'un climat légèrement plus continental que celui de la station.

Avec ces huit stations, nous ne prétendons pas aborder de façon exhaustive la production primaire des steppes de cette région. Malgré quelques mesures espacées dans le temps, nous n'avons pas pu étudier, pour des raisons matérielles, les steppes des zones salées, les steppes à armoise blanche qui sont maintenant presque toutes défrichées et les steppes à alfa étudiées par GADDES (1978). La production de la végétation spontanée des différents milieux cultivés, a été peu abordée, exception faite de quelques mesures sur les systèmes rk_2 et aa.

3.3. CARACTERISTIQUES DE LA VEGETATION ET DES SOLS DES STATIONS

Nous ne reviendrons pas dans le détail sur les caractéristiques des sols des stations, qui sont décrites dans la section II et la figure II.10. Les tableaux III_{11} et III_{12} résument les caractéristiques physico-hydriques et chimiques des sols. Quelques commentaires sur les sols sont cependant donnés à l'occasion de la description de la végétation.

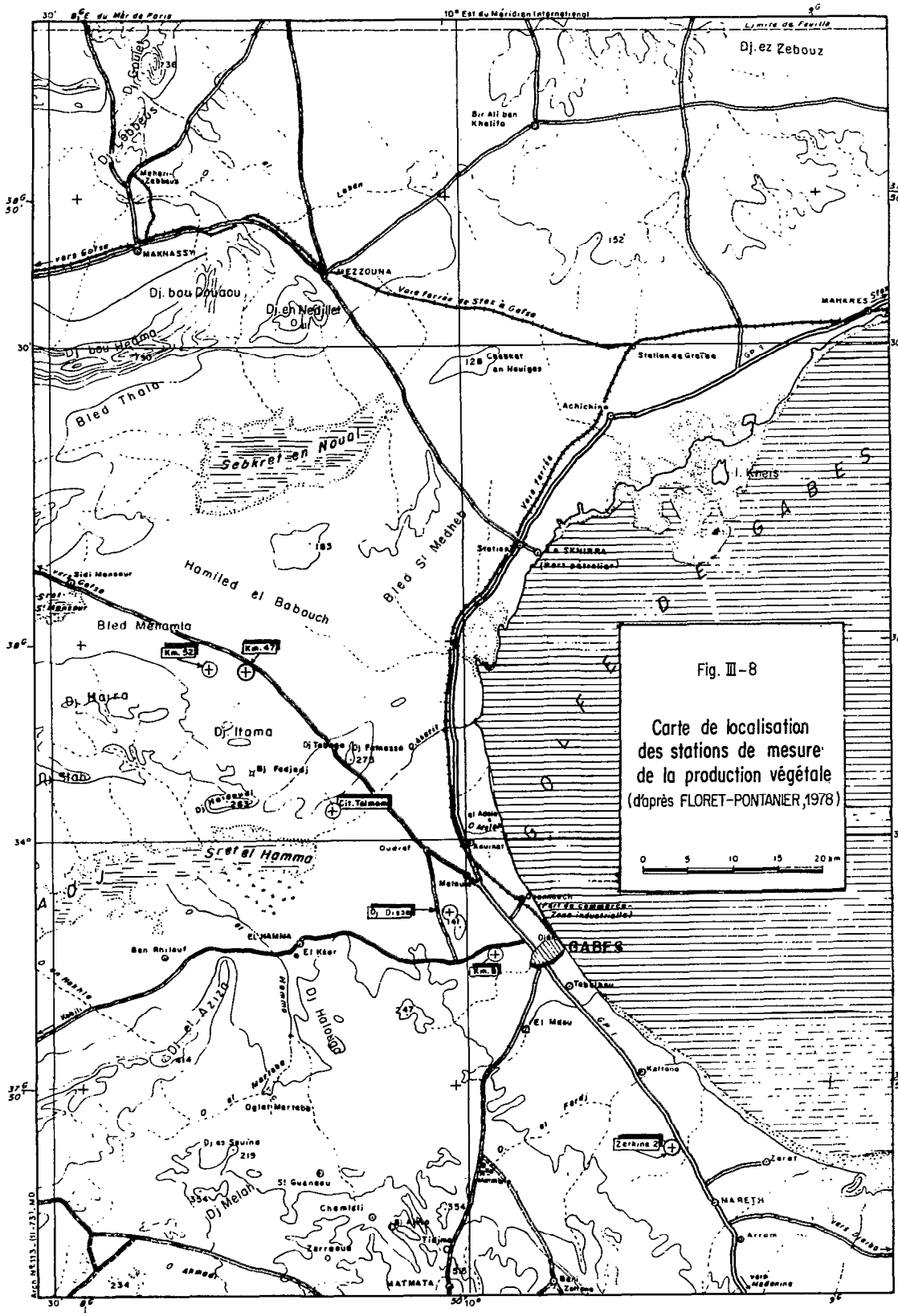


Fig. III-8

Carte de localisation des stations de mesure de la production végétale (d'après FLORET-PONTANIER, 1978)

TABLEAU III.10 Stations de mesure de la production végétale

Systèmes écologiques	Sigle	"Lieu dit" de la station
- Steppe de plaine à *Rhantherium suaveolens* en bon état sur sierozem sableux profond avec voile éolien	RK_3	
- Steppe de plaine à *Rhantherium suaveolens* moyennement dégradée sur sierozem sableux profond	RK_2	Km 52
- Steppe de plaine à *Rhantherium suaveolens* défrichée récemment sur sierozem sableux profond	rk_2	
- Steppe de plaine à *Rhantherium suaveolens* très dégradée sur sierozem tronqué	RK_1	Km 47
- Steppe de piedmont à *Rhantherium suaveolens* anciennement défrichée sur sierozem sableux profond	RK_2 Dissa	Dj. Dissa
- Jachère ancienne d'une steppe à *Artemisia herba-alba* défrichée, sur sol peu évolué, limoneux, un peu gypseux et salé	AA_1	Citerne Telmam
- Steppe des zones gypseuses, sur sol à encroûtement gypseux	AZ_2	Km 8
- Pelouse à *Cynodon dactylon* de bas fond sur sol peu évolué, alluvial profond	ZR	Zerkine

TABLEAU III 11 CARACTERISTIQUES PHYSICO-HYDRIQUES MOYENNES DES SOLS DES STATIONS

STATION	Topographie Pente %	Aspect de la surface du sol (battance)	Profondeur disponible pour l'enracinement cm	Texture moyenne du sol	Densité apparente moyenne	Humidité moyenne %		Réserve moyenne en eau utile à la végétation (mm)	Déficit moyen en début de saison des pluies des 50 premiers cm (mm)	Efficacité moyenne de la pluie %	Remarques concernant le bilan hydrique des sols
						à pF 2,7	à pF 4,2				
RK_3	plane	voile éolien sableux	110-130	SL et SA	1,43	14,5	5,0	150-180	15-20	100	Bonne porosité. Bon mulch sableux
RK_2 Km 52	plane	moyennement battant	85-110	SL et SA	1,44	14,5	5,0	120-150	15-20	90-100	Poreux, mais pertes par ruissellement. Bon mulch sableux
RK_1	plane	pellicule battance généralisée	60-80	SA	1,46	17,5	5,8	100-120	25-30	65-95	Humectation difficile. Forte évaporation
rk_2	plane	"ouvert"	85-110	SL et SA	1,44	14,5	5,0	120-150	10-15	100	Bonne porosité. Bon mulch sableux
AA_1	1,0	pellic. batt. généralisée	90-110	TE et LA	1,52	22,0	7,8	195-230	40-45	65-95	Mauvaise infiltration. Forte évaporation
RK_2 DISSA	Bas de pente 2,0	moyennement battant	80-90	SL	1,43	11,7	4,0	90-100	10-15	80-100	Bonne infiltration, mais pertes par ruissellement bon mulch sableux
ZR	Bas fond inondable	peu battant	100-110	SL et LS	1,42	19,5	6,0	200-220	20-25	100	Porosité assez bonne, mulch sableux
AZ_2	1,5	moyennement battant	15-30	SL	1,43	13,6	4,7	20-40		60-80	Poreux, mais capacité d'absorption insuffisante

TABLEAU III 12 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES MOYENNES ET NIVEAU MOYEN DE FERTILITE DES SOLS DES STATIONS

STATION	Profondeur cm	Matière organ. %	Azote total ‰	P_2O_5 ‰ assimil.	K_2O ‰ échangeable	Capacité d'échange meq/100g	pH	Conduc. mmhos/cm	$CaCO_3$ %	$CaSO_4 2H_2O$ %	Niveau de fertilité
RK_3	0-20	0,5	0,5	0,024	0,13	5,0	8,0	1,5	13,0	traces	
	20-50	0,4	0,6	0,016	0,14	5,0	8,1	1,6	22,0	0,5	faible
	50-70	0,4	0,6	0,015	0,16	6,5	8,2	1,5	33,0	0,6	
RK_2	0-20	0,5	0,4	0,039	0,12	4,5	7,9	1,8	14,0	traces	
	20-50	0,4	0,3	0,015	0,13	5,0	8,0	1,6	21,0	traces	faible
	50-70	0,4	0,5	0,015	0,15	7,0	8,1	1,9	34,0	0,4	
rk_2	0-20	0,3	0,5	0,024	0,11	5,0	7,9	1,9	14,0	traces	
	20-50	0,4	0,5	0,030	0,14	6,0	8,0	1,5	21,0	0,2	faible
	50-70	0,4	0,6	0,015	0,16	6,0	8,1	1,6	29,0	0,4	
RK_2 DISSA	0-25	0,4	0,3	0,012	0,08	3,5	8,3	1,2	11,5	1,0	
	25-50	0,3	0,2	0,014	0,09	4,5	8,2	1,0	15,0	0,8	très faible
	50-70	0,2	0,2	0,010	0,07	5,0	8,2	2,5	20,0	1,0	
AA_1 (jachère 3 ans)	0-20	0,7	0,7	0,114	0,33	10,5	8,3	3,5	16,0	0,5	
	20-50	0,6	0,9	0,118	0,28	11,0	8,2	5,8	16,2	8,0	moyen
	50-70	0,4	0,7	0,125	0,33	10,5	8,1	12,0	14,0	17,5	
AZ_2	0-20	0,4	0,4	0,013	0,14	5,0	8,4	2,1	7,0	4,0	très faible
	20-50						8,1	2,4	5,2	45,0	
ZR	0-25	0,7	0,9	0,066	0,20	9,0	8,1	1,5	10,0	1,0	
	25-50	0,5	0,8	0,059	0,22	10,0	8,3	2,3	12,0	0,7	moyen
	50-70	0,5	0,8	0,065	0,20	11,5	7,9	6,2	12,5	1,0	

3.3.1. Steppes des plaines sableuses (RK_3, RK_2, RK_1, rk_2)

Nous avons principalement étudié la steppe à Rhantherium suaveolens en bon état sur sierozem profond (cf. § II.1.2.2.1). Cependant il existe de nombreux faciès de dégradation de ce type de steppe, liés au surpâturage, à l'éradication des espèces ligneuses pour le bois de chauffage, à la mise en culture des sols, à une forte érosion éolienne, etc. Les systèmes écologiques étudiés sont au nombre de 4 et définis de la façon suivante :

- RK_3 Steppe à Rhantherium suaveolens en bon état.
  Sol : sierozem sableux sur limons à nodules calcaires avec voile éolien.
  Utilisation : parcours.

- RK_2 Steppe à Rhantherium suaveolens à un stade de dégradation moyen.
  Sol : sierozem sur limons à nodules calcaires, sans voile éolien.
  Présence d'une pellicule de battance.
  Utilisation : parcours ; peut-être anciennement cultivé.

- RK_1 à Rhantherium suaveolens en mauvais état.
  Sol : sierozem tronqué, ou sol d'ablation sur limons à nodules calcaires.
  Pellicule de battance généralisée.
  Utilisation : parcours, anciennement cultivé.

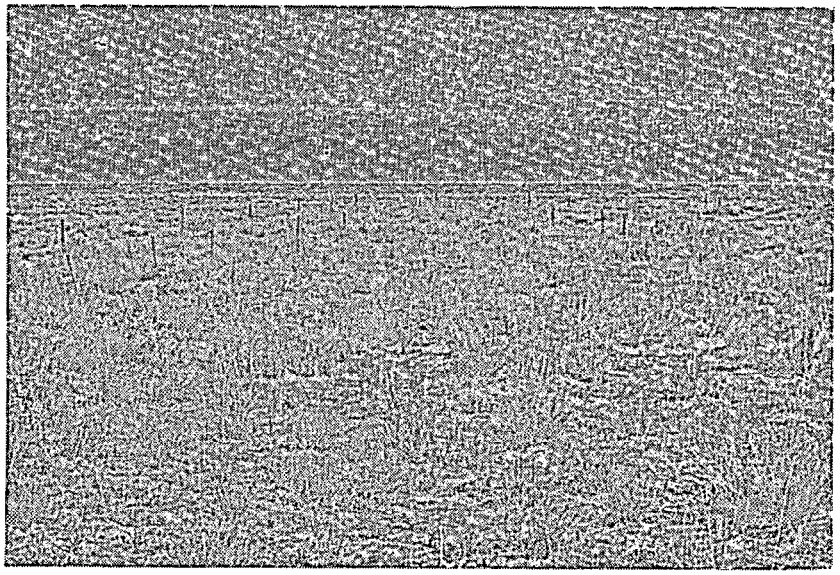
- rk_2 Jachère à Pituranthos tortuosus et adventices des cultures.
  Sol : sierozem sableux sur limons à nodules calcaires.
  Utilisation : culture ; issu du défrichement récent de RK_3 et RK_2.

Toutes ces unités appartiennent donc à la séquence à Rhantherium suaveolens (cf. III.5.1). Les trois dernières unités sonttoutes héritées de RK_3, par dégradation de la végétation et des sols ; les relations entre ces différentes unités sont illustrées sur la figure IV. 4.

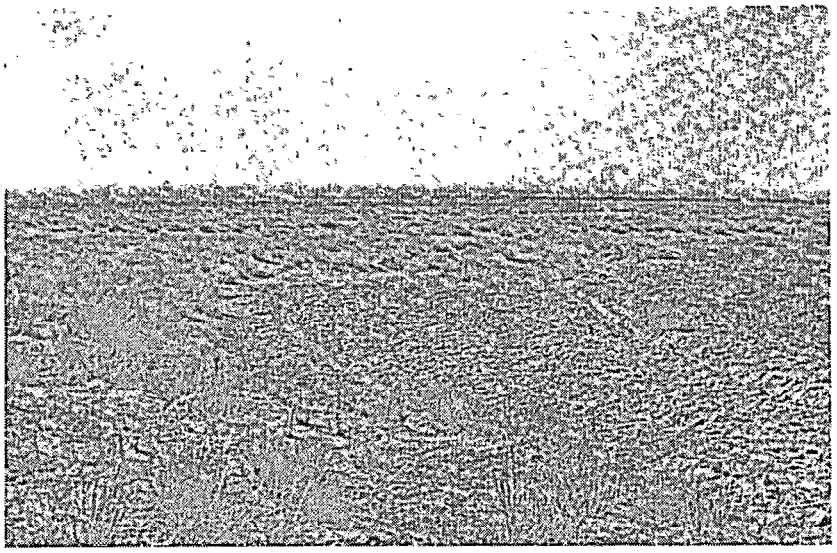
3.3.1.1. *La steppe en bon état (RK_3)*

La végétation de RK_3 a la physionomie d'une steppe à base de petits chaméphytes de quelques dm de hauteur au maximum. Le recouvrement des espèces pérennes constitué principalement de Rhantherium suaveolens (31 % de la surface du sol) et de Plantago albicans (6 %) peut être considérablement augmenté, en saison pluvieuse, par un abondant développement des annuelles (jusqu'à 49 % de couvert d'annuelles mesuré en 1973).

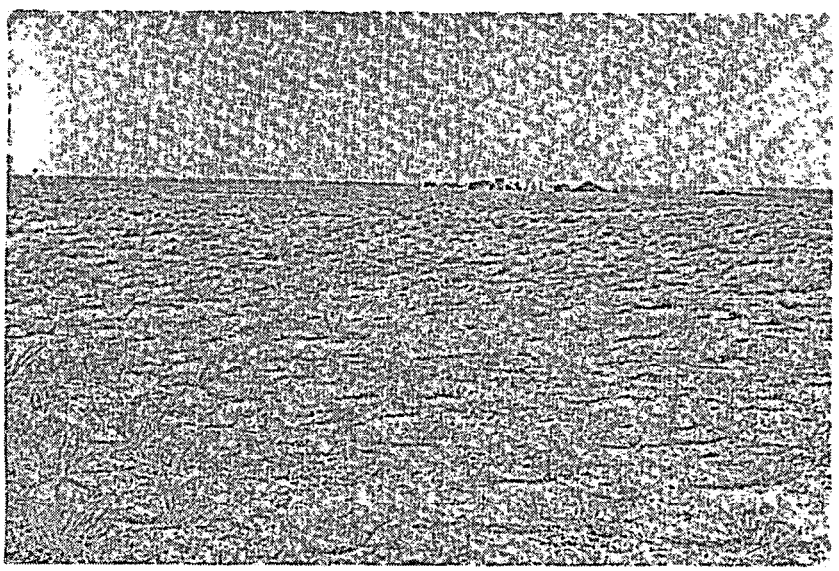
On retrouve dans la liste floristique en annexe n° A21 (70 espèces environ) la plus grande partie du groupe des psammophytes de l'étage aride. En revanche, les plantes liées aux sables mobiles sont absentes, ce qui tend à prouver que la couverture végétale actuelle assure une bonne protection du sol contre l'érosion éolienne (voile sableux fixé). Les plantes indicatrices des croûtes et les gypsophytes sont également absentes (sauf Lygeum spartum).



Steppe à *Rantherium suaveolens* en bon état sur sierozem sableux et profond *(RK_3)*



Défriche d'une steppe en bon état sur sierozem *(RK_3 - rk_2)*



Début de dégradation de la steppe à *Rantherium suaveolens (RK_2)*

SYSTEMES ECOLOGIQUES DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

TABLEAU III. 13 Proportions relatives des principales espèces annuelles exprimées en % par rapport à la matière sèche totale de de la phytomasse totale des annuelles.

Espèces	% début avril (moyenne de 4 années)
Medicago sp. pl. (surtout *truncatula*)	32,3
Picris coronopifolia	14,6
Anacyclus cyrtolepidioïdes	9,1
Paronychia arabica	8,9
Hippocrepis bicontorta	7,6
Daucus syrticus	6,7
Graminées (surtout *Cutandia dichotoma* et *Schismus barbatus*)	3,2
Launaea resedifolia	1,7
Divers	15,9
Total	100,0

La densité, à l'hectare, des touffes des principales espèces pérennes vivantes est de 30 725 touffes, soit environ 3 touffes par m2. Les densités (mesurées le 31/5/72) des principales espèces pérennes sont les suivantes :

Rhantherium suaveolens	26 549	touffes/ha
Stipa lagascae	1 783	" "
Arthrophytum schmittianum	1 158	" "
Pituranthos tortuosus	273	" "
Helianthemum lippii var. sessiliflorum	273	" "
Teucrium polium	247	" "
Salsola vermiculata var. brevifolia	195	" "
Marrubium deserti	143	" "
Artemisia campestris	78	" "
etc.	-	
Total touffes d'espèces pérennes vivantes/ha	30 725	" "

On a dénombré également 445 touffes mortes de Rhantherium suaveolens à l'hectare.

La phytomasse aérienne totale sur pied, au début de l'automne, avant les premières pousses, et après pâturage durant l'été par les animaux, est de 1615 kg de matière sèche par hectare (moyenne de 6 années). La phytomasse souterraine, à la même période, est de 1 320 kg MS/ha. La phytomasse totale de cette steppe en bon état est donc de 2 935 kg MS/ha. Il s'y ajoute environ 50 à 80 kg MS/ha de litière à la surface du sol.

3.3.1.2. *Les faciès de dégradation (RK_2 et RK_1) et le faciès cultivé (rk_2)*

Comme il apparaît sur la figure IV.4, nous avons distingué deux faciès de dégradation dans ces steppes sableuses, moyennement dégradées (RK_2) et très dégradées (RK_1).

- La végétation de RK_2 est beaucoup plus claire que celle de la steppe originelle. Le recouvrement des espèces pérennes est de l'ordre de 16 % (au lieu de 31 % environ dans la steppe en bon état). La phytomasse aérienne des espèces pérennes en place à la fin de l'été n'est que de 750 kg environ de MS/ha, soit 2 fois moins que celle de RK_3.

Les touffes d'espèces pérennes sont grandes et hautes (elles peuvent atteindre 30 à 40 cm comme dans la steppe bon état) et entre celles-ci on trouve de grandes plages, soit nues, soit occupées par Plantago albicans.

On retrouve sensiblement les mêmes espèces que dans la steppe en bon état, avec en plus la présence d'Helianthemum kahiricum et d'Atractylis serratuloides, espèces normalement liées aux zones encroûtées ou caillouteuses sèches et dont la présence est peut-être en relation avec la pellicule de battance qui se développe à la surface du sol. Les plantes annuelles sont rares, et surtout réparties par plages, là où la germination est moins gênée par la pellicule de battance. En effet, le sol de RK_2 est voisin du sol de la steppe en bon état (RK_3). Il en diffère cependant par l'absence du voile éolien sableux en raison de la végétation très dégradée qui ne peut le fixer et par la présence d'une pellicule de battance, favorisant le ruissellement lors des fortes pluies.

- La végétation de RK_1 est celle d'une steppe très dégradée dans une zone anciennement cultivée. Le recouvrement des espèces pérennes ne dépasse pas 5 %, et leur hauteur reste inférieure à 25 cm. Située à proximité des habitations, cette steppe est fréquemment parcourue par les troupeaux. Rhantherium suaveolens a un recouvrement d'environ 3 %, Plantago albicans de 1 %. Les autres espèces ont ensemble un recouvrement inférieur à 1 %.

La plupart des espèces de la steppe en bon état sont présentes, mais on note en plus des espèces liées généralement aux croûtes ou aux zones caillouteuses : Gymnocarpos decander, Atractylis serratuloïdes et Helianthemum kahiricum, qui pourraient donc également caractériser ces zones de limons à nodules, à sol très dur en surface et très battant. Cynodon dactylon est présent également.

La phytomasse aérienne des espèces pérennes n'est que de 200 kg de MS/ha environ à la fin de l'été, soit 8 fois moins que celle de la steppe en bon état.

Le sol est hérité du sierozem précédent par troncature de l'horizon sableux limoneux de surface. Il est recouvert de nodules calcaires que l'érosion éolienne et hydrique laisse à sa surface. C'est un exemple typique du stade ultime de dégradation des sols de ces steppes surpâturées et défrichées par les labours et soumises une grande partie de l'année à l'action des vents, et quelquefois, à des averses très fortes.

- La végétation des jachères et des cultures (rk_2) est principalement composée d'espèces annuelles telles que Cutandia dichotoma, Matthiola longipetala ssp. kralikii, Daucus syrticus, Medicago truncatula, etc., qui ont en général un bien meilleur développement que dans la steppe.

L'importance du nombre des espèces pérennes dépend du soin apporté au labour et du type d'intervention (araire ou charrue à disques) et les repousses de Rhantherium suaveolens et Pituranthos tortuosus sont souvent abondantes dans les défrichements récents ou les jachères de longue durée. Cynodon dactylon, peu abondant dans la steppe non cultivée, s'y développe progressivement.

On retrouve dans les jachères et cultures, des sols semblables à ceux décrits précédemment pour la steppe RK_3 et RK_2 avec comme différences, la présence d'un horizon de labour très poreux et très favorable à l'infiltration des eaux de pluie, une épaisseur souvent réduite de l'horizon sablo-limoneux après érosion éolienne, et une pellicule de battance. On appellera une telle unité rk_2 dans la suite du texte.

3.3.2. Steppes des zones sableuses de piémont (RK_2-Dissa)

A côté des zones sableuses de plaine (type Zougrata), il existe des zones sableuses sur les piémonts des collines de la Djeffara qui présentent des types de végétation et de sols différents. En effet, les matériaux colluvionés à partir des calcaires, des croûtes calcaires, ou des croûtes gypseuses situées en position amont, sont à l'origine de sierozems sur colluvions sableuses grossières souvent caillouteuses (cf. III.1.2.2). D'autre part, la position topographique en piémont est favorable à une suralimentation en eau du profil par ruissellement. En raison de ces caractéristiques particulières, la steppe originelle à Rhantherium suaveolens a partout été défrichée pour la culture. Nous avons étudié une station présentant un faciès post-cultural à Plantago albicans et Pituranthos tortuosus qui témoigne d'un abandon ancien de la culture ; ce faciès est utilisé actuellement comme pâturage.

Cette station de piedmont est donc à rapprocher, du point de vue du sol et de l'utilisation du sol, du système écologique RK_2 de Zougrata (des grandes plaines sableuses) bien que la biomasse végétale en place soit nettement inférieure.

La végétation a la physionomie d'une steppe basse très claire. Le recouvrement des pérennes varie de 12 à 20 % selon les années. La plus grande part de ce recouvrement et de ces fluctuations revient à Plantago albicans, qui se développe bien en année pluvieuse. On retrouve la plupart des espèces liées au sable dans l'étage aride, et en particulier Echiochilon fruticosum, plus abondant ici qu'à Zougrata en raison de la texture plus grossière. Rhantherium suaveolens défriché ne présente plus que 1 à 2 % de la surface du sol.

Les espèces annuelles sont peu abondantes, même en année favorable, où elles dépassent rarement 10 % de recouvrement en raison sans doute des difficultés de germination liées à la pellicule de battance.

La phytomasse aérienne totale sur pied, au début de l'automne, avant les premières pousses, est en moyenne de 380 kg de MS/ha, constituée principalement par Echiochilon fruticosum, Pituranthos tortuosus et Plantago albicans. La phytomasse des annuelles au printemps n'a jamais dépassé 40 kg de MS/ha au cours des 3 années d'observation (1972-1975).

3.3.3. Friche post-culturale d'un glacis limoneux (AA1)

La station étudiée est liée à un système géomorphologique que l'on trouve fréquemment en Tunisie méridionale : "les séguis", glacis aux pentes relativement faibles, recevant les eaux de ruissellement de montagnes situées à l'amont. Les sols de ces piémonts sont donc sans cesse soumis à des phases érosives ou d'accumulation;ils sont sans cesse remaniés, donc peu différenciés (cf. II. 1.2.2.2).

La végétation originelle de ces glacis à texture lourde, à pellicule de battance généralisée, était une steppe d'armoise blanche dont il ne subsiste plus que des lambeaux après le défrichement pour la mise en culture. Il s'agit de la sous-association à Erodium glaucophyllum de l'association à Artemisia herba-alba et Arthrophytum scoparium. Cette sous-association diffère de l'association type par la présence d'un groupe écologique indicateur d'une teneur plus ou moins élevée du sol en sulfates (Erodium glaucophyl-

lum, Moricandia arvensis ssp. suffruticosa). La présence de Salsola vermiculata var. villosa et de Suaeda mollis indique la tendance à la salure du sol. En fait il ne subsiste de la steppe originelle qu'un stade post-cultural à Arthrophytum scoparium et Moricandia arvensis. Une liste floristique est donnée dans l'annexe n° A22.

Le recouvrement des espèces pérennes de la friche étudiée ne dépasse pas 4 % de la surface du sol comme l'indique le tableau III.14.

TABLEAU III.14 Recouvrement et phytomasse de la végétation pérenne au "Ségui" Telmam (Station AA1, au 10. 12. 72).

Espèces	Recouvrement (%)	Phytomasse kg MS/ha
Arthrophytum scoparium	2,1	105
Moricandia arvensis ssp. *suffruticosa*	1,6	18
Linaria aegyptiaca	0,1	-
Peganum harmala	-	8
Anabasis articulata	-	3
Salsola tetrandra	-	4
Lygeum spartum	-	2
Total	3,8	140

Sur ce tableau il apparaît que le recouvrement total de la couronne des espèces pérennes n'est que de 3,8 % et composé principalement d'Arthrophytum scoparium (2,1 %) et de Moricandia arvensis ssp. suffruticosa (1,6 %). Les autres espèces pérennes présentes ont un recouvrement quasi nul. Il faut noter que, dans les friches plus récentes, ou dans les zones plus régulièrement cultivées, c'est Moricandia et Diplotaxis harra qui dominent très largement, l'Arthrophytum étant éliminé par les labours répétés. La phytomasse de la partie aérienne des espèces pérennes, est très faible par rapport à celle des steppes non cultivées.

Le recouvrement des espèces annuelles est évidemment très variable selon la saison et l'année, et les plus importantes du point de vue du recouvrement sont :
Plantago ovata, Stipa retorta, Schismus barbatus ssp. calycinus, Nasturtiopsis coronopifolia, Malva aegyptiaca, Diplotaxis harra, etc. Leur biomasse est aussi très variable ; elle a pu atteindre 1679 kg/ha au printemps 1976.

3.3.4. Steppe des zones gypseuses (AZ_2)

Les steppes des zones gypseuses couvrent de très grandes surfaces, particulièrement dans la région de la Djeffara. Sur les croûtes et encroûtements gypseux de surface, s'établit une association végétale à Anarrhinum brevifolium et Zygophyllum album. Souvent, un horizon sableux éolien recouvre l'encroûtement gypseux, en particulier s'il y a assez de végétation pour retenir le sable. C'est le type de sol appartenant aux sols calcomagnésimorphes, gypseux, à encroûtement gypseux, (cf. § II.1.2.2.3), et de végétation qui est étudié ici (station du "Km 8"), avec un enracinement abondant seulement dans l'horizon sableux de recouvrement (15 à 30 cm) qui est lui même beaucoup moins gypseux.

L'aspect de la végétation correspond à une steppe de petits chaméphytes dont les plus hauts ne dépassent guère 30 cm de haut. Le recouvrement des espèces pérennes est voisin de 10 % (cf. tableau III.15) ; si la pluviométrie est favorable, le recouvrement des annuelles peut atteindre 15 %.

La liste floristique est donnée en annexe A23. Les annuelles les plus abondantes sont : Hedysarum spinosissimum, Koeleria pubescens ssp. salzmannii, Cutandia dichotoma, Daucus syrticus.

TABLEAU III.15 Recouvrement des plantes pérennes (Station du "Km 8") hiver 1971.

Espèces	Recouvrement %
Echiochilon fruticosum	3,1
Gymnocarpos decander	1,7
Helianthemum lippii var. *intricatum*	1,6
Helianthemum kahiricum	1,5
Plantago albicans	0,5
Pituranthos tortuosus	0,5
Rhantherium suaveolens	0,2
Teucrium polium (s.l.)	p.m.
Ononis natrix ssp. *falcata*	p.m.
Total	9,1

Helianthemum lippii var. intricatum et Gymnocarpos decander, constituent plus de 65 % de la phytomasse des plantes pérennes de cette steppe. La phytomasse aérienne totale sur pied (plantes pérennes) au début de l'automne, avant les premières pousses et après parcours par les animaux, est de 927 kg MS/ha (moyenne de 3 ans). La phytomasse des racines, est de 556 kg ; la phytomasse végétale totale vivante s'établit ainsi à 1483 kg. La proportion de racines des plantes annuelles est en moyenne de 29 % de la phytomasse totale de ces espèces ; cette phytomasse, relativement faible peut s'expliquer par la compacité de l'encroûtement gypseux dans lequel les racines ont du mal à se développer.

3.3.5. Pelouse d'un fond alluvial (ZR)

Les fonds alluviaux du Sud tunisien, au sol en général profond, ont été cultivés à une date plus ou moins récente. La végétation que l'on y trouve est donc toujours post-culturale. La station de Zerkine a été installée sur une friche de quelques années (3 ou 4 ans), régulièrement pâturée par les animaux. Le sol est de type peu évolué d'apport profond (cf. § II. 1.2.2.2).

La végétation a l'aspect d'une pelouse, souvent rase en raison d'un pâturage très accentué. Cynodon dactylon, le chiendent, est la principale plante pérenne, son taux de recouvrement atteint toujours au moins 20 % de la surface du sol, quelle que soit la période de l'année. Les autres espèces pérennes (recouvrement voisin de 2 %) sont également des espèces post-culturales, telles que Artemisia campestris, Pituranthos tortuosus.

Parmi les espèces annuelles, les Graminées sont les plus abondantes (surtout Koeleria pubescens ssp. salzmannii et Cutandia dichotoma). Le tableau III.16 donne les proportions des principaux groupes d'espèces annuelles, et la liste floristique apparaît en annexe A24.

TABLEAU III.16 Proportion (en poids sec) des principales annuelles ou catégories d'annuelles (pelouse de Zerkine)

Espèces	Pourcentage au 16 mars 1972
Graminées	45 %
Légumineuses	1
Composées	36
Diverses	18
Total	100

En raison de la faible proportion des plantes ligneuses, la phytomasse végétale sur pied de cette pelouse est fonction du degré de pâturage qu'elle a subi. Au plus bas, elle est de l'ordre de 200 kg de MS/ha ; après une mise en défens d'un an, elle a dépassé 2 tonnes. Une mesure de phytomasse souterraine sur tranchée a donné l'équivalent de 646 kg de MS/ha, principalement composé de rhizomes de Chiendent.

A noter que d'ordinaire, ces fonds alluviaux présentent des nebkas colonisés par le Jujubier (Ziziphus lotus) qui représente une phytomasse ligneuse très importante estimée entre 2 et 10 tonnes par ha avec une moyenne de 4 tonnes par ha. Dans le cas de notre station, comme il est fréquent, les Jujubiers ont été éliminés pour laisser plus de place à la culture.

3.4. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

3.4.1. Généralités sur le dispositif et les méthodes de mesure utilisées

Le principe des mesures entreprises durant six années d'observations est le suivant : sur une formation végétale spontanée naturelle, exploitée sous forme de pâturage, on caractérise aussi précisément que possible le sol, la végétation, le climat, l'action de l'homme et, pendant plusieurs années, pour tenir compte de la variabilité climatique interannuelle, on suit l'évolution de la partie aérienne de la végétation (en termes quantitatifs et qualitatifs), en fonction des conditions climatiques et du bilan d'eau des sols.

Le dispositif des mesures stationnelles est installé sur une zone de steppe représentative et homogène au point de vue physionomique ce qui est vérifié par la prospec-

tion pédologique et des relevés de végétation.
Cette installation peut être décrite de la manière suivante :

- une parcelle est clôturée en été (période de repos de la végétation) en vue d'effectuer les mesures sur un pas de un an, la végétation étant exclue du pâturage "des animaux domestiques". Tout au long de l'année de végétation (septembre à août) des coupes successives sont effectuées en l'absence d'animaux domestiques, pour suivre l'évolution de la phytomasse aérienne et pour avoir ainsi une évaluation de la production végétale disponible. La phénologie des espèces est également observée.

- une ou plusieurs fosses pédologiques sont creusées à proximité afin de vérifier la distribution de l'enracinement, de déterminer la phytomasse souterraine (une seule fois), de comprendre le sol de la station, d'effectuer un certain nombre d'analyses chimiques des sols (fertilité, salure, gypse, $CaCo_3$, etc.).

- une station météorologique simplifiée est installée à proximité de la station, comprenant :

  * un abri avec thermomètres à maximum et minimum, un thermo-hygrographe, un évaporomètre (Piche)
  * un pluviomètre (400 cm^2) à 1,50 m de hauteur et un pluviomètre totalisateur (100 cm^2) à la surface du sol.

Certaines stations (Telmam, Zita) ont été mieux équipées, avec en plus : bac à évaporation, psychromètre, anémomètre, roséomètre, pluviographe, etc. ; d'autres (Km 8, Zerkine, Km 47), en revanche, ne comportent qu'un pluviomètre totaliseur à la surface du sol.

Les relevés météorologiques ont été effectués, soit 4 fois par jour (Telmam, Dissa), soit journellement (Km 52), soit chaque fois qu'il a plu (Km 47, Km 8, Zerkine), par des observateurs installés sur place, ou se déplaçant à partir du laboratoire de Gabès. Les mesures sont dépouillées et présentées sous forme de données décadaires.

3.4.2. Suivi des variations saisonnières des réserves en eau du sol et détermination de l'ETR

Tout au cours de la campagne annuelle (allant du 1er septembre au 31 août), l'état d'humidité du sol est mesuré par la méthode pondérale des profils hydriques, les prélèvements étant effectuées à la tarrière à main, avec séchage des échantillons à l'étuve à 105°C et à l'étuve à vide pour les échantillons gypseux.

A partir du début de la période des pluies, les mesures sont réalisées tous les quinze jours, jusqu'à un mois après la fin de cette période, et tous les mois durant la période estivale. Par ailleurs, une mesure est faite immédiatement après chaque pluie importante ($P > 10$ mm). Les prélèvements d'échantillons de terre sont effectués tous les 10 cm, jusqu'à 50 cm, et tous les 20 cm au-delà, durant toute l'année, la tranche profonde du sol ne subissant aucune variation d'humidité (tranche sèche). Les réserves en eau disponible pour la végétation sont calculées pour une épaisseur de sol susceptible de contenir la rhizosphère (cf. Section II).

A la fin de "l'année hydrologique", 31 août, le sol est supposé revenu à son état initial ; par ailleurs la tranche sèche est contrôlée toute l'année. Autrement dit, si P est la pluie et R le ruissellement, dans les steppes arides étudiées, l'ETR annuelle (qui est aussi la "pluie efficace") devient donc :

ETR = P - R dans les zones qui ruissellent
ETR = P + R dans les fonds qui reçoivent un apport par ruissellement
ETR = P dans les zones plates et en année moyenne.

Grâce aux nombreux profils hydriques réalisés tout au cours de l'année, il est relativement aisé de suivre l'évolution de l'ETR moyenne journalière à l'échelle du mois durant toute l'année, et à l'échelle décadaire durant la saison pluvieuse.

Concernant le bilan d'eau, si sur les steppes sableuses profondes ne ruisselant pas (RK_3), la méthode du profil hydrique est très satisfaisante, il n'en est pas de même sur les stations pouvant ruisseler (RK_2, RK_1, AZ_2) et ne présentant pas un dispositif de mesure de ruissellement comme c'est le cas au Dissa et au Telmam ; la critique est d'ailleurs valable pour Zerkine (ZR), où nous avons des apports par ruissellement. En effet, sur ces stations démunies d'équipement hydrologique, si nous évaluons avec précision le stock d'eau du sol immédiatement après la pluie (24 h au maximum), nous n'avons pas toujours eu la chance de la mesurer immédiatement avant la pluie; ainsi l'appréciation de la pluie efficace, donc de l'ETR, est forcément soumise à des estimations pour ces stations lors des périodes de recharge des réserves en eau du sol.

Néanmoins, dans ces cas, nous estimons ne pas avoir eu plus de 10 % d'erreur, la technique du profil hydrique, et celle de la mesure du ruissellement, confrontées pendant cinq années sur une surface de deux hectares au Telmam (BOURGES et al., 1977) ayant donné des résultats très comparables dans l'établissement du bilan hydrique.

3.4.3. Mesures de l'évolution de la phytomasse aérienne et critique des mesures

La parcelle de 1200 à 1500 m2, clôturée en été, fait l'objet de 5 à 6 coupes durant l'année de végétation. Pour cela la parcelle est divisée en petites placettes élémentaires dont la taille varie avec le type de végétation (de 4 m2 à 32 m2). Une dizaine de ces placettes sont échantillonnées à chaque coupe pour les espèces pérennes. Toutes les espèces pérennes sont séparées et pesées en vert (MV) ; les espèces annuelles sont pesées globalement en vert (MV), sauf au printemps où le tri, espèce par espèce, est effectué. Des échantillons sont séchés à l'étuve à 75°C - 80°C pour obtenir la matière sèche (MS). Pour les espèces pérennes, les pousses de l'année sont séparées de la fraction ligneuse et pesées séparément. Les espèces annuelles, les petites espèces pérennes et la litière sont en général échantillonnées sur des placettes plus petites et plus nombreuses (une vingtaine de placettes de 4 m2 à chaque coupe). Les accroissements des parties ligneuses sont donc négligés, d'une part en raison des diffilcutés de mesure engendrées par les pertes (chute de brindilles) durant l'année, et d'autre part, parce que la croissance printanière est si rapide que pratiquement aucune lignification n'a lieu avant l'été (ORSHAN et DISKIN, 1968).

La partie consommable de la végétation a fait souvent l'objet d'analyses afin de pouvoir éventuellement exprimer les résultats en unités fourragères (UF) ou en valeur alimentaire pour les animaux (cf. Annexe A26).

On dispose de la sorte d'un certain nombre d'ensembles de mesures (5 ou 6 en moyenne) pour une première année, ce qui permet de tracer la courbe de l'évolution saisonnière de la phytomasse aérienne, espèce par espèce, ou groupe d'espèces par groupe d'espèces. On a ainsi une bonne estimation de la production par différence entre la phytomasse initiale et la phytomasse au pic de végétation pour chaque espèce ou groupe d'espèces. L'année suivante, la clôture est déplacée sur une zone pâturée voisine à végétation identique ; une nouvelle série de mesures est effectuée et reliée aux paramètres climatiques de cette deuxième année.

Une des difficultés réside dans l'hétérogénéité de la végétation. Il eut été nécessaire, pour augmenter la précision des résultats, d'effectuer plus d'une dizaine de répétitions par coupe ou d'augmenter la surface échantillonnée. Selon les stations, une surface de 36 à 288 m2 est échantillonnée, soit au total 929 m2 à chaque coupe durant

les années où les 8 stations fonctionnaient en même temps. En raison des moyens disponibles, il était difficile de faire davantage, compte tenu des déplacements et des manipulations nécessaires pour le tri des espèces et le séchage des échantillons.

D'autre part, le fait de déplacer la parcelle clôturée chaque année en été sur une zone voisine pâturée, entraîne forcément des différences interannuelles dans la quantité de phytomasse initiale (partie ligneuse des plantes pérennes principalement).

Aussi, pour tenter de résoudre ces difficultés et rendre les comparaisons interannuelles possibles, avons-nous rapporté les données de chaque coupe pour chaque espèce pérenne, c'est-à-dire le pourcentage des pousses vertes de l'année par rapport au poids total de l'espèce (%p), à la moyenne des parties ligneuses de l'espèce correspondante calculée à partir des mesures effectuées toutes les années de mesure. Les calculs n'ont donc été effectués définitivement qu'à la fin de l'expérimentation.

Ainsi chaque année on a :

- quantité de matière sèche des pousses annuelles des espèces pérennes (MSp) :

$$MSp = MV. \% MSp$$

- quantité de matière sèche des parties ligneuses (MSl) :

$$MSl = MV. (1 - \%p). \% MSl$$

A la fin de l'expérimentation, après avoir fait la moyenne des $\overline{MSl}$ des années de mesure (1), on obtient, pour chaque date de coupe la quantité de matière sèche des pousses :

$$MSp = MV. \%p. \% MSp. \overline{MSl}/MSl = \frac{\%p}{1 - \%p} MSl$$

Le calcul d'erreur effectué par RAMBAL (1980) sur nos mesures, montre que le coefficient de variation (CV) est de 0,40 pour les espèces annuelles et les petites plantes pérennes (telles que Plantago albicans par exemple). Le CV de la pousse des pérennes décroît rapidement depuis le début de la pousse pour se stabiliser autour de 0,15. Le CV des parties ligneuses est également voisin de 0,15. On donnera, dans les tableaux de résultats, la moyenne et l'écart type calculé sur la base de ces coefficients.

Cette méthode de mesure de la production végétale aérienne des espèces pérennes, par séparation des pousses vertes de l'année, du reste de la plante, n'est évidemment pas rigoureuse car elle néglige la quantité de matériel végétal déjà déposée dans le bois. Il est cependant difficile d'opérer autrement. En raison de l'hétérogénéité du matériel végétal et de sa faible production, il faudrait couper d'énormes surfaces pour mesurer la production des plantes pérennes ligneuses de ces steppes par une différence entre deux mesures de phytomasse totale à des dates différentes.

Une autre critique à faire à ce dispositif qui était destiné a évaluer la production primaire, et la production pastorale, est la suivante : pendant un an, la parcelle où sont effectuées les mesures n'est pas soumise au pacage des animaux. Le comportement des végétaux (surtout les espèces pérennes ligneuses) s'en trouve affecté ; en effet, pendant la période de végétation, le passage du troupeau favorise en général la repousse et retarde la lignification des pérennes ; ceci échappe à notre dispositif de mesure. A l'opposé, la mise en défens durant une année semble être bénéfique pour les annuelles ; sur le parcours traditionnel les annuelles sont souvent consommées par les animaux avant d'avoir atteint leur développement maximum.

---

(1) Par exemple, pour RK_3, les moyennes de la quantité de parties ligneuses sur la station sont passées entre 1971 et 1977 par les chiffres suivants : 1381, 1412, 1458, 1551, 1552, 1466 kg MS/ha.

Par ailleurs, la mise en défens n'exclut pas les petits herbivores (rongeurs principalement). D'après quelques piégeages effectués sur la station de Km 52, ils pourraient prélever certaines années de 10 à 20 % de la production, ce qui n'a pas été pris en compte dans notre protocole.

Pour terminer cet exposé sur les méthodes d'étude, il faut citer, l'utilisation de la modélisation. ROMANE (1974) a proposé pour la steppe de la station RK_3 une version simplifiée du modèle développé par le "Dèsert Biome" des Etats-Unis (GOODALL, 1973). RAMBAL (1980), sur cette même station, a modélisé la production primaire et l'utilisation de l'eau. Ces deux modèles ont été validés sur les années de mesures de cette station. L'exploitation de ces modèles a été féconde (RAMBAL, 1980 ; FLORET et al., 1981).

3.5. RESULTATS DES MESURES

Les mesures ont été faites du 1er septembre 1971 au 31 août 1977. Si la steppe à *Rhantherium suaveolens* en bon état (RK3) a été suivie régulièrement durant toute cette période, il n'a pas été possible, pour des raisons matérielles bien évidentes, de maintenir en permanence un lourd dispositif de mesures sur l'ensemble des stations. Néanmoins, dans la région concernée, nous pensons avoir cerné les principaux problèmes de la production pastorale et de ses relations avec le milieu, au cours de ces six années. Après un bref aperçu sur le climat de cette période, on présentera les résultats des mesures, pour chacune des stations, ainsi qu'une comparaison avec des données sur la production végétale d'autres régions arides méditerranéennes.

3.5.1. Données climatiques

Les Annexes 3 donnent les principaux paramètres climatiques mensuels et annuels pour les années d'observation, et pour les stations disposant d'un poste météorologique (Dissa, Telmam, Km 52), ainsi que pour la station de Gabès (station de référence de longue durée). Sur les autres sites de mesure, nous avons uniquement mesuré les pluies.

On peut faire les commentaires suivants :

- *Pluviosité* : pour l'ensemble de la période étudiée, à l'exception de l'année 1972-73 (légèrement inférieure à la moyenne) et de l'année 1976-77 (nettement sèche), la hauteur des précipitations annuelles a été très supérieure à la normale sur la totalité des stations. La variabilité est le caractère le plus marquant ; le coefficient annuel a atteint 6, alors que le mensuel a été voisin de 200 entre décembre 1973 et décembre 1976! A titre d'exemple, il est tombé en 16 heures, le 12 décembre 1973, 80 % des pluies de l'année, et plus de 100 % de la normale sur l'ensemble des stations. L'automne n'a jamais été très arrosé, sauf à Gabès et à Zerkine ; l'automne 1973 a été particulièrement sec, avec un début de la saison des pluies le 4 décembre seulement. A l'exception de l'hiver 1971-72, qui a été sec, cette saison a été en général plus arrosée que la normale. Quant au printemps, à l'exception de 1977, qui a été très sec, il a été dans l'ensemble moyennement pluvieux.

Le nombre de jours de pluie est très variable d'une année à l'autre et entre les stations, et sans relation directe avec la quantité

des précipitations ; l'année 1976-77, avec 91,8 mm, a eu autant de jours de pluie (15) que l'année 1973-74 avec 371,2 mm au Telmam. Nous avons aussi mentionné le nombre de jours de pluie >10 mm ; on constate qu'il est dans l'ensemble compris entre 4 et 10 jours, ce qui est peu. Ces pluies supérieures à 10 mm, qui ne sont pas reprises trop vite par l'évaporation, sont en effet les plus intéressantes pour la production végétale. On constate de même une grande variabilité interannuelle et interstationnelle en ce qui concerne les débuts et fins de la saison des pluies, ainsi que la durée de cette dernière.

- *Autres paramètres climatiques*

Concernant les températures, il semble que la température moyenne annuelle, sur l'ensemble des années d'observation, ait été légèrement inférieure à la normale calculée à Gabès.

Cependant, à Gabès aussi, les hivers ont été plus doux, les printemps moins chauds que la normale et les étés normaux. Sur les stations plus continentales (km 52, Telmam, Dissa), les hivers sont nettement plus froids (3 à 4 degrés de moins pour la moyenne des minima de janvier) et plus longs, les printemps moins chauds, et les étés (à l'exception du Dissa) plus chauds qu'à Gabès (3 à 4 degrés de plus pour la moyenne des maxima d'août).

Durant ces six années, si nous n'avons jamais eu de jours de gelée à Gabès, nous en avons cependant enregistré au Km 52 et au Telmam et au Dissa (environ 1 ou 2 jours/an).

Le nombre annuel de jours de sirocco a été moins important durant toute la période de mesure que la normale enregistrée à Gabès. Ce nombre est cependant plus important au Telmam et au Km 52 qu'à Gabès.

L'évaporation Piche est très variable d'une année à l'autre, même à Gabès ; les écarts interannuels peuvent atteindre 30 %. Dans l'ensemble, le pouvoir évaporant de l'air est de 20 à 30 % plus important au Km 52 et au Telmam qu'à Gabès ; au Dissa, plus proche de la mer, cet écart est réduit de 5 à 15 %.

En conclusion, il ne semble pas, au vu de ces six années d'observation, plus pluvieuses que la normale, que l'effet de continentalité joue énormément sur les pluies ; par contre, il apparaît que le régime thermique sur les stations de l'intérieur est plus contrasté (hiver plus

froid et plus long, été plus chaud) qu'en bordure de mer, et que les conditions d'aridité sont renforcées par un fort pouvoir évaporant de l'air.

3.5.2. Evolution de la phytomasse aérienne et des réserves en eau du sol. Production.

3.5.2.1. *La steppe en bon état des plaines sableuses (RK_3)*

L'évolution de la phytomasse aérienne des principales espèces ou catégories d'espèces au regard de la pluviosité et de la réserve en eau utile à la végétation, apparaît sur la figure III.9 . La production est donnée sur le tableau III. 17.

TABLEAU III.17 Production d'une steppe à *Rhantherium suaveolens* en bon état (RK_3-Km 52).

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie ⊗ F.M.A.M. (mm)	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	*Plantago albicans*	Autres espèces pérennes	total
1971-1972	191	191	116	87 ± 35	48 ± 19	883±132	1018
1972-1973	210	253	59	532 ± 213	97 ± 39	531± 80	1160
1973-1974	315	293	42	108 ± 43	85 ± 34	869±130	1062
1974-1975	186	186	89	284 ± 114	215± 86	512± 79	1011
1975-1976	295	295	145	154 ± 62	261±104	1130±164	1545
1976-1977	85	85	27	4 ± 2	111± 42	107± 16	222

⊗ F.M.A.M. : Février, Mars, Avril, Mai.

On peut faire les principaux commentaires suivants :

- les trois années qui ont reçu sensiblement 190 à 200 mm de pluie (71-72, 72-73, 74-75), soit un peu plus que la normale, ont eu une production de 1000 à 1500 kg de matière sèche par ha ;

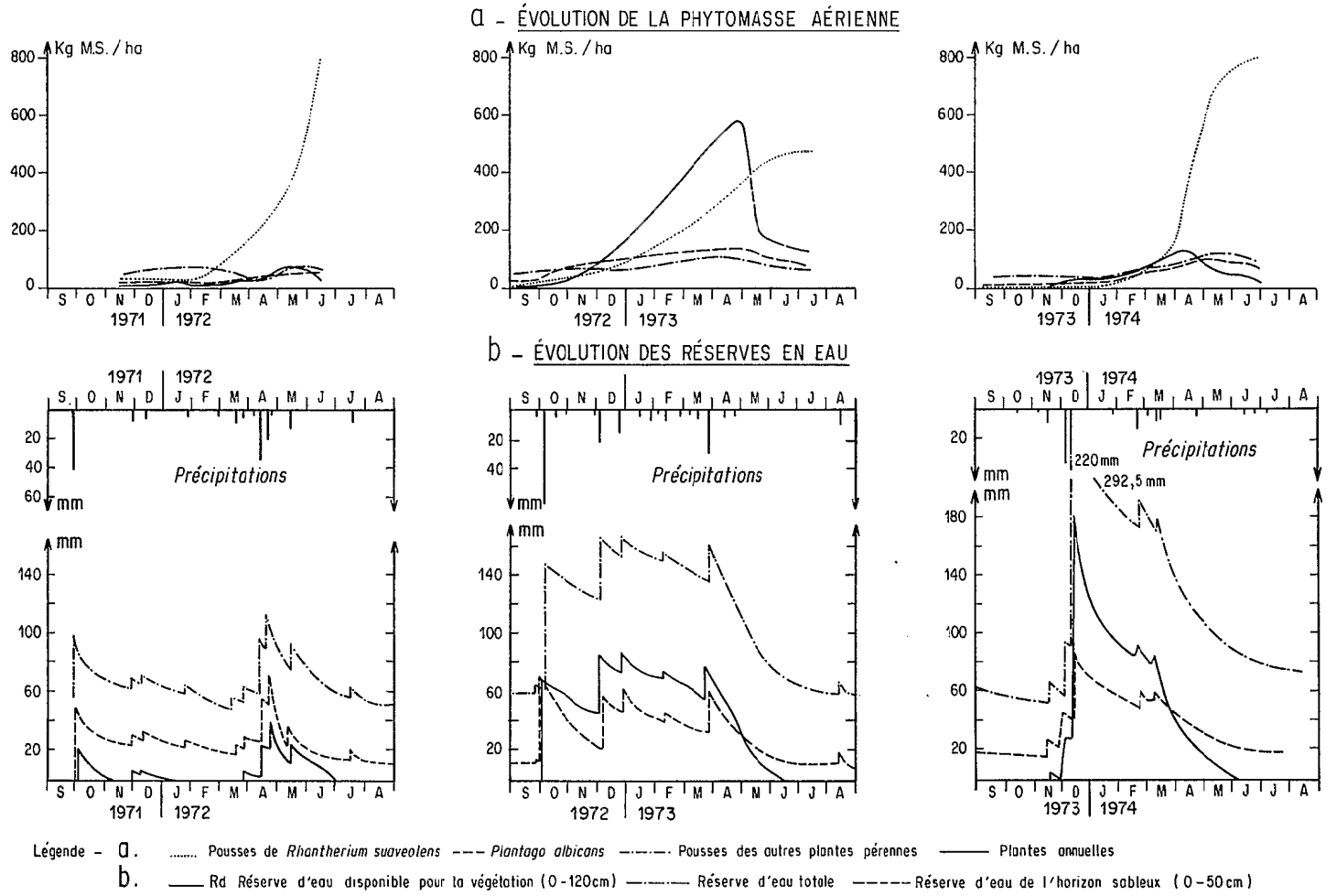


Fig. III.9 - Evolution de la phytomasse aérienne et des réserves en eau du sol d'une steppe de plaine sableuse en bon état à Rhantherium suaveolens (RK_3-Km 52) (d'après FLORET et PONTANIER, 1978).

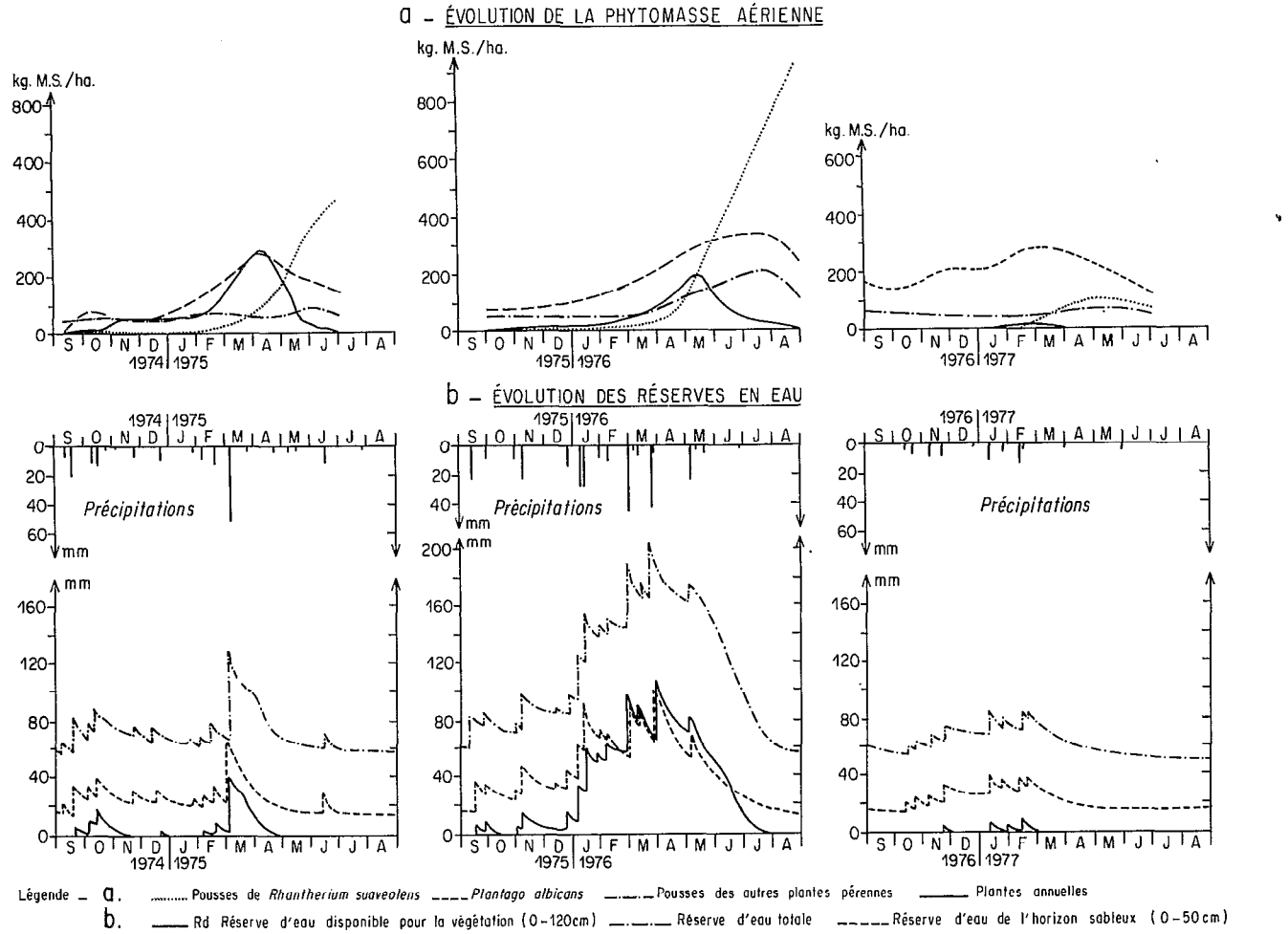


Fig. III.9 - (suite)

- les deux années, qui ont eu des précipitations exceptionnelles, voisines de 300 mm, montrent une production de 1062 kg en 73-74 et 1550 kg en 75-76. La production de 1062 kg est le résultat d'une pluviosité mal répartie (80 % des pluies tombées en 2 averses), alors qu'en 1975-76 les pluie régulièrement réparties ont permis une production de 1550 kg/ha ;
- l'année sèche (76-77) correspond évidemment à une très faible production (222 kg MS/ha).

3.5.2.2. *Les steppes dégradées des plaines sableuses (RK_2 et RK_1)*

Les données concernant le faciès de dégradation RK_2 de la steppe à *Rhantherium suaveolens* de plaine, sont rassemblées dans le tableau III.18 et sur la figure III.10.

TABLEAU III.18 Production d'une steppe de plaine sableuse à *Rhantherium suaveolens* en état de dégradation moyen (RK_2 - Km 52)

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M. (mm)	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	*Plantago albicans*	Autres espèces pérennes	total
1972-1973	210	193	59	120 ± 48	250 ± 100	489 ± 73	859
1973-1974	315	189	42	44 ± 18	108 ± 43	537 ± 80	689
1974-1975	186	176	88	7 ± 3	50 ± 20	406 ± 61	463

Les données concernant le faciès de dégradation RK_1 de la steppe à *Rhantherium suaveolens* de plaine, sont indiquées dans le tableau III.19 et sur la figure III.10.

TABLEAU III.19 Production d'une steppe de plaine sableuse à *Rhantherium suaveolens* en mauvais état (RK_1-Km 47).

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M. (mm)	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	*Plantago albicans*	Autres espèces pérennes	total
1973-1974	374	153	42	72	71	540	686
1974-1975	199	183	93	24	62	412	498

Il s'agit de faciès de dégradation avec encore une bonne densité d'espèces pérennes, mais très surpâturés. La mise en défens, pendant une année, provoque une "explosion" des plantes pérennes, en particulier du *Rhantherium*, qui représente de 75 à 80 % de la production des pérennes (*Plantago albicans* exclu).

Ainsi, on peut être amené à sous-estimer à première vue la production de ces steppes très claires qui, avant érosion complète du sol, montrent une bonne capacité de régénération en raison d'un bon enracinement. Il faut noter cependant les faibles productions des annuelles et du Plantain qui ont des difficultés à germer sur ces limons battants. A signaler également le fort ruissellement. La litière représente de 20 à 25 kg MS/ha et varie peu au cours de l'année.

Au total, pour les deux années d'observation, la production de RK_1 est voisine de celle du faciès de dégradation RK_2 qui présente cependant une phytomasse presque 4 fois supérieure à celle de RK_1.

3.5.2.3. *La jachère et les cultures des plaines sableuses (rk_2)*

Les résutats concernant cette jachère sont donnés sur le tableau III.20 et la figure III.10.

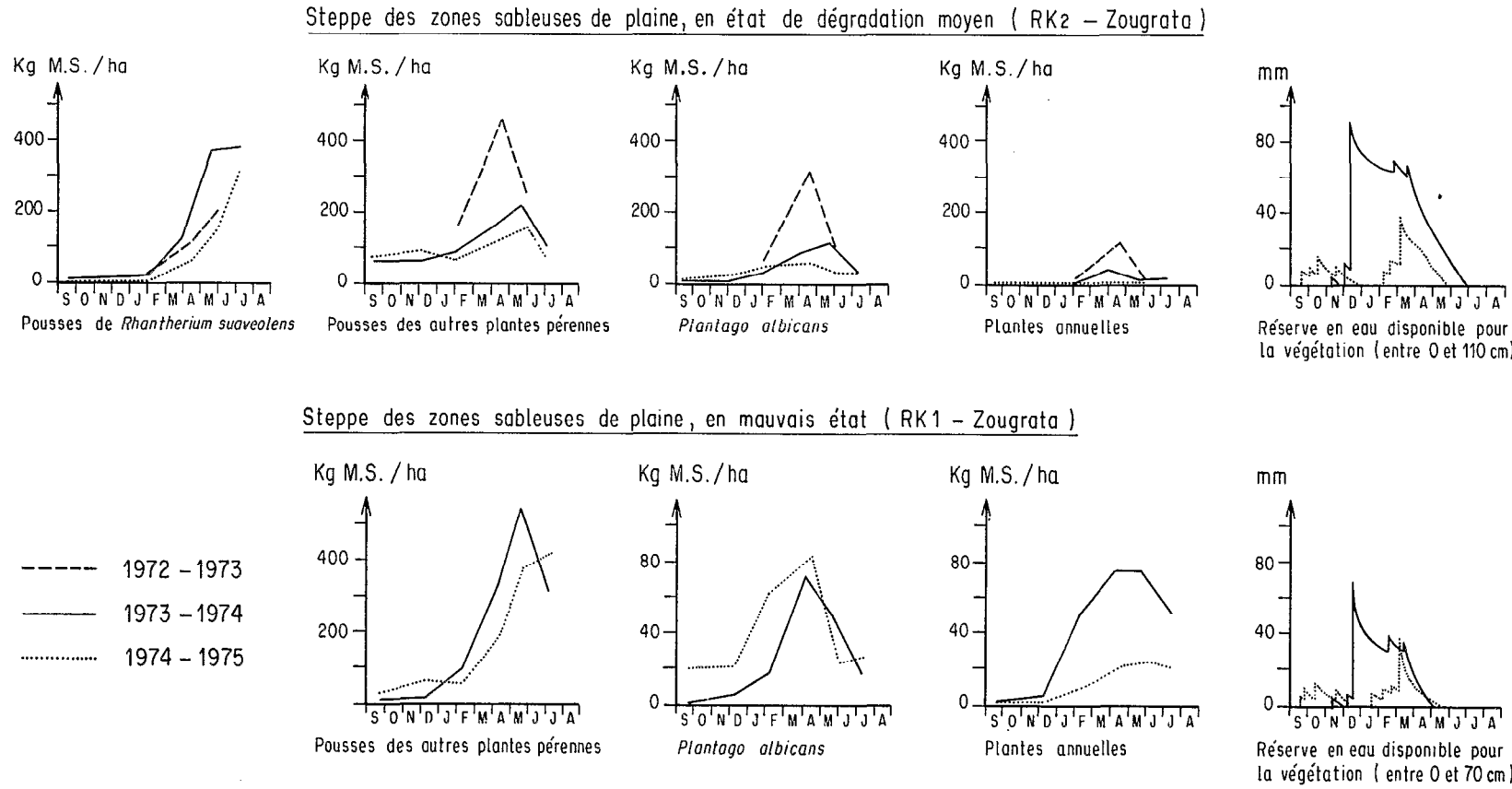


Fig. III.10 - Evolution de la phytomasse aérienne et des réserves en eau du sol des steppes dégradées des zones sableuses (RK_2, RK_1, rk_2-Km 52 et RK_2 Dissa) (d'après FLORET et PONTANIER, 1978).

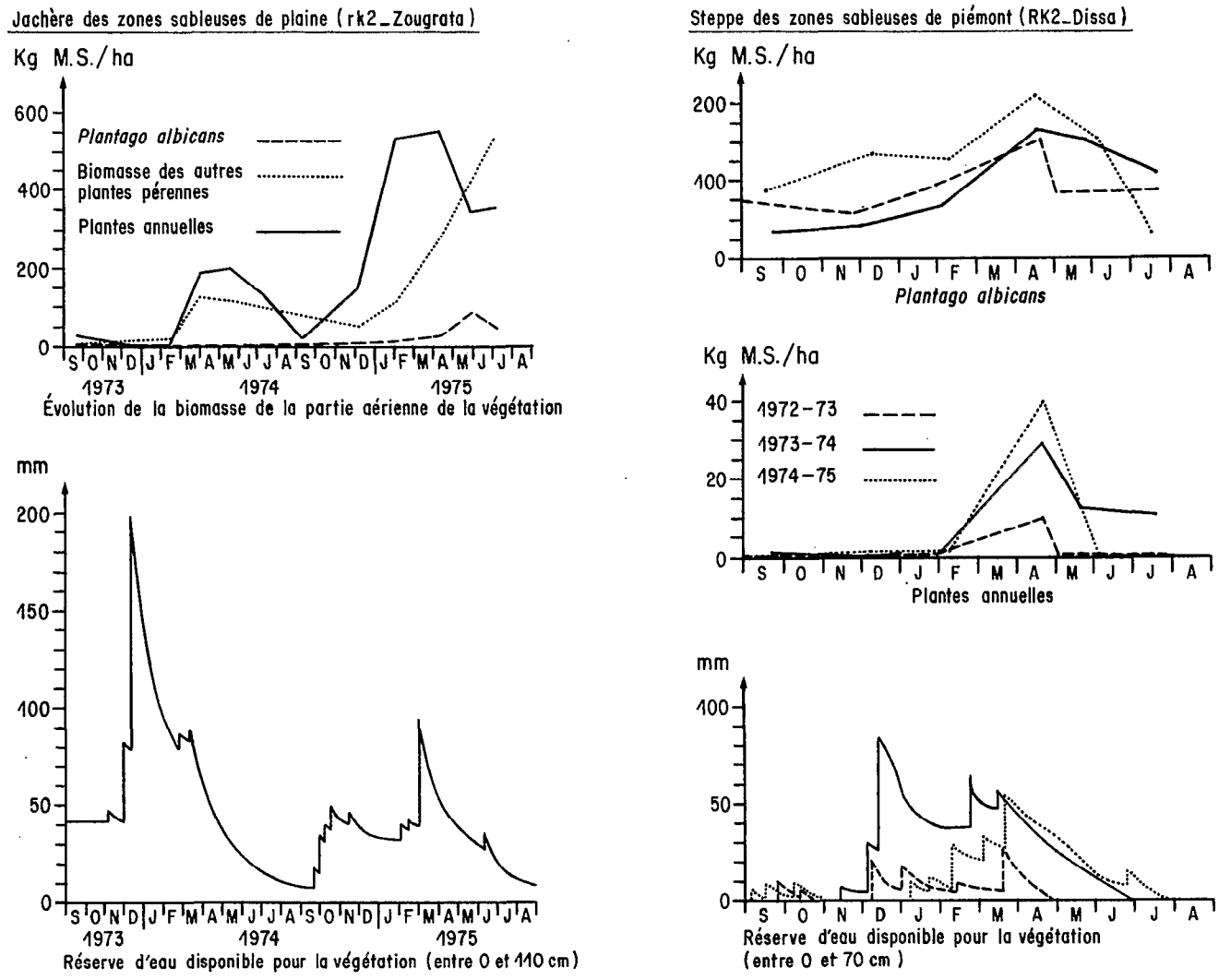


Fig. III.10 - (suite)

TABLEAU III.20 Production d'une jachère (rk_2), après défrichement d'une steppe sableuse en bon état.

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M. (mm)	Production de l'orge		Production de la végétation naturelle (kg MS/ha/an)			
				grains (qx/ha/an)	chaumes restants (kg MS/ha)	Espèces annuelles	*Plantago albicans*	Autres espèces pérennes	total
1972-1973	210	210	59	11,6	non mesuré				
1973-1974	315	191	42	non mesuré	240	211 ± 84	5 ± 2	107 ± 16	323
1974-1975	186	186	79	non mesuré	80	558 ±233	36 ± 14	476 ± 71	1070

Les espèces pérennes, incomplètement détruites par le labour, ont commencé à rejeter de souche. Cette même année, une parcelle voisine de celle mise en défens fut semée en orge et a produit 469 kg de grains et 192 kg de paille à l'ha.

La seconde année a été favorable pour les annuelles de cette jachère, produisant 558 kg/ha contre 284 kg/ha seulement dans la steppe non labourée. Les espèces pérennes (autres que le Plantain, qui a mal supporté le labour) ont continué à se reconstituer. Ces espèces pérennes ont fourni au total une phytomasse de 580 kg après deux années de jachère avec mise en défens, qui se décompose comme suit :

Rhantherium suaveolens	61,4 %	de la phytomasse
Argyrolobium uniflorum	13,6 %	"
Pituranthos tortuosus	12,5 %	"
Plantago albicans	8,2 %	"
Arthrophytum schmittianum	4,3 %	"
Cynodon dactylon	p.m.	"
Total	100	

Au total, la production de cette jachère rk_2 a été voisine, dès la seconde année, de celle de la steppe en bon état RK_3. Cependant les remarques suivantes limitent l'intérêt de cette production:

- les espèces annuelles sont constituées pour moitié par *Cutandia dichotoma*, peu appétée par les animaux, alors que dans RK_3 le pourcentage de Graminées dans les annuelles est inférieur à 10 % ;
- le sol se "ferme" progressivement par la formation d'une pellicule de battance et il n'est pas certain que la germination des annuelles sera aussi facile par la suite ;
- enfin, la production sur défriche est toujours bonne les premières années, avant l'épuisement des sols. D'autre part, l'érosion éolienne, sur ces sols sableux, non fixés par la végétation pérenne, réduit progressivement l'importance du profil utile et les possibilités de réserves en eau.

3.5.2.4. *La steppe de zone sableuse de piémont en état de dégradation moyen (RK_2-Dissa).*

Les résultats sont indiqués dans le tableau III.21 et sur la figure III.10.

TABLEAU III.21 Production d'une steppe des zones sableuses de piémont, en état de dégradation moyen (RK_2-Dissa).

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M. (mm)	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	*Plantago albicans*	Autres espèces pérennes	total
1972-1973	164	164	68	10 ± 4	76 ± 30	201 ± 30	287
1973-1974	260	200	68	29 ± 12	130 ± 52	256 ± 38	415
1974-1975	199	199	111	40 ± 16	122 ± 44	136 ± 20	298

La production des espèces annuelles reste très faible sur ce milieu quelle que soit la pluviosité de l'année, en raison des difficultés de germination. Les plantes pérennes, autres que le Plantain, semblent avoir bien profité de la pénétration profonde de l'eau en 1973-74 surtout *Echiochilon fruticosum* et *Argyrolobium uniflorum*. Cependant, même en ajoutant *Plantago albicans*, on est loin de la production du RK_2 de la plaine de Zougrata la même année.

D'une façon générale, la production de ce faciès de dégrada-

tion de la steppe à *Rhantherium suaveolens* est très faible, du fait du bas niveau de fertilité et de l'absence de voile sableux éolien en surface. En effet les différentes quantités d'eau disponible dans le sol selon les années n'ont pas entraîné de grosses différences dans la production. Le sol se déssèche très vite en surface et l'eau n'est réellement "utile" que si les pluies sont suffisantes pour pénétrer assez profondément.

3.5.2.5. *La friche post-culturale sur glacis limoneux (AA_1)*

Cette jachère post-culturale avait été cultivée en 1971-72. Elle a été clôturée au cours de l'hiver 1972-73 et aucune intervention culturale ne lui a plus été appliquée. Elle a ainsi progressivement acquis l'aspect d'une friche post-culturale sur laquelle nous avons effectué des mesures.

Les résultats des 4 années de mesure sont indiqués dans le tableau III.22 et la figure III.11.

TABLEAU III.22 Production d'une friche post-culturale sur glacis limoneux (AA_1 "Ségui Telmam").

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M. (mm)	Production végétale totale des espèces annuelles (kg MS/ha)
1972-1973	164	144	55	360 ± 144
1973-1974	371	257	53	1051 ± 420
1974-1975	167	143	103	1039 ± 416
1975-1976	357	300	127	1679 ± 671
1976-1977	96	94	35	à peu près nulle non mesurée

Il apparaît que les pluies printanières sont déterminantes pour la production des espèces annuelles : 103 mm bien répartis au printemps de la campagne 1974-75 (année à 167 mm seulement) sont proportionnellement plus favorables que 53 mm au printemps de la campagne 1973-74 (année à 371 mm).

La forte production d'annuelles de 1975-76 est remarquable en regard de celle des autres stations étudiées (bon niveau de fertilité).

Selon les années, les espèces annuelles dominantes dans la production varient considérablement. Par exemple :

- 1973-73 (mauvaise année), *Plantago ovata* représente 72 % de la production
- 1975-76 (bonne année), *Stipa retorta* représente plus de 70 % de la production.

A titre indicatif, quelques mesures de la production de céréales ont été effectuées au voisinage de la parcelle (tableau III.23).

TABLEAU III.23 Quelques indications sur les rendements en céréales (terre de *Segui*, aa Telmam).

Année	Céréales	Poids des grains kg /ha	Poids des tiges en kg MS/ha	Poids des racines en kg MS/ha
1972-73	Orge	330		
	Blé tendre	340		
	Blé dur	130		
1973-74	Orge	821	660	200
	Blé dur	788	700	225
1975-76	Orge	1120		

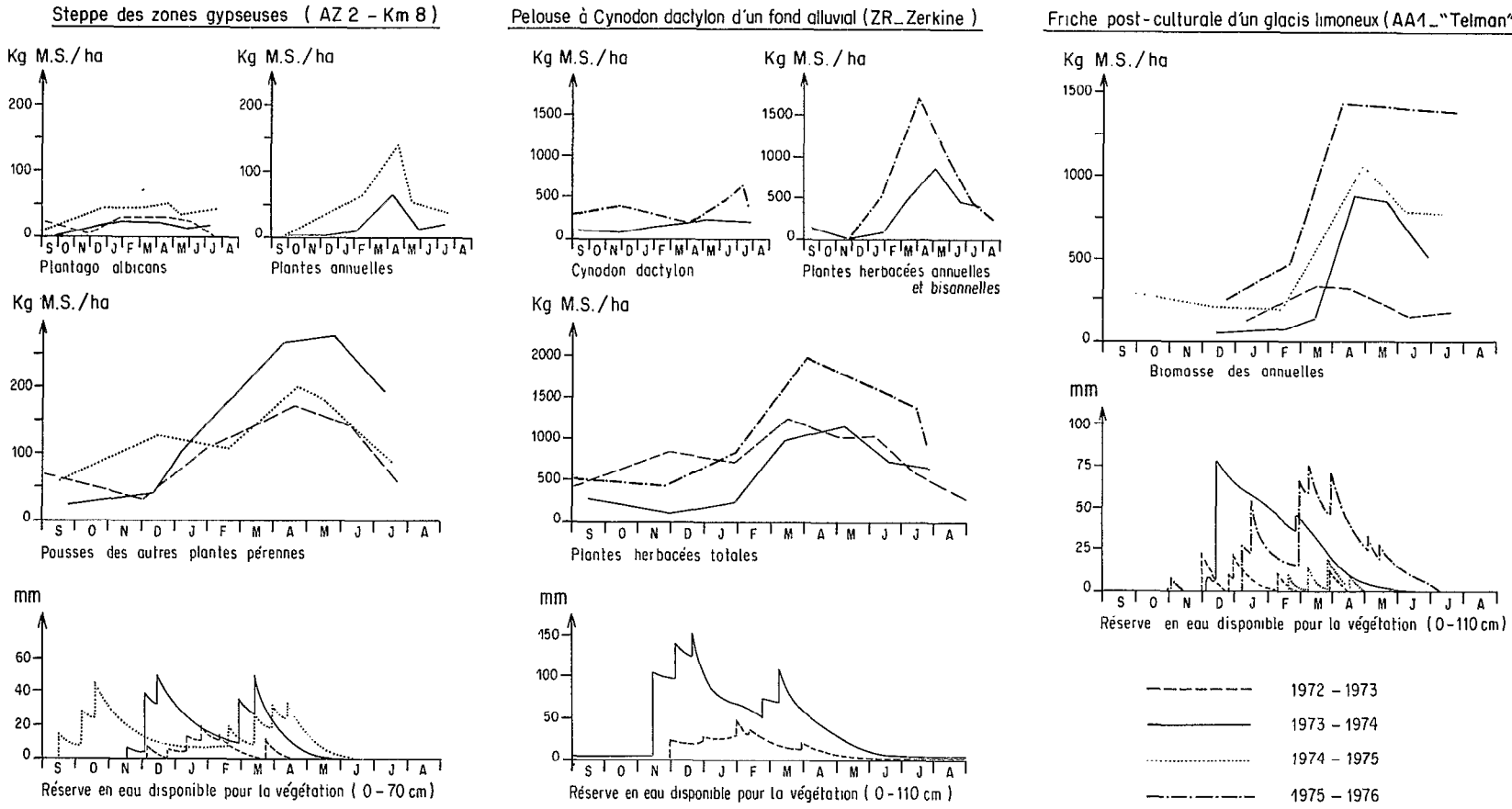
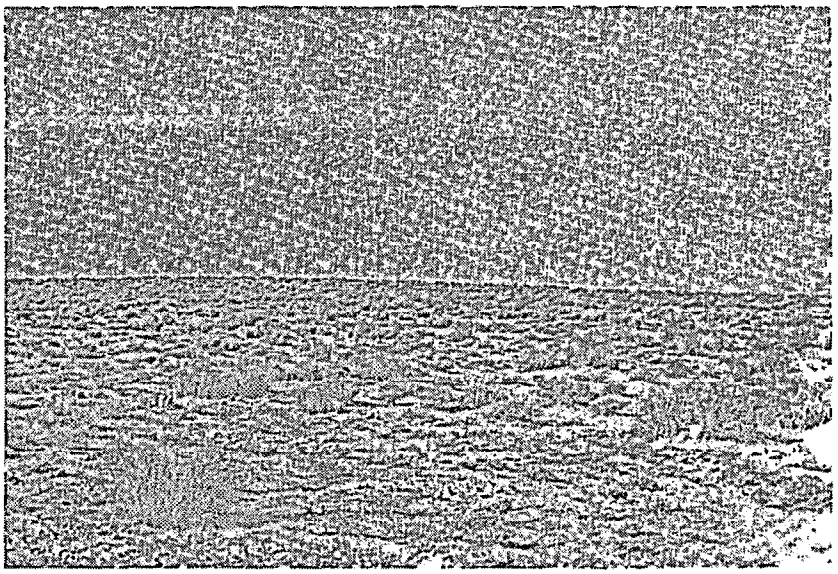
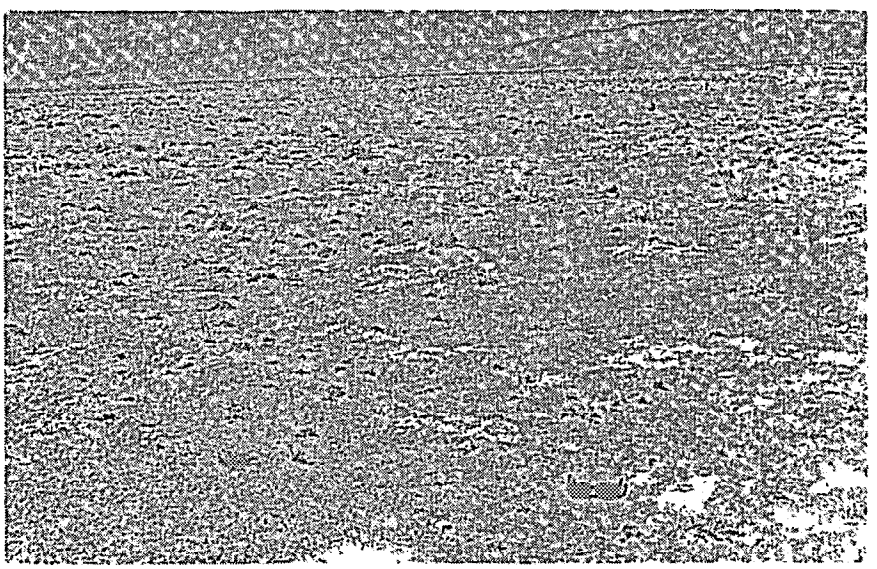


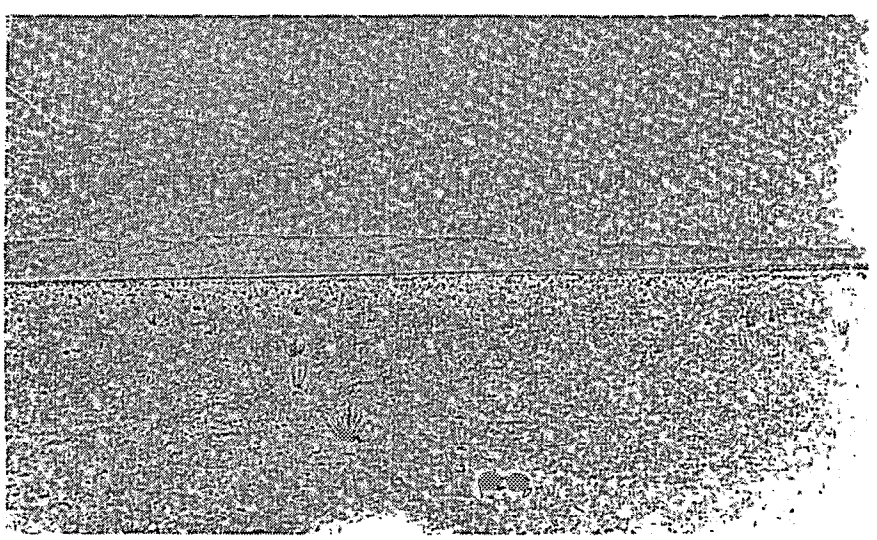
Fig. III.11 - Evolution de la phytomasse aérienne et des réserves en eau du sol d'une friche post-culturale sur glacis limoneux (AA_1-Telmam), d'une steppe sur croûte gypseuse (AZ_2-Km 8), et d'une pelouse de fond alluvial (ZR).



Steppe en bon état sur sol gypseux *(AZ_2)*



Steppe très dégradée sur croûte gypseuse *(AZ_1)*



Fiche postculturale sur sol limoneux *(AA_1)*

SYSTEMES ECOLOGIQUES DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE

(Les sigles des systèmes écologiques sont entre parenthèses)

3.5.2.6. *La pelouse de fond alluvial (ZR)*

Les résultats sont indiqués dans le tableau III.24 et sur la figure III.11.

TABLEAU III. 24 Production d'une pelouse de fond alluvial (ZR-Zerkine).

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M. (mm)	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces herbacées annuelles et bisannuelles	*Cynodon dactylon*	Autres espèces herbacées pérennes	total ⊗
1971-1972	252	182	178				2100
1972-1973	134	161	46		480 ± 72		960
1973-1974	451	338	76	784 ± 314	161 ± 24	22 ± 3	967
1974-1975	Mesures interrompues (parcelles pâturées accidentellement)						
1975-1976	431	517	155	1672 ± 669	339 ± 51	243 ± 36	2254

⊗Plantes ligneuses exclues (la phytomasse *totale* des plantes ligneuses varie selon les années de 50 à 150 kg MS/ha).

En 1973-74 la production est faible malgré une année à très fortes précipitations. Mais, d'une part, ces pluies ont ruisselé (pluie efficace 75 %) et d'autre part, elles sont tombées surtout à la fin de l'automne et au début de l'hiver (période froide), ce qui n'a pas profité au chiendent, espèce dont la croissance est plutôt tardive. Notons que pour certains types d'averse, la station reçoit un supplément d'eau par ruissellement. Il semble que la saison 1975-76 marque le maximum possible de la production pour cette station, avec 2254 kg de MS/ha pour 517 mm de pluie efficace.

D'une façon générale, en année sèche, le chiendent utilise mieux l'eau que les espèces annuelles. Cependant, ce sont les annuelles qui assurent la plus large part de la production (jusqu'à 81 % en 1973-74) en année pluvieuse ; elles concurrencent alors fortement le chiendent au printemps (voir figure III.11 pour l'année 1975-76).

3.5.2.7. *La steppe des croûtes gypseuses (AZ_2)*

Les résultats concernant la production végétale et l'évolution de la phytomasse aérienne et le bilan d'eau des sols d'une steppe de zone gypseuse sont donnés dans le tableau III.25 et la figure III.11.

TABLEAU III.25 Production d'une steppe des zones à croûte gypseuse (AZ_2-Km 8).

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M. (mm)	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	*Plantago albicans*	Autres espèces pérennes	total
1972-1973	148	100	62	2 ± 1	23 ± 4	104 ± 16	129
1973-1974	267	163	73	78 ± 31	24 ± 10	256 ± 38	358
1974-1975	267	160	126	143 ± 52	38 ± 15	139 ± 21	320

D'une façon générale, il faut noter les forts coefficients de ruissellement (40 % en moyenne) qui réduisent l'effet des précipitations. A nouveau, on retrouve l'importance des pluies de printemps pour les annuelles et également l'influence des grosses pluies pénétrant profondément dans le sol pour une bonne production des espèces pérennes.

Plantago albicans n'a qu'une faible production sur ces sols à encroûtements gypseux de surface. Les espèces pérennes les plus productives sont dans l'ordre : *Gymnocarpos decander, Helianthemum lippii intricatum, Thymelaea microphylla, Atractylis serratuloides*, etc.

La litière représente 50 kg MS/ha en moyenne avec un maximum en mai qui peut atteindre 100 à 120 kg.

Notons enfin la faible productivité de ce type de végétation qui, malgré des années aux précipitations très supérieures à la moyenne, n'a jamais dépassé 358 kg de MS/ha de production annuelle.

3.5.3. Perte de phytomasse : la litière.

Les pertes de phytomasse aérienne, par chute de la matière végétale sèche après la période de croissance, peuvent être très importantes selon les années. Les espèces annuelles sèchent rapidement après fructification et en année sèche, nombre d'espèces pérennes perdent

leurs feuilles dès le début de l'été. Le matériel végétal est le plus souvent arraché à la plante par les vents de sable. Ce fait est souligné par ORSHAN et DISKIN (1968) qui, en Israël, dans des communautés végétales comparables aux nôtres, relèvent des pertes estivales allant jusqu'à 1,67 kg/ha/jour. La réduction totale, selon les communautés qu'ils étudient, représente de 82 à 95 % des valeurs de la phytomasse verte au printemps. Les taux les plus forts s'observent en Tunisie pour les peuplements où les espèces annuelles dominent dans la production. On note par exemple 6,4 kg de perte moyenne de matière sèche sur pied par hectare et par jour sur la station ZR de Zerkine entre le 5 avril et le 15 juillet 1976, ce qui est considérable dans une formation végétale non pâturée.

Cette litière est redistribuée par le vent ou les eaux de ruissellement ; elle s'accumule souvent au pied des touffes, plus ou moins mêlée au sable. La quantité en est variable selon les stations, les années, et suivant la saison. Par exemple, sur la station RK_3 du Km 52, le maximum de litière (en mai, juin, juillet ou août) va de 50 à 150 kg MS/ha ; en automne et en hiver il reste 30 à 80 kg MS/ha selon l' année, et à la fin de l'hiver la plus grande partie a disparu. Pour les steppes à *Rhantherium suaveolens* dégradées (RK_2 et RK_1), le maximum atteint parfois 60 kg/ha en mai-juin et la quantité tombe ensuite à 20-30 kg/ha. Pour AZ_2, le maximum de litière est également en mai (100-120kg/ha) avec 50 kg/ha restant au début de l'automne.

Nous avons porté sur la figure III.12, l'évolution du recouvrement de la végétation annuelle (celui des pérennes est négligeable) et de la litière durant plusieurs années sur la station AA_1. A noter la chute rapide des annuelles à la fin du printemps.

Il est clair que la décomposition est accélérée par les pluies d'automne et d'hiver et qu'il n'y a pratiquement pas de report de litière (accumulation) d'une année sur l'autre. Ces observations sont en accord avec celles de GUTMAN (1978) en Israël.

La pellicule de battance à la surface du sol est relativement riche en matière organique et des mesures ont montré, que les sédiments recueillis dans une citerne de ruissellement sont 4 à 5 fois plus riches en matière organique que les matériaux dont ils sont issus (cf. tableau I.12 et § II.1.2.1.2).

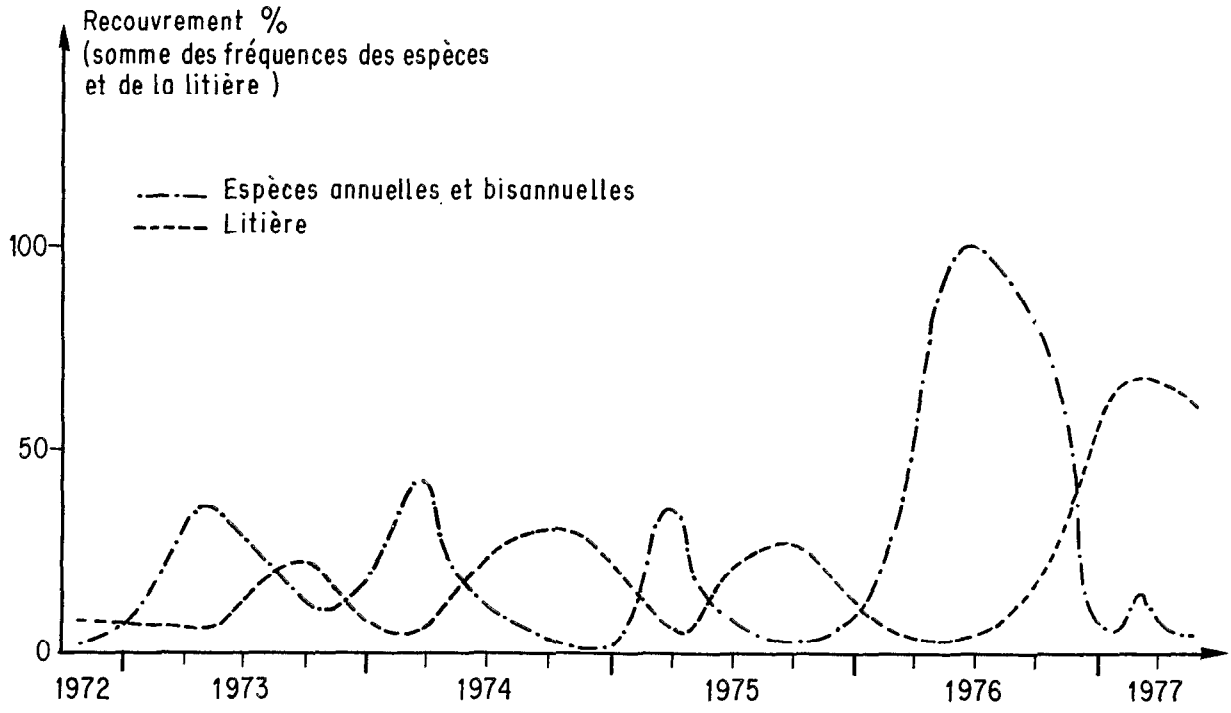


Fig. III.12 - Evolution du recouvrement de la végétation et de la litière sur une zone limoneuse mise en défens entre 1972 et 1977 - Ségui, Telmam, AA_1 (d'après BOURGES et al., 1980).

3.5.4. Comparaisons de la production primaire annuelle en Tunisie présaharienne à celle d'autres régions arides.

Les années d'observation (1971 à 1977) ont donc été ou "moyennement pluvieuses" ($150 < P < 250$ mm) ou "pluvieuses" ($P > 250$ mm) pour la région. Pour cette gamme de précipitations, la production primaire (aérienne) des types de végétation étudiés a été la suivante (tableau III. 26) :

- Steppe sableuse de plaine, en bon état (RK_3 Zougrata) :
  de 1000 à 1550 kg MS/ha/an
- Steppe sableuse de plaine, dégradée (RK_2 - RK_1 Zougrata) :
  de 450 à 350 kg MS/ha/an
- Steppe sableuse de piémont, dégradée (RK_2 - Dissa) :
  de 300 à 400 kg MS/ha/an
- Friche post-culturale d'un glacis limoneux (AA_1 Telmam) :
  de 350 à 1700 kg MS/ha/an
- Steppe des croûtes gypseuses (AZ_2 Km 8) :
  de 150 à 350 kg MS/ha/an
- Pelouse des fonds alluviaux (ZR zerkine) :
  de 1000 à 2250 kg MS/ha/an.

Il semble bien que, compte tenu des mesures effectuées durant une période excellente pour la région du point de vue des précipitations, les valeurs supérieures de cette gamme de production ne puissent être dépassés.

Il y a aussi une année "sèche" ($P < 100$ mm) au cours de la période d'observation. La production de RK_3 a alors été de 250 kg et celle de AA_1 à peu près nulle (les autres stations n'ont pas fait l'objet d'observations).

Il faut donc noter la très grande variabilité interannuelle de cette production primaire : pour AA_1 on passe d'environ zéro à sans doute plus de 1700 kg MS/ha selon la pluviosité de l'année. Les steppes des zones sableuses sont un peu mieux "tamponnées", mais on relève des chiffres allant de 250 à 1550 kg MS/ha pour RK_3.

Mais pour la même pluviosité et pour la même station, les différences peuvent être aussi considérables selon la répartition de la pluie : par exemple avec environ 160 mm dans l'année, la production de AA a été de 350 kg MS/ha en 1972-73 et de 1039 kg MS/ha en 1974-75.

Pour une même pluviosité annuelle, les différences entre les stations sont également très importantes puisque, quelle que soit l'année observée, les steppes des zones gypseuses n'ont jamais dépassé une production de 350 kg MS/ha alors que les pelouses des fonds alluviaux atteignent 2250 kg.

Il était intéressant de comparer ces valeurs de production annuelle nette aérienne à ceux obtenus dans la zone aride par d'autres auteurs. Ces données sont d'ailleurs relativement rares et n'auraient guère été plus abondantes si nous n'avions pas cherché à nous limiter à des régions à régimes pluviométriques et thermiques saisonniers relativement comparables aux nôtres.

LIETH et WHITTAKER (1975) donnent une fourchette de production allant de 100 à 2500 kg MS/ha, avec une moyenne de 700 kg, pour les formations arides du globe ressemblant aux nôtres.

PEARSON (1965) aux Etats-Unis, avec 270 mm de pluviosité moyenne annuelle, a mesuré la production d'une formation désertique à *Artemisia tridentata* et *Stipa comata* ; une zone pâturée régulièrement (phytomasse sur pied 2570 kg/ha) produit 975 kg/ha/an, et une zone mise en défens depuis onze ans (phytomasse sur pied 3724 kg/ha) 1228 kg/ha/an. Il estime que ces productions sont très comparables à celles obtenues par BLAISDELLE (1958) (920 kg/ha en Idaho avec 280 mm), par WALTER (1955) (1200 kg en Afrique du Sud-Ouest avec 250 mm). Il cite également des chiffres de production obtenus au Sud Dakota par LARSON et WHITMAN (1942) qui montrent que des zones fortement pâturées produisent environ 80 % de la production des mêmes parcours mis en défens. SZAREK (1979) donne des valeurs obtenues récemment dans quatre déserts nord-américains, dans le cadre du Programme Biologique International ; durant les années d'observation et pour les deux stations dont le climat se rapproche le plus de celui de la zone aride nord-africaine, la production primaire va de 140 à 570 kg de MS/ha/an (déserts de Sonoran et de Mojave).

En Tunisie, NOVIKOFF *et al.*, (1977), sur une steppe à *Rhantherium suaveolens* des environs de Médenine, obtiennent des productions allant d'environ 100 à 600 kg MS/ha entre octobre 1972 et septembre 1976.

LE HOUEROU *et al.*, (1975) citent diverses mesures effectuées en Algérie dans le Hodna (Maile-Dialem, 220 mm) avec des productions allant de 150 à 500 kg MS/ha/an. LEBLOIS et VAN DAMME (1971), dans la région de Messad (150-200 mm) en Algérie mesurent des productions de 200 à 600 kg/MS/ha/an, après 2 ans de mise en défens et une saison pluvieuse. RODIN *et al.*, (1970), dans la région de Médéa (Algérie) et pour des précipitations de 200 à 300 mm, ont observé des productions de parcours inférieures à 250 kg MS/ha/an. Toutes ces mesures réalisées en Algérie, l'ont été dans des régions beaucoup plus froides que la nôtre, et il n'est pas étonnant que les productions y semblent en moyenne inférieure.

En revanche, RODIN *et al.*, (1972) toujours sur les Hauts Plateaux d'Algérie, avec une pluviosité annuelle moyenne de 300 mm, donnent des chiffres plus importants pour la production d'une steppe à *Artemisia herba-alba*, espèce qui représente 75 % de la phytomasse aérienne ; la phytomasse totale est de 4185 kg/ha et la phytomasse aérienne de 1367 kg/ha ; la production totale est de 1770 kg/ha/an et la production de la partie aérienne de 1168 kg/ha/an. Les mêmes auteurs ont également étudié une steppe à base d'*Artemisia sieberi* au Nord du désert syrien, sous 120 à 190 mm de pluviosité annuelle, plus froide en hiver et plus sèche en été que la steppe algérienne précédente ; la phytomasse totale est de 6100 kg MS/ha et la phytomasse aérienne de 2635 kg/ha ; la production est de 2380 kg MS/ha/an dont un peu plus de la moitié pour la partie aérienne.

NEDJAROUI (1981), sur une steppe à *Artemisia herba-alba* de la région de la Wilaya de Saïda en Algérie, dont la phytomasse épigée représente 900 kg MS/ha, donne des productions (sur 2 années), comprises entre 300 et 500 kg MS/ha/an.

THALEN (1975) en Irak note, qu'en bonne année, et dans une région à 100 mm de pluie moyenne annuelle, une steppe à *Rhantherium epapposum*, avec un recouvrement de 31 %, produit environ 2000 kg MS/ha/an et 1000 kg MS/ha/an avec un recouvrement de 20 %. Ces chiffres sont légèrement supérieurs pour une pluviosité moindre à ceux que nous avons obtenus pour RK_3 et RK_2, mais les précipitations sont concentrées au dé-

but du printemps en Irak.

TADMOR *et al.*, (1974), mesurent en Israël (Migda 150-250 mm) des productions, de pâturages naturels à base d' annuelles physionomiquement proche de ceux de la station AA_1 Telmam, allant de 900 à 3600 kg/ha. Ces chiffres sont supérieurs à ceux obtenus pour AA_1, sans doute en raison d'une meilleure fertilité des sols et d'une meilleure répartition des pluies au printemps que dans la région de Gabès.

AYYAD (1977-1981) en Egypte, avec 150 mm de pluie moyenne annuelle, dans une communauté végétale dégradée dominée par *Thymelaea hirsuta* et *Asphodelus microcarpas*; relève des productions allant de 300 à 500 kg/ha/an pour une phytomasse très élevée (supérieure à 3500 kg/ha).

Il est très difficile de comparer tous ces résultats, tant les caractères environnementaux, les protocoles expérimentaux sont différents. Dans les paragraphes suivants, nous allons d'abord tenter, à la lumière de nos résultats, d'analyser les principaux facteurs de la production végétale en zone aride. Ces facteurs sont évidemment relatifs au climat et au sol ; mais nous serons aussi amenés à nous interroger sur l'efficacité du matériel végétal que l'homme a sélectionné, le plus souvent involontairement, au cours des siècles d'utilisation de la végétation.

3.6.CLIMAT ET PRODUCTION PRIMAIRE

3.6.1. Importance des principaux paramètres climatiques

Dans cette région aride, il semblait évident que la production de la végétation spontanée, dépende essentiellement du système écologique (caractérisé par le complexe sol-végétation), et qu'elle soit principalement limitée par les précipitations. Aussi est-ce dans ce sens que l'expérimentation a été conduite en s'intéressant durant plusieurs années aux grands types de végétation et à quelques-uns de leurs faciès de dégradation, steppes sur sols sableux, sur sols limoneux, sur sols gypseux et végétation des zones d'épandage.

Outre la pluviosité, nous avons mesuré, sur la plupart des stations : température, pouvoir évaporant de l'air, humidité relative de l'air, afin de tenter de relier les autres principaux éléments du climat à la production végétale, la radiation solaire étant mesurée par la station météorologique de Gabès.

Il ne nous a pas été possible, faute de mesures, de discuter de l'influence du vent. En particulier il a été impossible de relever le nombre de jours de sirocco, en automne et au printemps, jours où l'humidité relative de l'air peut descendre au-dessous de 10%, provoquant l'arrêt de la photosynthèse et une très forte évaporation de l'eau du sol. Cependant le pouvoir évaporant de l'air (Piche) a été mesuré dans les principales stations et on constate qu'il varie d'une façon importante d'une année à l'autre (cf. Annexe 3). Il apparaît que cette donnée permet d'expliquer un certain nombre d'anomalies dans les relations pluie-production primaire (cf. § 3.8.2.).

Intéressés principalement par les variations intersaisonnières et interannuelles des valeurs de la production primaire, nous avons surtout considéré l'influence des précipitations, en tant que facteur limitant le plus important de la production. En effet, d'une part les variations interannuelles de la radiation solaire agissant sur la photosynthèse (qui ne semble pas être un facteur limitant) sont faibles (coefficient de variation=0,027 sur 6 ans,d'après RAMBAL 1980);d'autre part,les températures moyennes mensuelles ne présentent aussi que de faibles variations interannuelles, surtout en automne, au printemps et en été. Même en hiver où ces variations sont un peu plus grandes, les températures hivernales, ne sont pas telles qu'elles puissent arrêter toute la journée la photosynthèse. Par exemple sur la figure III.13, qui reprend les moyennes mensuelles de température pour la station la plus continentale (RK_3, Km 52), il apparaît que la température moyenne du mois le plus froid, varie selon les années entre 8 et 12°C (en 6 années de mesures, on n'a relevé que quelques jours de faible gelée). Sur ce graphique, l'année 1972-73 est celle qui présente un des hivers et débuts de printemps les plus frais observés. Or, c'est aussi l'année la plus régulièrement arrosée, avec une forte réserve d'eau continuellement disponible pour la végétation. Malgré ce froid relatif, la croissance hivernale des pérennes et des annuelles est de loin la plus forte pendant cette période au regard d'autres années à hivers et débuts de printemps plus doux. Les températures estivales, qui sont élevées, ne seraient pas non plus un obstacle à la production végétale, s'il y avait de l'eau disponible et une humidité suffisante.

En effet selon ZAKHARYANTS (1972), une caractéristique des plantes poussant dans les déserts chauds est d'avoir une grande amplitu-

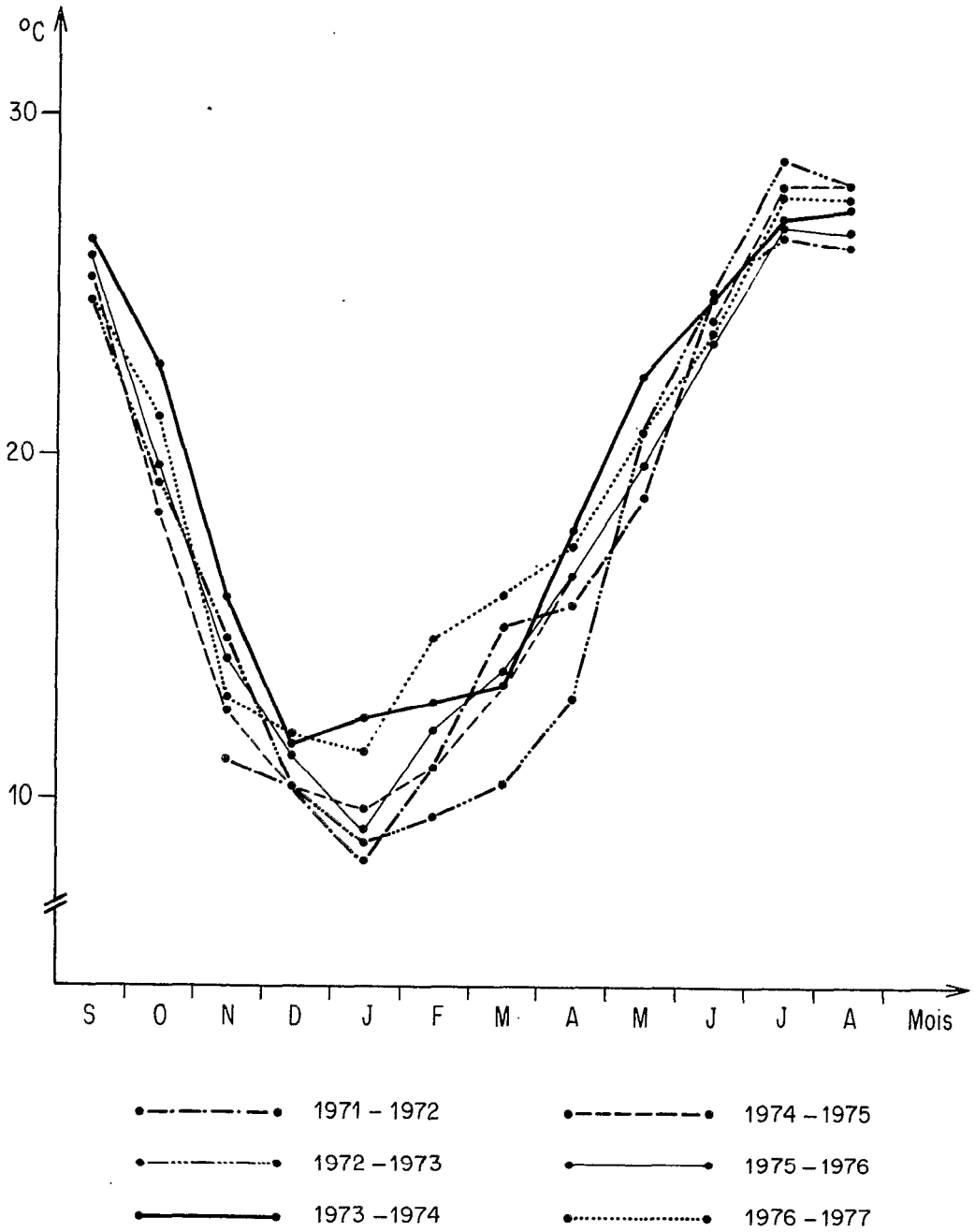


Fig. III.13 - Température moyenne mensuelle à la station du Km 52.

de pour les températures optimums de la photosynthèse : de 10 à 30°C pour les annuelles, de 15 à 35°C - 45°C pour les pérennes ; la température minimale pour l'assimilation du CO^2 est même inférieure à 5°C. VOZNESENSKY *et al.*, (1970) cités par ZAKHARYANTS ont trouvé que la température maximale pour la photosynthèse atteint 55°C chez les psammophytes. CALWELL (1972) pour des espèces des genres *Atriplex* et *Eurotia* signale également une température optimale de photosynthèse entre 10 et 20° C. Les deux espèces produisent encore à - 5°C. *Eurotia lanata* (plante à métabolisme C_3) produit encore à 45°C et *Atriplex confertifolia* (plante à métabolisme C_4) à plus de 50°C.

Pour toutes ces raisons nous pensons pouvoir discuter les données des mesures de la production primaire principalement en fonction des précipitations et surtout des pluies efficaces, le facteur "température" étant intégré par la prise en considération des dates d'occurrence de celles-ci.

3.6.2. Production primaire et répartition des pluies

Si, dans l'ensemble, on peut dire qu'une bonne production est liée à une année pluviométrique favorable, les six années d'observation ont permis cependant de préciser cette affirmation exprimée d'une manière un peu trop succincte.

L'observation de la distribution des pluies au cours de l'année (ce qui permet donc d'intégrer l'influence de la température), montre que celle-ci a une importance considérable. En particulier, une année à répartition homogène est particulièrement favorable. En revanche, les années même à forte pluviosité (type 1973-74), mais avec 70 % du total en un seul épisode, n'ont pas un effet supérieur à celui d'une année normale sur les systèmes pastoraux. Les sécheresses intermédiaires (de 1 à 2 mois) en fin d'automne et au début de l'hiver sont très néfastes à la végétation. Il en est de même de tout arrêt précoce de la saison des pluies fin février ou début mars.

Le tableau III.26 résume les résultats de mesure de la production végétale aérienne annuelle (espèces annuelles et pérennes) en regard des caractéristiques de la pluviosité de l'année, telles qu'elles

TABLEAU III 26 - PRODUCTION VEGETALE AERIENNE ET CARACTERISTIQUES DE LA PLUVIOSITE

PARCELLES / CALENDRIER	RK_3	RK_2	RK_1	rk_2	RK_2(Dissa)	ZR	AZ_2	AA_1
1971 - 1972	P = 931 A = 87 Hp = 194 mm Ym =(Am,Hs,Ph) DP-FT (23j-4j)					T = 2100 Hp = 252 mm Yh (Am,Hm,Ph) DT-FT (23j-8j)		
1972 - 1973	P = 628 A = 532 Hp = 210 mm Ym =(Am,Hm,Pm) DT-FP (35j-4j)	P = 739 A = 120 Hp = 210 mm Ym =(Am,Hm,Pm) DT-FP (35j-4j)			P = 277 A = 10 Hp = 164 mm Ym (Am,Hm,Pm) DP-FP (35j-4j)	T = 960 Hp = 134 mm Ym (As,Hm,Pm) DT-FP (25j-5j)	P = 127 A = 2 Hp = 148 mm Ym (As,Hm,Pm) DP-FP (52j-6j)	A = 360 Hp = 164 mm Ym(Am,Hh,Pm) DP-FP(27j-4j)
1973 - 1974	P = 954 A = 108 Hp = 315 mm Yh (As,Hh,Pm) DT-FP (18j-4j)	P = 645 A = 44 Hp = 315 mm Yh (As,Hh,Pm) DT-FP (18j-4j)	P = 611 A = 75 Hp = 374 mm Yh=(As,Hh,Pm) DT-FP (18j-4j)	P = 112 A = 211 Hp = 315 mm Yh=(As,Hh,Pm) DT-FP (18j-4j)	P = 386 A = 29 Hp = 260 mm Yh=(As,Hh,Pm) DT-FP (37j-4j)	T = 967 Hp = 451 mm Yh=(Ah,Hh,Pm) DT-FP (29j-7j)	P = 280 A = 78 Hp = 267 mm Yh=(As,Hh,Pm) DT-FP (31j-5j)	A = 1051 Hp = 371 mm Yh(As,Hh,Pm) DT-FP(15j-5j)
1974 - 1975	P = 727 A = 284 Hp = 186 mm Ym (Am,Hm,Ph) DP-FT (34j-6j)	P = 456 A = 7 Hp = 186 mm Ym (Am,Hm,Ph) DP-FT (34j-6j)	P = 474 A = 24 Hp = 199 mm Ym (Am,Hm,Ph) DP-FT (35j-6j)	P = 510 A = 558 Hp = 186 mm Ym (Am,Hm,Ph) DP-FT (34j-6j)	P = 258 A = 40 Hp = 199 mm Ym (Am,Hm,Ph) DP-FT (36j-9j)		P = 177 A = 143 Hp = 267 mm Ym (Am,Hm,Ph) DP-FT (45j-10j)	A = 1039 Hp = 161 mm Ym(Am,Hm,Pm) DP-FT(23j-7j)
1975 - 1976	P = 1391 A = 154 Hp = 295 mm Yh (Am,Hh,Ph) DP-FT (44j-9j)					T = 2254 Hp = 431 mm Yh (Am,Hh,Ph) DT-FT 41j-13j)		A = 1679 Hp = 357 mm Yh(Am,Hh,Ph) DP-FT(33j-10j)
1976 - 1977	P = 218 A = 4 Hp = 85 mm Ys (Am,Hm,Ps) DT-FP (15j-2j)							A = 0 Hp = 96 mm Ys(Am,Hm,Ps) DT-FP(15j-2j)

PRODUCTION VEGETALE (kg Ms/ha/an)
T = totale
A = des annuelles
P = des pérennes

CARACTERISTIQUES DE LA PLUVIOSITE (Cf.§ I 2223)
Hp = précipitations de l'année (1sept-31août)
Ys-As-Hs-Ps (année-automne-hiver-printemps secs)
Ym-Am-Hm-Pm (...."..........".....". moyens)
Yh-Ah-Hh-Ph (...."..........".....".humides)

DP, FP = début et fin de la saison des pluies précoces (Cf§I224)
DT, FT = début et fin tardifs de la saison des pluies

NB. (15j-2j) signifie 15 jours de pluie dont 2 ont une pluie supérieure à 10 mm.

sont définies dans la Section I. On peut faire les remarques suivantes :

1) - Une saison de pluie précoce (pluies à l'automne et surtout avant le 1er octobre) est importante pour la germination des espèces annuelles ; même si leur croissance reste faible par la suite en automne et hiver, la production printanière sera meilleure. En effet, les germinations tardives (hiver et début printemps) ne correspondent pas à une bonne production des espèces annuelles au printemps durant les années d'observation. Ainsi en 1971-1972, après une germination d'annuelles à l'automne, celles-ci ont pratiquement disparu en hiver en raison de l'absence totale de pluie. La nouvelle germination printanière n'a pas été suivie d'une bonne production malgré des pluies abondantes.
BURYGIN et MARKOVA (1972) font la même observation en Ouzbekistan ; les annuelles, pour présenter une bonne production au printemps, doivent avoir végété en hiver ; lorsque l'automne et l'hiver sont secs (et l'hiver trop froid), la production est faible, même si le printemps est favorable ;

2) - Les pluies du début de printemps (en particulier en mars) sont déterminantes pour la production des espèces annuelles. Si, par exemple, mars est sec et que les pluies n'arrivent qu'en avril, les annuelles ont déjà terminé leur cycle végétatif, et cette eau tardive ne peut profiter qu'aux plantes pérennes ;

3) - un nombre élevé de "jours de pluie" est particulièrement important pour les espèces annuelles, qui utilisent l'eau des horizons de surface du sol et ne peuvent donc se développer efficacement que si le stock d'eau disponible est fréquemment renouvelé. En revanche, l'eau stockée en profondeur et conservée par le "mulch", que constitue l'horizon sableux de surface, est très profitable aux plantes pérennes à racines profondes. D'une façon générale, il apparaît qu'en année très pluvieuse (supérieure à 350 mm), la production végétale est fonction du nombre de jours de pluie, par contre en année sèche ou moyennement sèche, un nombre important de jours de petites pluies est plutôt néfaste à la production, l'eau des pluies de faible importance étant très vite évaporée. Dans tous les cas, il est nécessaire que la première pluie soit abondante afin de com-

bler le déficit hydrique de la couche superficielle du sol, pour permettre les germinations et un redémarrage différé de la végétation pérenne. Au début de l'automne et à la fin du printemps, des pluies journalières inférieures à 10 mm et espacées dans le temps sont très vite reprises par l'évaporation et ont peu d'effet dans la recharge des réserves hydriques des sols ; pendant la saison froide, la hauteur minimale journalière utile est de l'ordre de 5 mm. Cependant KOVDA *et al.*, pensent que les activités des micro-organismes du sol, sont stimulées par les faibles pluies inefficaces pour la production ; l'azote minéral peut ainsi s'accumuler ; la production qui suit une pluie importante est donc aussi la conséquence des petites pluies précédentes ;

4) - les pluies précoces à l'automne (septembre, octobre) et les pluies tardives de printemps (avril, mai) n'ont une influence notable sur la production que si elles sont abondantes (au-dessus du seuil de 10 mm) et si elles contribuent à recharger en eau les horizons profonds. En effet, le pouvoir évaporant de l'air est très fort pendant ces périodes et après de petites pluies le sol devient rapidement sec ;

5) - à hauteur de pluie égale, à la même période, les précipitations n'ont pas la même efficacité suivant les types de végétation et de sol ; l'efficacité dans la recharge des réserves en eau du sol dépend essentiellement de l'intensité des pluies et du type de milieu sur lequel elles tombent : ainsi, un sol sableux pourra absorber la totalité d'une pluie même à forte intensité, alors qu'une zone limoneuse à structure battante en surface, à faible recouvrement de végétation, et de surcroît en pente, sera très propice au ruissellement, même pour des pluies présentant des intensités limitées (cf. § I.2 et II.2 et tableau II.3).

En définitive, dans les conditions microclimatiques de la Tunisie présaharienne et compte tenu des types de végétaux qui assurent la production végétale spontanée, l'année pluviométrique "idéale" (FLORET, PONTANIER, 1978) serait évidemment une année pluvieuse ($P > 250$ mm) à précipitations de faible intensité ($I < 5$ mm/h), avec un début de saison précoce, avant le 1er octobre (la première pluie étant d'au moins 50mm),

suivie vers la fin de l'automne et pendant l'hiver de précipitations régulières de l'ordre de 5 à 10 mm par pluie, et d'une augmentation des pluies en mars et avril (tableau III.27). Des pluies importantes après le 1er mai, d'ailleurs peu probables, présentent déjà beaucoup moins d'intérêt, car elles seraient très vite reprises par l'évaporation. Cette année idéale doit permettre une production étalée dans l'année et importante. Compte tenu de la température, c'est en définitive une pointe des précipitations au début de l'automne et une autre pointe au cours du printemps, qui semblent le mieux convenir à la production végétale spontanée des steppes pastorales du Sud tunisien.

Une des modélisations de la production primaire et de l'utilisation de l'eau réalisée sur la station RK_3 (RAMBAL, 1980 ; FLORET *et al.*, 1981) a permis de simuler la production de cette année idéale, et de la comparer avec une autre distribution pour une même pluie annuelle proposée par TADMOR *et al.* (1974) pour maximiser la production (imaginée à l'origine pour un pâturage à base d'espèces annuelles, à Migda, en Israël). Ces distributions, ainsi que celle de la saison 1972-73 à Zougrata (Km 52) réellement observée sur le milieu RK_3, et qui totalisait 256 mm, figurent sur le tableau III.27, qui porte également les chiffres de production simulée ou mesurée. La production plus forte (mais concentrée sur une courte période) de l'année proposée par TADMOR *et al.*, est liée à une évaporation du sol évidemment plus faible que dans les 2 autres cas et au fait que la production est exclusivement à base d'espèces annuelles. L'année 1972-73, présente une répartition irrégulière des pluies et surtout un déficit hydrique en septembre et en avril-mai, mois où de bonnes conditions pour la photosynthèse sont réunies.

6) - Même s'il n'y a pas en général de report du stock d'eau du sol d'une année sur l'autre, les successions d'années sèches ou pluvieuses agissent sur l'état initial de la végétation du début de la période suivante de production (donc sur la production elle-même). Les effectifs des animaux suivent également les fluctuations des précipitations, mais avec un certain retard, et ont ainsi eux-mêmes une influence sur l'état initial de la végétation au début de la période de repousse de l'année suivante.

TABLEAU III 27 - Production végétale obtenue avec trois types de répartition des précipitations pour une même hauteur d'eau totale de 250 mm environ (d'après Floret et Pontanier, 1978 ; Rambal, 1980 ; Floret et al. 1981).

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ANNEE	Production végétale kg/MS/ha/an
Répartition "idéale" proposée par Floret et Pontanier (1978)	P ± R (mm)	60,0	35,0	20,0	15,0	15,0	20,0	40,0	40,0	5,0	-	-	-	250,0	simulée 1771
	NP	2	3	3	2	2	2	3	3	1	-	-	-	21	Annuel. 54 % Péren. 46 %
Répartition proposée par Tadmor et al. (1974)	P ± R (mm)	0	100,0		50,0	50,0	50,0	-	-	-	-	-	-	250,0	1953
	NP	0	3 - 4		2 - 3	2 - 3	2 - 3	-	-	-	-	-	-	9 - 13	Annuel. 100%
Répartition observée en 1972-73 Station RK_3 (Zougrata)	P ± R (mm)	7,0	100,6	4,6	55,8	12,7	12,6	41,6	5,0	-	-	-	16,2	256,1	mesurée 1160
	NP	1	6	1	3	3	4	3	2	-	-	-	2	25	Annuel. 46 % Péren. 54 %

NP = nombre de jours de pluie - P = précipitations - R = ruissellement

On ne s'étendra pas davantage sur l'influence des caractéristiques des précipitations sur la production primaire. Cette influence est abordée indirectement dans d'autres paragraphes ayant trait au régime hydrique des sols et à l'efficacité des systèmes écologiques vis-à-vis de l'eau précipitée (§ III.3.8.1) ou évapotranspirée (§ III.3.8.2). Notons pour terminer que la variabilité de la répartition spatiale des pluies, phénomène que nous avons déjà mentionné (cf. § I.2.2.5) est à prendre en considération pour la généralisation des mesures.

3.7. SOL ET PRODUCTION PRIMAIRE

On doit attribuer une part importante des différences de production mesurée entre les stations aux caractéristiques du sol, en particulier à son régime hydrique et aux autres facteurs qui conditionnent son niveau de fertilité. Nous allons tenter de déterminer ici la part qui revient aux caractéristiques du sol dans les différences de production relevées entre les stations. Par exemple, nos différentes campagnes de mesure font apparaître le fait suivant : les premières pluies d'automne font très vite redémarrer la végétation (pérennes et annuelles) sur les zones sableuses (RK_3, RK_2, rk_2, AZ_2), alors que sur les milieux limoneux (AA) ou sablo-argileux (RK_1) aucune plante n'apparaît ou ne reverdit, sauf si la pluie est vraiment importante (cas de l'année 1969-70). Dans la Section II, on a discuté largement, selon les types de sol, les notions de réserves en eau, de réserve utile pour la végétation, d'efficacité de la pluie, des pertes par évaporation. Nous ne reprendrons ici que quelques-unes des conclusions :

1) - La réserve utile en eau (potentialité de stockage du réservoir sol en eau utilisable par les végétaux) est très variable selon les types de milieu (cf. figure II.10 et III.14 (b)). Elle peu varier de 20 mm (AZ_2) à 230 mm (AA_1).

2) - Sur les milieux sableux, sans pellicule de battance généralisée (RK_3), l'eau est totalement infiltrée et facilement utilisable pour le végétal, alors que sur les milieux limoneux (type AA_1) une partie de l'eau est perdue par ruissellement; elle est plus difficilement utilisable pour la végération.

3) - Pour une recharge annuelle des réserves en eau, les milieux limoneux présenteront une réserve d'eau disponible pour la

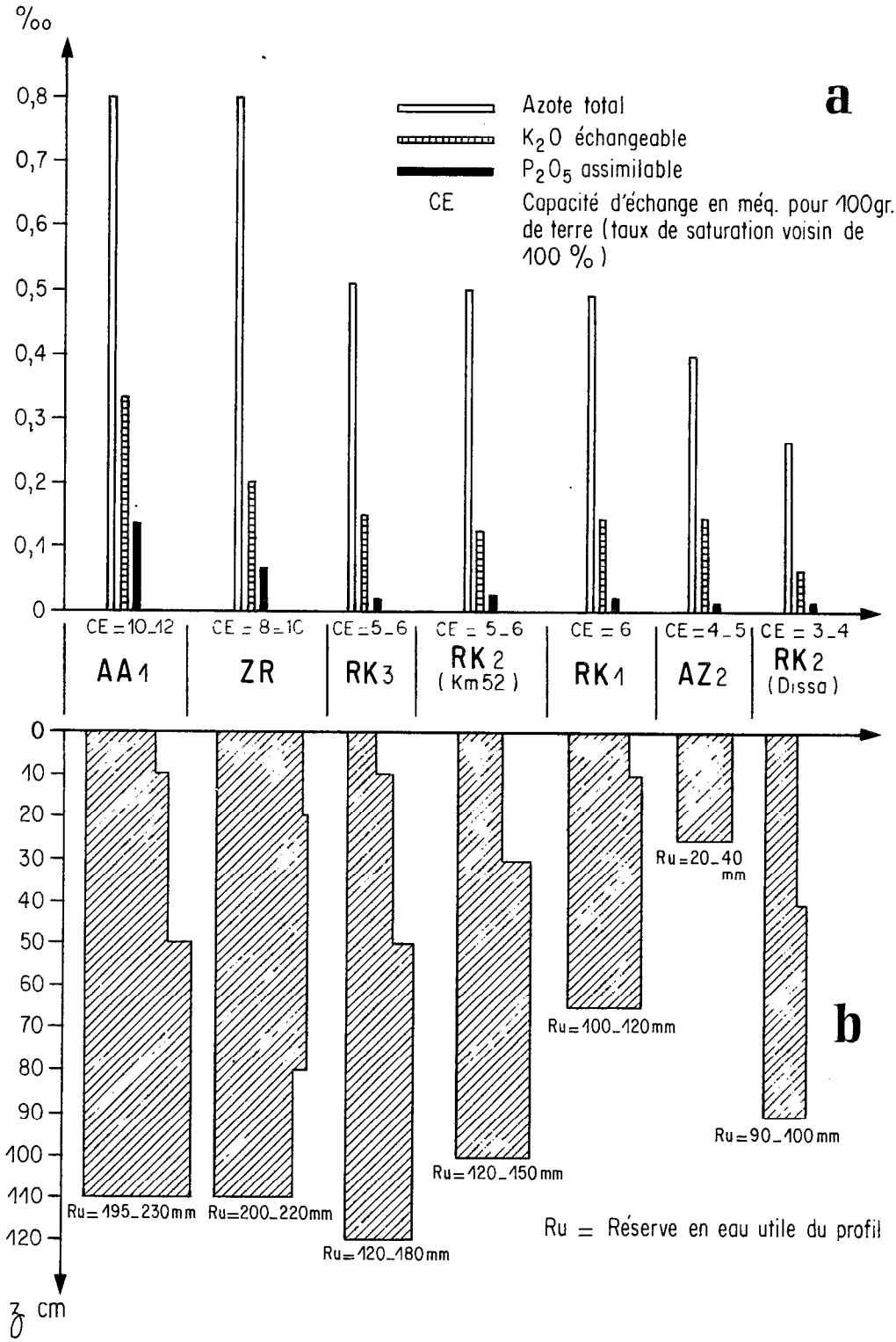


Fig. III.14 - a) Caractères moyens de fertilité chimique du sol des stations

b) Distribution de la réserve en eau utile à la végétation dans le sol des stations. (d'après FLOET et PONTANIER, 1978).

végétation bien inférieure à celle des milieux sableux.

4) - Le travail du sol pour la mise en culture augmente l'infiltration et limite l'ETR (mais provoque à terme l'érosion des sols sableux).

5) - Les niveaux de fertilité des sols, bien que faibles en moyenne, sont très différents d'une station à l'autre (cf. figure III. 14) : le taux de phosphore assimilable est 10 fois plus élevé sur les sols limoneux (AA_1) que sur les piémonts sableux (RK_2 du Dissa) ;les teneurs en azote total varient dans le rapport de 1 à 3 et la capacité d'échange de 1 à 2.

On a effectué un essai de classement des sols des stations pour la production primaire prenant en considération le comportement et le niveau moyen de fertilité (FLORET, PONTANIER, 1978). Dans un ordre d'aptitude "hydrique" décroissante, on trouve : RK_3, ZR, RK_2, RK_2(Dissa) RK_1, AA_1, AZ_2, pour une année à pluviosité moyenne (150 à 200 mm). Par contre, pour les années à fortes précipitations bien réparties, RK_2 (Dissa) est déclassé (drainage excessif) et AA_1 est reclassé immédiatement après ZR.

Pour ce qui est de la fertilité, les sols de "*séguis*" (AA_1 et aa_1) et les bas-fonds alluviaux (ZR), sont de loin les meilleurs. Viennent ensuite les sols de la steppe à *Rhantherium* (RK_3, RK_2, RK_1), les sols sur croûtes gypseuse et enfin RK_2 (Dissa) dont le niveau de fertilité est extrêmement bas.

En combinant ces deux ensembles de critères édaphiques et en tenant compte du type d'année pluviométrique, on peut dire :

- qu'en année sèche à moyenne, la productivité primaire des sols se classe de la manière suivante : ZR, RK_3, RK_2, RK_1, AA_1, RK_2 (Dissa), AZ_2 ;
- qu'en année à forte pluviosité, le classement est alors : ZR, AA_1, RK_3, RK_2, RK_1, RK_2 (Dissa), AZ_2.

Nous voyons donc que les bas-fonds (ZR), relativement fertiles et régulièrement approvisionnés en eau (apports par ruissellement), présentent toujours une productivité supérieure aux autres milieux ; alors que RK_2-Dissa, très carencé en éléments nutritifs, et malgré un régime hydrique intéressant, reste, quelle que soit la pluviosité, un des mi-

lieux les moins productifs. Notons l'excellent niveau de AA_1 (sols de "*séguis*") lors des années pluvieuses.

3.8. EFFICACITE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES

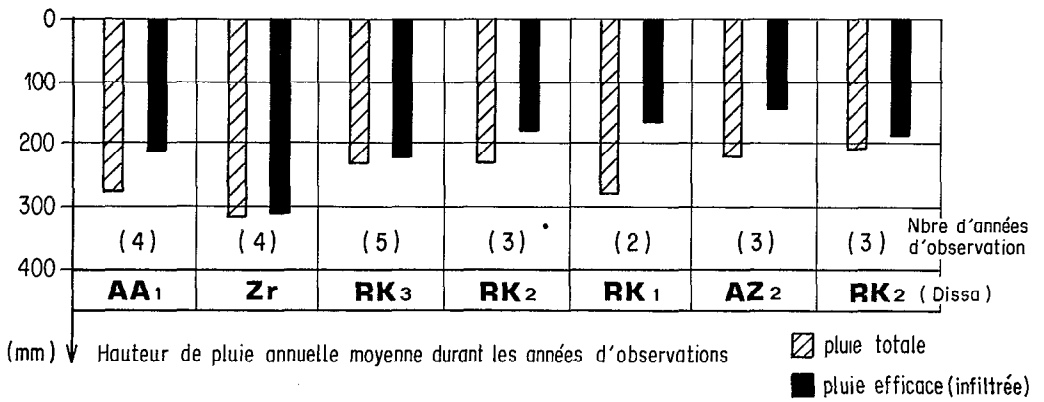
Les résultats qui ont été détaillés ci-dessus permettent d'effectuer un diagnostic sur l'efficacité des systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne afin de la comparer à celle de systèmes d'autres régions du globe.

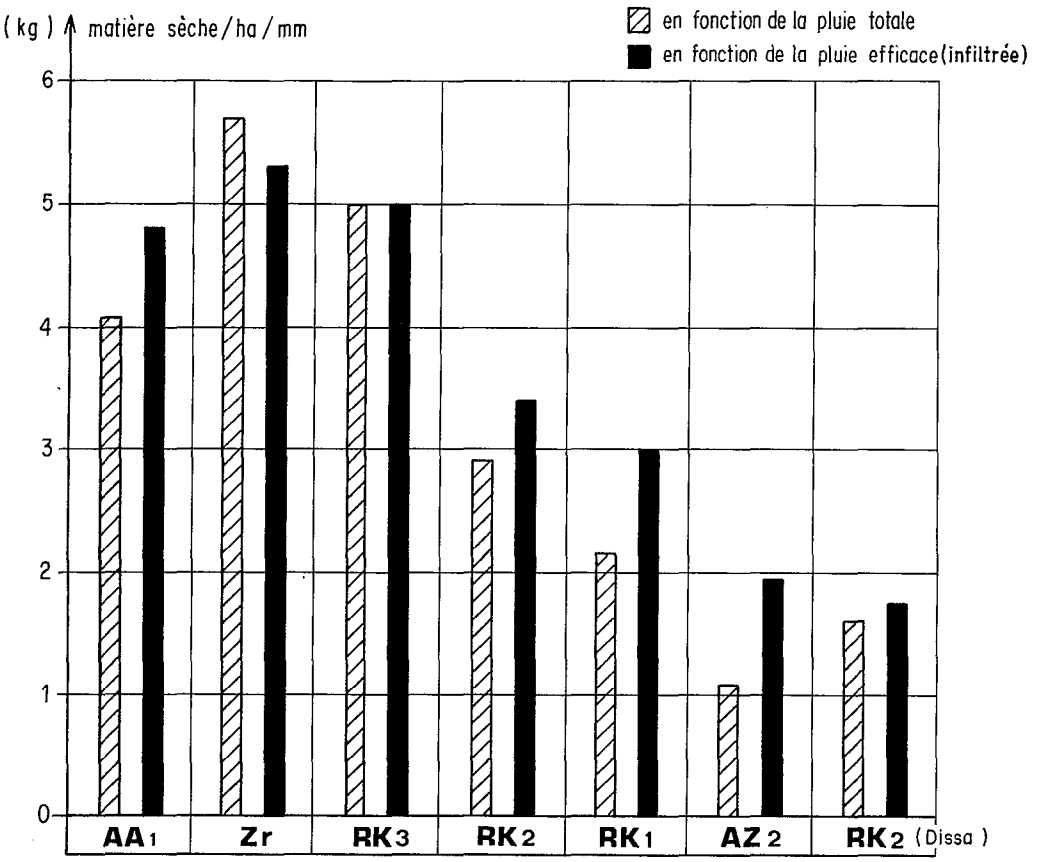
3.8.1 Efficacité vis-à-vis des pluies annuelles

L'efficacité des systèmes écologiques vis-à-vis des précipitations annuelles, est le quotient de la production végétale par les précipitations totales. Pour comparer les stations entre elles, on a utilisé la notion de "rentabilité du mm d'eau". La figure III.15 donne la rentabilité moyenne de chaque station durant les années de mesure ; elle appelle les remarques suivantes :

- les milieux dont le potentiel édaphique est le plus élevé (AA_1, ZR, RK_3) sont ceux qui présentent la meilleure utilisation de l'eau vis-à-vis de la production primaire ;
- RK_2 qui offre des caractéristiques édaphiques plus proches de RK_3 que de RK_1, a une rentabilité vis-à-vis de l'eau à peu près identique à celle de RK_1 ;
- le mm d'eau infiltré (pluie efficace) est 2 à 3 fois moins rentable sur les formations gypseuses (AZ_2) et les sables pauvres des piémonts (RK_2 du Dissa) que sur les sols alluviaux (AA_1 et ZR) et les steppes sableuses (RK_3). Quant au mm de pluie, il est 5 fois plus rentable sur RK_3 que sur AZ_2
- sur AA_1, RK_1 et AZ_2, la rentabilité du mm d'eau pourrait être améliorée en augmentant l'efficacité des pluies par une meilleure recharge des réserves du sol (travail superficiel du sol par exemple).

La figure III.16, permet de tester l'efficacité des systèmes ; nous y avons porté le rendement du mm d'eau (soit infiltré, soit de pluie) en fonction, soit de la pluie totale, soit de la pluie efficace, sur cinq stations. On constate que la rentabilité du mm d'eau de pluie





AA_1 – Friche post-culturale des glacis Limoneux
Zr – Pelouse d'un fond alluvial
AZ_2 – Steppe des zones gypseuses
RK_1 – Steppe très dégradée des zones sableuses de plaine
RK_2 – Steppe moyennement dégradée des zones sableuses de plaine (ou de piémont)
RK_3 – Steppe en bon état des zones sableuses de plaine

Figure III.15

Rentabilité moyenne comparée du millimètre d'eau de pluie pour la production végétale aérienne des différentes stations étudiées.

(Moyennes pour la période de 1971 à 1976)
(d'après Floret-Pontanier, 1978)

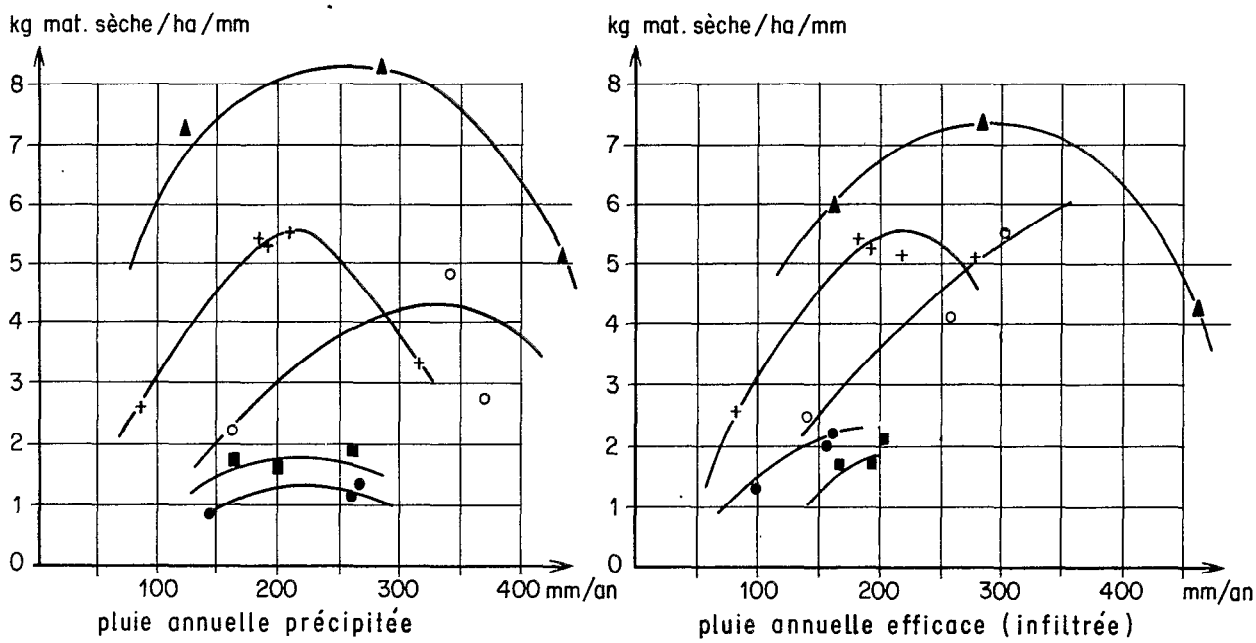


Figure III.16

Efficacité comparée des systèmes écologiques vis-à-vis des précipitations

Production végétale aérienne annuelle par mm de pluie pour une hauteur de pluie annuelle donnée

(d'après Floret-Pontanier, 1978)

augmente avec la pluviosité jusqu'à une valeur limite de celle-ci, puis décroît pour les années très pluvieuses. Cet optimum correspond pour les formations sableuses et gypseuses à 200 - 250 mm, valeur légèrement supérieure à la moyenne interannuelle de la région, et à 300 à 350 mm pour les formations limoneuses ("*séguis*" et fonds alluviaux).

En fait il apparaît que l'efficacité des systèmes écologiques étudiés semble, à l'exception de AA_1, être maximale pour des années à pluviosité légèrement supérieure à la moyenne. Au-delà, la quantité d'eau supplémentaire, tout en augmentant la production, est sous-utilisée, ceci étant dû essentiellement à un niveau trophique très bas et peut-être à des espèces végétales peu adaptées à produire dans des conditions plus pluvieuses.

De nombreux auteurs ont d'ailleurs souligné que l'eau n'était pas le seul facteur limitant de la production en zone aride. TADMOR *et al.*, (1974), à Migda en Israël, avec 250 mm de pluie moyenne annuelle, obtiennent 2 000 - 4 000 kg de MS/ha sur un parcours à base d'annuelles, avec des pics de vitesse de croissance de 17 g/m2/jour (170 kg/ha/jour) en mars. La fertilisation augmente beaucoup ces rendements, jusqu'à obtenir le maximum avec 200 kg d'N/ha (de 8 000 à 15 000 kg de MS/ha). ETTERSHANK *et al.* (1978) notent une augmentation de la production d'un système écologique du désert de Chihuahuan sous l'influence de la fertilisation azotée. A faible dose (25 kg N/ha), seules les espèces annuelles profitent de l'azote ; à forte dose (100 kg N/ha), les espèces pérennes en profitent aussi. NOY-MEIR (1974) suggère que la croissance très rapide des plantes durant les périodes pluvieuses peut "vider" les réserves en éléments nutritifs plus vite qu'elles ne se renouvellent.

En Tunisie, WAECHTER (1978) et LE FLOC'H (non publié) ont entrepris des essais de fertilisation azotée de la steppe RK_3. Malheureusement, les deux années de l'expérimentation ont été trop sèches pour faire apparaître des différences significatives entre les lots fertilisés et non fertilisés.

La rentabilité du mm d'eau, calculée sur la base de la pluviosité moyenne annuelle est donc faible dans cette région présaharienne de la Tunisie : 2 à 6 kg MS/ha/mm. A titre de comparaison, la rentabilité pour une luzerne, dont les besoins en eau sont satisfaits par l'irrigation, va de 8 à 11 kg de MS/ha/mm dans l'oasis de Gabès (El AMAMI *et al.*,

1975). Notons que cette comparaison est discutable puisque les quantités d'eau apportées par l'irrigation de la luzerne, sont plusieurs fois supérieures à la pluviosité que reçoit la steppe.

LE HOUEROU et HOSTE (1977) utilisant les données de la littérature (dont une partie de nos résultats) disponibles pour l'ensemble de la région méditerranéenne (entre 20 et 900 mm de pluie annuelle) calculent les régressions suivantes :

$y = 414,89 + 8,68\ x$ $\quad r = 0,83$ 45 couples de mesures

$y = 3,890x^{1,09}$ $\quad r = 0,90$ " " " "

où y représente la production végétale totale, en kg de MS/ha, et x les moyennes des précipitations annuelles en mm.

Ceci correspond à peu près à 4 kg de MS/ha/mm (alors qu'en zone tropicale sèche la production n'est que de 2,5 kg de MS/ha/mm), ce qui est bien dans la fourchette de nos résultats. Mais ces deux auteurs remarquent à juste titre que ces valeurs peuvent varier de 1 à 10 selon les conditions de pluviosité de l'année et selon les milieux LE HOUEROU (1969) donnait une valeur moyenne de 2,1 kg MS/ha/mm pour l'étage aride inférieur. Remarquons que la notion d'efficacité vis-à-vis des précipitations intègre l'efficacité liée à la nature de sol (profondeur, richesse etc.) et de la végétation, mais aussi l'efficacité liée à la recharge en eau du sol (aptitude de celui-ci à l'infiltration ou au ruissellement en fonction de l'intensité de la pluie). Il est intéressant également de ne considérer que l'eau infiltrée, comme le montre le § suivant.

3.8.2. Efficacité vis-à-vis de l'eau évapotranspirée

Rappelons que toute l'eau de pluie infiltrée (pluie "efficace") est reprise au cours de l'année par évapotranspiration, puisque pratiquement tous les sols ont une teneur en eau inférieure à celle du point de flétrissement avant la saison des pluies d'automne.

3.8.2.1. *ETR annuelle, production primaire annuelle*

DE WIT (1958) montre la relation de proportionalité qui existe entre la production et la transpiration des plantes. ROSENZWEIG (1968) souligne que l'ETR est une mesure de disponibilité simultanée en eau et en énergie solaire (pour la phase de transfert de l'eau du sol vers

l'atmosphère) et qu'à ce titre ci, est un excellent indice pour prédire la production primaire, puisque ces ressources sont des facteurs limitants et importants de la photosynthèse. Si la relation qu'il établit entre production et ETR annuelle pour des communautés allant des déserts à la toundra est bonne, il en est pas de même pour nos stations, toutes en zone aride. Ceci n'est pas étonnant puisque l'on a montré que, sous ce climat, la répartition des pluies dans l'année a souvent plus d'importance pour la production que la pluviosité annuelle totale.

Nous avons recherché une relation entre la production primaire annuelle aérienne (V) et le rapport

$$\frac{\textit{ETR annuelle (en mm)}}{\textit{Evaporation Piche annuelle (en mm)}} = \frac{ETR}{Eo}$$

pour les stations où nous disposons d'un évaporimètre Piche (figure III. 17). La droite de régression obtenue a pour équation :

$$V \text{ (en kg MS/ha)} = 14\,878 \frac{ETR}{Eo} - 368 \quad (r = 0{,}90)$$

Le rapport $\frac{ETR}{Eo}$ permet d'intégrer la pluie efficace (puique dans tous les cas ETR annuelle = Pluie efficace annuelle) et les autres paramètres climatiques (T°C, vents, humidité de l'air) liés au pouvoir évaporant de l'air, donc d'une certaine manière, à l'aridité. Les variations de ce rapport appellent les remarques suivantes :

- en année pluvieuse (pluie et ETR élevées), la production est relativement importante ; cependant si Eo est fort, la production peut être limitée par un fort pouvoir évaporant de l'air (vents violents desséchants, sirocco, forte température) ;

- à l'inverse, en année moyennement pluvieuse, le rapport $\frac{ETR}{Eo}$ en principe faible, peut être amélioré par des conditions moins sévères du pouvoir évaporant de l'air, et permettre alors une production parfois proche de celle des années pluvieuses.

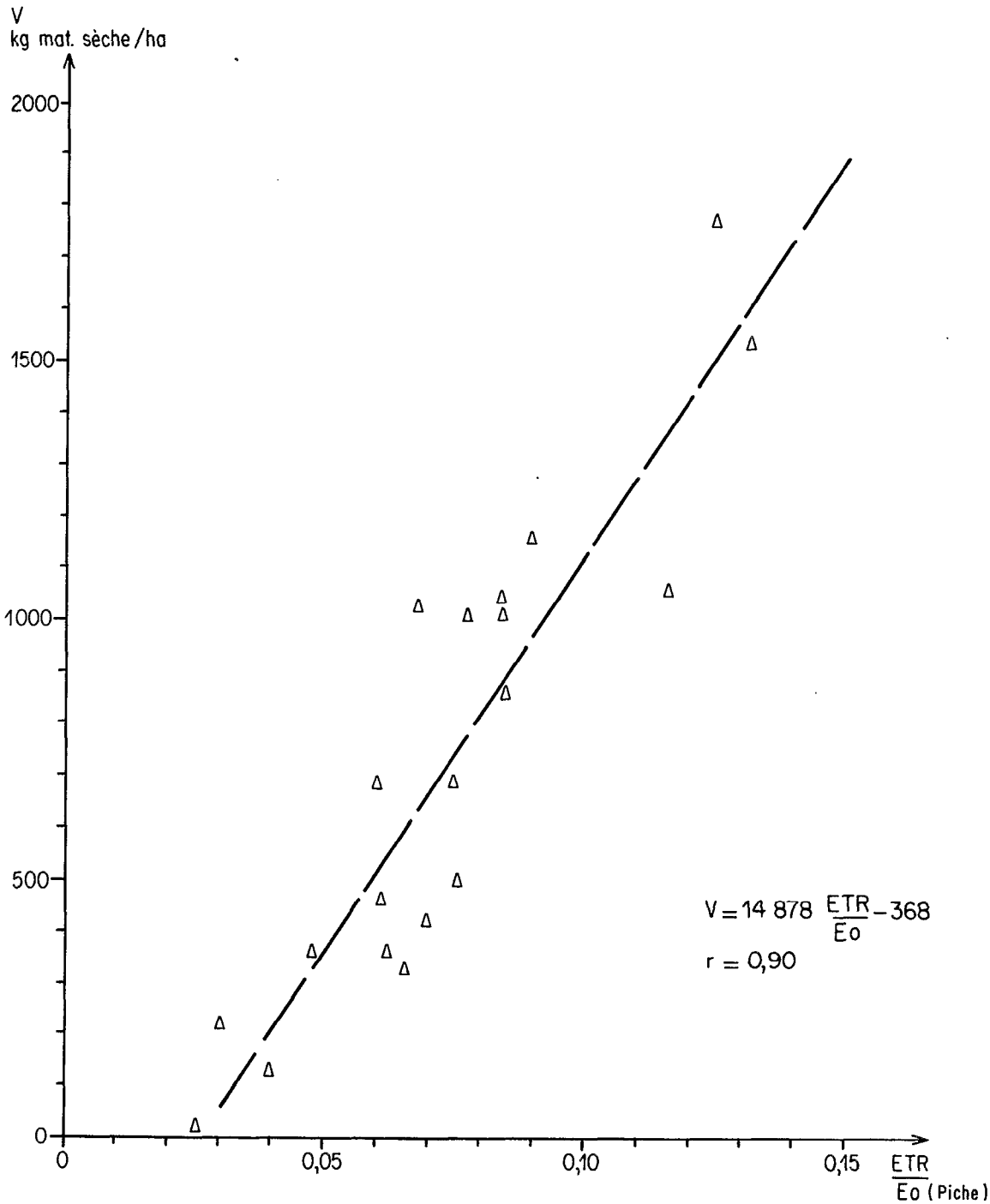


Fig. III.17 - Relation entre la production primaire annuelle et l'évapotranspiration réelle annuelle de quelques systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne.

3.8.2.2. *Accroissement moyen journalier de la production primaire et ETR moyenne journalière*

- Accroissements moyens journaliers de la production primaire

Les accroissements moyens journaliers de la partie aérienne de la végétation (ΔV) figurent sur le tableau III.28, pour différentes périodes allant de 1 à 3 mois. Les bornes des saisons coïncident approximativement avec les dates de mesures de végétation dans l'année. Elles varient de quelques jours selon les stations. Il s'agit évidemment d'accroissements moyens nets, les parties végétales mortes s'étant détachées de la plante entre deux dates de mesures ne sont pas prises en considération.

Les accroissements moyens les plus forts sont obtenus en général sur les sols limoneux (AA_1) qui comportent presqu'exclusivement des plantes annuelles. On a vu que les sols limoneux sont relativement riches en éléments nutritifs ; d'autre part, la période de végétation y est très courte et "explosive" (absence de concurrence des pérennes ?). Nous n'avons pas évidemment mesuré l'accroissement maximum absolu journalier (maximum moyen mesuré : 20 kg de MS/ha/j entre le 25 mars et le 22 avril 1974). On est cependant loin des 160-180 kg de MS/ha/j mesurés par VAN KEULEN (1975) à Migda en Israël sur une végétation à base d'espèces annuelles de stations assez comparables, mais au sol plus riche (avec fertilisation et une pluviosité mieux répartie).

Les bas-fonds alluviaux (ZR) ont également d'assez bons accroissements moyens journaliers, mais limités par une pauvreté plus grande du sol en éléments nutritifs. A noter cependant que la croissance la plus élevée a été mesurée sur cette station : 44 kg MS/ha/j entre le 28 mars et le 17 avril 1972.

Les steppes des zones sableuses comportant de nombreuses espèces pérennes (RK_3) ont leur accroissements maximums en fin de printemps, début d'été (avril - mai - juin), alors que sur les autres stations, où les annuelles dominent, la période de croissance se situe surtout en début de printemps (comme à Migda, en Israël).

Le maximum de croissance hivernale observée (RK_3 km 52 en 1972 -73) est de 4,9 kg de MS/ha/j, ce qui n'est pas négligeable.

Tableau-III 28 Quelques exemples d'accroissement moyen journalier de la production primaire et de l'ETR moyenne journalière

Année	Saison de la période de pousse de la végétation	Taux de croissance moyen journalier de la végétation (kg MS/ha/j)					ETR moyenne journalière (mm/j)				
		RK_3	RK_2	ZR	AZ_2	AA_1	Rk_3	Rk_2	ZR	AZ_2	AA_1
1971-1972	sept. oct. mi-nov.	0,3									
	mi-nov. déc. mi-janv.	0					0,28				
	mi-janv. févr. mars	1,4		19,2			0,53		1,51		
	avril - mai - juin	10,6					1,25				
1972-1973	sept. oct. mi-nov.	1,6		4,4			0,42		0,63		
	mi-nov. déc. mi-janv.	4,9			1,7		0,72			0,56	
	mi-janv. févr. mars	6,4	10,4	8,2	0,8	4,3	1,02		1,25	0,58	0,72
	avril - mai - juin	2,0	2,0				0,60				
1973-1974	sept. oct. mi-nov.	0			0,4		0,16			0,48	
	mi-nov. déc. mi-janv.	0,6			1,5		0,48			0,62	
	mi-janv. févr. mars	4,6	4,7	9,0	3,6	12,3	1,08	0,86	1,26	0,99	1,22
	avril - mai - juin	7,2	3,8				1,00	1,04			
1974-1975	sept. oct. mi-nov.	1,1			1,5		0,70			0,66	
	mi-nov. déc. mi-janv.	1,0			0,5		0,41			0,25	
	mi-janv. févr. mars	6,3	1,7		2,4	10,6	0,85	0,70		0,65	1,05
	avril - mai - juin	4,8	3,4				0,72	0,92			
1975-1976	sept. oct. mi-nov.	0,7					0,43				
	mi-nov. déc. mi-janv.	1,4		6,6			0,48		1,08		
	mi-janv. févr. mars	5,6		17,1		19,0	1,02				1,40
	avril - mai - juin	7,3					1,26				
1976-1977	sept. oct. mi-nov.	0,5					0,29				
	mi-nov. déc. mi-janv.	0,8					0,30				
	mi-janv. févr. mars	1,6					0,54				
	avril - mai - juin	0,4					0,25				

- Variations saisonnières de l'ETR moyenne journalière

L'ETR moyenne journalière est très variable au cours de l'année et suivant les stations, elle dépend de la demande évaporative et du type de système écologique (cf. § 2.4.2); on a pu enregistrer les maxima suivants sur les stations ci-après :

ZR (1ère décade avril 1974) $\bar{m}$ ETR = 2,54 mm/j alors qu'il était tombé 433,1 mm depuis le 1er sept. 1973

AA_1 (3ème décade mars 1974) $\bar{m}$ ETR = 2,13 mm/j alors qu'il était tombé 360,0 mm depuis le 1er sept. 1973

AZ_2 (3ème décade mars 1974) $\bar{m}$ ETR = 2,00 mm/j alors qu'il était tombé 255,4 mm depuis le 1er sept. 1973

RK_3 (3ème décade mars 1974) $\bar{m}$ ETR = 1,92 mm/j alors qu'il était tombé 305,3 mm depuis le 1er sept. 1973

En juillet et août, sur toutes les stations, $\bar{m}$ ETR est proche de zéro.

La figure III.18, donne une idée de la relation existant entre l'accroissement moyen journalier de la production primaire et l'ETR moyenne journalière, mais l'efficacité de l'eau évapotranspirée s'exprime en général globalement, sur l'ensemble de l'année, comme indiqué au paragraphe suivant.

3.8.2.3. *Efficacité de l'eau évapotranspirée*

Sur le tableau III.29, nous avons porté les valeurs de l'utilisation efficace de l'eau (*WUE*) tel qu'elle est définie par VIETS (1962), c'est-à-dire le rapport entre la matière sèche produite à la quantité d'eau évapotranspirée.

Pour la végétation spontanée, les résultats vont de 0,60 g. MS/kg. H_2O évapotranspirée pour le système écologique ZR à 0,18 pour le système RK_2 du Dissa. Il faut noter aussi que l'efficacité pour l'utilisation de l'eau du système RK_3 est meilleure que celle des systèmes dégradés RK_2 et RK_1. On trouve une variabilité comparable pour d'autres milieux arides étudiés ailleurs. SZAREK (1979) donne des valeurs allant de 0,14 à 0,79 pour 4 déserts américains ; celui de Rock Valley, qui a le climat se rapprochant le plus de celui de nos stations, montre des valeurs allant de 0,15 à 0,27 selon les années. TADMOR *et al.* (1974) obtiennent à

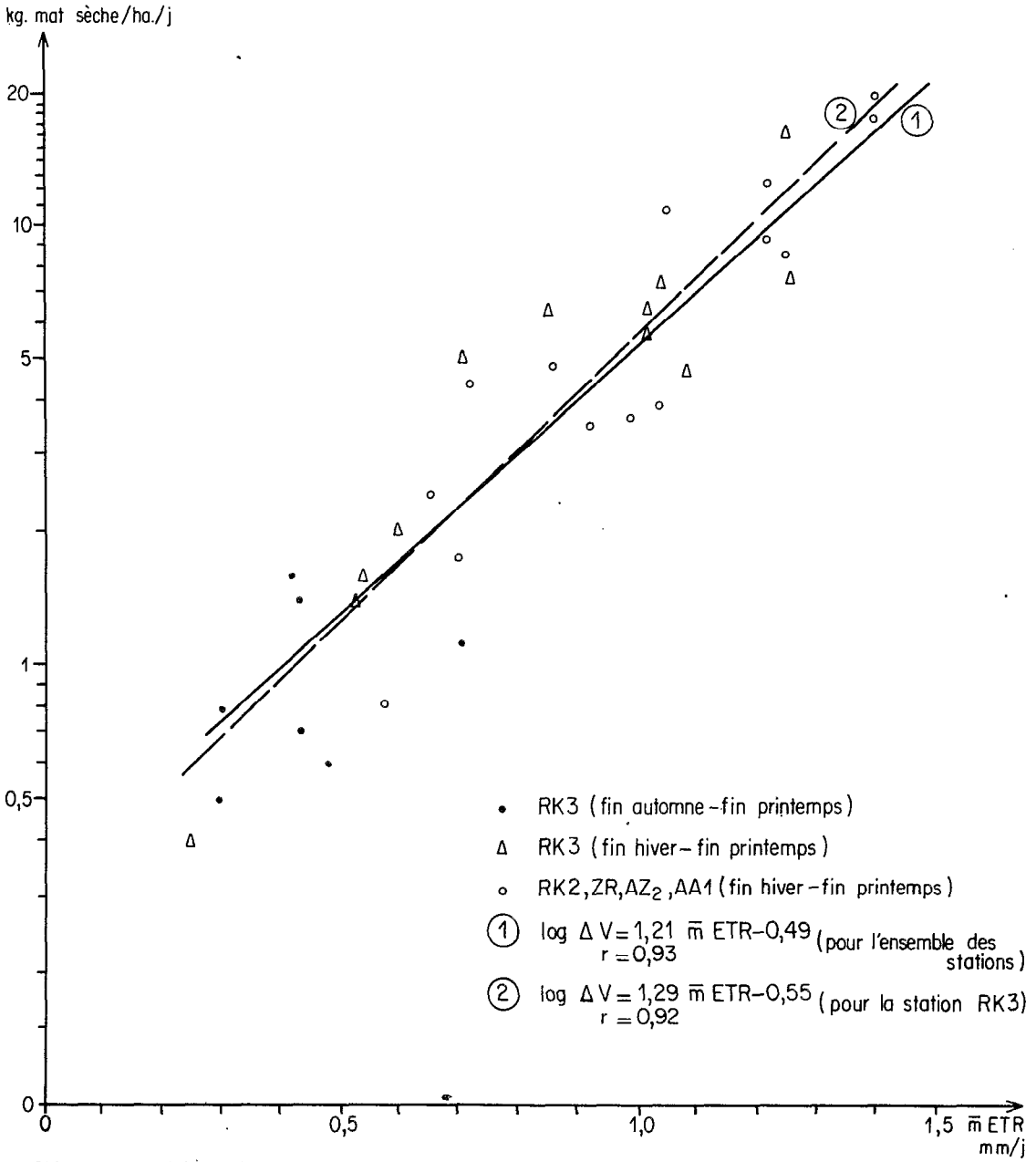


Fig. III.18 - Relation entre l'accroissement moyen journalier de la production primaire et de l'ETR moyenne journalière de quelques systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne (d'après FLORET et PONTANIER, 1978).

Migda, en Israël, une valeur WUE moyenne de 0,89 g. MS/kg H_2 O évapotranspirée pour un pâturage à base de plantes annuelles.

Pour lès valeurs de WUE des cultures en sec qui figurent au tableau III.29, nous avons considéré la production de l'orge (paille + grain exprimés en MS) ajoutée à celle de la végétation adventice qui occupe le sol avant et après la culture. Dans ces conditions les valeurs de WUE des zones cultivées ne sont pas très supérieures à celles des steppes correspondantes. L'efficacité des zones cultivées serait meilleure si l'on prenait en compte la seule céréale. Elle est évidemment meilleure si on effectue la comparaison en se basant sur l'énergie produite, comme on le verra plus loin.

En irrigué, les cultures de luzerne traditionnelles n'ont pas une valeur de WUE tellement supérieure aux meilleures steppes. En revanche, bien irriguée au niveau de l'ETP ($\simeq$1500 mm, soit 15000 m^3 d'eau/ha/an), l'efficacité pour l'eau d'une luzernière est 3 à 4 fois supérieure à celle des meilleures steppes (1,7 g. de MS/kg. H_2 O évapotranspirée).

SLATYER (1964) souligne qu'en zone aride la valeur de WUE est rarement supérieure à 0,5 (alors qu'elle peut atteindre 10 quand les meilleures conditions expérimentales sont remplies) car l'Index de Surface Foliaire (LAI) est faible ; c'est-à-dire que les appareils photosynthétiques ne sont pas assez importants pour rentabiliser un excès d'eau. D'autre part les plantes des zones arides accumulent dans les racines et dans les tiges des réserves importantes d'hydrates de carbone pour résister à la sécheresse et le rapport des tissus photosynthétiques aux tissus non photosynthétiques est faible. La quantité variable de pluies qui tombent durant la période optimum de végétation (et pas seulement la variabilité interannuelle de la pluviosité) explique en grande partie les différences des valeurs de WUE observée sur la même station selon les années.

La part qui revient à l'évaporation du sol dans l'ETR est d'ailleurs assez mal connue. HOLDRIDGE (1962) estime que évaporation et transpiration sont sensiblement égales dans tous les types d'environnement. En fait HILLEL et TADMOR, pour 4 stations du Negev évaluent l'évaporation entre 10 % à 66 % de l'ETR. Aux Etats-Unis, l'évaporation d'une steppe à *Artemisia tridentata* sous 350 mm de pluviosité annuelle est de

TABLEAU III 29 - Efficacité de la végétation pour l'utilisation de l'eau (WUE)(g.MS produite/Kg.H_2O évapotranspirée)

	Végétation naturelle							Culture en sec (orge + adventices)		Culture en irrigué (1) (Luzerne)		
Stations / Saison de végétation	AA_1	ZR	RK_3	RK_2	RK_1	AZ_2	RK_2 (Dissa)	aa_1	rk_2	oasis traditionnel	périmètres récents	expérimental irrigué à l'ETP
1971-1972		0,74	0,53									
1972-1973	0,25	0,60	0,52	0,43		0,13	0,17					
1973-1974	0,41	0,33	0,36	0,36	0,45	0,22	0,21	0,56	0,30			
1974-1975	0,73		0,54	0,26	0,27	0,20	0,15					
1975-1976	0,56	0,44	0,52					0,52	0,42			
1976-1977	0,00		0,26									
Moyenne										0,6	1,1	1,7

(1) Chiffres de production donnés par BALDY et al. (1967-1968), et par EL AMAMI et al. (1975).

23 % ETR (CALDWELL *et al.*, 1977) et celle d'une steppe à *Atriplex confertifolia* sous 250 mm de 50 % ETR (CAMPBELL, HARRIS , 1977). VAN KEULEN (1975) à Migda en Israël estime une évaporation variant de 30 % à 50 % de l' ETR selon la répartition des pluies de l'année.

Un essai de modélisation de la production primaire en liaison avec l'utilisation de l'eau, réalisé sur la station RK_3 (RAMBAL, 1980 ; FLORET *et al.*, 1981) a permis d'obtenir, par le calcul, une estimation de l'évaporation. Pour les 6 années d'observation, l'évaporation représente 50 % de l'ETR. Pendant les années sèches, l'évaporation est 40 % plus forte. Ceci recoupe une mesure d'humidité du sol effectuée sur une parcelle de sol nu stérilisé de la station RK_3 où 70 % de l'eau infiltrée avait été évaporée.

En utilisant ce chiffre de 50 % pour l'évaporation, les valeurs d'efficacité des systèmes écologiques pour l'eau transpirée seraient évidemment le double de ceux apparaissant au tableau III.29. Avec les données dont nous disposons, nous ne pouvons malheureusement pas calculer les valeurs de WUE transpirée espèce par espèce.

Il est bien évident que l'on obtient des coefficients d'efficacité de l'eau beaucoup plus forts, si l'on considère seulement la période de croissance des plantes et les pluies tombées durant cette période. Le tableau III.30 fait apparaître des taux d'efficacité de l'eau pour la production primaire (WUE) pendant certaines périodes de l'année. Ils sont toujours très faibles à l'automne. Ils peuvent être importants même en hiver, comme par exemple pour la station RK_3 qui montre un taux de 0,68 g. MS/kg H_2O évapotranspirée pendant cette période. Sur les limons (station AA_1) le taux d'efficacité dépasse la plupart du temps l'unité de janvier à mars ("explosion" des annuelles). En avril, mai et juin, le taux pour RK_3 atteint parfois 0,7 ou 0,8 lorsque les pluies de printemps abondantes ont permis le stockage de l'eau en profondeur, ce qui profite aux plantes pérennes tout en limitant relativement l'évaporation.

Par ailleurs, FISCHER et TURNER (1978) soulignent que l'humidité ambiante (agissant sur la transpiration) et l'enzyme photosynthétique de carboxylase (plantes en C_3 ou C_4) sont les facteurs les plus importants qui affectent les valeurs de WUE (à l'échelle de la plante). Malheureusement nous n'avons aucune donnée fiable dans notre étude sur les plantes C_3 et C_4, ni sur la transpiration.

TABLEAU III 30 - Quelques exemples de taux d'efficacité de l'eau pour la production primaire pendant certaines périodes de l'année.

Année	Période de pousse de la végétation concernée	Efficacité de l'eau (g MS/kg H_2O évapotranspirée)				
		RK_3	Rk_2	ZR	AZ_2	AA_1
1971-1972	mi-novembre - décembre - janvier	0				
	mi-janvier - février - mars	0,26		1,27		
	avril - mai - juin	0,85				
1972-1973	septembre - octobre - mi-novembre	0,38		1,05		
	mi-novembre - décembre - mi-janvier	0,68			0,30	
	mi-janvier - février - mars	0,63		0,66	0,14	0,60
	avril - mai - juin	0,33				
1973-1974	septembre - octobre - mi-novembre	0			0,08	
	mi-novembre - décembre - mi-janvier	0,12				
	mi-janvier - février - mars	0,43	0,56	0,71	0,36	1,01
	avril - mai - juin	0,72	0,35			
1974-1975	septembre - octobre - mi-novembre	0,16			0,23	
	mi-novembre - décembre - mi-janvier	0,25			0,20	
	mi-janvier - février - mars	0,74			0,24	1,01
	avril - mai - juin	0,67	0,37			
1975-1976	septembre - octobre - mi-novembre	0,16				
	mi-novembre - décembre - mi-janvier	0,29		0,61		
	mi-janvier - février - mars	0,55				1,35
	avril - mai - juin	0,58				
1976-1977	septembre - octobre - mi-novembre	0,17				
	mi-novembre - décembre - mi-janvier	0,23				
	mi-janvier - février - mars	0,30				
	avril - mai - juin	0,16				

3.8.3. Efficacité photosynthétique. Rendement énergétique

Le tableau III.31, donne les moyennes mensuelles du rayonnement global à Gabès. Le total représente 1651 mégacal/m^2/an.

TABLEAU III.31 Moyennes mensuelles et annuelle du rayonnement global à Gabès (1970-75) (en mégacal/m^2, d'après RAMBAL, 1980).

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
147	123	93	76	80	91	128	152	189	187	202	183	1 651

Si l'on admet qu'un gramme de matière sèche végétale représente 4,65 Kcal (LARCHER, 1975), les steppes sableuses en bon état (RK_3), et la végétation des zones limoneuses (AA_1) accumulent environ 0,03 % de cette énergie radiative (tableau III.32). Le meilleur rendement est celui du fond alluvial assez bien alimenté en eau (ZR).

Si l'on considère le rayonnement photosynthétiquement actif comme sensiblement égal à 50 % du rayonnement global, l'efficacité photosynthétique de ces types de végétation double par rapport aux chiffres précédents.

Si l'on s'intéresse maintenant à l'efficacité photosynthétique durant la période moyenne de croissance des plantes (observée pendant les années de mesure), les rendements énergétiques sont très différents entre RK_3 et AA_1 ; ce dernier type de végétation, uniquement à base d'annuelles, fournit une biomasse équivalente à celle de RK_3 (composée d'annuelles et de pérennes), mais dans un temps beaucoup plus court.

Enfin durant les périodes de croissance maximale sur quelques mois, observées dans ces 2 stations, l'efficacité de la photosynthèse arrive à 1,70 % pour RK_3 et à 5,05 % pour AA_1.

CHEW and CHEW (1965) observent des efficacités photosynthétiques sur l'année de 0,06 % dans une végétation désertique à *Larrea tridentata* en Arizona, ce qui est tout à fait comparable à nos chiffres. JORDAN (1971) pour une végétation dominée par la même espèce en zone désertique, cite un rendement de 0,003 % seulement. PEARSON (1965) en Idaho, en estimant le prélèvement opéré par les insectes à 15 % de la production primaire nette et les pertes par respiration des plantes également à 15 %, calcule une efficacité photosynthétique de 0,08 % pour

TABLEAU III 32 - Efficacité pour la production nette, des systèmes écologiques étudiés, par rapport au rayonnement global et au rayonnement photosynthétiquement actif.

	Végétation naturelle								Culture en irrigué[1] (Luzerne)		
Systèmes écologiques	RK_3	RK_2	RK_1	rk_2	RK_2 (Dissa)	ZR	AZ_2	AA_1	en oasis traditionnel	en périmètres irrigués	expérimentale irriguée à l'ETP
Production annuelle moyenne (g. MS/m2)	100,3	67,0	59,2	69,5	33,3	157,0	26,9	82,8	600	1300	2500
Production annuelle moyenne (Kcal/m2)	466,4	311,6	275,3	323,2	154,8	730,0	125,1	383,9	2790	6045	11625
Efficacité par rapport au rayonnement global annuel (%)	0,028	0,018	0,017	0,020	0,009	0,044	0,008	0,023	0,169	0,366	0,704
Efficacité photosynthétique (%)	0,056	0,036	0,034	0,040	0,018	0,081	0,016	0,046	0,388	0,732	1,408
Efficacité photosynthétique pendant la période de végétation (%) moyen-moyenne observée	0,86 1 nov.-15 juil.							2,05 1 fév.-1 mai			
Efficacité photosynthétique maximum observée (%)	1,70 1 avr.-1 juil. 1972							5,05 15 jan.-1 avril 1976			

(1) Chiffres de production donnés par BALDY et al. (1967, 1968) et par EL AMAMI et al. (1975).

pour une zone de steppe pâturée et de 0,11 % pour une steppe protégée ; ceci est également très comparable à nos calculs. SZAREK (1979) signale des efficacités photosynthétiques allant de 0,010 à 0,167 % selon les années pour 4 déserts nord-américains.

A titre de comparaison GALOUX, *in* DUVIGNEAUD (1974), obtient 1,47 % comme efficacité photosynthétique dans une forêt mixte de Belgique, soit un rendement 10 à 20 fois supérieur pour cette région tempérée, mais qui reste proche du meilleur rendement photosynthétique obtenu avec la luzerne irriguée à Gabès (1,41). NICHIPOROVICH, toujours cité par DUVIGNEAUD (1974), admet que l'efficacité maximum pour une région déterminée, dans le cas où l'alimentation en eau et en éléments nutritifs serait optimale, doit être évaluée à 4,5 % de la radiation photosynthétiquement active pendant la période de végétation active (température myenne de l'air supérieure à 5-10°C). Dans ces conditions, la productivité biologique potentielle maximale calculée de la région de Gabès serait de 80 tonnes de matière séche par hectare et par an.

D'une façon générale, cette faible accumulation d'énergie radiative doit être attribuée à la faible biomasse totale sur pied de ces communautés désertiques (de 500 à 2000 kg de MS/ha) et surtout à la faible biomasse verte (de 200 à 1500 kg de MS/ha). Bien que nous n'ayions pas calculé l'Indice de Surface Foliaire (LAI) de la végétation de ces systèmes écologiques, il est clair que celui-ci est en moyenne très inférieur à l'unité (alors que le LAI d'une forêt tempérée est compris entre 5 et 10).

3.8.4. Efficacité en fonction de la phytomasse sur pied

Le faible rendement photosynthétique à l'unité de surface ne veut évidemment pas dire que ce rendement soit faible au niveau des espèces elles-mêmes. Aussi BARBOUR (1969) propose-t-il que l'efficacité soit plutôt évaluée sur la base du rapport suivant, qu'il appelle efficacité "biotique" de la production (ou encore production relative) :

$$\frac{\text{production nette de la phytomasse aérienne}}{\text{phytomasse maximum sur pied}}$$

Ce rapport permet de s'affranchir des conditions abiotiques, et les potentiels génétiques des plantes pour la production peuvent être

appréciés. Le tableau III.33 donne des valeurs de ce rapport pour le total des plantes pérennes de quelques systèmes écologiques.

TABLEAU III.33 Efficacité pour la production nette des systèmes écologiques en fonction de la phytomasse sur pied.

Systèmes écologiques	RK_3	RK_2	RK_1	rk_2	RK_2 Dissa	AZ_2	AA_1
(1) Production nette annuelle Moyenne des pérennes (Kg MS/ha)	808	613	542		307	194	
(2) Phytomasse totale moyenne sur pied au pic de la production (Kg MS/ha)	2423	1363	943		687	1121	
Efficacité "biotique" de la production des pérennes $\frac{(1)}{(2)}$	0,33	0,45	0,57		0,45	0,17	
Production nette annuelle moyenne des annuelles (Kg MS/ha)	195	57	49	695	26	74	1032

Les valeurs les plus élevées de ce rapport, obtenues paradoxalement pour les systèmes écologiques dégradés RK_2 et RK_1 (0,45 et 0,57 respectivement), rendent compte du fait suivant : les mesures sont faites sur un parcours très surpâturé l'année précédente ; la phytomasse sur pied est donc faible, même s'il subsiste un système racinaire puissant ; la pousse mesurée durant l'année de mise en défens est très importante par rapport à cette phytomasse sur pied.

Ce rapport ne peut évidemment pas être calculé pour les stations rk_2 et AA_1 qui n'ont que des espèces annuelles ; le "turnover" dans le cas de ces stations est égal à 1,00.

On peut comparer les valeurs obtenues pour RK_3 (0,33) et AZ_2 (0,17) avec celles d'autres communautés végétales. SZAREK (1979), pour la végétation pérenne de 4 déserts américains, trouve des rapports d'efficacité "biotique" variant de 0,11 à 0,46 avec une valeur moyenne de 0,27. WHITTAKER (1962-1963), cité par BARBOUR (1967), calcule ce rapport pour un certain nombre d'arbustes des "Great Smokey Mountains" aux Etat-

Unis ; les valeurs vont de 0,11 à 0,50 ce qui est très comparable aux nôtres. Il s'y ajoute évidemment, comme dans nos stations, la production des annuelles qui n'est pas prise en compte dans le calcul de ce rapport.

Il apparaît donc que les Chaméphytes et les petits Phanérophytes des régions arides, sont largement aussi efficaces, si l'on considère ce rapport, que les arbustes des communautés de zones moins arides. Si l'on compare ces chiffres de production primaire relative de la steppe à ceux des forêts du globe, ces derniers sont en général plus de dix fois plus faibles ; en effet, dans le cas des forêts, la masse de tissus non photosynthétiquement actifs (bois) est considérable en regard des feuilles. En revanche la production relative de la steppe serait assez comparable à celle des prairies tempérées (EVENARI *et al.*, 1976).

3.9. PRODUCTION PRIMAIRE ET RESSOURCES PASTORALES

Si l'on examine la production primaire sous l'angle de son utilisation par les animaux domestiques, les remarques générales suivantes peuvent être faites, qui pourront conduire par la suite à des propositions d'aménagement (cf. 4ème Section IV) :

1) - la vitesse de production est maximum en général au début du printemps pour les espèces annuelles et une partie des espèces pérennes. Durant cette période les animaux ont plus de nourriture qu'ils n'en peuvent consommer. Mais cette quantité de matière verte produite, sèche très rapidement sur pied, et déjà en mai, une bonne partie de la végétation disparaît et se retrouve sous forme de litière, principalement en raison des vents de sable violents. Une part importante (quantitative et qualitative) de cette production est donc perdue si elle n'est pas consommée en vert ;

2) - quelques espèces pérennes continuent leur production jusqu'en juillet, les années où les réserves d'eau en profondeur dans le sol sont suffisantes. Elles prennent ainsi le relais des annuelles au début de l'été pour le bétail. La lignification des pousses de ces pérennes est rapide ;

3) - l'été, et assez souvent l'automne , sont des saisons creuses pour le pâturage. La production estivale est toujours à peu près nulle, sauf dans les bas-fonds et les jachères (chiendent), et les animaux broûtent les plantes sèches et les rameaux lignifiés des pérennes.

La disponiblité en végétation pastorale à l'automne, époque de l'agnelage dans le sud de la Tunisie, donc époque importante, est fonction d'un début de saison des pluies précoce. *Plantago albicans* joue un rôle très important dans cette végétation automnale ; hémicryptophyte à fort système racinaire, ses feuilles tendres se développent rapidement après une pluie ;

4) - les températures hivernales n'empêchent pas toute croissance de la végétation. S'il a plu, les animaux consomment en général les jeunes plantes annuelles et les premières pousses des pérennes pendant cette période ;

5) - l'accessibilité et la disponibilité de cette production primaire pour les animaux est variable selon les stations et les espèces. Sur les friches, la végétation est à base d'annuelles et donc en principe accessible en totalité. Il faut cependant que ces plantes atteignent une certaine taille, surtout pour les animaux adultes. NOY-MEIR (1975) considère que 500 kg MS/ha d'annuelles est le seuil à partir duquel une chèvre ou un mouton peut manger une ration adéquate dans la journée. Cette quantité n'est atteinte dans l'année que pendant une courte période pour les annuelles. Beaucoup de plantes pérennes ont leurs pousses accessibles en totalité, à l'exception des plantes piquantes (*Astragalus armatus* subsp. *tragacanthoïdes*, par exemple) et de certains chaméphytes en touffes (*Rhantherium suaveolens*). Il faut noter qu'en cas de surpâturage, les jeunes pousses des plantes pérennes sont beaucoup plus accessibles et la proportion de parties ligneuses plus faible que dans une formation en bon état. Il y a donc attirance des animaux vers les plantes déjà surpâturées. Nous n'avons pas effectué de mesures sur cette accessibilité par les animaux ; cependant dans différents travaux d'application, nous l'avons estimé pour chaque espèce (pour les ovins et caprins ; les camélidés pouvant consommer la plupart des plantes des steppes en totalité jusqu'au collet) (cf. tableau III.6). Cette évaluation est indépendante de la notion d'utilisation optimum de la production qui concerne la proportion des pousses vertes à ne pas consommer pour que la plante puisse constituer des réserves pour l'année suivante. On sait que cette proportion est variable selon l'espèce. La plupart des travaux conduisent à conseiller en zone aride de ne pas consommer plus de 50 à 70 % de

la production des pérennes pour éviter l'épuisement progressif des plantes de la steppe ;

6) - le problème des plantes refusées par les animaux, et qui participent à la production totale, mais non à la production pastorale, est évidemment à prendre en considération, mais n'est pas abordé ici. Rares dans les steppes en bon état, leur part dans la production devient plus importante dans les faciès de dégradation ; plantes piquantes (genre *Atractylis*, par exemple) ou à saveur amère (genre *Arthrophytum*, par exemple) ;

7) - une meilleure utilisation pastorale de la production est obtenue par des troupeaux mixtes. Les camelins rajeunissent les vieilles touffes trop ligneuses et consomment des espèces peu prisées des ovins et des caprins. Ces derniers s'accommodent des plantes buissonnantes et ligneuses ;

8) - l'acceptabilité des espèces est très variable selon les animaux et selon la saison (teneur en matière sèche). WAECHTER (1982) a évalué cette acceptabilité pour la plupart des espèces de la Tunisie présaharienne.

9) - La teneur en matière sèche de la production primaire varie évidemment au cours de l'année, la valeur nutritive de la plante étant en général meilleure au moment où le taux de matière sèche est faible. L'Annexe A25 donne l'évolution saisonnière du pourcentage de matière sèche pour quelques-unes des principales espèces pastorales des stations étudiées.

10)- La valeur nutritive du kg de matière sèche est variable selon les espèces. A titre indicatif l'Annexe A26 donne la valeur alimentaire des principales espèces pastorales recueillies en vert sur les stations de mesure ; les analyses ont été faites à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie et interprétées, pour la matière azotée digestible et la valeur énergétique (UF = unité fourragère), par MM. EL HAMROUNI et SARSON (1974). LE HOUEROU (1980) a réuni toutes les données disponibles sur la valeur alimentaire des espèces au Nord et au Sud du Sahara.

Parmi les stations étudiées, ce sont les steppes des zones sableuses en bon état (RK_3) et les pelouses à *Cynodon dactylon* qui présentent le rapport $\frac{\text{production pastorale}}{\text{production primaire}}$ le plus élevé en raison de leur

composition floristique ; mais leur intérêt en ce domaine apparaît encoplus évident si l'on considère la facilité d'utilisation de cette production pastorale. En effet, c'est dans ces deux formations que l'étalement de la production dans l'année est la meilleure, les plantes pérennes prenant le relais des annuelles relativement abondantes en général. Dans les friches post-culturales des glacis limoneux (AA_1) la production pastorale peut être importante lors des années à bonnes précipitations, mais cette production est exclusivement limitée au début du printemps et il faudrait une forte concentration en animaux pendant ce temps court pour en tirer parti en totalité.

Bien que les valeurs données n'aient pas une grande signification, le tableau III.33 fournit une approximation de ce que devrait être la charge d'équilibre à 1'ha pour une année à précipitations moyennes, ainsi que la production secondaire qui lui correspondrait.

TABLEAU III.34 Charge d'équilibre et production secondaire des types de végétation étudiés (pour une année moyenne).

Type de végétation	Charge d'équilibre : Surface nécessaire pour nourrir 1 mouton pendant 1 an	Production secondaire kg poids vif/ha/an (mouton)
RK_3	1,5 ha	6,1
RK_2 et RK_1	3,0 ha	3,0
RK_2 du Dissa	5,0 ha	1,9
AA_1	2,5 ha	3,8
AZ_2	10 ha	0,9
ZR	0,8 ha	9,4

Devant la variabilité interannuelle et intersaisonnière de la production, on saisit mieux les fluctuations périodiques des effectifs des troupeaux dans la région et les difficultés qu'a le pastoraliste à préconiser une charge en animaux. Cette production primaire ne peut être valorisée par une production secondaire convenable qu'à la condition de disposer de réserves fourragères de complément et il semble très difficile de constituer celles-ci à partir de la végétation spontanée (plan-

tes ligneuses ; production des espèces annuelles trop faible pour songer à une mécanisation de la récolte).

La création de réserves fourragères (à partir de fourrages irrigués ou non) est donc la seule façon de tirer parti de cette production primaire spontanée, disponible en abondance de façon sporadique et dont une grande partie est souvent perdue faute de disposer de suffisamment d'animaux pour la consommer rapidement. La végétation annuelle peut sécher en 15 jours et on a souligné la rapidité de la perte de phytomasse sèche sur pied, principalement en raison des vents de sable.

Les populations de phytophages (domestiques ou autres) subissent de grandes fluctuations liées au développement de la végétation et parfois à la disponibilité en eau de boisson. Pour toutes ces raisons, donner des chiffres de charge en animaux ou de production secondaire,ne correspond pas à grand chose. En revanche une meilleure connaissance des fourchettes de production primaire prévisible (cf. figure IV2) avec sa répartition dans l'année et l'appréciation du temps de régénération des différents types de parcours permettent d'envisager un aménagement pastoral sur des bases solides : charge optimale en fonction des réserves fourragères,elles-mêmes dimensionnées en fonction de la probabilité des périodes de disette ; pâturage différé (rotations, mises en défens) etc. A noter qu'en dehors de toutes considérations économiques ou de conservation des sols, l'introduction de parcelles de céréale dans l'aménagement est un facteur de sécurité : si l'année est bonne , il y a suffisamment de nourriture sur le parcours pour les animaux, les céréales produisent et la production de la végétation adventice de ces parcelles cultivées arrachée pour faire du foin ou pâturée après la récolte, n'est pas négligeable ; si l'année est mauvaise la céréale est pâturée en vert et donne un appoint fourrager en général supérieur à ce qu'aurait fourni la même surface de parcours non défrichée.

En effet, le labour favorise l'économie de l'eau dans le sol (meilleure infiltration des pluies, "mulching"). Le paysan est donc en général gagnant dans un premier temps sur le plan de la production primaire. Cependant, comme on l'a souvent souligné, l'érosion éolienne des zones sableuses défrichées dans cette région est un phénomène très important ; il a conduit à la stérilisation de grandes surfaces.

Les aspects concernant l'aménagement agro-pastoral (modèle

écologique) sur la base de la connaissance de la production primaire des principales unités de milieu et de la dynamique de la végétation et de l'érosion sont traités dans la Section IV.

3.10. CONCLUSION

En conclusion de ce chapitre sur la production des systèmes écologiques steppiques, il nous faut revenir sur l'intérêt de conserver à ces steppes leur structure originelle constituée par la juxtaposition de grands Chaméphytes (parfois de petits Phanérophytes), de petits Chaméphytes, d'Hémicryptophytes et de plantes annuelles. Cette structure est parfaitement "adaptée" car elle permet à la végétation de tirer parti au mieux de la répartition des pluies de l'année : si les pluies du printemps sont fréquentes et peu abondantes, les espèces annuelles et les petites espèces pérennes assureront la production (les annuelles contribuent en général plus à la production totale en zone aride qu'en zone plus pluvieuse). Si une grosse pluie humidifie le sol en profondeur les grandes espèces pérennes prendront le relais ; la production peut être ainsi étalée jusqu'à l'été, après la pousse printanière des annuelles. Il n'empêche évidemment, qu'en plus d'une variabilité interannuelle importante, la phytomasse sur pied présente un minimum marqué en été et en début d'automne ; ce qui a des implications évidentes pour son utilisation à des fins pastorales (cf. § IV.3.2.2).

Retenons aussi que, si l'on relève une relative proportionnalité entre la pluie et la production jusqu'à des précipitations un peu supérieures à la moyenne annuelle, il n'en est plus de même au-delà, ce qui montre bien que l'eau n'est pas le seul facteur limitant de la production.

Il est clair que, en moyenne, la production est faible : environ 1 tonne de matière sèche pour 200 mm de pluie annuelle dans les steppes les meilleures (à comparer avec 25 tonnes de matière sèche d'une luzernière de Gabès irriguée au niveau de l'ETP). Ici se pose le problème de l'efficacité du matériel végétal présent, et on peut se demander si la sélection et l'introduction d'espèces ayant un "zéro de végétation" plus bas que les espèces actuelles ne serait pas utile. En effet, il y a de l'eau disponible, avec une évaporation du sol relativement faible, durant l'hiver, à un moment où les plantes poussent mal.

Une recherche dans cette voie ne devra pas faire oublier qu'une meilleure efficacité pour la production totale risque de se faire au détriment de l'étalement dans l'année de la production.

Un exemple d'introduction d'espèces de ce type peut être donné avec l'orge, espèce qui pousse relativement bien en hiver et qui a une période de végétation courte. Terminons cet exposé par l'examen des rendements de cette culture comparés à ceux des steppes correspondantes avant défrichement.

En 1973-74, une steppe des zones sableuses (RK_3), a produit, avec 315 mm de pluie, 1062 kg MS/ha. Sur une parcelle voisine, défrichée quelques années auparavant, on a mesuré la même année 469 kg d'orge, 192 kg de paille et environ 150 kg d'adventices, soit environ 800 kg MS/ha au total (pour une culture traditionnelle, c'est-à-dire : sans préparation du sol avant semis, sans engrais, et avec enfouissement de 30 kg de semences à la fin de l'automne). La production en matière sèche est donc légèrement en faveur de la steppe (composée d'annuelles et de pérennes). Si l'on raisonne en unités énergétiques (unités fourragères), le résultat est de 350 UF pour la steppe, et 550 UF environ pour la culture (dont une partie serait même consommable par l'homme).

Pour une friche des zones limoneuses et pour la même année (mais aussi avec 371 mm de pluie dans cette station), la production a été de 1050 kg MS/ha. La culture d'orge voisine a donné 820 kg de grains /ha, 680 kg de paille et environ 200 kg d'adventices, soit 1650 kg MS/ha au total. La friche, composée uniquement d'annuelles a donc été moins productrice que la culture d'orge, surtout si l'on considère les résultats exprimés en unités fourragères : 350 UF pour la friche contre 1000 pour la culture.

Ces résultats montrent ce qui tend à favoriser actuellement le comportement des producteurs ruraux, lesquels procèdent à un défrichement généralisé pour la culture, en particulier des zones sableuses, malgré les conséquences à long terme pour la baisse de potentialité des sols liée à l'érosion (cf. Section IV). C'est aussi pourquoi les aspects dynamiques et à long terme de l'étude des systèmes écologiques revêtent une importance particulière dans ces régions arides.

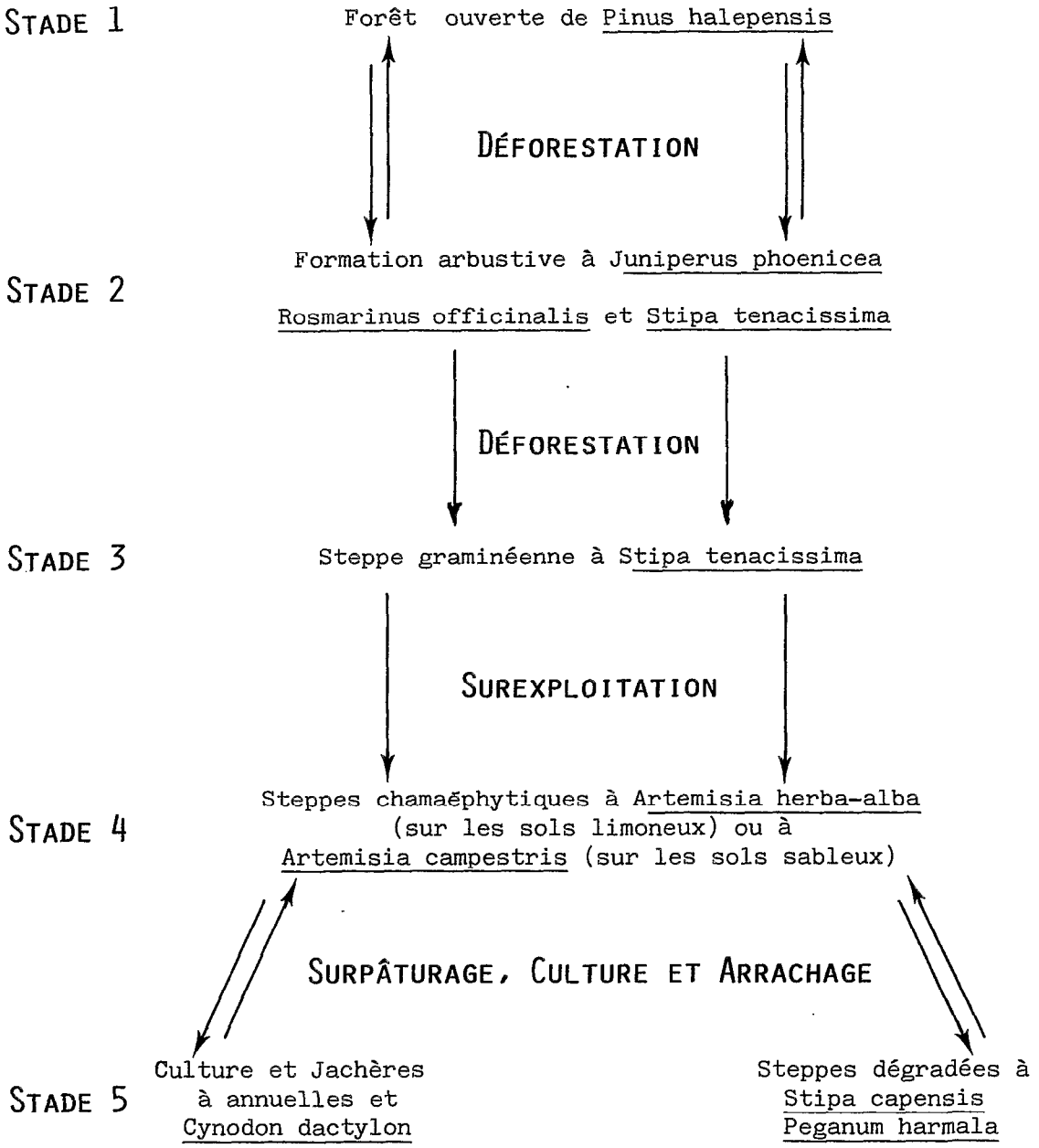
4. DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION ET ARIDITÉ

4.1. GENERALITES

Les changements phénologiques qui se produisent à l'occasion du cycle annuel ne seront pas étudiés ici. A l'autre extrémité de l'échelle des temps, l'histoire de la végétation et son évolution ancienne dans la région seront à peine évoqués, parce que nous manquons de données originales pour le faire. Notons cependant (DESPOIS, 1961), qu'au cours de la période historique, se sont sans doute produits de grands changements dans cette évolution. Avant l'arrivée des Romains, les populations étaient encore essentiellement pastorales et la première phase de régression pour la végétation naturelle doit coïncider avec cette époque romaine (entre le 2ème siècle av. J.C. et le 5ème siècle ap. J.C.) suite au développement de la population et des cultures. Les conquêtes arabes des 7ème et 9ème siècles ont peut-être un peu favorisé la reprise de la vie pastorale qui pouvait être compatible avec une augmentation des surfaces couvertes par la végétation spontanée ; mais c'est surtout à partir de l'invasion des nomades orientaux du 11ème siècle que la population a régressé, que les défrichements ont cessé, et que l'on a sans doute assisté à la reconquête des sols cultivés par la végétation naturelle steppique. Enfin, depuis le début du XXème siècle, le développement de la population et la sédentarisation ont provoqué les phénomènes dynamiques actuels qui entraînent une régression importante de la végétation et que nous étudierons plus particulièrement.

Une très bonne vue globale de la succession dans l'ensemble de la zone aride (100-400 mm) nord-africaine est donné par LE HOUEROU (1981) (tableau III.19).

Figure III.19 Dynamique de la végétation dans la zone aride nord-africaine (d'après LE HOUEROU, 1981).



Pratiquement, le stade 1 a disparu de la zone présaharienne (100-200 mm). Le stade 2 est présent sur quelques rares montagnes (mais qui reçoivent plus de 200 mm). En fait, actuellement, les passages 1 ⇄ 2 et 2 → 3 ne peuvent se produire que dans des zones montagneuses qui reçoivent plus de 300 mm de pluie.

Le stade 3 à *Stipa tenacissima* est situé sur la plupart des sommets de la zone qui nous concerne (système écologique SD). Nous n'avons pas observé nettement le passage actuel de 3 à 4. Ce passage est de "l'histoire ancienne" et devait effectivement se produire lorsque la surexploitation de l'alfa était progressive et non suivie d'un surpâturage trop intensif. Actuellement, la dégradation de cet alfa de montagne sèche se fait directement du stade 3 vers un stade 5 dégradé tant la pression de l'homme est forte.

Dans notre étude, qui se situe à une échelle plus grande que celle du schéma proposé ci-dessus, nous avons suivi principalement les transformations régressives et progressives qui peuvent se produire entre les stades 4 et 5. Il est évident qu'étudiés à grande échelle les stades 4 et 5 comprennent des systèmes écologiques beaucoup plus nombreux que ceux du schéma. La figure IV.4, donne un exemple de la complexité des évolutions possibles des systèmes écologiques de la zone-test de Zougrata qui représente une bonne partie de la région étudiée.

L'étude de ces transformations, du point de vue de la végétation, implique une référence à la "séquence" de végétation (cf. préambule de cette Section III). A titre d'exemple, pour cette même zone-test, LE FLOC'H reconnait 9 séquences de végétation :

Séquences		Systèmes écologiques
Rhantherium suaveolens	(RK)	RK_3 RK_2 RK_1 rk_2 rk_1
Aristida pungens	(AR)	AR_2 AR_1
Artemisia herbe-alba	(AA)	AA_2 AA_1 aa
Stipa tenacissima	(SD)	SD_2 SD_1
Gymnocarpos decander	(GD)	GD_2 GD_1
Anarrhinum brevifolium	(AZ)	AZ_1 AZ_2
Ziziphus lotus	(ZR)	ZR zr
Pulicaria laciniata	(PV)	PV pv
Nitraria retusa	(NS)	NS

En principe donc, chacun des systèmes écologiques que nous avons définis appartient à une séquence ; les systèmes écologiques d'une même séquence se succèdent dans le temps. Ceci est vrai d'une façon générale pour la série progressive liée à l'abandon de la pression humaine. En revanche, une érosion intense ou un dépôt éolien important lié à l'augmentation de cette pression (série régressive) peut aller jusqu'à provoquer un changement de séquence en un lieu donné. C'est ce que traduisent certaines liaisons de la fig. IV.4.

Nous réserverons, pour la Section IV, de plus amples discussions sur la régénération et surtout la dégradation des systèmes écologiques au niveau de l'ensemble de la région, car elles rejoignent les problèmes relatifs à la désertisation et à l'aménagement régional. En effet, dégradation des sols et de la végétation sont indissociables à cette échelle. Nous nous attacherons plutôt, dans cette Section III consacrée à la végétation, à l'examen de quelques processus de la dynamique végétale, régressive et progressive, liée à l'aridité et à l'utilisation du sol.

4.2. DEGRADATION DE LA VEGETATION

4.2.1. Causes de la dégradation et leurs effets

Les causes de la dégradation de la végétation sont principalement le labour, le surpâturage, et à un moindre degré, l'arrachage des ligneux (pour le bois de chauffage et des plantes à fibre).

Le labour provoque la destruction des espèces pérennes, même celles à fort système racinaire. En contrepartie, la mise en culture brise la pellicule de battance et permet une meilleure infiltration de la pluie ; les espèces annuelles ont des conditions de germination et de pousse meilleures que dans la steppe. Malheureusement, ces annuelles ne subsistent que durant une courte période dans l'année, et sont incapables de fixer le sol. Le degré de dégradation varie selon la sensibilité de la végétation (GODRON, POISSONET, 1972) du système, la fréquence et le type des labours. Le labour traditionnel épargne une grande partie des pérennes ; l'araire tourne autour des touffes les plus importantes, ce que ne fait pas la charrue à disques qui détruit les pérennes en 2 ou 3 passages. D'autre part, le nombre d'espèces est considérablement réduit dans les zones de culture. Ceci est illustré par des mesures effectuées dans une steppe sableuse à *Rhantherium suaveolens* peu dégradée

(RK_3) et qui fut ensuite défrichée de deux façons différentes. Le tableau III.35 donne des résultats de mesures faites au printemps qui a suivi le défrichement.

TABLEAU III.35 Effet de la culture et du mode de défrichement sur la végétation (d'après LE FLOC'H et FLORET, 1972)

	Couvert végétal %	Couvert de la céréale %	Couvert de *Rhantherium suaveolens* %	Nombre d'espèces
Steppe à *Rhantherium* (RK_3) *suaveolens*	25	0	17	39
Défrichement traditionnel(rk_2) à l'araire	11	0,7	7	25
Défrichement à la charrue(rk_2) à disque	5	0,5	2	13

Le surpâturage réduit le couvert végétal et la biomasse des plantes pérennes, ce qui n'est pas trop grave tant que les espèces restent assez denses et conservent un bon potentiel de régénération. Si le surpâturage se prolonge, les meilleures espèces pastorales disparaissent (en général, les graminées et les légumineuses). La plante voit, en effet, ses tissus photosynthétiques progressivement réduits, et ainsi ses réserves pour la régénération diminuer de plus en plus ; elle s'étiole et le système racinaire diminue, puis finalement, elle meurt. Il ne subsiste que les espèces les moins appétentes, soit épineuses, soit à odeur et saveur fortes, soit même toxiques: *Astragalus armatus* ssp.*tragacanthoides*, *Arthrophytum scoparium*, *Arthrophytum schmittianum*, *Peganum harmala*, *Thymelaea hirsuta*, *Zygophyllum album*, *Coris monspeliensis*, *Astragalus caprinus* subsp. *lanigerus*, *Stipa tenacissima*, etc. Remarquons que la présence dans la flore de telles espèces plus ou moins refusées par les animaux est un facteur favorable, car, après surpâturage, elles retiennent encore, relativement, le sol. Nombre de terres seraient totalement en proie à l'érosion en leur absence.

L' adaptation des bonnes espèces pastorales, au surpâturage, fait appel à des processus relativement mal connus. Il semble que pour nombre de pérennes, les hydrates de carbone de la photosynthèse migrent

rapidement dans les racines et dans le vieux bois (GARRISON, 1971). La migration de ces réserves dans les racines de *Plantago albicans* doit être par exemple très rapide. Cette excellente espèce pastorale supporte des coupes répétées presque jusqu'au collet ; d'autre part, le port étalé sur le sol qui est souvent le sien est un obstacle à la préhension par les plus gros animaux. Compte tenu de la forte pression pastorale actuelle, il est hors de doute que les espèces dominantes actuelles de la steppe sont arrivées à dominer grâce à leur adaptation particulière à résister à la sécheresse et à la dent de l'animal. On peut même avancer l'hypothèse selon laquelle certaines espèces pourraient disparaître en l'absence de pâturage, qui réduit la surface foliaire à la fin du printemps, et donc la transpiration quand vient la saison sèche. On rejoint ici des problèmes de co-évolution entre systèmes pastoraux et animaux herbivores, qu'il est souvent difficile de résoudre.

L'arrachage des ligneux pour le bois de chauffage est un phénomène sélectif. Certains sont plus appréciés que d'autres et on les transporte fort loin. Nous n'avons pas fait d'études particulières sur ce sujet, mais l'absence quasi totale d'arbustes sur la steppe et surtout dans les montagnes n'a sans doute pas d'autre origine. Notons aussi l'arrachage également sélectif de l'alfa (*Stipa tenacissima*) pour la sparterie et surtout pour la fabrication du papier. On sait que cette espèce ne se régénère plus que par voie végétative (rhizomes) alors qu'elle devait originellement germer sous couvert forestier. Son exploitation trop intensive conduit à un affaiblissement progressif des touffes puis à leur disparition.

Le tableau III.1 permet de se faire une idée de la diminution de la phytomasse sur pied suite à la dégradation. Cette phytomasse, dans les systèmes pastoraux dégradés, est en général 2 à 3 fois moindre que dans le système en bon état de la séquence. Il subsiste en moyenne 150 à 600 kg MS/ha d'espèces pérennes.

4.2.2. Dégradation de la végétation et type de substrat

En considérant les phénomènes de dégradation en zone aride, il apparaît clairement que la dynamique régressive de la végétation est fortement liée à celle du substrat. Les causes de la dégradation dont il vient d'être question ci-dessus conduisent toutes à une raréfaction du

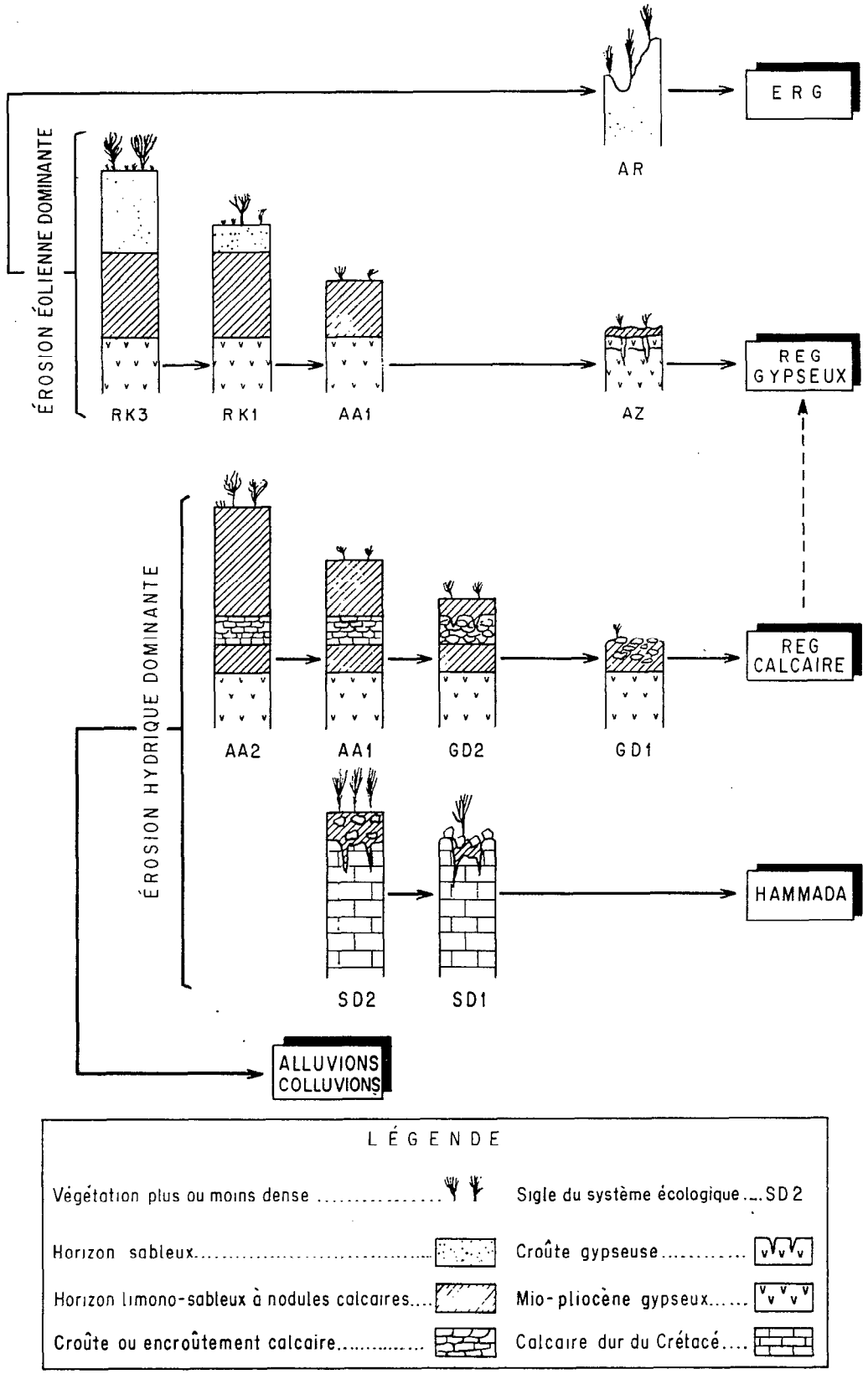


Fig. III.20 – Dégradation de quelques systèmes écologiques en Tunisie présaharienne (d'après FLORET et al., 1977).

couvert et de la biomasse végétale, ce qui favorise l'érosion éolienne et hydrique (cf. II.1.3.2,1.3.3) les nouvelles conditions de milieu créées par l'érosion (diminution de la matière organique, de la réserve en eau des sols, etc.) entraînent alors des modifications dans le tapis végétal. Dégradation du couvert végétal signifie donc apparition de conditions d'aridité croissante. POUGET (1980) établit d'ailleurs en Algérie un bon parallèle entre les phénomènes observés le long d'un gradient d'aridité croissante (changement de la composition floristique, réduction de la phytomasse, de la matière organique du sol, etc.) et ces mêmes phénomènes rencontrés dans la série de dégradation.

L'érosion se manifeste évidemment d'une façon différente selon le substrat. L'érosion éolienne ou l'érosion hydrique dominent selon les cas. La dégradation est plus ou moins rapide selon le degré de sensibilité des sols et de la végétation aux causes de l'érosion (FLORET *et al.* 1973, 1976, 1977). Nous ne reviendrons pas sur les processus de l'érosion dont il a été largement question dans la Section II. La figure III. 20 schématise ces phénomènes de la dégradation des sols et de la végétation, qui ne sont en général plus réversibles (exemple : RK→AA→AZ ; ou encore AA→GD).

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les processus de dégradation qui sont développés plus largement dans le chapitre IV.1 ayant trait à la désertisation. En revanche nous allons tenter d'approfondir un peu notre réflexion sur les phénomènes de régénération.

4.3. REGENERATION DE LA VEGETATION

Si des mises en défens, souvent de longue durée, ont été réalisées et suivies dans les zones arides d'Australie (TRUMBLE and WOODROFFE, 1954 ; NOBLE, 1977) ou des Etats-Unis (BUFFINGTON and HERBEL, 1965; SMITH and SCHMUTS, 1975), il n'existe pratiquement aucune zone protégée qui ait fait l'objet d'observations chiffrées et continues dans les différents pays de l'Afrique du Nord et du Proche Orient arides : LE HOUEROU (1969, 1977) présente quelques données pour des parcelles protégées en Tunisie, Libye et en Iran : en Tunisie par exemple, dans une zone sableuse qui reçoit 80 mm de pluie et qui fut protégée durant 80 ans (Nefta), la végétation avait 2-3 m de haut et couvrait 30-50 % de la surface du sol, alors que les parties non protégées présentent un couvert végétal pratiquement nul.

NAEGELE (1959) ADAM (1967) tirent les conclusions de plusieurs années de protection de la végétation aride en Mauritanie ; la régénération semble excellente. THALEN (1979) compare des résultats obtenus hors et dans les exclosures sur différents types de végétation en Irak ; il note un augmentation de la phytomasse et de la production dans les parcelles protégées, ainsi que le développement d'une strate herbacée. AYYAD (1978), en Egypte, indique que la protection durant 3 ans d'une végétation recevant 150 mm de pluie moyenne annuelle, conduit à une augmentation de la production primaire et à un comportement phénologique différent des espèces. La densité augmente de 38 % dans une station et de 200 % dans une autre.

En effet, rares sont les occasions qui se présentent d'étudier une série progressive dans ces marges présahariennes très fortement soumises à la pression humaine. Des successions primaires peuvent s'observer soit à l'occasion de grandes inondations qui déposent des alluvions nouvelles dans les zones de concentration des eaux, et qui sont ensuite recolonisées par la végétation, soit encore lors de cas particuliers, comme celui de la colonisation de nouvelles dunes.

Quant à nous, nous avons plus particulièrement étudié des successions secondaires, d'une part en réalisant des observations dans les quelques zones protégées qui peuvent se rencontrer dans la région, d'autre part en installant des mises en défens dans lesquelles des observations périodiques ont été effectuées.

Nous prendrons comme base de réflexion les observations et les mesures effectuées sur 5 systèmes écologiques de la zone étudiée que nous avons protégés totalement contre les gros herbivores (par une clôture) durant 7 années consécutives. Ces systèmes écologiques steppiques, à des états de dégradation divers, ayant été utilisés de façon trop intensive pour le parcours, l'objectif était d'en étudier les possibilités de régénération (évolution de la composition floristique, du couvert, de la litière).

4.3.1. Méhodes d'étude utilisées

Une topo-séquence-type, représentative des collines de la région naturelle de la "Djeffara", a été choisie dans la région de Gabès sur le versant d'une colline culminant à 147 m (Dj. Dissa, cf. figure 2). Trois systèmes écologiques y ont été étudiés et suivis de 1972 à 1979 avec, du haut vers le bas :

Station 1 - Une végétation steppique sur croûte gypseuse (système AZ_1).

Station 2 - Une végétation steppique à Rhantherium suaveolens dégradée par surpâturage sur colluvion sableuse, gypseuse caillouteuse en surface (sierozem tronqué), (transition entre les systèmes RK_2 et AZ_1).

Station 3 - Une végétation steppique très claire sur colluvion-alluvion sableuses, calcaires, profondes (sierozem), faciès post-cultural pâturé à Plantago albicans de la steppe à Rhantherium ci-dessus (systèmes RK_2- Dissa).

Plus à l'ouest, dans la région naturelle des "Basses Plaines Méridionales Orientales", deux autres stations ont également fait l'objet de mise en défens et de mesures sur la végétation entre 1972 et 1979 :

Station 4 - Une végétation steppique de plaine sableuse, à Rhantherium suaveolens, utilisée comme terrains de parcours, sur sol sableux profond (sierozem), (système RK_3).

Station 5 - Un faciès post-cultural à Arthrophytum scoparium, vieux d'une dizaine d'années, pâturé, d'une steppe à Armoise blanche, sur sol colluvionné de piémont, profond, limoneux et gypseux, traditionnellement cultivé en céréales (système AA_1).

Ces systèmes écologiques, décrits plus en détail aux § III.3.2., sont assez bien représentatifs des types de végétation steppique qui couvrent les plus grandes surfaces dans les deux régions naturelles considérées, à l'exception des dépressions à végétation salée en général peu dégradée, et des sommets calcaires où domine Stipa tenacissima (système SD_2) dont la régénération liée à la mise en défens a été étudiée par GADDES (1978).

Sur chaque station, un dispositif de mesure a permis de suivre l'évolution du recouvrement de la végétation et de la litière. Le dispositif consiste en l'installation de lignes permanentes pour faire des mesures de recouvrement par "points" équidistants sur une ligne. Chaque ligne est matérialisée par deux piquets scellés. Deux ou trois fois par an au moins (automne et printemps), un double décamètre à ruban est tendu entre ces deux piquets. Une fine aiguille est descendue dans la végétation tous les 5 cm le long du ruban. La présence de toute espèce (vivante ou morte) ou morceau de litière touché au moins une fois par l'aiguille est noté.

Si n est le nombre de présences d'une espèce sur la ligne comportant N points de lecture, sa fréquence spécifique (FS) (DAGET et POISSONET, 1971),s'exprime en % ; il est donné par la formule :

$$FS = \frac{n}{N} \times 100$$

Le recouvrement est lié à la fréquence spécifique (GREIG-SMITH, 1964; GODRON, 1968) et il est même la limite de cette fréquence quand la taille des points diminue indéfiniment.

Notons que la somme des fréquences spécifiques et des recouvrements est supérieure au recouvrement total de la végétation s'il y a contact avec plusieurs espèces pour un même point.

A chaque lecture, 640 points espacés de 5 cm ont été observés pour les stations 1, 2, 3 et 5 ; 800 points pour la station 4.

Statistiquement, pour une espèce qui couvre réellement 20 % de la surface du sol, on aura 95 % de chances de mesurer une FS comprise entre 17 % et 23 % environ avec le nombre de points échantillonnée ici (MORICE et CHARTIER, 1954). Le nombre de points lus est donc un peu insuffisant pour les espèces à faible recouvrement.

Il faut également noter le biais introduit par l'épaisseur de l'aiguille (GOODALL 1952) et par le vent qui, même faible, agite les feuilles et provoque des contacts supplémentaires.

Sur la station 4, en plus des mesures de fréquences spécifiques destinées à estimer les variations du recouvrement, on a installé un dispositif permettant de suivre l'évolution de la densité des principales espèces pérennes (touffes, individus). Un carroyage de parcelles élémentaires de 4 m x 8 m, représentant une surface totale protégée de 768 m^2 a été matérialisée sur le terrain, et les comptages des individus d'espèces pérennes y ont été effectués périodiquement.

Sur chaque station, des relevés pluviométriques ont eu lieu durant les 7 années des mesures (l'année pluviométrique est prise entre le 1er septembre d'une année et le 31 août de l'année suivante). Les données des précipitations apparaissent sur le tableau III.36.

Les précipitations des 4 premières années sont donc en général voisines de la moyenne ou nettement supérieures à celle-ci, alors que les années suivantes sont sèches. La dernière n'est sèche que pour les stations 4 et 5.

TABLEAU III.36 Précipitations annuelles et moyennes (en mm) au voisinage des cinq stations mises en défens.

STATIONS et date mise en défens	1972 1973	1973 1974	1974 1975	1975 1976	1976 1977	1977 1978	1978 1979	Moyenne des 7 années
1,2 et 3, (Dj. Dissa- 1/8/1972)	164	260	199	534	102	136	167	221
4, (Km 52- 1/10/1971)	210	315	186	295	85	136	88	188
5,(Citerne Telmam 1/10/1972)	164	371	167	357	96	156	114	203
Moyenne à Gabès : 1884/1974 = 187 mm								

4.3.2. Résultats. Intérêt de la mise en défens

Les résultats apparaissent en détail sur les tableaux en Annexes A271 à A276, et sur les figures III.21 et III.22.

Station 1 : Système AZ_1 (Annexe A271).

Cette station sur croûte gypseuse ne comporte que des plantes pérennes, sans doute installées à l'occasion d'évènements pluviométriques exceptionnels ; les espèces annuelles n'arrivent pas à germer sur ce substrat. Aussi, la somme des fréquences spécifiques est-elle peu variable d'un saison à l'autre.

On voit apparaître des espèces pérennes gypsophiles qui, quoique présentes antérieurement dans la station, avaient un recouvrement trop faible pour être détectées : Helianthemum crassifolium, Lygeum spartum, Pituranthos chloranthus ssp. cossonianus. Le couvert de toutes les autres espèces a aussi augmenté.

Cette végétation possède une dynamique lente, la somme des fréquences spécifiques, voisine de 7 % au départ, ne dépassant guère 18 % après 7 ans de mise en défens (accroissement : x 2,6). La litière, inexistante, avant protection, arrive à recouvrir 4 % de la surface du sol.

Station 2 : Transition entre le système RK_2 du Dissa et le système AZ_1 (Annexe A272).

Après un accroissement régulier de la somme des fréquences spécifiques des pérennes au printemps durant 3 ans, celle-ci se stabilise autour de 35-40 % durant les années suivantes (accroissement : x 2).

Là aussi, des espèces nouvelles apparaissent, telles que Helianthemum kahiricum et Atractylis serratuloides, mais sans prendre un très grand développement. Les espèces qui, relativement, se développent le plus sont Rhantherium suaveolens et Thymelaea microphilla, présentes en 1972, mais très surpâturées. La station retrouve progressivement sa physionomie de "steppe pastorale en bon état". Plantago albicans, très bonne espèce pastorale, dont on aurait pu attendre un bon développement, voit son recouvrement fluctuer selon les précipitations annuelles. Les recouvrements d'Echiochilon fruticosum et d'Argyrolobium uniflorum ont régulièrement augmenté durant la période pluvieuse (jusqu'en 1977), pour diminuer par la suite (période sèche).

La litière, de 0,3 % au départ, avoisine 10 % à certaines périodes.

Station 3 : Système RK_2 - Dissa (Annexe A273).

La végétation, située sur les sols sableux profond, mais très surpâturée à l'état initial, a bien profité de la protection. La somme des FS des espèces pérennes passe progressivement de 33 à 61 % en 7 ans (accroissement : x 2, au printemps).

Cette augmentation est due principalement au développement d'Helianthemum lippii var. sessiliflorum, Echiochilon fruticosum et Rhantherium suaveolens. Cette dernière espèce, qui avait été à peu près éliminée par la culture, se réinstalle cependant très lentement. Pituranthos chloranthus ssp. cossonianus apparaît et se multiplie beaucoup durant les trois dernières années sèches. Argyrolobium uniflorum, comme dans la station 2, se développe en année pluvieuse. Plantago albicans évolue peu.

La figure II.22, montre les très grandes variations saisonnières de la somme totale des recouvrements, liées au développement printanier des espèces annuelles. Parmi

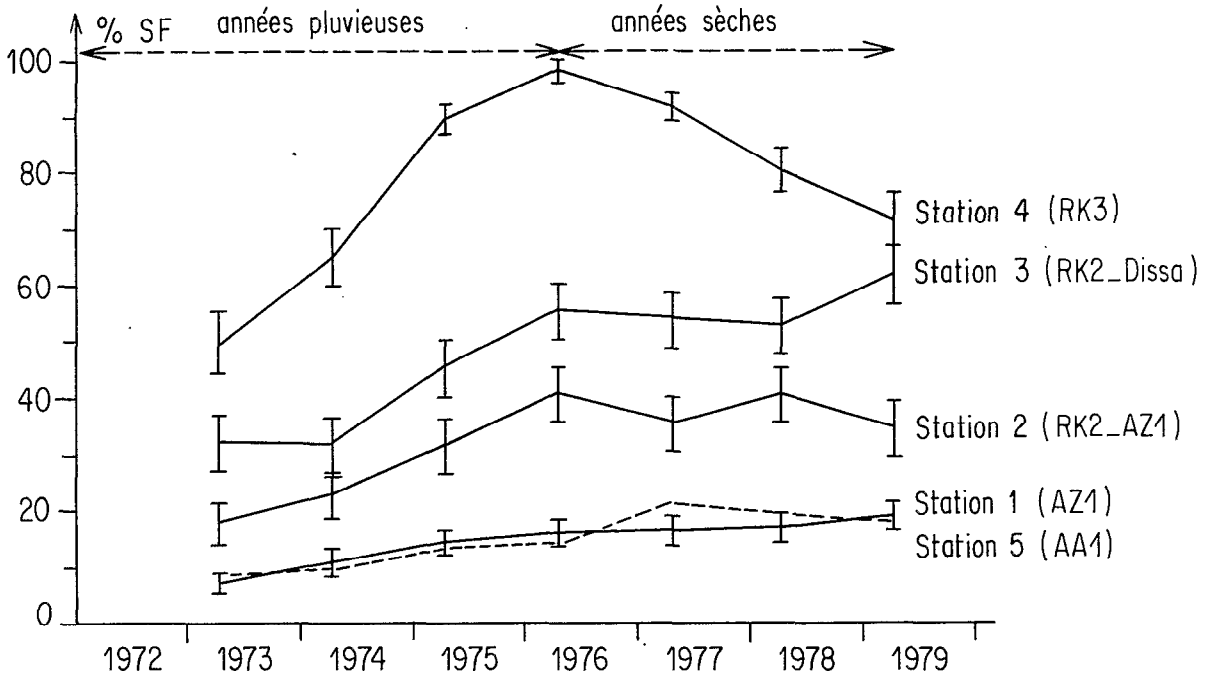


Fig. III.21 - Evolution de la somme des fréquences spécifiques des espèces pérennes au printemps dans cinq stations mises en défens en Tunisie présaharienne.

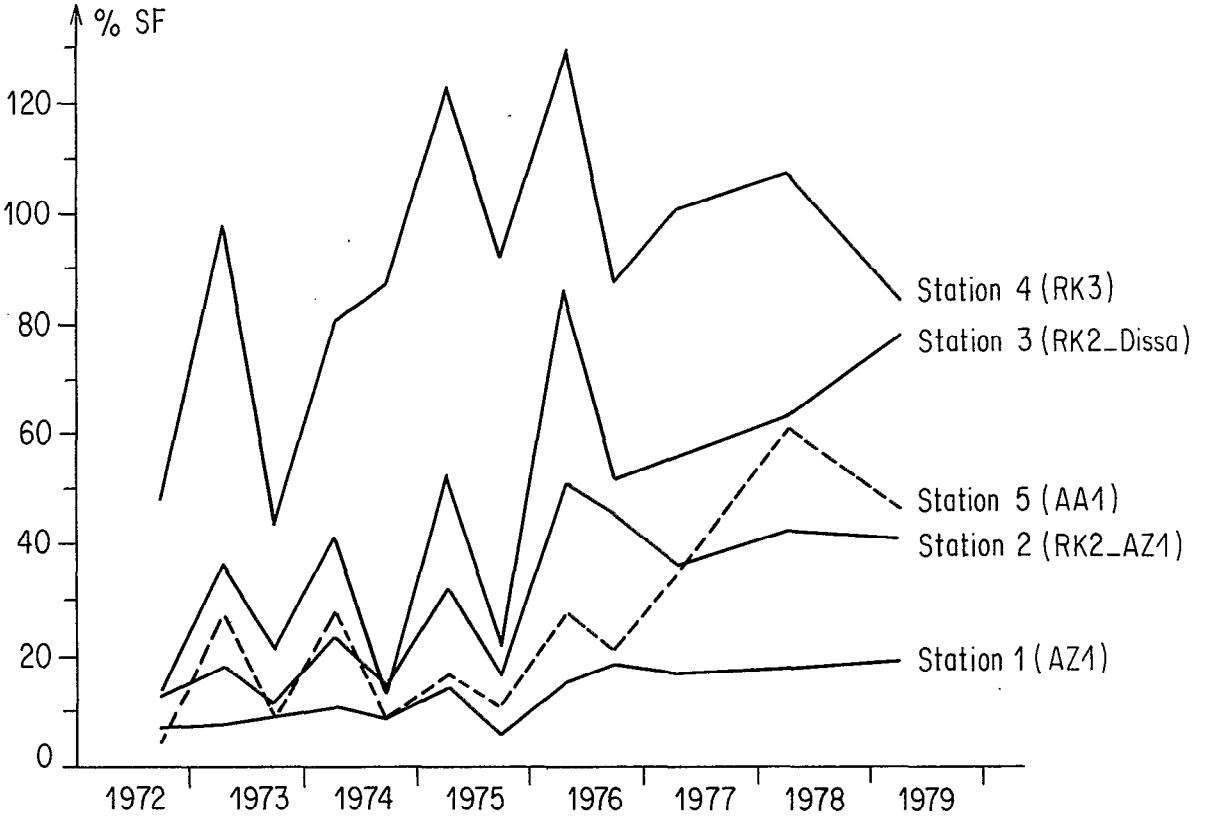


Fig. III.22 - Evolution de la somme des fréquences spécifiques des espèces pérennes et des espèces annuelles dans cinq stations mises en défens en Tunisie présaharienne.

les annuelles, Hedysarum spinosissimum semble l'espèce qui bénéficié le plus de la mise en défens.

La surface couverte par la litière augmente considérablement, surtout à partir du début de la période sèche.

Station 4 : Système RK_3 (Annexe A274 et A275).

Sur ce sol sableux profond, la végétation steppique était déjà en assez bon état, avant la mise en défens. La somme des FS des espèces pérennes au printemps est passée progressivement de 50 % à 100 % environ (X 2) pendant la succession d'années pluvieuses, pour retomber à 68 % environ dans la série des années sèches.

Cette progression est due en premier lieu à Rhantherium suaveolens qui passe au printemps de 35 à 51 % pour revenir ensuite à 41 %. Mais de nombreuses autres espèces pérennes voient aussi leur recouvrement augmenter : Helianthemum lippii var. sessiliflorum et Stipa lagascae, qui passent chacune de 0 à 10 % environ. Plantago albicans dépasse assez régulièrement 20 % au printemps.

Il est intéressant de comparer l'évolution des recouvrements de ces espèces pérennes (Annexe A274) avec celle des densités de ces mêmes espèces (Annexe A275). Il apparaît que le nombre de touffes de Rhantherium suaveolens augmente peu et que l'augmentation du couvert est donc dû principalement à l'augmentation du volume des touffes initiales (figure III.23). Sur cette figure, les 4 touffes de Rhantherium individualisées au début des mesures se rejoignent à la fin de l'étude. Il faut noter la très forte augmentation du nombre de touffes mortes de Rhantherium au fur et à mesure que la densité augmente. Au total, la densité en 1977 a atteint 3 touffes au m^2 de plantes pérennes (Plantago albicans exclu).

Pituranthos tortuosus et Arthrophytum scoparium produisent également peu de nouvelles touffes. En revanche, la quantité de touffes de Stipa lagascae et d'Helianthemum lippii var. sessiliflorum augmente considérablement, et c'est ce nombre qui contribue en premier lieu à l'augmentation de leur fréquence spécifique.

La somme des espèces annuelles est très variable selon les précipitations de l'année. Elle a atteint 48 % la première année suivant la mise en défens en raison d'une répartition des pluies particulièrement favorable par sa régularité. On ne voit pas se dégager une tendance à un développement particulier de telle ou telle espèce suite à la protection. Medicago truncatula, Picris coronopifolia, Paronychia arabica et Hippocrepis bicontorta, sont celles qui, périodiquement, couvrent le plus la surface du sol, même si des graminées telles que Schismus barbatus ssp. calcynus et Cutandia dichotoma, présentent un nombre d'individus beaucoup plus important.

Le recouvrement de la litière a sensiblement triplé depuis le début de la protection.

Station 5 : Système AA_1 (Annexe A276).

Dans cette friche post-culturale sur sol limoneux, déjà vieille d'une dizaine d'années mais pâturée, l'évolution des quelques espèces pérennes ayant résisté à la charrue (Arthrophytum scoparium, Moricandia arvensis ssp. suffruticosa) est très lente. La somme des espèces passe de 8 à 20 % (x 2,5) environ en 5 ans, puis diminue après 2 années sèches.

Les espèces annuelles et bisannuelles peuvent atteindre des recouvrements considérables (plus de 70 %), lorsque l'année est bonne (1977). Stipa retorta est, de loin, l'espèce la plus recouvrante.

Artemisia herba-alba (l'armoise blanche), espèce qui donnait sa physionnomie à la steppe originelle, n'a pas reparu malgré 7 ans de protection, la culture l'ayant totalement éliminée sur de grandes surfaces. Des observations sur une station voisine, également protégée, mais où Artemisia herba-alba avait un couvert de 9,6 % au début de la mise en défens, ont montré que cette espèce avait doublé ce couvert en deux ans, par augmentation du volume des touffes, mais aussi par de nouvelles germinations. EVENARI et GUTTERMAN (1976) remarquent que, 14 ans après avoir été totalement coupée, une portion de steppe d'Artemisia herba-alba retrouve son aspect originel.

Les données recueillies illustrent la très grande variabilité du couvert végétal selon les saisons et selon les années et selon le type de substrat en zone aride (figure III.21 et 22). Cette variabilité est due surtout aux espèces annuelles, mais il est fréquent que le couvert des espèces pérennes montre des écarts de 25 % d'une année à l'autre. Pendant les périodes sèches, il ne reste souvent sur pied que les parties ligneuses des plantes et la litière, en général redistribuée par le vent, est alors abondante sur le sol.

L'augmentation du couvert des espèces annuelles, à la suite de plusieurs années de protection, favorise sans doute la reconstitution du stock de graines, mais le couvert observé reste lié à la quantité et surtout à la répartition saisonnière des pluies . A noter aussi que certaines années sont favorables à une ou plusieurs espèces annuelles, qui peuvent être inexistantes l'année suivante. On retrouve ici les problèmes complexes de la germination, non étudiés par nous, et qui sont très importants en zone aride.

L'effet de la mise en défens a été manifeste mais différent pour chacun des types de végétation steppique étudiés. Les écarts entre ces types, en ce qui concerne le couvert végétal, faibles à l'origine en raison du surpâturage généralisé (sauf pour la station 4 dont la végétation était en assez bon état), augmentent progressivement au cours des années (figure III.21 et 22). Les différentes s'accentuent au printemps et durant les années à précipitations relativement élevées.

Les *steppes des zones sableuses profondes* (système RK_3) sont celles qui répondent le mieux à la mise en défens. Les espèces pérennes pastorales, surpâturées dans les conditions usuelles, sont celles qui bénéficient le plus de cette protection ; telles sont : *Helianthemum lippii* ssp. *intricatum*, *Stipa lagascae*, *Rhantherium suaveolens*, *Argyrolobium uniflorum*, et *Echiochilon fruticosum*, se développent bien en période pluvieuse mais régressent beaucoup en période sèche.

Plantago albicans, pourtant recherchée par les animaux mais qui semble bien s'accommoder d'un rajeunissement fréquent par la dent de l'animal, ne se développe pas beaucoup.

Il faut noter que l'augmentation du couvert végétal de la steppe ne signifie pas une augmentation proportionnelle de sa valeur pastorale. *Rhantherium suaveolens*, par exemple, montre une augmentation progressive du volume de ses touffes mais la proportion de jeunes pousses par rapport au total diminue. En revanche, d'autres espèces comme *Stipa lagascae* multiplient par resemis les touffes jeunes appréciées des animaux (figure III.23). Pour le *Rhantherium*, après un accroissement important durant les années pluvieuses, on observe une forte mortalité pendant la période sèche qui suit (Annexe A275). Cette mortalité permet, le développement de nouvelles jeunes touffes de cette espèce ou d'autres espèces pérennes, lorsque les conditions redeviennent favorables.

L'augmentation du couvert de la litière à certaines périodes ne signifie pas qu'il y ait report de cette litière d'une année sur l'autre ; la plupart du temps cette litière disparaît presque complètement en hiver.

La mise en défens à des fins pastorales des *steppes des zones gypseuses encroûtées* (Système AZ_1) se révèle comme étant de peu d'intérêt. En effet, ces croûtes se sont formées à la suite de l'ablation des horizons de surface du sol et de la mise à nu des couches géologiques gypseuses sous-jacentes qui s'indurent rapidement lorsqu'elles sont exposées en surface. La présence de cette croûte interdit le retour à la steppe initiale telle qu'elle pouvait se présenter avant dégradation. Même si le couvert augmente, les bonnes espèces pastorales n'arrivent pas à se réinstaller.

Dans le cas des *friches des zones limoneuses* (Système AA_1) la régénération est aussi très lente. Plusieurs phénomènes en sont la cause. D'une part, les labours mécaniques répétés ont fait disparaître, sur de grandes surfaces, la plupart des espèces de la steppe originelle (principalement l'armoise blanche qui lui donnait sa physionomie). La destruction des semenciers de cette espèce en empêche la réinstallation, malgré la mise en défens. D'autre part, à la suite de la protection, on assiste à la formation d'une pellicule indurée à la surface du sol, particulièrement importante sur ces sols limoneux. L'origine en serait le développement d'algues ou de champignons, et des reprécipitations

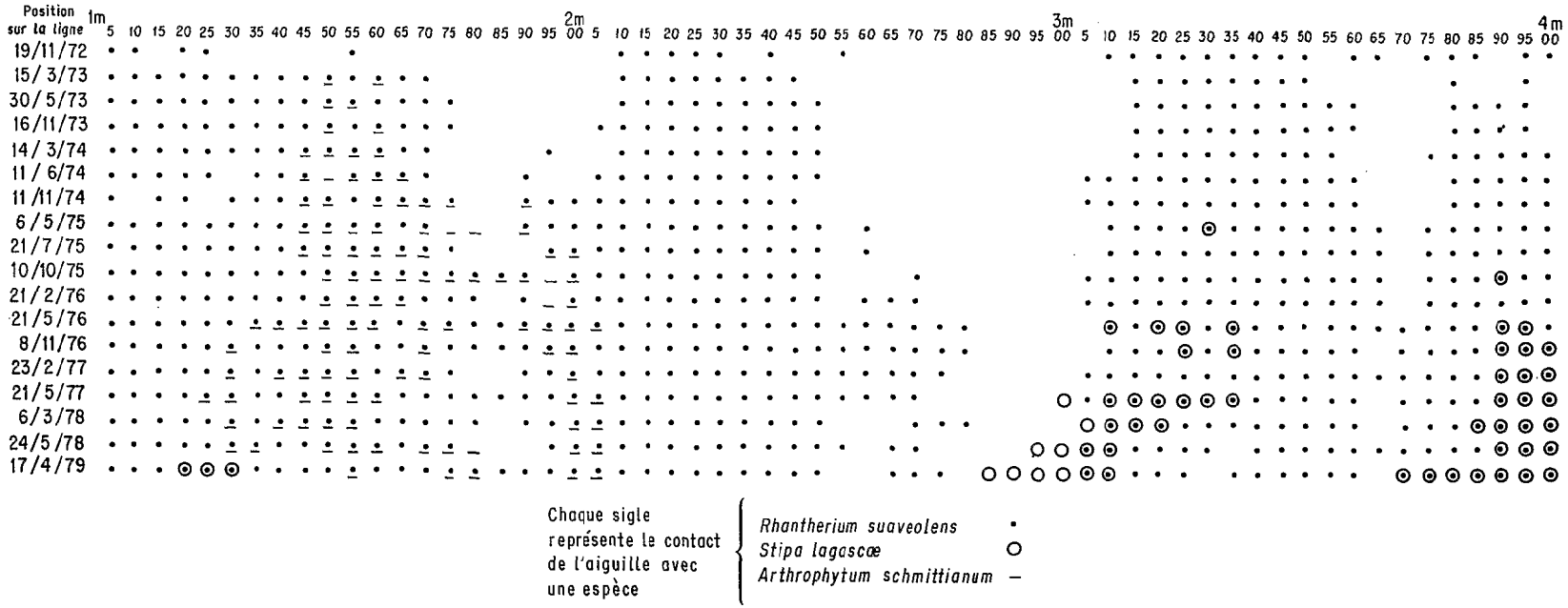


Fig. III.23 - Evolution de la localisation de trois espèces pérennes le long d'un segment de ligne mise en défens (Station 4, RK_3-Km 52).

des sels présents. Le sol "se ferme" et, en l'absence du labour et du piétinement des animaux, cette pellicule rend difficile les germinations. NOBLE (1977) dans une mise en défens de la zone aride australienne observe le même phénomène.

Notons aussi que la distance du système dégradé aux semenciers, ou encore l'étendue occupée par ce système par rapport au système "en bon état" environnant, sont des notions importantes à prendre en considération pour expliquer ou prévoir la direction que prendra la régénération. C'est d'ailleurs l'application de la notion de séquence qui impose cette réflexion : pour un même substrat et un même état initial, on peut aboutir à des stades relativement stables très différents au terme des successions et il serait dangereux de croire qu'il existe des "séries" de végétation régulières. Nous avons cité l'exemple du système AA_1 (Station 5) dans lequel l'armoise blanche ne réapparaît pas après 7 années de protection. Une autre illustration est donnée par l'étude en mode synchronique d'une succession étudiée par TELAHIGUE (1981), qui observe un stade "pallier" à *Helianthemnum kahiricum* en l'absence de semenciers d'*Artemisia herba-alba*; cette dernière espèce domine pourtant dans une séquence très fréquente sur le même substrat ; elle a beaucoup de difficultés à se réinstaller dans le peuplement d' *Helianthemum kahiricum*.

Pour les steppes des zones gypseuses et les friches des zones à végétation déjà très dégradée, il ne semble donc pas que la simple protection permette un retour à la steppe originelle, telle qu'elle pouvait se présenter avant dégradation, du moins dans un laps de temps raisonnable. Ces steppes ont donc dépassé le stade où les phénomènes de dégradation sont réversibles.

Pour les *steppes des zones montagneuses*, nous n'avons pas d'observations en "continu". Des observations en mode synchronique ont été effectuées dans une mise en défens depuis 5 ans (Dj.-Brerhits), et à proximité immédiate de celle-ci (tableau III.36). La végétation est une steppe à base d'alfa (*Stipa tenacissima*). Comme le montre le tableau III. 36 , le couvert végétal a doublé en 5 ans ; mais, surtout, le couvert des espèces consommables par les animaux a été fortement augmenté par rapport à la zone voisine surpâturée. Le nombre total d'espèces a peu varié. Presque toutes existent "en puissance" dans la zone pâturée.

TABLEAU III.37 Effet de la mise en défens sur le couvert et le nombre d'espèces végétales (totales et consommables par les animaux) dans une zone montagneuse. (d'après LE FLOC'H et FLORET, 1972)

Systèmes écologiques d'une zone montagneuse	Couvert végétal total %	Couvert de l'Alfa %	Couvert des espèces consommables %	Nombre d'espèces consommables	Nombre total d'espèces
Mise en défens depuis 5 ans (SD_2)	27,4	13,7	22,9	9	19
Témoin, hors mise en défens (SD_1)	13,6	1,0	3,6	8	15

Le potentiel de régénération en zone montagneuse semble donc bon. Ceci est confirmé par les travaux de GADDES (1978) qui trouve une bonne régénération de l'Alfa, surtout dans l'étage aride supérieur.

Sur la base de ces résultats, il est difficile de préconiser une durée optimum de mise en défens pour une régénération des parcours des zones arides, en vue d'un aménagement pastoral. Cette durée dépend beaucoup de la pluviosité qui suit la protection, et des conditions locales, en particulier de l'état initial de la végétation. La proximité d'une "source de sable" (c'est-à-dire d'une zone de culture), la surface relative de la zone dégradée par rapport à la steppe en bon état environnante (distance des semenciers), sont aussi à prendre en considération. La protection semble inutile là où une croûte gypseuse s'est déjà développée, et la régénération pastorale des friches post-culturales des zones limoneuses relève plutôt de l'agronomie (resemis en année favorable). Sur les zones sableuses 2 à 3 ans de mise en défens semblent un maximum à ne pas dépasser et en zone montagneuse un laps de temps un peu plus long est nécessaire. D'une façon générale, un pâturage léger, si possible en rotations ménageant des périodes de repos à la végétation, est préférable à la protection totale ; ce pâturage stimule de jeunes repousses sur les plantes pérennes et favorise la germination des plantes annuelles.

4.4. DISCUSSION SUR LA DYNAMIQUE PHYTO-ECOLOGIQUE EN ZONE ARIDE

Nous ne prétendons pas, sur la base des observations effectuées, pouvoir réellement apporter beaucoup de lumière sur la dynamique à long terme des systèmes écologiques arides que nous avons étudiés. Pour le court terme, notons que dans les systèmes écologiques protégés durant 7 années, pratiquement toutes les espèces qui ont pris un certain développement, étaient déjà présentes, mais parfois rares, avant la protection. On peut supposer, avec MAC MAHON (1981), que les espèces présentes sont de beaucoup les mieux adaptées à de fortes variations du milieu ; c'est pourquoi elles se succèdent à elles-mêmes quand il y a une pertubation ; il n'y a pas d'autres "colonisateurs". Mais il est certain aussi, qu'en particulier , les semenciers d'espèces arbustives sont trop rares ou trop éloignés pour que des germinations de telles espèces puissent être observées, à supposer même qu'elles puissent encore se réinstaller sur ces sols ayant subi une longue période de "steppisation" (LE HOUEROU, 1981). D'autre part, dans les mêmes mises en défens, la disparition d'espèces considérées comme post-culturales ou liées au surpâturage n'a pas été observée. Le couvert des espèces pérennes, principalement celles de grande taille, augmente, mais l'absence d'apparition ou de disparition d'espèces végétales rend difficile la caractérisation de"stades"de la succession en un temps aussi court, même si le couvert végétal a été en général multiplié par 2.

Les observations font ressortir des écarts de couvert des espèces pérennes de 25 % selon les années (écarts beaucoup plus importants encore pour les annuelles). Elles soulignent aussi des modifications notables dans les pourcentages respectifs de couvert des espèces pérennes en fonction de la pluviosité (exemples : développement cyclique d'*Argyrolobium uniflorum*, *Echiochilon fruticosum*, *Plantago albicans* ; mortalité importante de *Rhantherium suaveolens* en période de sécheresse).

Les dynamiques des différentes populations d'espèces présentes ne sont pas synchrones et des rééquilibrages se produisent constamment. La variété des types biologiques et des formes de croissance, la micro-hétérogénéité du milieu à laquelle s'adaptent les espèces, favorisent ces phénomènes cycliques, liés à des périodes de sécheresse ou d'humidité.

Indépendamment de cette micro-hétérogénéité, les conditions

de milieu changent profondément et constamment, au même endroit, en fonction des conditions climatiques. L'influence du pâturage, qui n'intervient de façon uniforme ni dans le temps ni dans l'espace, complique encore cette dynamique (WESTOBY, 1980). Telle espèce prend alors temporairement le pas sur les autres, mais jamais assez longtemps pour les éliminer totalement. MAC MAHON (1981) y voit un des facteurs de la richesse relative en espèces de la zone aride.

Pour ODUM (1969), la succession est un processus ordonné de changement dans un système écologique qui résulte de la modification de l'environnement physique par la communauté biologique et qui aboutit à un système de type persistant. Plusieurs auteurs soulignent la lenteur de l'évolution "progressive" en zone aride (CHEW and CHEW, 1965 ; KASSAS, 1966 ; WAGNER, 1976 ; LE HOUEROU, 1977, 1981 ; THALEN, 1979). Et même SHREVE (1942), cité par WAGNER (1976), conclut que l'on ne peut parler de succession en zone aride, puisque le faible développement de la végétation ne permet pas une influence suffisante de celle-ci sur l'environnement physique pour créer de nouvelles conditions de milieu. Pour la Tunisie présaharienne, notre opinion est différente, parce que nous avons pu mesurer le rôle considérable joué par la végétation pérenne dans le piégeage du sable et de la matière organique entraînée par les vents, matériaux qui s'accumulent au pied de chaque touffe, les conditions redevenant alors propices au développement d'une végétation constituée d'espèces annuelles. Par exemple, nous avons relevé une accumulation de 225 tonnes de sable à l'hectare après 3 ans de mise en défens du système écologique Rk_3 (cf. figure II.8). Le sable joue alors le rôle de "mulch" pour une meilleure économie de l'eau (cf. § II.2.2) et l'on se trouve alors dans des conditions particulièrement favorables pour une évolution progressive rapide de la végétation. Il s'agit dans ce cas d'une succession de type "allogénique" au sens de TANSLEY (1946), et déjà signalée pour les zones désertiques par KASSAS (1966) et LE HOUEROU (1981). De plus, il peut aussi exister des successions de type "autogénique" dans le cas des processus particuliers qui se produisent sous un couvert, à l'intérieur d'une nebka par exemple (fort recyclage de la matière organique, abri pour les petites espèces végétales et animales).

Nous avons pu montrer aussi (BOURGES *et al.*, 1981) l'importance des variations du couvert végétal sur le ruissellement et l'infiltration de l'eau. Dans cette étude, la régression multiple établie sur

la base de mesures reliant les quantités d'eau ruisselée, sur un milieu limoneux de type *ségui* (AA_1), aux paramètres liés au ruissellement, fait apparaître un poids important pour le facteur "couvert végétal" (cf.II. 21). Ceci conduit à penser que, là aussi, la végétation influe d'une façon non négligeable sur le milieu physique, même en zone aride.

Parmi de nombreuses définitions de la stabilité arrêtons-nous à celles de MARGALEF (1969) pour lequel une communauté est stable si certaines combinaisons d'espèces persistent au cours du temps ou bien si elle est capable de résister aux perturbations.Un certain nombre d'observations particulières peuvent être faites à ce sujet sur les systèmes écologiques des zones arides : si la dynamique à long terme de ces systèmes paraît faible (mais comme le souligne VASEK 1979/1980, est-elle beaucoup plus faible qu'en forêt décidue, par exemple, où l'on considère que plusieurs siècles seraient nécessaires pour arriver au climax ?), le succès de la régénération, consécutive à une perturbation temporaire, telle que période de sécheresse ou surpâturage léger, est très probable et assez rapide. Le décalage de la charge en animaux domestiques et sauvages, par rapport aux perturbations climatiques est d'ailleurs un facteur favorable à cette régénération ; à la fin de la période de sécheresse, la charge est faible et la végétation a un certain laps de temps pour se reconstituer.

Cependant, si des perturbations trop importantes se manifestent, telle des labours répétés ou un surpâturage prolongé, la régénération est évidemment plus lente. La vitesse de cicatrisation (GODRON, POISSONET, 1972) est d'ailleurs très variable selon le degré de perturbation et selon le système écologique concerné. Elle dépend du matériel végétal qui subsiste, des conditions de germination et de la croissance des espèces, elles-mêmes liées aux nouvelles caractéristiques physico-hydriques et chimiques du substrat qui résultent de la détérioration de certaines propriétés du milieu. Si le milieu a été trop pertubé, le système écologique a dépassé sa "limite d'élasticité" (GODRON, 1979). La végétation spontanée ne peut retrouver son état initial. Un nouveau type de végétation, moins productif, en équilibre avec ce nouvel environnement, se met en place (FLORET *et al.*, 1973 ; LE HOUEROU, 1974).Nous pouvons remarquer, avec GODRON (1979), que ces équilibres successifs (métastables) sont de moins en moins stables. De faibles perturbations suffisent en dernier lieu pour franchir un pallier supplémentaire vers une

dégradation irréversible. C'est le processus typique qui conduit à la désertisation (Section IV).

Pour résumer, la dynamique dans ces zones présahariennes sera caractérisée par les traits suivants (dont certains se recoupent):

- prédominance des causes "allogéniques" des changements par rapport aux causes "autogéniques" ;
- évolution progressive rapide à court terme si l'on supprime la pression humaine et animale ; cette pression est actuellement si importante que le couvert double après quelques années de protection sur la plupart des stations observées ;
- évolution progressive lente, à long et moyen termes (et évolution d'autant plus lente que le milieu est plus aride) ;
- pas de stades évidents de la succession au sens habituel du terme (sauf dans le cas des successions primaires) ; les modifications de structure au cours de la succession ne s'accompagnent pas en général de modifications dans la composition floristique, au moins pour les espèces pérennes ; les modifications de la structure semblent insuffisantes pour faire évoluer beaucoup les conditions microclimatiques; et l'absence d'accumulation de litière au cours des années est la règle ;
- grand développement du couvert des espèces pastorales, et en particulier des graminées pérennes après mise en défens (LE HOUEROU, 1981) ;
- faible stabilité à court terme = faible persistance (ODUM, 1969) des communautés végétales en raison des fluctuations climatiques ; la faible biomasse, la rareté de la litière, l'absence de report de réserves hydriques d'une année sur l'autre, font que le système a une faible "inertie" (ORIANS, 1974), un faible pouvoir "tampon" (WHITTAKER,1974 ; MARGALEF, 1969) ;
- forte stabilité à moyen terme des communautés végétales malgré des oscillations possibles de grande amplitude (HOLLING, 1976 ; NOY-MEIR, 1974); ceci est dû à des adaptations efficientes, propres aux espèces des zones arides, à

la micro-hétérogénéité du milieu qui offre des niches refuges à ces espèces (GODRON *et al.*, 1980) ; ainsi, une recolonisation assez rapide est possible = bonne "élasticité" (KASSAS, 1966 ; ORIANS, 1974) ;

- évolution régressive rapide, si la pression humaine est trop forte, accentuée par l'agressivité du climat, mais surtout par la sensibilité du milieu à l'érosion (faible couvert végétal) ;
- évolution régressive irréversible fréquente sous l'influence du labour, du surpâturage, de la cueillette du bois et des fibres (désertisation) ; changements actuels fréquents, au même endroit, de séquences de végétation = franchissement de la "limite d'élasticité" (GODRON, 1979).

Ces caractéristiques de la dynamique des systèmes écologiques de la zone aride doivent être replacées dans le contexte régional particulier de ces marges présahariennes de la Tunisie. LE FLOC'H,étudiant par l'interprétation de séries de photographies aériennes de dates différentes, l'évolution de l'utilisation des terres dans la zone-test de Zougrata (80 000 ha), arrive aux résultats suivants (en % de la surface totale) :

Dates de prises de vues	Steppes pastorales	Cultures
1948	87 %	13 %
1963	72 %	28 %
1975	58 %	42 %

Cet exemple illustre bien les rapides transformations du paysage qui sont en train de se produire, parallèlement à l'augmentation et à la sédentarisation de la population. Il y a donc aussi une dynamique de l'utilisation du sol dont les conséquences sont considérables. La mise en mouvement de quantités très importantes de particules de terre par érosion éolienne et hydrique est la cause de certaines des particularités de la dynamique des systèmes écologiques que nous venons d'étudier ; il apparaît nettement que la dynamique de la végétation est fortement liée à celle du substrat. Nous allons revenir sur ces particularités dans la Section suivante à l'occasion de réflexions sur la désertisation et sur l'aménagement.

SECTION IV

DEUX ÉTUDES DE CAS :

1. LA DÉSERTISATION, SON ÉTUDE EN TUNISIE PRÉSAHARIENNE

2. BASES ÉCOLOGIQUES DE L'AMÉNAGEMENT AGRO-PASTORAL EN ZONE PRÉSAHARIENNE; APPLICATION A UNE ZONE TEST

Dans cette Section, nous présentons deux études de cas, où sont utilisés les méthodes et les résultats donnés dans les trois premières Sections.

Ces deux exemples d'application sont le résultat d'un effort collectif et d'une réflexion pluridisciplinaire, auxquels nous associons nos collègues E. LE FLOC'H et F. ROMANE en raison de leur participation à cette partie de l'étude, et aussi nos collègues Tunisiens dont les connaissances nous ont été précieuses. Ces travaux ont d'ailleurs donné lieu à une série de publications et de communications conjointes que nous reprendrons et citerons au fur et à mesure.

La première de ces études de cas est la conséquence directe de ce qui a été écrit précédemment à propos de l'aridité climatique, de la dégradation et de la régénération des sols et de la végétation : il s'agit de la désertisation, (1) et principalement, de la cartographie de la sensibilité du milieu à la désertisation en Tunisie présaharienne.

La deuxième étude consiste, compte tenu des risques qui menacent l'équilibre actuel des ressources naturelles renouvelables de la région, à proposer une application du diagnostic écologique en vue de l'aménagement rural intégré sur une zone-test représentative. Elle présente notamment des propositions d'aménagement agro-pastoral sur des bases écologiques qui devraient permettre de stopper, ou du moins de ralentir, les processus de dégradation du milieu actuellement constatés en zone présaharienne, tout en maintenant une production soutenue.

(1) Le terme de "désertification" a souvent été utilisé dans un sens très large pour décrire la dégradation de la végétation et du sol, y compris dans les régions humides qui n'ont rien à voir avec le désert et surtout pour caractériser la diminution de la densité de la population dans certaines zones rurales, ce qui n'est pas le cas ici.

1. LA DÉSERTISATION ; SON ÉTUDE

Les premiers travaux concernant les régions désertiques consistaient surtout à caractériser un état actuel à l'aide des critères de la climatologie (DE MARTONNE, 1926 ; KÖPPEN, 1936 ; EMBERGER, 1941, 1955 ; DUBIEF, 1953 a et b, 1959 ; THORNTHWAITE, 1948 ; MEIGS, 1952 ; TREWARTHA, 1961...), de la géomorphologie, de l'hydrologie, de la pédologie (CAPOY-REY, 1952 ; DRESCH, 1953 ; BOYKO, 1955 ; DUTIL, 1962), et de la biologie (TANSLEY, 1913 ; CLEMENTS, 1936 ; SHANTZ, 1938 ; KUCHLER, 1947 ; MONOD, 1958 ; KASSAS, 1966). Il existe ainsi de nombreuses études sur les déserts et l'aridité (cf. Section I), alors que, en revanche, la connaissance de la désertisation, phénomène lié à la surexploitation du milieu par l'homme, est récente et encore partielle.

Depuis le début du siècle, et particulièrement depuis quelques décennies, l'impact de l'homme sur le milieu s'intensifie. La population s'accroît et désirant améliorer ses conditions matérielles, tend à demander de plus en plus à la nature. Ceci conduit, en raison des processus de détériorisation des anciens systèmes de gestion de l'espace rural, à la rupture parfois irréversible des équilibres écologiques issus des usages anciens des terres et des ressources végétales.

Les causes de cette détériorisation sont essentiellement, dans la zone aride tunisienne, le surpâturage, l'éradication des végétaux ligneux et la mise en culture de terres fragiles suivie souvent d'abandon. Ces pratiques ont été signalées par LE HOUEROU (1968), FLORET et LE FLOC'H (1972), FLORET et LE FLOC'H (1973), RAPP (1974) et bien d'autres.

En 1968 LE HOUEROU définissait la désertisation "*comme un ensemble d'actions qui se traduisent par une réduction plus ou moins irréversible du couvert végétal, aboutissant à l'extension de paysages*

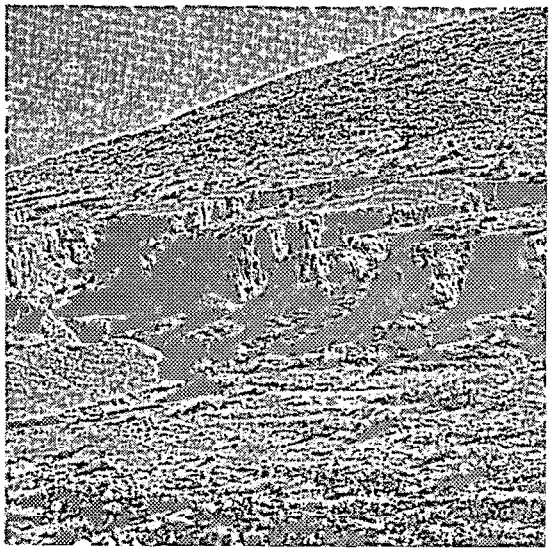
désertiques nouveaux. Ces paysages sont caractérisés par la présence de regs, de hammadas et d'ensembles dunaires".

A l'occasion de la "Conférence mondiale des Nations-Unies sur la désertification" (Nairobi, 1977), nous avons élaboré et présenté une méthode d'étude permettant l'évaluation de celle-ci (FLORET *et al.*, 1977), ainsi que la cartographie de la sensibilité du milieu à la désertisation, applicable à la région présaharienne septentrionale du Maghreb (FLORET *et al.*, 1976). Dans ces deux articles, suivis de deux autres (FLORET *et al.*, 1980 a et 1980 b) nous avons proposé une série d'indices et de concepts dont l'application permet d'évaluer la désertisation et ses méfaits en Tunisie présaharienne et pourrait contribuer à mettre sur pied un programme de surveillance à long terme.

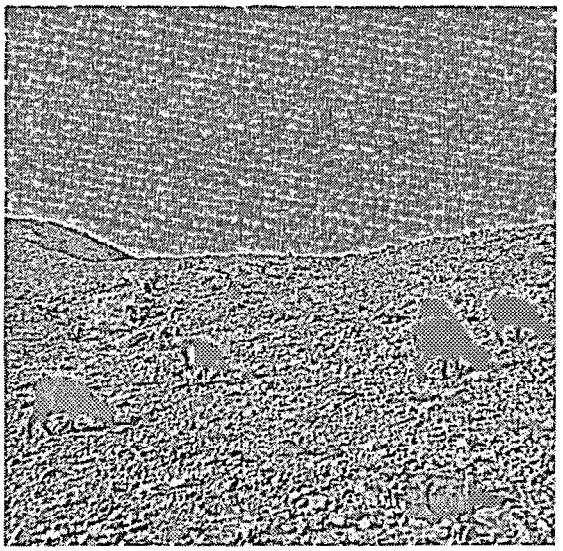
1.1. LES PROCESSUS DE LA DESERTISATION

En Tunisie présaharienne, lorsque la végétation n'est pas trop dégradée, il existe, quelle que soit l'époque de l'année, une végétation pérenne qui couvre au moins 20 à 40 % de la surface du sol. Ce couvert augmente fortement pendant les périodes pluvieuses grâce au développement des plantes annuelles. Cette végétation est suffisante pour protéger le sol de l'érosion éolienne et même pour provoquer, au pied des espèces pérennes, le dépôt de sédiments (minéraux ou organiques) conséquence des vents souvent violents dans ces régions. Par ailleurs, la présence de ce couvert végétal à la surface du sol est un frein efficace au ruissellement et à l'érosion hydrique qu'il ralentit, les systèmes racinaires favorisant, par ailleurs, la résistance mécanique du substrat et l'infiltration de l'eau.

Si, pour une raison ou une autre, le couvert végétal est détruit, la partie supérieure du sol est soumise à l'érosion éolienne et hydrique. Les particules sableuses enlevées par le vent s'accumulent alors en des endroits privilégiés sous la forme primaire de voile sableux puis de dunes vives. Ce processus de déflation de la surface du sol se stabilise lorsqu'une couche plus compacte du sol est atteinte ; il reste alors à la surface du sol des éléments très grossiers (cailloux et graviers) et la partie supérieure des couches de sol les plus dures. Il en résulte que la pénétration de l'eau dans le sol est considérablement réduite. Les espèces pérennes qui ont résisté à ce processus ont du mal à



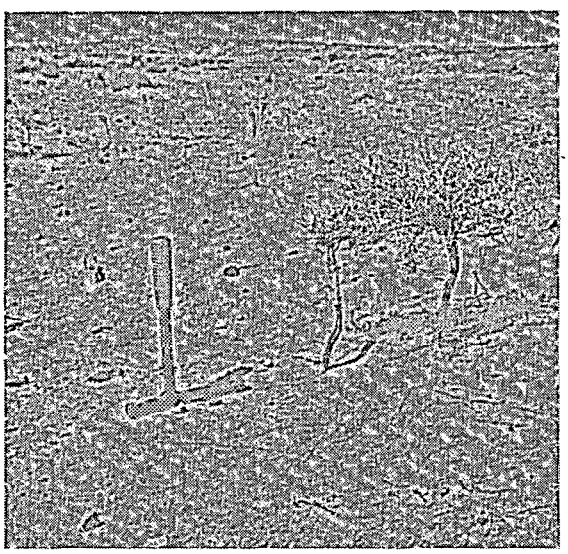
Erosion en ravines sur glacis de raccordement limoneux



Degradation du couvert végétal par surpâturage



Déflation dans les olivettes



Déchaussement de la végétation naturelle

QUELQUES ASPECTS DE LA DESERTISATION EN TUNISIE PRESAHARIENNE

survivre, et d'une façon générale, annuelles et pérennes ont du mal à germer. Sur ces surfaces "glacées" l'eau ruisselle facilement provoquant le gonflement des oueds et l'apparition des processus d'érosion hydrique (formation de rigoles et de ravines) : *l'aridité s'accroît* (cf. § 2.4.5).

Tels sont en Tunisie *les processus physiques* dominants de la dégradation des systèmes écologiques. On peut encore citer, à un moindre degré d'extension, les processus de salinisation ou d'alcalisation qui se produisent en quelques endroits où l'irrigation a été conduite avec des eaux trop salées ou avec insuffisance de drainage.

Cette modification du paysage s'accompagne d'une baisse de la productivité du milieu. Le couvert végétal raréfié, présente une surface foliaire diminuée pour la photosynthèse ; les systèmes racinaires exploitent des couches meubles du sol de plus en plus minces, et ne peuvent plus accumuler des réserves suffisantes à une bonne production. La matière organique du sol disparaît ainsi qu'une partie des éléments nutritifs. Sous le climat aride, le facteur limitant de la production étant surtout l'eau, c'est la diminution de l'aptitude à emmagasiner l'eau utile à la production végétale, qui peut être considérée comme l'un des critères les plus importants d'appréciation de la désertisation Ce critère est encore plus intéressant à considérer en année à forte pluviosité car, en zone déjà désertisée, cette eau ruissellera et se retrouvera en majeure partie dans les oueds et les sebkhas.

La baisse de productivité biologique du milieu qui s'ensuit peut être irréversible à l'échelle d'une ou plusieurs générations, car sous ce climat aride la végétation spontanée montre un faible dynamisme, même après des mesures de protection et un aménagement rationnel. Par ailleurs, sous ces faibles pluviosités, les processus de la pédogenèse sont lents et le sol se réorganise très difficilement.

Il faut en effet rappeler que les sols et la végétation des marges sahariennes étaient parfois hérités de climats anciens plus humides. Le défrichement des forêts claires, des garrigues et des steppes arbustives entraîne une rupture de cet équilibre instable ; les processus de l'érosion peuvent alors prendre place sans que la dynamique naturelle de la végétation puisse les stopper. Cependant, on constate que les systèmes écologiques ne réagissent pas de la même manière selon leur *sensibilité* à ces processus.

On voit donc que la notion de désertisation n'est pas simple à cerner. De plus, il est impératif de faire intervenir *la notion de temps*. En effet, il est bien évident qu'à très longue échéance (plusieurs décennies), et en l'absence de pressions humaine et animale domestique (mise en défens totale par exemple), toutes les phytocénoses pourraient se régénérer au moins partiellement et voir leur productivité augmenter jusqu'à un certain niveau. Nous pensons qu'à l'échelle du siècle, un sol steppique (sierozem) pourrait se reformer ainsi qu'une végétation pérenne se reconstituer.

Il faut également nuancer cette notion de désertisation en fonction de l'utilisation des terres par l'homme. On peut en effet considérer comme désertisée, pour le pâturage, une zone défrichée où la végétation pérenne productive ne pourra pas se réinstaller d'elle-même. En revanche, à ce stade et avant érosion, le sol n'a pas encore perdu son potentiel de production pour la culture. D'autre part, par des pratiques de mise en valeur lourdes et onéreuses, telles que le décroûtage ou l'irrigation à grande échelle, il est évidemment possible d'augmenter la productivité de beaucoup de types de milieu, au moins pendant un certain temps.

Il convient par ailleurs d'éviter la confusion faite parfois entre *les processus qui accompagnent la désertisation et ceux qui sont liés à des périodes de sécheresse*. En effet sous des climats à pluviosité moyenne annuelle (moyenne mesurée sur de nombreuses années) souvent inférieure à 200 mm, les périodes de sécheresse ne sont pas rares ; des cycles d'années sèches sur 5 ou 6 années entraînent une modification profonde mais non permanente et irréversible de la physionomie du paysage ; les plantes se dessèchent et perdent leurs feuilles ; les animaux, alors en surnombre lors des premières années d'un tel cycle, s'attaquent même aux parties ligneuses de la végétation ; les pasteurs ébranchent les rares arbres existants pour affourrager leurs animaux. Mais, le plus souvent, la végétation ne subit pas une perte complète de son potentiel de production, et un cycle d'années à pluviosité favorable peut suffire, si la pression humaine et animale n'est pas trop forte, pour reconstituer une partie du matériel végétal productif, d'autant que les troupeaux, dont les effectifs ont diminué à la fin de la période de sécheresse, mettent un certain temps à se reconstituer. Nous avons déjà souligné (§ I 2.2.3) que ces périodes de sécheresse (Itérations climatiques cf.I.

2.5) prolongée ont toujours existé et ne doivent pas laisser croire à une modification récente du climat. Les mesures effectuées depuis le début du siècle, dans de nombreuses stations météorologiques de la Tunisie présaharienne, ne montrent pas une tendance particulière à la diminution de la pluviosité.

Cette dégradation physique et biologique du milieu s'accompagne de modifications importantes pour les hommes et les animaux. Les vents de sable, l'appauvrissement des terres rendent la vie désagréable et difficile et les modes de vie de la population peuvent en être affectés. L'émigration d'un ou plusieurs actifs de la famille est l'une des manifestations de ce phénomène social. Le terme ultime est l'abandon de la terre par l'ensemble de la famille, qui vient grossir la population marginale d'un centre urbain jugé plus accueillant.

1.2. CAUSES, INDICES ET CRITERES DE LA DESERTISATION : SON EVALUATION

1.2.1. Les causes de la désertisation

Puisqu'il n'existe pas de variations climatiques importantes depuis la fin du dix-neuvième siècle au Nord du Sahara. Il faut rechercher les causes de l'augmentation de la désertisation dans une pression humaine et animale croissante (la population des pays au sud de la méditerranée s'accroît aujourd'hui à des taux allant de 2,2 à 3,7 %) sur le milieu naturel, qui s'extériorise notamment par une technologie plus agressive et par des formes nouvelles de gestion des ressources pastorales (abandon de la transhumance...). Ces phénomènes sont accentués par des périodes de sécheresse importante pendant plusieurs années liées à un régime des précipitations caractérisé par une grande variabilité interannuelle. Les principales causes de la désertisation sont les suivantes :

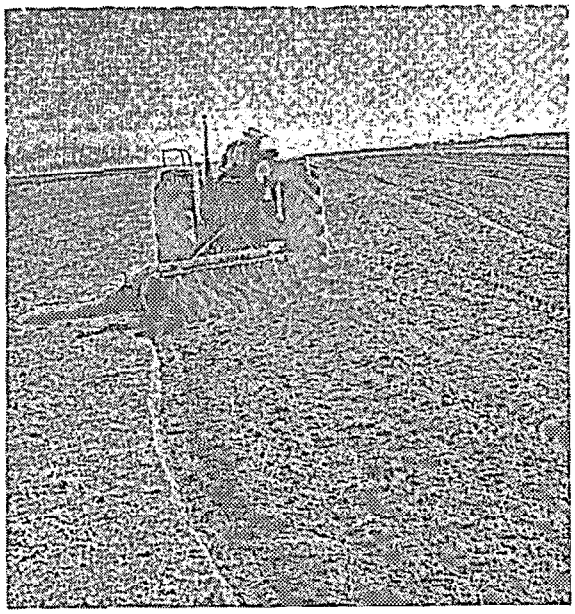
1) *La mise en culture* des sols de la steppe est la cause principale ; en Tunisie aride, on estime généralement à plus de 2 700 000 ha les surfaces de steppe pastorales mises en culture entre 1890 et 1975. Cet état de choses est lié au désir légitime de la population humaine croissante d'augmenter son revenu immédiat et son autonomie alimentaire. L'arbre (olivier, etc.) et la céréale (blé, orge), surtout dans les zones de pluviosité annuelle supérieure à 200 mm, permettent effectivement

d'obtenir, à moyen terme et avant que la couche arable ne soit enlevée par l'érosion, un revenu monétaire supérieur à celui des terrains de parcours. Par ailleurs, au cours des dernières décennies, la généralisation de la mécanisation agricole (charrue polydisque tractée avec des tracteurs) sur l'ensemble du pays a permis le défrichement rapide, facile et peu onéreux de grandes surfaces steppiques. Grâce à cela, et suite à une succession d'années favorables du point de vue de la pluviosité, ce défrichement des steppes pastorales s'est même développé dans la zone comprise entre les isohyètes annuels moyens 100 et 200 mm, ce qui constitue, selon nous, une grave atteinte pour le maintien d'un équilibre écologique de cette zone, vouée ainsi à une désertisation de plus en plus accentuée.

2) *Le surpâturage* est une autre cause de la dégradation. En raison de la pression démographique croissante, le cheptel n'a pas diminué en moyenne, même si progressivement les surfaces laissées au parcours ont décru du fait de la mise en culture. En plus de la raréfaction des espèces appétées et du développement d'espèces inalibiles, le surpâturage entraîne la réduction du couvert végétal des espèces vivaces et de leur phytomasse et par là-même ouvre la porte aux processus de la dégradation. On a montré dans la Section III, qu'en moyenne sur la région, la phytomasse aérienne est égale à la moitié de ce qu'elle est dans les parcours non surpâturés. Le piétinement trop important est également un facteur défavorable. Ces phénomènes sont accentués par la quasi-disparition de la grande transhumance et la sédentarisation de la population.

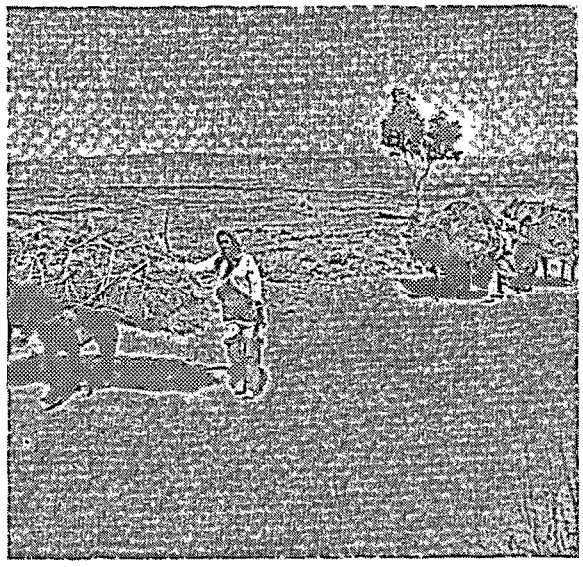
En certains endroits, la sédentarisation, la création de périmètres irrigués, sans que le parcours soit réglementé, ont provoqué le surpâturage et la dégradation du milieu dans un rayon d'une dizaine de kilomètres. Le taux de pression animale, est, selon les situations, jugé de 1,5 à 3 fois supérieur aux possibilités réelles des ressources pastorales.

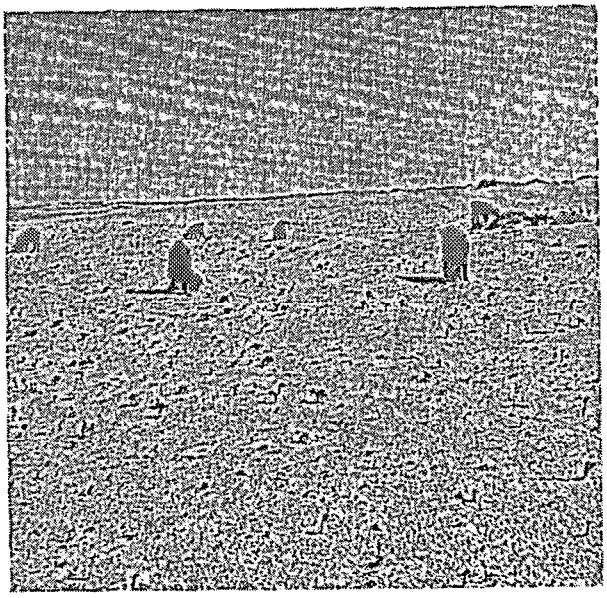
3) *L'éradication des espèces ligneuses* : ce phénomène, quoique moins spectaculaire que les deux causes précédentes, et plutôt en voie de régression, est cependant encore très important. Il fallait en 1975 environ 1,5 kg de bois par personne et par jour pour les usages domestiques et c'est essentiellement la végétation de la steppe qui permettait cet approvisionnement. Les espèces buissonnantes, les plus productrices en bois, ont souvent disparu et cette "cueillette" intéresse maintenant



Pulvérisation du sol par la charrue à disques

Transport de ligneux prélevés sur la steppe par éradication





Steppe surpâturée avec érosion éolienne entraînant le "déchaussement" de la végétation

PRINCIPAUX FACTEURS DE LA DESERTISATION

des végétaux de plus en plus petits et de plus en plus nombreux. Notons que ces végétaux sont souvent arrachés et non coupés, ce qui nuit à la régénération ultérieure.

4) *La salinisation des terres* : le développement de l'irrigation, ainsi que la mauvaise utilisation des eaux (en général saumâtres), contribuent à l'augmentation des surfaces stérilisées par le sel.

1.2.2. Indices et critères ; évaluation de la désertisation

Divers phénomènes physiques ont été utilisés comme indicateurs de dégradation et de désertisation. Il s'agit par exemple, de la diminution du taux de matière organique dans le sol, de la désorganisation de la structure des horizons supérieurs du sol, de l'ablation des couches superficielles, de l'augmentation des dépôts éoliens et du constat de l'accroissement potentiel de l'albedo (BERKOFSKY, 1976 ; CHARNEY, 1975 ; OTTERMAN, 1974). Le nombre de jours de vent de poussières (RAPP, 1974) et l'abondance de "ripple marks" sur les formations sableuses (NOVIKOFF, 1976), ont également été proposés comme indicateurs.

Certains auteurs ont proposé des échelles découpées en classes pour quantifier ces phénomènes (WARREN et MAIZELS, 1977).

Pour la végétation, les critères retenus peuvent être la réduction du couvert végétal, la diminution du nombre d'espèces, leur déchaussement, la réduction de la capacité de charge, etc. A propos de la faune, il peut être fait état de la raréfaction du nombre d'animaux sauvages (MYERS et PARKER, 1975).

Disette, désorganisation de la famille, émigration temporaire ou définitive et détermination de l'état sanitaire de la population, etc. peuvent, dans certains cas, être considérés comme signes de dégradation du milieu naturel (Nations Unies, 1977 b).

Dans deux études réalisées en Tunisie (Nations Unies 1977 c ; FLORET, LE FLOC'H et PONTANIER, 1978) d'autres indices permettant de quantifier l'ampleur (intensité et étendue) de la dégradation des sols et de la végétation ont été retenus. Il a été considéré comme principe fondamental que "*le caractère essentiel de la désertisation d'une région est la régression de sa productivité biologique*".Le principal facteur limitant de la production végétale est la quantité d'eau mise à la dis-

position des végétaux : nous nous sommes donc particulièrement attaché à suivre la diminution de la capacité du stockage de l'eau dans le sol.

Les indices suivants ont été ainsi proposés :

- la diminution de la réserve en eau maximum disponible pour la végétation, ou réserve utile de la tranche du sol exploitable par les racines (Ru en mm) ;

- l'augmentation du coefficient de ruissellement primaire du sol en année à pluviosité importante ; cet indice (kr%) exprime le pourcentage des précipitations qui ruissellent ; il rend compte pour chaque système de l'état de la surface élémentaire du sol; il est donc lié à la désorganisation de la structure du sol et à la régression du couvert végétal ;

- la diminution relative de la production végétale spontanée consommable par les animaux, en année pluvieuse ; en effet, la pluie n'étant plus dans ce cas, le facteur limitant, la production végétale permet une juste appréciation de la dégradation du sol (régression de la Ru, accroissement du kr) ; par ailleurs, la production végétale spontanée consommable est liée à la composition de la flore et de la végétation et à la dégradation par surpâturage.

Ces trois indices ne sont pas indépendants ; ils concernent tous *le bilan de l'eau et ses effets jugés sur la végétation.*

Un autre critère a également été examiné pour mieux appréhender l'évaluation de la désertisation. Il s'agit du critère "d'irréversibilité" qui, associé aux trois indices présentés ci-dessus, permet de proposer la définition suivante des surfaces désertisées :

"*sont considérées comme définitivement désertisées, pour une utilisation des terres donnée, les surfaces des unités de milieu les plus dégradées (kr fort, Ru et végétation consommable réduites) qui resteraient probablement à leur faible niveau actuel de productivité malgré 25 ans d'aménagement agricole ou de mise en défens*".

Cette définition, qui permet de faire nettement la distinction entre dégradation et désertisation (voir au § III.4 la discussion sur la stabilité des systèmes écologiques arides) par l'introduction des notions d'irréversibilité et de capacité de régénération limitée dans le

temps, tient également compte du type d'utilisation des terres par l'homme. En effet, une zone "désertisée" pour le parcours (végétation pérenne détruite avec pouvoir de régénération faible à nul dans les conditions naturelles) ne l'est pas obligatoirement pour la culture, et inversement. Il est donc important de distinguer désertisation pour tous les usages des ressources et des terres, ou pour la culture seule, ou pour l'utilisation pastorale seule. Par ailleurs, il est évident qu'avec la mise en oeuvre de gros moyens (irrigation, culture sans sol, dessalage, resemis, reboisement, décroûtage, etc.), il est toujours possible de régénérer artificiellement un milieu dégradé et d'accroître sa productivité. Nous n'avons pas pris en compte de tels aménagements dans notre diagnostic.

1.3. ETAT ACTUEL DE LA DESERTISATION

A grande échelle, sur des zones test nous avons évalué l'état actuel de la désertisation et cherché à prévoir son évolution grâce au suivi de ces indices (exemple du chapitre IV.2. figure IV.9.). A petite échelle, seule l'évaluation de l'état actuel de la désertisation a été prise en compte et effectuée sur l'ensemble de la Tunisie aride et désertique ; nous avons proposé de considérer les quatre classes suivantes d' "état actuel de la désertisation".

1) Zones peu affectées per la désertisation : en raison des aménagements efficaces ("meskats", cactus, "tabias",...) les zones de l'étage bioclimatique méditerranéen aride supérieur sont, malgré une certaine sensibilité, considérées comme peu ou non affectées. L'amélioration des techniques culturales, l'entretien et l'extension des aménagements déjà réalisés sont les gages du maintien durable de la productivité de ces milieux. Les zones de végétation spontanée de ce même étage bioclimatique surtout utilisées pour l'élevage ou la cueillette des ligneux hauts et bas et des herbacées (montagnes et plateaux des Basses et Hautes Steppes), sont également classées comme peu affectées par la désertisation malgré une forte dégradation de la végétation (régression ou disparition des ligneux hauts) et une intense érosion hydrique. En effet, ces zones conservent encore une grande potentialité de régénération de la végétation naturelle.

2) Zones moyennement affectées par la désertisation : la quasi-totalité de l'étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur est actuellement moyennement affectée par la désertisation. Cependant ces zones peuvent être localement très affectées autour des centres urbains (El Hamma de Gabès, Médenine, Gafsa, El Guettar). Ces zones sont en fait celles où la surveillance doit être accrue afin de déceler les éventuelles évolutions néfastes liées à leur forte sensibilité.

3) Zones très affectées par la désertisation : elles sont essentiellement situées dans l'étage bioclimatique méditerranéen saharien au contact Erg-Dahars, dans l'Ouara : dans l'auréole des oasis continentales et dans les Basses Plaines Orientales (Bled Tarfaoui). Nous mentionnerons principalement ici la zone de Nefzaoua où les problèmes d'ensablement des périmètres irrigués et des villages sont très importants et, à un moindre degré, le Djerid et les zones pastorales située entre Metlaoui et le Chott Rharsa (disparition du couvert végétal).

4) Zones désertiques : ce sont les déserts "climatiques" (erg, reg, hammadas) et les régions où la salure du sol (chott) rend presque impossible l'installation des plantes et l'élevage des animaux domestiques ; et qui sont aussi caractérisés par une quasi-impossibilité de la remontée biologique.

TABLEAU IV.1 Surface des différentes classes "d'état actuel de la désertisation" en Tunisie Centrale et Méridionale. (d'après FLORET *et al.*, 1976)

Classes	Surface en km2	% de la surface totale
Zones peu affectées	18 200	17,2
Zones moyennement affectées	42 200	39,7
Zones très affectées	12 500	11,7
Zones désertiques	33.300	31,4
TOTAL	106 200	100,0

Le tableau IV.1 donne un aperçu de l'état actuel de la désertisation pour l'ensemble de la Tunisie aride et désertique. Sur le territoire de la seule Tunisie présaharienne (100 à 200 mm) le pourcentage des "zones très affectées" est plus important et représente près de 25 % de la surface ; la classe "zones peu affectées" disparaît pratiquement.

1.4. LA SENSIBILITE A LA DESERTISATION

Nous avons cherché aussi à classer les systèmes écologiques, en fonction de leur sensibilité plus ou moins grande aux phénomènes de la désertisation.

1.4.1. Evaluation de la sensibilité du milieu

Tous les types de milieu ne présentent pas la même réponse aux diverses actions de l'homme et il est donc possible de classer les types de sol et de végétation selon leur sensibilité potentielle (1) à l'agressivité des facteurs de la désertisation : surpâturage, mise en culture, etc. (FLORET et LE FLOC'H, 1973). On peut ainsi considérer que, pour une même zone climatique, la *sensibilité potentielle* dépend :

(1) Le terme de "vulnérabilité" a été utilisé, pour traduire le même concept que la sensibilité, lors de l'établissement par la F.A.O. de la carte mondiale de la désertisation au 1/25 000 000 (Nations Unies, 1977 d).

- pour la végétation : du type physionomique de la composition botanique, de la biologie et de l'adaptation des espèces, de l'état actuel du couvert végétal, de la vitesse de cicatrisation de la végétation (GODRON et POISSONET, 1972), etc.
- pour le sol : de l'épaisseur des horizons biologiquement actifs, de la texture, de la forme de terrain, de la pente, de l'exposition, de l'état de dégradation, de la structure et de la teneur en matière organique, etc.

D'autre part, l'homme n'exerce pas son action de façon uniforme sur l'espace dont il dispose, en raison des différences qui existent dans la facilité ou la difficulté d'utilisation du milieu. Un même milieu n'aura pas la même *attractivité* pour les activités humaines : les facteurs pris en considération sont par exemple :

- l'accessibilité aux engins mécaniques
- la proximité des points d'eau
- la proximité des lieux d'habitation

C'est la sensibilité potentielle, modulée par l'attractivité, qui détermine la *sensibilité globale* d'une unité de milieu à la désertisation. Ainsi, par exemple, une unité à sensibilité potentielle très élevée mais à attractivité nulle aura une sensibilité globale faible. Dans la suite du texte, quand nous écrirons "sensibilité", il s'agira toujours de la sensibilité globale.

1.4.2. Cartographie de la sensibilité à la désertisation

Cette notion de *sensibilité à la désertisation* a été le thème principal d'une cartographie appliquée à la Tunisie centrale et méridionale à l'échelle 1/1 000 000 (FLORET *et al.*, 1977).

La cartographie à petite échelle (1/1 000 000) implique une référence à un niveau de perception de l'espace où les unités retenues sont assez étendues pour pouvoir être représentées et considérées comme homogènes dans leur évolution sous la pression humaine ; le niveau d'intégration retenu est celui correspondant sensiblement au secteur écologique, alors que pour la zone test d'Oglat Merteba, cartographiée à l'échelle 1/100 000, c'est le système écologique qui a été retenu comme unité d'intégration et de représentation cartographique.

Tableau IV 2 ANALYSE DE LA SENSIBILITE A LA DESERTISATION

EN TUNISIE PRESAHARIENNE

(Extrait de FLORET, LE FLOC'H, PONTANIER, 1976)

TTD totalement dégradé
TD très dégradé
MD : moyennement dégradé
PD : peu dégradé
ND : non dégradé

les chiffres de sensibilité et d'attractivité, ainsi que les symboles des processus, sont ceux de la légende de la carte

REGION OU S/REGION NATURELLE	RELIEF GEOMORPHOLOGIE SUBSTRAT	SOL TYPE DOMINANT	SOL ETAT DE DEGRADATION	VEGETATION SPONTANEE TYPE PHYSIONOMIQUE DOMINANT	VEGETATION SPONTANEE ETAT DE DEGRADATION	VEGETATION SPONTANEE VITESSE DE CICATRISATION	UTILISATION DU SOL	DENSITE DE LA POPULATION RURALE (hab/km²)	LOCALISATION (lieu dit)	ATTRACTIVITE DU MILIEU culture	ATTRACTIVITE DU MILIEU parcours	SENSIBILITE POTENTIELLE DES SOLS A L'EROSION Culture sol	Culture hydr	Surpâturage sol	Surpâturage hydr	SENSIBILITE POTENTIELLE DE LA VEGETATION Culture	Surpâturage	SENSIBILITE GLOBALE DU MILIEU	FACTEURS PRINCIPAUX DE LA DEGRADATION ET DE LA DESERTISATION	ETAT ACTUEL DE LA DESERTISATION — Processus en cours
RHERIB	Zones d'accumulation éolienne dunes plus ou moins fixées (nappe salée profonde)	brut d'apport éolien souvent gypseux sur sol peu salé	MD	ligneux bas moyennement dense	PD	moyenne	parcours et cueillette	<2	. zones Bir-Redgem Maatoug Bir Moullah	3	3			1	5'		3	4	surpâturage et éradication	Moyennement désertisé D, r
NEFZAOUA	. bords de cuvette	. halomorphe à nappe phréatique	ND	ligneux bas moyennement dense	MD	moyenne	périmètres irrigués parcours, cueillette	>50	littoral S. E. Chott Djerid presqu'île de Kebili	1	2-3	5	5'	2	5'	2	2	2	surpâturage éradication mauvaise conduite de l'irrigation	Peu désertisé D, r, w
	. ancien relief dunaire encroûté (gypse) et dunes plus et moins fixées (nappe salée profonde)	. brut d'apport éolien sur sol gypseux	MD	ligneux bas clairs à denses	MD	moyenne	périmètres irrigués parcours, cueillette	>50	. haut Nefzaoua	1	1	5-3	5'	1	5'	2	2	1	surpâturage éradication, mauvaise conduite de l'irrigation	Fortement désertisé D, r, v
	. glacis à croûte gypseuse	. gypseux à croûte	MD	ligneux bas clairs	MD	faible	parcours, cueillette	2 à 7	Piedmont S-W du Djebel Tebaga	3-2	2	4	4'	4	4'	5	2	3	surpâturage et éradication	Fortement désertisé R, n
DJERID	bordures de cuvette	halomorphe parfois gypseux à nappe phréatique	ND	ligneux bas clairs à denses	PD	moyenne à forte	périmètres irrigués . parcours, cueillette	>30	littoral des Chotts Rhorsa et Djerid Tozeur, Nefta, Degache	1 - 2	2	5	5'	3	5'	2	4	3	surpâturage et mauvaise conduite d'irrigation	peu désertisé D, r, w
	collines mioplicocènes (Pontien)	croûte et encroûtement gypseux plus ou moins ensablés	MD	ligneux bas très clairs	TD	faible	parcours, cueillette rares périmètres irrigués	<2	Drâa Djerid	2	1	4	4'	3	3'	1	2	2	surpâturage	fortement désertisé R, n, v, h
	dunes fixées	brut d'apport éolien	TD	ligneux bas et herbacées denses à clairs	MD	moyenne	parcours cueillette rares périmètres irrigués	<2	zone d'Hazoua	2	2	2	5'	1	5'	1	2	1	surpâturage	fortement désertisé R, d, t
FEDJEDJ	zones d'épandage	peu évolué alluvial (faible salure)	MD	ligneux hauts et bas et clairs	TD	moyenne	. céréaliculture . parcours	2 à 7	Segui du Chareb et de la Soukra	1	2	5	4'	5	4'	2	4	4	culture	peu désertisé P, h
	glacis d'accumulation	peu évolué d'apport à sables grossiers sur croûte gypseuse	MD	ligneux bas denses	MD	moyenne	. parcours . céréaliculture . arboriculture	2 à 7	Bled Teniba	2	1	2	5'	3	5'	1	3	2	. surpâturage . culture	moyennement désertisé R, e
	glacis d'érosion plus ou moins couvert et entaillés par oueds	gypseux à croûte et alluvial (salé)	TD	ligneux bas clairs à denses	MD	faible	. parcours . céréaliculture	2 à 7	Glacis Nord et Sud du Chott Fedjedj	3-2	2	4	3'	4	3'	4	3	3	surpâturage	moyennement désertisé N, r, h

Tableau IV 2 (suite)

REGION OU S/REGION NATURELLE	RELIEF GEOMORPHOLOGIE SUBSTRAT	SOL TYPE DOMINANT	SOL ETAT DE DEGRADATION	VEGETATION SPONTANEE TYPE PHYSIONOMIQUE DOMINANT	VEGETATION SPONTANEE ETAT DE DEGRADATION	VEGETATION SPONTANEE VITESSE DE CICATRISATION	UTILISATION DU SOL	DENSITE DE LA POPULATION RURALE hab/km²	LOCALISATION (lieu dit)	ATTRACTIVITE DU MILIEU culture	ATTRACTIVITE DU MILIEU par-cours	SENSIBILITE POTENTIELLE DES SOLS A L'EROSION Culture sol	SENSIBILITE POTENTIELLE DES SOLS A L'EROSION Culture hyd	SENSIBILITE POTENTIELLE DES SOLS A L'EROSION Surpâturage sol	SENSIBILITE POTENTIELLE DES SOLS A L'EROSION Surpâturage hyd	SENSIBILITE POTENTIELLE DE LA VEGETATION culture	SENSIBILITE POTENTIELLE DE LA VEGETATION Surpâ-turage	SENSIBILITE GLOBALE DU MILIEU	FACTEURS PRINCIPAUX DE LA DEGRADATION ET DE LA DESERTISATION	ETAT ACTUEL DE LA DESERTISATION Processus en cours
OUARA	plaines et plateaux sableux	gris subdésertique, parfois sur croute calcaire ou gypseuse	TD	ligneux bas moyennement denses	MD	faible à moyenne	- parcours - cueillette	2 à 7	Région Bir Fatnassa et Dehibat	3	2			2	5'		2	2	surpâturage	fortement désertisé R, n, d
	oueds sableux. Dayas dépressions	peu évolué d'apport alluvial remanié par le vent	TD	ligneux hauts et bas denses	MD	faible	parcours, cueillette et céréaliculture épisodique	2 à 7	Region Bir Sloughi Bir Magroun, Oued Semna, Oued Neskrif	3-2	2	1	5'	2	5'	1	3	2	surpâturage	fortement désertisé D, r
	regs calcaires par fois ensablés	régosol avec voile éolien sur croute calcaire	TD	ligneux hauts et clairs	MD	faible	parcours. cueillette	2 à 7	Region Bir Amar, Hadj Naceur, Dehibat	3	2			4	5'		3	3	surpâturage	fortement désertisé R, n, d
	plateaux, plaines et glacis à regs gypseux	gypseux à croûte et encroûtement	TD	ligneux bas clairs	TD	faible	parcours. cueillette	? à 7	Region Ksar Djedid et Ksar Morra	3	2			4	5'		3	3	surpâturage	fortement désertisé N, r
	glacis d'accumulation	peu évolué, très érodé plus ou moins encroûté (texture fine)	TD	ligneux bas clairs	TD	faible	parcours et culture en jessours	7 à 15	Piedmonts des Dahars de Ain Dekouk ou Djebel Sedgel	2	2	5	3'	5	4'	4	3	3	surpâturage et culture	moyennement désertisé P, r, h
	bordures de sebkhas dunes plus ou moins fixées	Reg gypseux et sol peu salé à nappe phréatique saumâtre	MD	ligneux bas denses à clairs	MD	moyenne	parcours. cueillette	7 à 15	Ain Dekouk Bir Fatnassa Erg el Mill	3	2			2	5'		3	3	surpâturage	fortement désertisé R, v
MATMATA	versants, glacis hautes vallées épandages à nodules calcaires	régosol sur limons à nodules calcaires croûte calcaire lithosol sol brun isohumique tronqué	TD	ligneux bas et herbacés denses à clairs	MD	moyenne	culture en jessours parcours et cueillette	7 à 15	Piedmont des Matmatas	2	2	5	2'	5	4'	2	3	3	parcours, cueillette et culture	moyennement désertisé R, b, g
	sommets	lithosol et sol rendziniforme	TD	ligneux hauts, bas et herbacés denses	MD	moyenne	parcours. cueillette	7 à 15	Toujane Matmata Tamezred	3	2			5	5'		4	4	érodication cueillette	moyennement désertisé R, g, h
DJEFFARA	plaines alluviales littorales dépressions zones d'épandage	halomorphe, légèrement salé nappe phréatique	PD	pelouse végétation adventices des cultures	TD	moyenne	cultures oasis littorales parcours sur chaumes	> 50	de l'oued Akarit à Mareth Chenchou	1	2	5	5'	5	5'		5	5		
	collines et glacis à croûtes gypseuses	gypseux à croûte ou encroûtement plus ou moins recouverts	TD	ligneux bas très clairs	TD	faible	parcours	30 à 50	Zone littorale presqu'île de Djorf, Zarzis. Region de El Hamma et Gabès	3	1-2			3	3		2	2	surpâturage	moyennement désertisé R, n, h
DJEFFARA (suite)	plaines sableuses	steppique peu évolué, parfois sur croûte calcaire ou gypseuse	MD	végétation adventice des cultures	TD	moyenne	arboriculture (oliviers)	15 à 50	Presqu'île de Djorf Zarzis	1	3	1	4'					1	façons culturales intensives	moyennement désertisé T, d, v, n
				ligneux bas clairs à denses	MD	moyenne	parcours céréaliculture épisodique	7 à 30	Regions de Kirchaou, Ababs et Oglat Merteba	1-2	1	1	4'	2	4'	1	3	1	surpâturage et défrichement	moyennement désertisé R, t, v
	glacis limoneux, épandage à nodules calcaires, présence de croûtes gypseuses ou calcaires	brun isohumique tronqué lithosol et regosol sur croûte sol d'apport de texture lourde	MD	ligneux bas très clairs	TD	faible	parcours céréaliculture - systèmes jessours et "seguia"	15 à 30	Piedmont des Matmata Region Medenine, Sidi Guenaou, Telmam, Oued Zitoun	1	2	5	3'	5	4'	3	3	3	dégradation des aménagements (tabias, jessours) et du système "seguia"	moyennement désertisé P, h, r
ILE DE DJERBA	sebkhas et plaines littorales	halomorphe plus ou moins salé à nappe phréatique	PD	ligneux bas clairs à denses	PD	moyenne	parcours loisirs	> 50	pourtour de l'île	3	3-2			5	5'		5	5	eradication mauvaise protection zone des loisirs	peu à fortement désertisé R, d
	plaines sableuses	sierozem profond	MD	végétation adventice des cultures	TD	faible	cultures en jardins irrigation	> 50	intérieur N E de l'île	1	3	2	5'					2	façons culturales intensives absence de fertilisation	peu désertisé M, t, v
	dune thyrrenienne et ancienne surface villafranchienne fracturée	lithosol, regosol plus ou moins ensablé sur croute calcaire et grès thyrrenien	TD	ligneux bas clairs	TD	faible	parcours et culture	> 50	S E et W de l'île	2	2	1	3'	2	3'	2	3	2	surpâturage et culture	moyennement désertisé R, t, m, n

Tableau IV 2 (suite et fin)

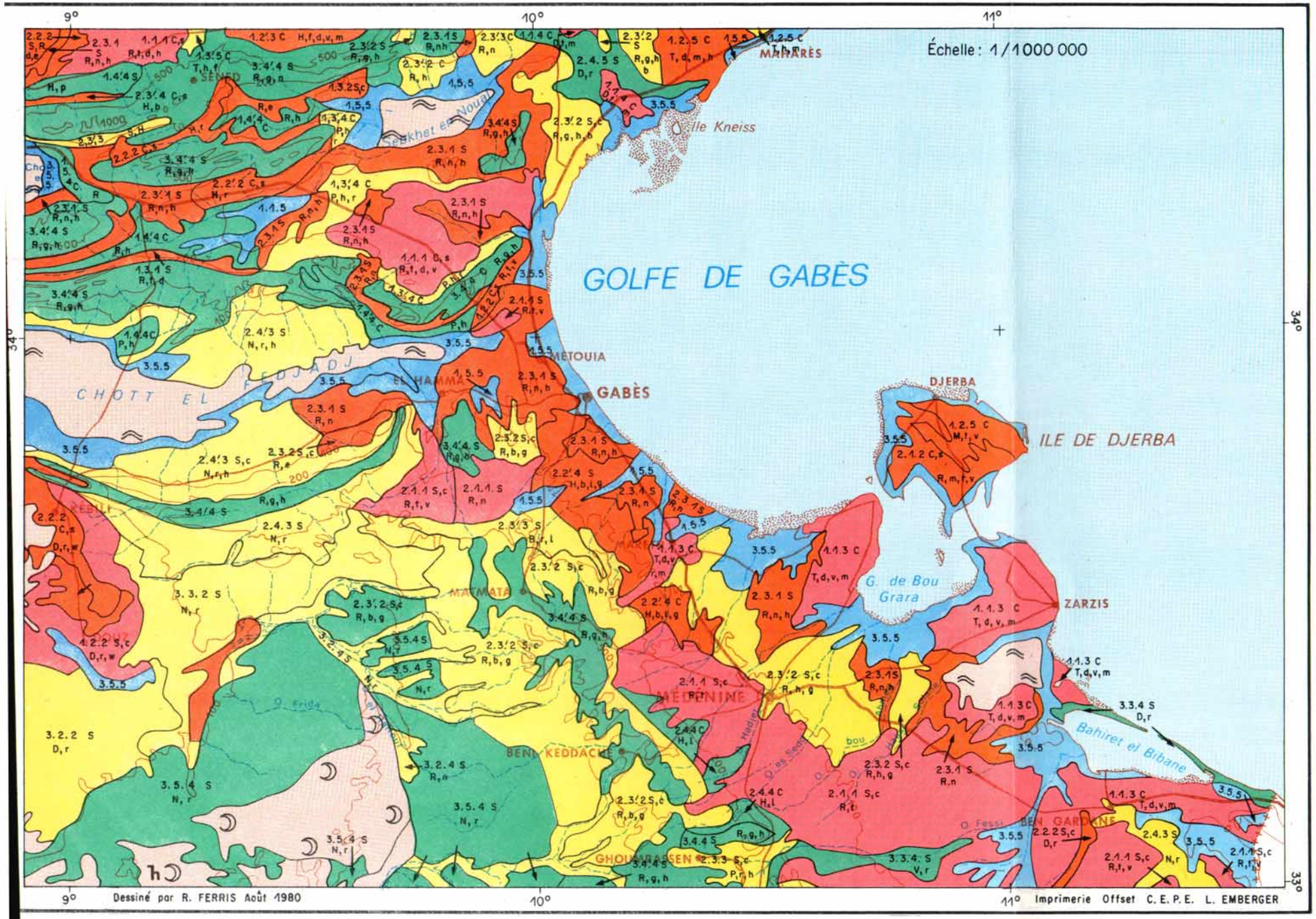
REGION ou S/REGION NATURELLE	RELIEF GEOMORPHOLOGIE SUBSTRAT	SOL TYPE DOMINANT	SOL ETAT DE DEGRADATION	VEGETATION SPONTANEE TYPE PHYSIONOMIQUE DOMINANT	VEGETATION SPONTANEE ETAT DE DEGRADATION	VEGETATION SPONTANEE VITESSE DE CICATRISATION	UTILISATION DU SOL	DENSITE DE LA POPULATION RURALE hab/km²	LOCALISATION (lieu dit)	ATTRACTIVITE DU MILIEU Culture	ATTRACTIVITE DU MILIEU par cours	SENSIBILITE POTENTIELLE DES SOLS A L'EROSION Culture sol	Culture hydr	Surpâturage sol	Surpâturage hydr	SENSIBILITE POTENTIELLE DE LA VEGETATION Culture	Surpâturage	SENSIBILITE GLOBALE DU MILIEU	FACTEURS PRINCIPAUX DE LA DEGRADATION ET DE LA DESERTISATION	ETAT ACTUEL DE LA DESERTISATION Processus en cours
BASSES PLAINES MERIDIONALES (occidentales)	collines glacis encroûtés cones	peu evolué, d'apport limoneux sur croûte ou encroûtement gypseux regosol lithosol	MD	ligneux bas clairs	MD	faible	parcours	2 à 15	Mellaou, Glacis des Dj Mrata, Zerf et Alima en Negueb	2	1	5	4'	5	5'	1	3	3	surpâturage	fortement désertisé R,n,v,h
	plaines et plateaux sableux plus ou moins encroûtés et entaillés par érosion hydrique	peu evolué à texture grossière sur gypse	MD	ligneux bas clairs	TD	moyenne	parcours et céréaliculture episodique	7 à 15	Redeyef Oued el Horchane Plaine Oued Melah	3-1	1	3	2'	4	3'	1	2	1	. défrichement . surpâturage	fortement desertisé R, b, e, r
	zones d'épandage	peu évolué, alluvial à texture fine	PD	ligneux bas très clairs	TD	faible	parcours et céréaliculture épisodique	2 à 15	Pourtour Garaet ed Douza Bas du Dj Alima	2-1	2	5	3'	5	4'	3	3	3	culture surpâturage	moyennement désertisé H, b, r
	zones d'épandage d'oued, fortement éolisées salure en profondeur	brut d'apport dunes plus ou moins fixées	MD	herbacées et ligneux hauts denses à clairs	MD	moyenne	parcours et cueillette	< 2	Delta de l'oued Horchane et de l'Oued Melah	3	2-3			2	5'		4	4-3	surpâturage éradication	fortement desertisé D, r
BASSES PLAINES MERIDIONALES (centrales)	cuvettes et zones d'épandage inondables	halomorphe	PD	ligneux bas clairs à denses	PD	moyenne	parcours périmètres irrigués . culture de décrue	< 2	Sebkret S' Mansour Chott el Guettar Oued el Melah	1-3	2	5	5'	5	5'	3-4	5	5		
	plaines sableuses d'origine éolienne ou mixte	brun steppique à sables grossiers ou brut d'apport eolien	P à MD	ligneux bas et herbacées clairs à denses	MD	moyenne	parcours	7 à 15	Bled Thala, Oulad Chraiet, Oued S'Aich et Oued Kebir	2	1	2	5'	3	5'	1	3	2	. surpâturage culture	moyennement désertisé R, d, e
	glacis et collines encroûtés . cones "segui"	croûte et encroûtement gypseux régosol et brut d'apport	MD	ligneux bas clairs	MD	faible	parcours et culture en "jessours"	2 à 7	M'dilla, Metlaoui, Piedmont des Djebels Orbata, Chemsi, Berda, Ben Younes	3-3	1-2	5	3'	5	4'	1	1	2	. surpâturage . culture	moyennement desertisé R, n, h
	alluvions, colluvions zones d'épandage "segui"	peu évolué d'apport texture fine présence de gypse	MD	ligneux bas très clairs	MD	faible	. culture derrière "jessours" . parcours	7 à 15	Segui S' Mansour El Guettar Zannouch Bled Thala	1	2-3	5	4'	5	4'	4-3	4	4	. culture . surpâturage	peu à moyennement desertisé H, p
BASSES PLAINES MERIDIONALES (orientales)	zones alluviales semi endoreiques épisodiquement inondables	halomorphe moyennement salé, à nappe phréatique	PD	ligneux bas clairs à denses	PD	moyenne	parcours	2 à 7	Bordure occidentale de la Sebkret en Nouail Cuvette Oued Leben Oued rone	1-3	1	5	5'	5	5'	3	5	5		peu désertisé
BASSES PLAINES MERIDIONALES (orientales)	plateaux, collines, glacis encroûtement et croûtes gypseuses	gypseux à croûte et encroûtement	MD	ligneux bas très clairs	MD	faible	parcours	7 à 15	Bled Sidi Medheb Hamilet el Babouch Ouali	3	2-1			3	3'		1	2	surpâturage	moyennement desertisé H, n, h
	plateaux et glacis d'accumulation	regosol peu evolué sur limons plus ou moins gypseux	TD	ligneux bas très clairs	TD	très faible	. céréaliculture . parcours	7 à 15	Hamilet el Babouch Sebkret En Nouail . Sidi Medheb	1	2	5	3'	5	4'	4	2	3	culture	moyennement desertise P, h, r
	plaines sableuses d'origine mixte	sierozem et brun isohumique profond	P à MD	ligneux bas clairs à denses	P à MD	moyenne	parcours et céréaliculture episodique	7 à 30	Zougrata S' Medheb Hachichina El Mida Mezzouna	1	1	1	4'	2	5'	1	3	1	culture et surpâturage	moyennement desertise R, t, d, v
DJEBELS des BASSES PLAINES	montagnes de 200 à 1000 m	lithosol parfois rendziniforme sur calcaires et regosol sur marnes gypseuses	TD	herbacées et ligneux bas clairs	MD	moyenne	parcours et cueillette	< 2	Dj Tebaga Dj Orbata Dj Bou Hedma Dj Hadifa	3	3 ?			5	4'		4	4	cueillette et surpâturage	moyennement desertise R, g, h

CARTE DE LA SENSIBILITÉ A LA DÉSERTISATION

PROCESSUS DE DÉGRADATION EN COURS DES SOLS ET DE LA VÉGÉTATION

par

C. FLORET écologiste au C.N.R.S., expert F.A.O. — E. LE FLOC'H, écologiste au C.N.R.S.
R. PONTANIER, pédologue à l'O.R.S.T.O.M.



Dessiné par R. FERRIS Août 1980 — Imprimerie Offset C.E.P.E. L. EMBERGER

CLASSES DE SENSIBILITÉ DU MILIEU

- Zone très sensible
- Zone sensible
- Zone moyennement sensible
- Zone assez peu sensible
- Zone peu ou non sensible
- Zone désertique
  - ☽ ..... erg
  - ≈ ..... chott et sebkha
  - h ..... reg

ATTRACTIVITÉ DU MILIEU, SENSIBILITÉ DU SOL ET DE LA VÉGÉTATION

Ces notions sont données par un groupe de trois chiffres (ex.: 1.4.3.), dont le premier exprime l'attractivité du milieu pour l'homme, le second la sensibilité du sol et le troisième la sensibilité de la végétation, selon les classes définies ci-dessous.

ATTRACTIVITÉ DU MILIEU POUR L'HOMME	SENSIBILITÉ DU SOL à l'érosion éolienne	SENSIBILITÉ DU SOL ou à l'érosion hydrique	SENSIBILITÉ DE LA VÉGÉTATION NATURELLE
1 — forte	1 — Très sensible	1' — Très sensible	1 — Très sensible
2 — moyenne	2 — Sensible	2' — Sensible	2 — Sensible
3 — faible à nulle	3 — Moyent sensible	3' — Moyent sensible	3 — Moyennement sensible
	4 — Assez peu sensible	4' — Assez peu sensible	4 — Assez peu sensible
	5 — Peu à non sensible	5' — Peu à non sensible	5 — Peu à non sensible

PROCESSUS DE DÉGRADATION EN COURS (*)

DÉGRADATION DE LA VÉGÉTATION NATURELLE

R, r — régression du couvert végétal

F, f — disparition du couvert végétal

DÉGRADATION DES SOLS

FORMATIONS ÉOLIENNES

V, v — voile sableux mobile

D, d — formation de dunes mobiles

DÉFLATION SUR LES FORMATIONS SABLEUSES

E, e — faible (déflation du voile éolien fixé, et faible troncature)

T, t — moyenne (troncature importante du sol)

N, n — forte (conduisant à la mise à nu des croûtes ou de l'assise géologique — formation de regs, de hammadas)

GLAÇAGE DE LA SURFACE DU SOL PAR L'EAU (augmentation du ruissellement, diminution des propriétés physicohydriques du sol, mauvaise germination)

L, l — formation d'une pellicule de battance localisée

P, p — généralisation de la pellicule de battance

ÉROSION PAR L'EAU

H, h — faible troncature — érosion hydrique en nappe

B, b — formation de bad-lands — érosion en ravines

G, g — forte troncature — mise à nu des croûtes et de l'assise géologique

EXTENSION DES SURFACES SALÉES

W, w — stérilisation du sol par une mauvaise utilisation des eaux saumâtres — formation de sols halomorphes, et de croûtes gypseuses de nappe

BAISSE DE FERTILITÉ

M, m — culture intensive sans amendement conduisant à une baisse des propriétés physico-chimiques du sol

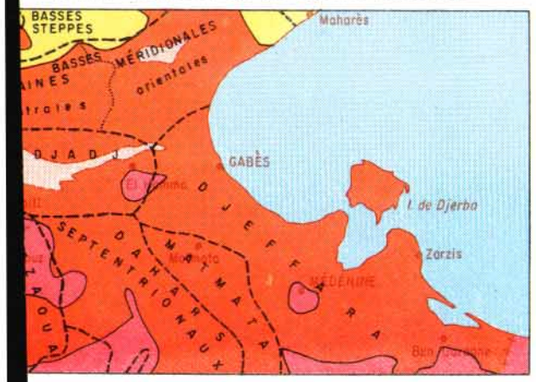
FACTEURS PRINCIPAUX DE LA DÉSERTIFICATION (*)

C, c — culture et cueillette des espèces ligneuses

S, s — surpâturage et cueillette des espèces ligneuses

* — Le facteur dominant est en majuscule; le ou les facteurs associés, en minuscule

ÉTAT ACTUEL DE LA DÉSERTISATION

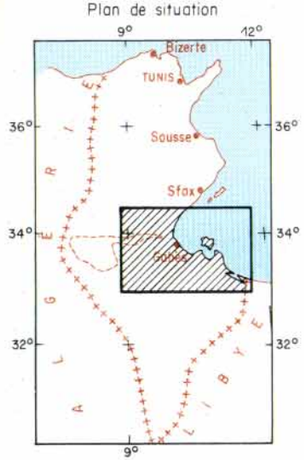


Échelle: 1/3 000 000

extrait de
Carte de la sensibilité à la désertisation
TUNISIE CENTRALE ET MÉRIDIONALE
("Sols de Tunisie" n°6 _ 1976)

- Zones très affectées par la désertisation
- Zones moyennement affectées par la désertisation
- Zones peu affectées par la désertisation
- Zones désertiques
- ---------- Limites des régions naturelles (d'après H.N. LE HOUÉROU _ modifié)

Plan de situation



Nous présentons ici seulement un extrait de la carte au 1/1 000 000, représentatif de notre zone d'étude qui, dans son intégralité, déborde largement la Tunisie présaharienne vers le Nord (isohyète 350 mm) et vers le Sud en intégrant la partie désertique.

L'étape de délimitation des unités a été réalisée avec l'aide des documents cartographiques préexistants réalisés à des échelles compatibles avec celle adoptée pour notre étude (FROMENT *et al.*, 1964 ; LE HOUEROU, 1969 ; BELKHODJA *et al.*, 1973), mais aussi avec les différentes cartes pédologiques, phyto-écologiques, effectuées à plus grande échelle. Les limites retenues ont été éventuellement rectifiées, en cas de modifications dues à l'évolution récente de la mise en culture, à l'aide des données - images des satellites LANDSAT 1 et 2 obtenues dans le cadre du Projet ARZOTU (LONG *et al.*, 1978) ou par des prospections sur le terrain.

La caractérisation des unités ainsi délimitées a nécessité d'abord une réflexion pour chaque région naturelle considérée, afin de tenir compte, selon les régions, des variations du climat, de la densité de population rurale, de l'agressivité des pratiques culturales et des systèmes d'utilisation des terres et des ressources végétales par l'homme. Cette réflexion a abouti, pour chaque secteur écologique rencontré dans une région naturelle, à proposer des valeurs aux critères retenus (attractivité du milieu, sensibilités potentielles des sols et de la végétation) selon un code pré-établi (cf. figure IV.1, légende de la carte). La sensibilité globale ainsi déterminée pour chaque zone est précisée en spécifiant les facteurs principaux contribuant actuellement à la dégradation ou à la désertisation, ainsi que les processus de dégradation en cours. Le tableau IV.2 résume l'analyse qui peut être faite à partir de cette carte.

Ainsi nous avons :

- pour les "sensibilités potentielles" des sols (à l'érosion éolienne et à l'érosion hydrique) et de la végétation, 5 classes indiquées sur la carte : 1 à 5 pour l'érosion éolienne, 1' à 5' pour l'érosion hydrique ;
- pour l' "attractivité" : 3 classes notées 1 à 3 sur la carte ;

- pour la "sensibilité globale" constituant le thème central de la carte : 5 classes représentées à l'aide de teintes en aplat allant du bleu (unité peu ou pas sensible) au rouge (unité très sensible) ;
- pour les "processus de la dégradation en cours" une symbolisation par des lettres, de même que pour les "facteurs principaux de la désertisation".

Par ailleurs, nous avons considéré que plus la zone était dégradée, plus faible était sa sensibilité, tous les dommages possibles étant déjà survenus ; ainsi, une surface désertisée, caractérisée par un paysage de hammada ou de reg, n'est plus du tout sensible. En revanche, une zone peut être sensible sans être encore désertisée : tel est le cas d'une steppe en bon état sur sable.

Si nous considérons l'ensemble de la Tunisie présaharienne il apparaît que :

1) Les zones (1) très sensibles sont essentiellement localisées dans les régions à forte densité de population rurale (Djerid, Nefzaoua, Djeffara et Basses Plaines Méridionales, Centrales et Orientales). La sensibilité élevée de ces zones est due :

   a) à une forte attirance des plaines sableuses pour la céréaliculture (Zougrata, Oglat Merteba, El Ababsa, Bir Lahmeur, Ben Gardane, Ouled Chraiet), qui occasionne la destruction du couvert végétal steppique, et n'assure pas une nouvelle protection durable du sol en raison de la faible durée d'efficacité de la couverture végétale artificielle (céréales). L'érosion éolienne peut alors devenir prépondérante ;

   b) à une surexploitation (façons culturales répétées sans fertilisation) des anciennes olivettes de Zarzis, Djorf et Ben Gardane, conduisant à une dégradation de la structure et de la fertilité des sols ; les processus d'éolisation y sont alors très importants ;

   c) à un surpâturage dans les zones situées à proximité des oasis continentales (Nefzaoua, Djerid), sur des sols sableux ou des sols squelettiques, où la végétation naturelle a du mal à se régénérer du fait de l'aridité du climat.

2) les zones sensibles sont situées :

   a) dans le Nefzaoua, l'Ouara, le Djerid, le Fedjej, la Djeffara et les Basses Plaines Méridionales Centrales et Occidentales ; il s'agit essentiellement d'une sensibilité liée au surpâturage

(1) Le terme de zone n'est pas employé ici dans le ses de "zone écologique" (LONG, 1974) utilisé généralement pour de grandes unités biogéographiques.

sur des sols squelettiques (croûtes calcaires et gypseuses à faible recouvrement sableux) ou très grossièrement sableux (sols bruts d'apport et sols gris subdésertiques). Les processus en cours sont principalement : la réduction du couvert végétal, le décapage des croûtes par l'eau et le vent et la formation de dunes dans l'étage saharien ;

b) dans l'île de Djerba, et dans les Basses Plaines Méridionales Orientales où cette sensibilité est liée essentiellement à une exploitation intensive (arboriculture et céréaliculture) de sols sableux peu stables en exposition souvent peu favorable vis-à-vis des vents. Actuellement, et pour ces zones classées "sensibles", en l'absence de végétation naturelle, les effets de la dégradation sont essentiellement : la baisse de la fertilité, le déchaussement des arbres, la troncature des sols et la formation de voile éolien mobile et, accessoirement, les dunes.

3) les zones moyennement et assez peu sensibles occupent plus de la moitié de la surface étudiée :

a) dans la partie la moins aride de l'étage bioclimatique méditerranéen saharien supérieur (Dahars, Ouara, Rherib, Djerid, Fedjej) ; il s'agit de zones peu peuplées et difficilement accessibles, ou de zones déjà fortement désertisées, donc peu attractives et où les risques sont devenus faibles. La réduction du couvert par surpâturage sur des milieux déjà très dégradés est le principal processus ;

b) dans l'étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur, les montagnes peu accessibles et les glacis souvent aménagés (jessours, tabias, système ségui), sont considérés, de ce fait, moyennement à assez peu sensibles. La détérioration du système d'exploitation entraîne une érosion hydrique avec éventuellement apparition de "bad-lands" ;

4) les zones peu sensibles : il s'agit essentiellement des terrains de parcours à halophytes, des plaines alluviales, des zones d'épandage et des "garaets", régulièrement cultivées. Les sols de ces zones, loin de se dégrader, sont au contraire dans de nombreux cas en voie de se constituer en raison des apports alluviaux réguliers.

Dans la totalité de la Tunisie méridionale et centrale la surface des différentes classes de sensibilité se répartit comme indiqué dans le tableau IV.3.

TABLEAU IV.3 Surface des unités occupées par les différentes classes de sensibilité aux facteurs de la désertisation en Tunisie Centrale et Méridionale (FLORET *et al.*, 1976).

Classes de sensibilité	Surface en km2	% de la surface totale
Zones très sensibles	6 300	5,9
Zones sensibles	9 200	8,6
Zones moyennement sensibles	26 100	24,6
Zones assez peu sensibles	23 900	22,5
Zones peu à non sensibles	7 400	7,0
Zones désertiques (chott, erg, reg, hammada, etc.)	33 000	31,4
Total	106 200 km2	100,0

Si nous ne considérons que la Tunisie présaharienne (comprise entre 100 et 200 mm de pluviosité moyenne annuelle), les classes "sensibles" et très sensibles" représentent un pourcentage de 35 % de la surface, contre environ 15 % pour l'ensemble de la carte.

1.5. CONCLUSION

La désertisation est caractérisée par l'ensemble des processus qui transforment progressivement une zone non dégradée en une zone désertique sous l'influence de l'homme et de ses animaux. Ces processus anthropozoogènes sont d'autant plus intenses et rapides que l'aridité climatique est simultanément forte. Localement, sans changement macro climatique notable, la désertisation se traduit néanmoins par un renforcement de l'aridité : bilan hydrique stationnel devenant de plus en plus défavorable, augmentation de l'albedo, baisse de la rugosité à la surface du sol, disparition d'un substrat meuble pour les végétaux.

Mais les manifestations de la désertisation, dans la zone présaharienne, sont souvent sournoises et difficiles à diagnostiquer. L'idée simpliste des dunes avançant sur un front homogène, ou des hammadas se généralisant, est à rejeter. Il est d'ailleurs en général trop tard pour tenter une action de lutte lorsque l'on est en présence de phénomènes d'une telle ampleur. En réalité, la désertisation se manifeste souvent par taches de quelques hectares, et n'est pas toujours facile à évaluer; car des ablations de quelques millimètres de sol par an, ou des diminu-

tions de quelques points du pourcentage du couvert végétal, ou encore des diminutions faibles des productions végétales, se mesurent difficilement, surtout si la variabilité interannuelle de la pluviosité est importante.

La prise en compte d'un seul ou d'un petit nombre de critères est souvent insuffisante pour une évaluation de la désertisation. Par exemple, l'absence de végétation n'est qu'un indice de désertisation en regard d'une utilisation pastorale ; s'il n'y a pas, simultanément, dégradation du sol, la zone peut être ensemencée, cultivée ou irriguée.

On ne peut, par ailleurs, caractériser la désertisation de façon statique et se contenter d'observations à un instant donné sur la morphologie du relief ou sur l'état de dégradation de la végétation et des sols ; son étude et l'identification des indices qui les caractérisent nécessitent des observations sur des chronoséquences passées ou à venir. Les indices relatifs à la productivité des milieux proposés dans ce texte pour suivre l'évolution de la désertisation vont dans ce sens. Ils sont basés sur l'observation et la récolte de nombreuses données de terrain dont certaines peuvent être généralisées grâce aux données de la télédétection aéroportée ou spatiale (LONG *et al.*, 1978). Il faudrait aussi compléter cette recherche par l'emploi d'autres indicateurs, en particulier ceux liés aux animaux et aux aspects socio-économiques.

Les 12 500 km2 aujourd'hui très affectés par la désertisation en Tunisie ont vu leur production végétale naturelle réduite à peu près à néant depuis le début du siècle. Le diagnostic écologique a permis de classer les unités de milieu présentes dans la région, d'après leur sensibilité potentielle à la désertisation future. Cette notion qui intègre la notion de "risque" est capitale à considérer pour doser au mieux l'intervention humaine future sur les différents milieux. Les cartes réalisées devraient aider les décideurs à prendre des mesures susceptibles de ralentir le phénomène, notamment en permettant une localisation des cultures là ou elles présentent le moins de danger, en fixant les pratiques culturales et le niveau d'intensification des diverses productions de façon à ce que partout la valeur du capital sol-végétation soit prise en considération. C'est ce qui est proposé dans le chapitre suivant, où est évalué l'état actuel d'une zone test de la Tunisie présaharienne, et où sont avancés quelques scénarios d'aménagement du territoire sur des bases écologiques.

2. BASES ÉCOLOGIQUES DE L'AMÉNAGEMENT AGRO-PASTORAL EN ZONE PRÉSAHARIENNE ; APPLICATION A UNE ZONE TEST

2.1. INTRODUCTION

L'aménageur de l'espace rural doit tirer le meilleur parti des ressources naturelles du territoire. Un mauvais aménagement risque de déclencher des processus conduisant à terme à une perte irréversible de productivité du milieu. Ce risque est accentué si les conditions de vie des hommes, des animaux et des plantes sont difficiles comme c'est le cas dans les zones à faible pluviosité dont il est question dans cette étude. LONG (1974, 1975, 1978, 1979 et *in* LONG et LE MOAL, 1976) donne les principes généraux qui doivent guider un aménagement sur des bases écologiques. Parmi ceux-ci citons, sans être exhaustifs, la détermination des potentialités biologiques, des seuils écologiques, des variables actives et des facteurs limitants, la recherche d'une production élevée et soutenue dans un équilibre agro-pastoral ; l'aménagement ne doit pas en effet négliger le long terme. Pour ce même auteur, on doit s'orienter, en zone aride, "vers une utilisation polyvalente des ressources biologiques des terres avec un équilibre harmonieux dans l'espace et dans le temps".

Nous reviendrons dans les conclusions sur un certain nombre de ces principes généraux. Pour la région considérée, dans l'état actuel des connaissances en agronomie et en l'absence de ressources en eau permettant l'irrigation, l'utilisation pastorale des ressources végétales et la céréaliculture resteront encore longtemps les principales activités agricoles. L'approche méthodologique esquissée ici pour une zone de 81 000 ha (Zougrata) est destinée à permettre de localiser au mieux ces productions, à en fixer les proportions en surface et les niveaux d'intensité d'exploitation. Cette approche consiste à :

1) déterminer les ressources du milieu dans leur état actuel, compte tenu de la variabilité climatique; et les cartographier ;

2) étudier les possibilités d'évolution à partir de cet état ;

3) élaborer un modèle permettant de prévoir l'évolution dans le temps de l'état de ces ressources en fonction de scénarios d'utilisation du territoire.

4) localiser sur des cartes les aménagements correspondants aux scénarios.

Il est un peu présomptueux de parler de modèle pour notre approche au regard des modèles systématiques complexes proposés par d'autres équipes (GOODALL, 1973 ; SAUGIER *et al.*, 1974 ; VAN KEULEN, 1975 ; INNIS, 1978, etc.). Les types de variables prises en considération dans notre étude sont en effet peu nombreux mais concernent de nombreux systèmes écologiques. Il faut en effet avoir présent à l'esprit le grand nombre de systèmes écologiques rencontrés dans la région étudiée, et aussi l'évolution actuelle très rapide de ces systèmes sous l'influence de l'homme. Les enquêtes, les observations et les mesures, utiles pour "alimenter" le modèle, doivent être nécessairement simples puisqu'elles doivent être réalisées sur un très grand nombre de stations. Par ailleurs, les variables économiques, souvent difficiles à saisir dans un système où les pratiques de l'auto-consommation sont intimement mêlées à celles du marché, devraient aussi être prises en compte beaucoup plus que nous n'avons pu le faire. C'est sans doute pour l'ensemble de ces raisons, comme le remarque GODRON (1973), que les modèles écologiques applicables à l'aménagement du territoire sont encore si peu nombreux par rapport à ceux qui se préoccupent d'un seul système stationnel.

2.2. CHOIX ET REPRESENTATIVITE DE LA ZONE

La zone-test de Zougrata, d'une surface de 81 000 ha, est située à 40 km au Nord-Ouest de Gabès (figure I.2), au centre de la région des "Basses plaines méridionales orientales". La région est soumise à une forte pression humaine (20 habitants/km^2 environ), irrégulièrement répartie. Les plus importants secteurs d'occupation se trouvent à proximité des zones inondables "garaets", des points d'eau et sur les piémonts des djebels où les aménagements de petite hydraulique agricole sont possibles. La plaine centrale de Mehamla, ainsi que le plateau

d'Hamilet el Babouch sont peu peuplés. L'ethnie la plus représentée est celle de Beni Zid : elle possède 70 % du territoire de Zougrata ; d'autres groupes (Graïra, Sbih et Ouled Sidi Medeb) se partagent la partie nord et la partie nord-est de la zone. Jusqu'à une date récente, les Beni Zid exploitaient et parcouraient les steppes de Zougrata à partir de l'oasis d'El Hamma, leur centre économique et culturel traditionnel. L'équilibre, basé sur la complémentarité entre l'oasis et la steppe (aridoculture dans les zones appropriées, et élevage transhumant), est aujourd'hui remis en question en raison, d'un manque d'intérêt pour les cultures d'oasis, d'une démographie explosive, d'une sédentarisation accrue et des changements apportés dans l'utilisation des terres : en 1948 70 000 ha de la surface étaient réservés au parcours, contre 50 000 ha environ aujourd'hui. C'est à partir des données de cette zone-test de Zougrata, très représentative de la Tunisie présaharienne en raison de son milieu physique varié, de ses potentialités biotiques et abiotiques, des bouleversements survenus depuis 20 ans dans l'utilisation de l'espace agropastoral par l'homme et de sa grande sensibilité aux phénomènes de dégradation et de désertisation, que nous nous proposons d'illustrer concrètement la méthode du diagnostic écologique appliqué au développement rural en zone aride.

2.3. ZONAGE ET CARACTERISATION DES SYSTEMES ECOLOGIQUES

La région dispose d'un seul poste météorologique depuis 1971 (station du Km 52). Nous avons estimé qu'elle était soumise à un climat plus aride que celui de la région de Gabès, en raison de sa position plus continentale ; la pluviosité annuelle, estimée à 175 mm en moyenne, tout en ayant globalement le même régime (saisons des pluies, variabilité, nombre de jours de pluie, etc. cf. § I.2.2.1), est donc plus faible à Zougrata, le pouvoir évaporant de l'air y est plus fort, et les amplitudes thermiques plus importantes. Ainsi, pour la période allant de 1971 à 1979 le quotient pluviothermique d'EMBERGER a été de 21,4 au poste de la station de Km 52, distant de 35 km de la mer, contre 37,2 pour la même période à la station de Gabès, située à 1 km de la mer.

Cette zone est constituée d'un ensemble de glacis, plaines, plateaux, élaborés principalement au Quaternaire ; elle est bordée de reliefs calcaires peu élevés, caractérisée par un réseau hydrographique pratiquement endoréïque. Selon la méthode exposée précédemment (cf. §

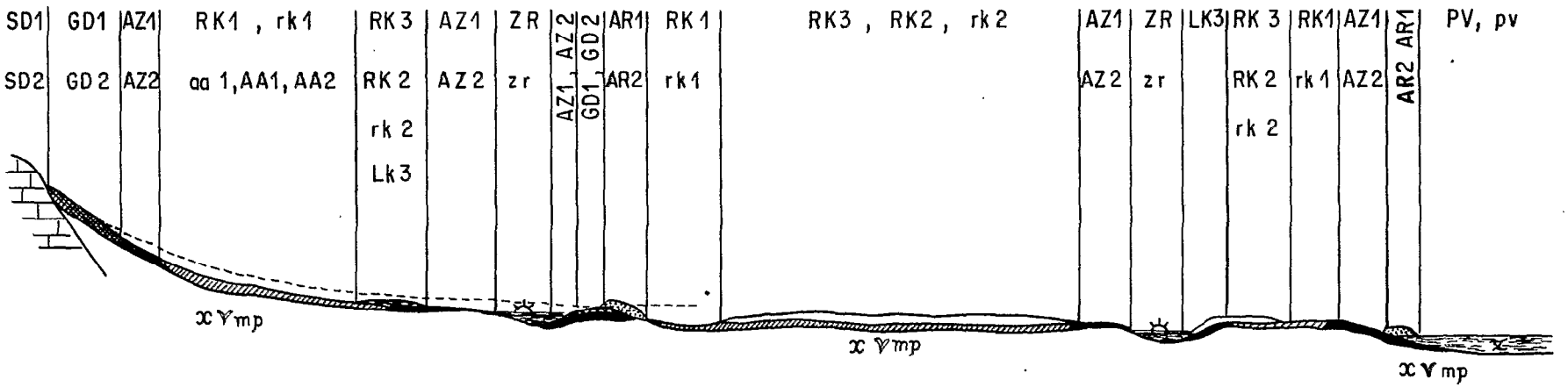
Figure IV.2 - LÉGENDE DE LA CARTE DES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES DE LA RÉGION DE ZOUGRATA

SIGLES DES SYSTÈMES		SD_2	SD_1	GD_2	GD_1	AZ_2	AZ_1	AA_2	AA_1	aa
BIOCLIMAT		PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES $P \simeq$. 160 mm TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES $T \simeq$. 21°C								
- HYPSOMETRIE - LITHOLOGIE - GEOMORPHOLOGIE		- Altitude 150-250m - Montagnes calcaires à relief disséqué		- Altitude 100-150m - Glacis d'érosion à croûte calcaire et buttes témoins de l'ancienne surface villafranchienne à croute calcaire		- Altitude. 75 à 100m - Glacis d'érosion à croûte ou encroûtement gypseux		- Altitude . 50 à 100 m - Plateaux et glacis d'érosion sur matériau à nodules calcaires		
VEGETATION SPONTANEE	TYPE PHYSIONOMIQUE (Formations)	HERBACES LIGNEUX BAS		LIGNEUX BAS		HERBACES LIGNEUX BAS	LIGNEUX BAS			HERBACES (chaume-jach.)
	ESPECES DOMINANTES	- Stipa tenacissima - Artemisia herba alba - Gymnocarpos decander - Arthrophytum scoparium		- Gymnocarpos decander - Atractylis serratuloides - Helianthemum lippii var sessiliflorum - Rhantherium suaveolens		- Lygeum spartum - Linaria aegyptiaca	- Atractylis serratuloides - Helianthemum kahiricum - Gymnocarpos decander - Anarrhinum brevifolium	- Arthrophytum scoparium - Asteriscus pygmaeus - Erodium glaucophyllum - Stipa retorta - Artemisia herba alba		- Diplotaxis harra - Launaea nudicaulis - Stipa retorta - Plantago ovata
	Etat du couvert végétal	bon état 30%	dégradé à très dégradé 15%	peu dégradé 20%	très dégradé 10%	peu dégradé 20%	très dégradé 5%	peu dégradé 20%	très dégradé 3%	— 5%
	Biomasse aér.ne plantes pérennes (kg mat. sèche/ha)	1700	850	900	300	650	300	350	50	100
SOLS	TYPE PEDOGENETIQUE	- Bruts d'érosion - Lithosols		- Régosols sur croûte calcaire démantelée		- Sols à accumulation gypseuse(croûte ou encroûtement) - Présence éventuelle d'un recouvrement sableux éolien)		- Sols isohumiques bruns subtropicaux tronqués, ou régosols sur limons à nodules calcaires. Présence éventuelle d'un encroûtement calcaire ou gypseux.		
	RUISSELLEMENT EROSION	- Ruissellement fort - Erosion hydrique forte		- Ruissellement moyen à fort - Erosion hydrique forte		- Ruissellement moyen à fort - Erosion hydrique éolienne moyenne à faible		- Ruissellement moyen à faible - Erosion hydrique moyenne à faible		
	RESERVE D'EAU UTILE MOY. DU SOL POUR LA VEGETATION (en mm)	60	45	98	75	75	52	144	108	126
POPULATION HUMAINE	HABITAT	HABITAT RARE - CONSTRUCTIONS EN DUR				HABITAT CONCENTRE CONSTRUCTIONS EN DUR		HABITAT DISPERSE CONSTRUCTIONS EN DUR		
	POINTS D'EAU	CITERNES DE RUISSELLEMENT								
	ACTIVITES - animaux domestiques - cultures - etc	- Cueillette de bois à usage domestique - Cueillette de fibres-alfa (tressage) - Utilisation des parcours en été par les caprins		- Cueillette du bois à usage domestique - Utilisation des parcours par les ovins et les caprins au printemps et en été - Fours à chaux		- Cueillette du bois - Zone de parcage des troupeaux - Utilisation intensive des parcours toute l'année par les ovins, caprins et animaux de traits		- Cueillette de l'Arthrophytum scoparium (nefa) - Utilisation des parcours en hiver et au printemps par les ovins et par les caprins.		- Amenagement des glacis (gessours, tabias) - Arboriculture (oliviers) et cerealiculture - Parcours sur chaumes et sur jachères
SYSTEMES ECOLOGIQUES	SIGLES	SD_2	SD_1	GD_2	GD_1	AZ_2	AZ_1	AA_2	AA_1	aa
	Surfaces en ha. et %	1610 (1,98%)	1275 (1,59%)	315 (0,39%)	2015 (2,48%)	2070 (2,55%)	7835 (9,64%)	315 (0,39%)	8290 (10,2 %)	7955 (9,79%)
PRODUCTION ANNUELLE DE LA PARTIE AERIENNE DE LA VEGETATION SPONTANEE (kg mat sèche /hectare/an)	Annuelles (année humide)	150	150	350	150	300	150	150	150	650
	Annuelles (année moyenne)	80	80	150	65	100	40	100	100	50
	Annuelles (année sèche)	20	20	40	10	35	10	10	10	10
	Pérennes (année humide)	1100	600	800	500	600	300	500	150	250
	Pérennes (année moyenne)	900	500	600	370	350	180	350	60	100
	Pérennes (année sèche)	450	200	300	200	150	75	200	30	30
	Partie consommable (année humide)	370	210	800	400	640	320	420	180	450
	Partie consommable (année moyenne)	270	150	520	260	310	150	290	90	125
	Partie consommable (année sèche)	125	50	230	120	130	60	140	20	20
PRODUCTION DES PRINCIPALES CULTURES	Céréales (quintaux/ha/an) (année humide)	—	—	—	—	—	—	—	—	8
	Céréales (quintaux/ha/an) (année moyenne)	—	—	—	—	—	—	—	—	2
	Céréales (quintaux/ha/an) (année sèche)	—	—	—	—	—	—	—	—	0
	Olives (kg mat sèche/ha an) (année moyenne)	—	—	—	—	—	—	—	—	600

Figure IV.2 - (SUITE)

LK 3	RK 3	RK 2	RK 1	rk 2	rk 1	AR 2	AR 1	ZR	zr	NS	PV	pv
ETAGE BIOCLIMATIQUE MEDITERRANEEN: Aride Inferieur - variante a hivers doux								Q m ≥ 15 à 20 ≥ 5° C				
- Altitude 50 à 75 m - Plaines à accumulation sableuse au pied des glacis.						- Altitude 50 m - Relief dunaire plus ou moins fixe		- Altitude : 25 à 75 m - Zones d'epandage des oueds avec presence de dunes fixees (Nebkhas).			- Altitude : 50 m - Depressions	
HERBACES LIGNEUX BAS	LIGNEUX BAS			HERBACES (chaume - jachère)		HERBACES		Ligneux hauts Ligneux bas	HERBACES (chaume-jach.)	LIGNEUX BAS	HERBACES	HERBACES (chaume-jach.)
- Lygeum spartum - Rhantherium suaveolens - Plantago albicans - Cutandia dichotoma	- Rhantherium suaveolens - Stipa tagascae - Plantago albicans - Artemisia compestris - Echiochilon fruticosum - Argyrolobium uniflorum - Helianthemum lippii var sessiliflorum			- Peluranthos tortuosus - Cutandia dichotoma - Cynodon dactylon - Lolium rigidum - Artemisia compestris		- Aristida pungens - Plantago albicans - Argyrolobium uniflorum - Cutandia dichotoma - Nolletia chrysocomoides - Cleome arabica		- Ziziphus lotus - Polygonum equisetiforme - Cynodon dactylon	- Cynodon dactylon - Schismus barbatus - Peluranthos tortuosus - Artemisia compestris - Ziziphus lotus	- Suaeda mollis - Salsola sieberi var vesicifensis - Nitraria retusa - Frankenia thymifolia - Arthrocnemum indicum	- Puticaria incrmata - Verbena supina - Tamaris sp.	- Cynodon dactylon - Verbena supina
bon etat 30%	bon etat 40%	peu degrade 20%	tres degrade 10%	— 10 %	— 5%	bon etat 40 %	tres faible 5%	bon etat 50%	— 15%	bon etat 50 %	bon etat 50 %	— 5%
800	1000	600	200	100	50	700	100	4000	3000	4000	1550	150
- Sierozems sableux ou peu evolues d apports steppisés pouvant enterrer un sol brun subtropical ou un encroûtement gypseux			- Sierozems sableux pouvant être tranqués jusqu'au matériau nodules calc (régosols)	id sols de RK 3 et RK2	id. sols de RK1	- Sols bruts d apport eolien plus ou moins fixés		- Sols peu evolues alluviaux profonds à texture sablo-limoneuse ou limono-sableuse, éventuellement salés en profondeur		- Sols halomorphes salins plus ou moins salés sur encroûtement gypseux de nappe	- Sols peu évolués alluviaux ou hydromorphes, legerement salés, a nappe phréatique peu profonde - Croûte gypseuse de nappe	
- Ruissellement faible à nul - Erosion éolienne moyenne à forte			- Ruissellement moyen à fort - Erosion éolienne forte et érosion hydrique faible			- Ruissellement nul - Érosion eolienne faible		- Sols inondables temporairement - Zones d infiltration et d accumulation			- Zones d'infiltration et d accumulation (submersion temporaire jusqu'à six mois)	
75	137	126	92	125	85	160	80	218	218	160	310	310
HABITAT DISPERSE - NOMADES CONSTRUCTIONS EN DUR - TENTES ET ABRIS				PAS D HABITAT				HABITAT CONCENTRE A LA PERIPHERIE (sur les milieux AZ1 et AZ 2)				
PAS DE POINTS D'EAU			Quelques rares citernes	PAS DE POINTS D EAU				PUITS DE SURFACE				
- Cueillette du bois a usage domestique - Utilisation des parcours toute l annee par les ovins et les caprins, et par les jeunes camelins au printemps. Les camelins adultes utilisent les parcours en été.				- Cerealiculture et arboriculture - Parcours sur chaumes et sur jacheres		- Cueillette des fibres (fabrication de nattes et abris) - Utilisation des parcours par les ovins et par les caprins toute l'annee, a l'exception de l'été.		- Cueillette du bois - Utilisation des parcours toute l annee par les ovins, caprins et animaux estivants	- Cerealiculture - Arboriculture - Cultures vivrieres - Parcours sur chaumes	- Cerealiculture episodique - Parcours par les ovins et par les caprins	- Parcours	- Cerealiculture - Cultures vivrieres de décrue
LK 3	RK 3	RK 2	RK 1	rk 2	rk 1	AR 2	AR 1	ZR	zr	NS	PV	pv
1475 (1,82%)	5020 (6,18%)	5505 (6,77%)	13455 (16,55%)	13250 (16,30%)	3805 (4,68%)	200 (10,25%)	85 (10,10%)	255 (0,31%)	4630 (5,70%)	575 (0,71%)	12 (0,0%)	1355 (1,64%)
450	500	150	100	200	175	450	250	1000	650	1000	300	450
180	200	50	40	50	50	180	160	750	200	850	600	150
50	50	10	10	25	20	40	10	100	60	100	50	40
1000	1100	800	550	250	200	900	150	3000	450	2000	1200	450
750	800	600	450	100	75	500	80	1500	300	1800	800	300
350	400	300	200	400	30	300	50	500	150	900	100	150
910	1130	650	420	340	280	630	170	2300	840	1460	540	410
560	690	440	320	110	90	290	100	1350	370	1270	520	180
230	300	210	140	50	40	120	30	330	150	380	60	70
—	—	—	—	6	4	—	—	—	10	—	—	10
—	—	—	—	3	2	—	—	—	6	—	—	6
—	—	—	—	1	0	—	—	—	2	—	—	1
—	—	—	—	600	400	—	—	—	800	—	—	—

Fig. IV 3_MODELE ZOUGRATA _ Schéma montrant la répartition des matériaux et des unités
(d'après FLORET et al., 1978)



LÉGENDE

RK2	Sigle de l'unité		Recouvrement sablo-limoneux
	Calcaire dur du crétacé		Sable éolien peu fixé
xYmp	Miopliocène gypseux (sablo-argileux)		Matériau sablo-argileux à nodules calcaires
	Croûtes calcaires villafranchiennes		Alluvions
----	Ancienne surface villafranchienne		Nebka à Ziziphus lotus
	Croûtes et encroûtements gypseux	Y	Encroutement gypseux de nappe (garaet)

Fig. IV.3 - Distribution des systèmes écologiques, dans la zone de Zougrata, suivant une toposéquence schématique.

I.5.2) 22 systèmes écologiques, regroupés en 9 secteurs écologiques (correspondant aussi à 9 séquences de végétation) ont été caractérisés, les plus importants ont fait l'objet de mesures de bilan d'eau et de production végétale. Une carte a été réalisée à l'échelle de 1/50 000 (FLORET *et al.*, 1978). La figure IV.2 représente la légende de cette carte. Nous n'avons pas reproduit cette carte ici, mais on peut se rendre compte de la distribution des systèmes écologiques le long d'une toposéquence sur la figure IV.3.

2.4. ETAT ACTUEL DES PRINCIPALES RESSOURCES NATURELLES

Un état des principales ressources naturelles de la zone peut être établi à partir de cette carte des systèmes écologiques, des mesures et évaluations couvrant les facteurs agrométéorologiques et biologiques, ainsi que des inventaires hydrauliques et des enquêtes socio-économiques.

Les terres à pâturage représentent actuellement environ 50 000 ha dont le tiers seulement est en bon état. Le reste de la surface est occupé par des terres de cultures emblavées épisodiquement suivant le régime des pluies de l'année. Sur l'ensemble de la zone, on considère que, même après 25 ans de mise en défens, 6 000 ha resteraient inaptes à la culture et même à l'utilisation pastorale : ce sont des surfaces désertisées. Il s'agit essentiellement d'une fraction des systèmes écologiques suivants : SD_1, GD_1; AZ_1, et AR_1. Cela représente 7,5 % de la superficie totale de la zone-test.

2.4.1. Ressources en sols

Il apparaît aussi qu'il y a environ 55 000 ha de sols potentiellement cultivables en sec, parmi lesquels 25 000 ha sont très sensibles à l'érosion éolienne (milieux sableux RK_3, RK_2, rk_2, LK_3). L'érosion hydrique est peu importante ; elle se manifeste sur les glacis en pentes, et sur les sols des hautes vallées. Les sols limono-sableux, lorsqu'ils sont profonds et sur des pentes faibles sont peu sensibles à la mise en culture ; il s'agit des sols des systèmes AA_1,AA_2, aa, ZR, zr, RK_1, rk_1, PV et pv qui représentent 30 000 ha environ. De cet ensemble de terres cultivables, on peut extraire environ 23 000 ha de sols irrigables en raison de leur épaisseur suffisante (80 cm), de leur fai-

ble pente (2 %) et de leur caractéristiques de drainage (sol sableux à sablo-argileux). Il s'agit des systèmes RK_3, RK_2, rk_2, zr, aa et AA *pro parte*. Une partie de ceux-ci, zr, aa et AA_1, en raison de leur texture un peu plus lourde et de leur position topographique, risque d'être plus sensible aux problèmes de salinisation et d'asphyxie en cas d'irrigation par eaux saumâtres ; ils représentent environ 9 000 ha (cf. § II.3).

En conclusion, les ressources en sols aptes à la culture sont très importantes sur la zone-test ; malheureusement, une proportion élevée est sensible aux facteurs de la dégradation (cf. § IV.1.2).

2.4.2. Les ressources en eaux

Sur la base des données disponibles, l'inventaire des ressources en eaux et leur cartographie (FLORET *et al.*, 1978) ont été réalisés. Outre les 175 mm de précipitations moyennes annuelles (avec 1 année sur 5 recevant moins de 100 mm et 1 année sur 5 recevant plus de 250 mm), les habitants de la région disposent d'autres ressources en eau :

1) Les eaux de ruissellement

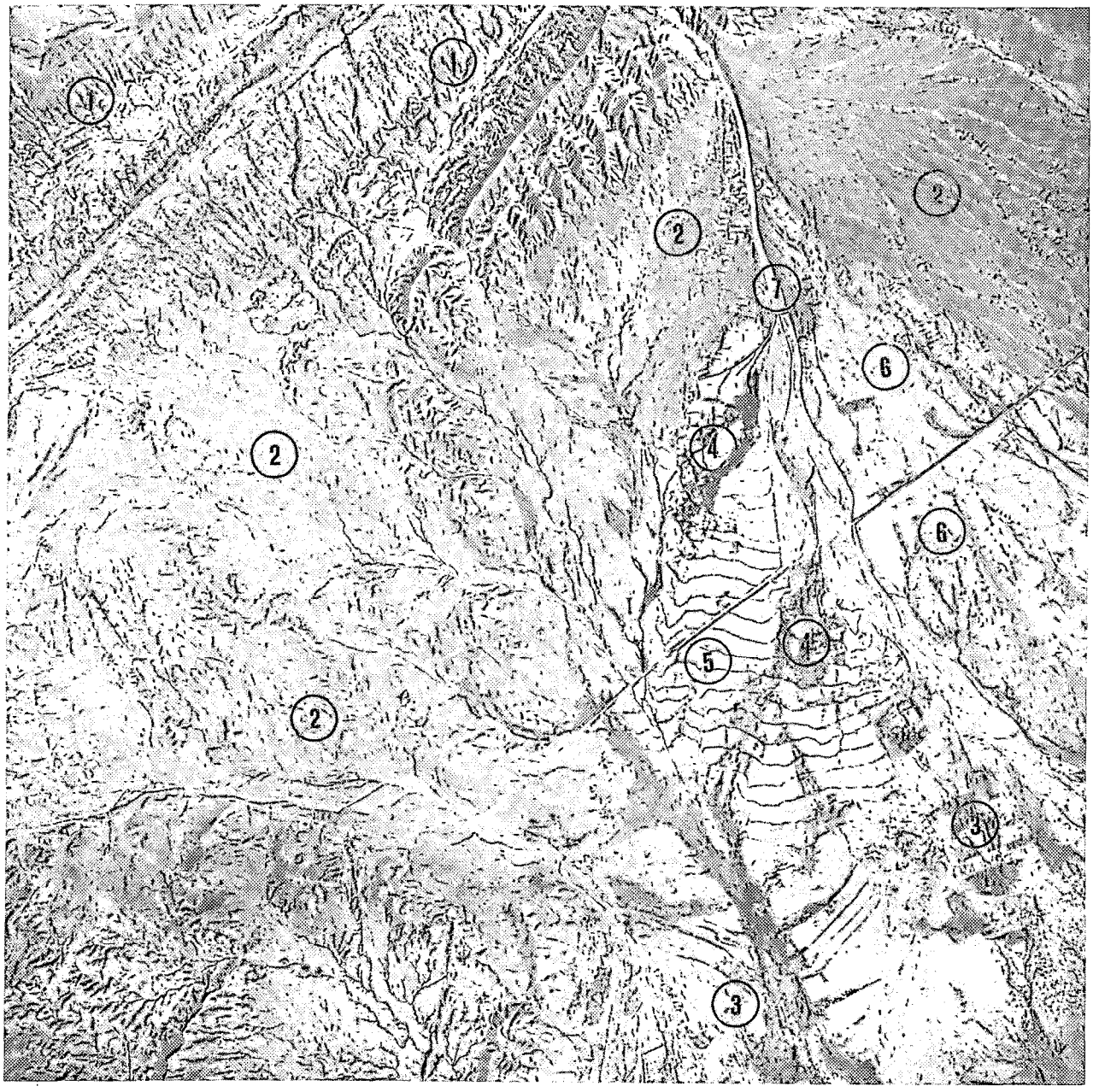
Très difficiles à maitriser, ces eaux représentent actuellement les seuls apports qui pourraient permettre de combler en partie le déficit hydrique des cultures. Elles sont utilisées de diverses façons : captages et retenues sur les versants, épandage des crues, stockage dans des citernes publiques ou familliales etc. ; leur qualité est bonne et peu contraignante pour l'agriculture (résidu sec = 0,3 à 1 g/l). Ce type de ressources en eaux est abondant en bordure des reliefs ; une faible fraction seulement est actuellement collectée. En 1978, la capacité de stockage (Citernes) de ces eaux de ruissellement était de 187 000 m^3 environ pour l'ensemble des terres, dispersées sur les 81 000 ha de la zone-test.

2) Les eaux des nappes proches de la surface

Ces eaux sont en général peu abondantes et de mauvaise qualité ; on les trouves :

- dans le Miopliocène entre 25 et 35 m de profondeur (le résidu sec RS varie de 5 à 6 g/l)
- dans les inféroflux des fonds d'oueds, entre 10 et 20 m de profondeur (RS≃3g/l)
- au centre et sur le pourtour des garaets inondables entre 3 à 8 m de profondeur (RS de 3 à 10 g/l suivant les situations et l'époque de l'année)

Elles sont toutes utilisées à partir de puits ; il en existe 44 sur la zone-test dont les débits varient entre 0,2 à 1,5 l/s.



VUE AERIENNE MONTRANT UN EXEMPLE D'AMENAGEMENT DES TERRES ET DES EAUX DANS LA ZONE DU SEGUI D'EL GUETTAR
(Basses Plaines Méridionales Centrales)

Cliché 093 CXVII/250 TUN 1963. Echelle 1/25 000

1 - Zone montagneuse (Dj. Orbata) bassin de réception de l'oued principal (parcours)
2 - Glacis plus ou moins encroutés, bassins de réception des oueds de piémont (parcours)
3 - Zone d'épandage non aménagée (céréaliculture)
4 - Zone d'épandage aménagée (céréaliculture et arboriculture
5 - Zone intermédiaire du glacis aménagée (céréaliculture)
6 - Zone intermédiaire du glacis non aménagée (parcours et céréaliculture extensive)
7 - Prises d'eau

3) **Les eaux des nappes profondes**

A la suite d'études géophysiques importantes, de l'implantation de 8 forages de reconnaissance, les aquifères profonds se sont révélés peu prometteurs et non utilisables pour l'irrigation (mauvaise qualité des eaux et coûts d'exploitation trop élevés).

4) **Les eaux des mares temporaires** (utilisables en année pluvieuse)

Elles sont mal utilisées ; actuellement, les agriculteurs, au fur et à mesure de la décrue, cultivent en auréole autour de ces mares, mais une grande partie de l'eau est évaporée. En 1973-74 pour une pluviosité de 330 mm, ces réserves ont représenté 7.10^6 m^3 sur l'ensemble des **garaets** de la zone-test.

En conclusion, compte tenu de l'inventaire réalisé, on peut considérer que :

- les ressources en eaux souterraines de la région de Zougrata sont limitées et non exploitables pour l'agriculture ; associées aux ressources en eaux récupérées dans les citernes, elles pourront permettre la satisfaction des usages domestiques et l'abreuvement des troupeaux ;
- les possibilités d'aménagement en vue de collecter les eaux de ruissellement pour des usages agricoles sont très importantes, mais difficiles à évaluer avec exactitude en raison du caractère aléatoire de la pluviosité ;
- une meilleure utilisation du "système d'eau libre-nappe phréatique" des *garaet* de la zone-test doit être envisagée pour éviter les gaspillages d'eau par évaporation en années pluvieuses (meilleure alimentation de la nappe, repompage, stockage, etc.).

2.4.3. Les ressources végétales et animales

Elles sont très fluctuantes en raison de la pluviosité qui agit comme facteur limitant au niveau de la production végétale, mais aussi à cause du type d'utilisation des terres (principe de la céréaliculture itinérante et épisodique).

TABLEAU IV.4 Variations sur la zone de Zougrata (81 260 ha) de l'état actuel des ressources végétales, de la charge théorique optimale et des superficies emblavées, en fonction des précipitations annuelles. (d'après FLORET *et al.*, 1981).

	année sèche P<100 mm	année moyenne P=160-180 mm	année pluvieuse P>250 mm
Production primaire nette de la partie aérienne de la végétation spontanée (tonnes de matière sèche/an)	12 000	34 000	58 000
Production pastorale consommable en milliers d'U.F./an	2 400	6 600	11 000
Charge animale en équilibre (en unités ovines) en élevage traditionnel utilisant la totalité de la production consommable	6 300	18 400	30 500
Surfaces emblavées (1) (en hectares)	9 300	15 500	25 000
Production céréalière (en tonnes de grains/an)	1 400	6 000	17 800

(1) - en année sèche 25 à 30 % des superficies défrichées sont emblavées
- en année moyenne environ 50 % des superficies défrichées sont emblavées
- en année pluvieuse environ 80 % des superficies défrichées sont emblavées.

Le tableau IV.4 donne un aperçu des principales productions végétales et de leurs fluctuations en fonction des précipitations annuelles.

Pour une production aérienne moyenne annuelle des espèces ligneuses de 700 kg de MS/ha/an sur l'ensemble des pâturages, la production pastorale moyenne est de 120 UF/ha/an (1), ce qui correspond à une

(1) UF (Unité Fourragère) = équivalent énergétique d'un kilo d'orge.

charge théorique de 18 400 UO (2). Cette production est d'abord déterminée au niveau de chacun des systèmes écologiques à partir de mesures et estimations de production primaire disponible pour l'animal (en utilisant un coefficient variable suivant les saisons pour passer des kilogrammes de matière sèche aux unités fourragères). Pour l'ensemble de la zone, la production pastorale est déterminée en prenant en considération la surface, calculée par planimétrie, occupée par chacun des systèmes écologiques. Outre les 6 000 tonnes de céréales (grains) produites par les 25 % de la surface emblavable en année moyenne, la production pastorale globale moyenne pour l'ensemble de la zone-test se situe aux alentours de 80 UF/ha/an. Globalement, si toutes les céréales étaient réservées à la consommation par les animaux, la production serait donc de 155 UF/ha/an pour une pluviosité moyenne annuelle comprise entre 150 et 175 mm.

2.5. LA DYNAMIQUE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES

Les études menées sur la dégradation et la régénération des sols et de la végétation en mode diachronique pluriannuel, les enquêtes sur l'utilisation ancienne des terres, ainsi que les traitements pour des expérimentations sur la dynamique provoquée, nous ont permis de mettre en évidence un certain nombre de relations entre les systèmes écologiques.

La figure IV.4 donne des indications sur les modalités et l'intensité des phénomènes de passage d'un système écologique à un autre par dégradation ou régénération. Les transformations permettant les passages d'un système à un autre concernent surtout les systèmes écologiques appartenant au même secteur écologique ou à la même séquence de végétation.

Les évolutions dans le sens d'une dégradation (réduction de la couverture végétale, disparition des bonnes espèces pastorales, manifestation de l'érosion, troncature du sol, extension de la battance, de la déflation éolienne, accumulation dunaire, etc.) liées essentiellement au travail du sol (labours), se révèlent plus rapides que la régénération (cf. II.1.3 et III.4).

(2) UO (Unité Ovine) composée d'une brebis, de son produit, de 1/25 de bélier, de 1/5 d'antenaise et de 1/100 d'antenais, à des besoins énergétiques annuels de 350 UF en élevage traditionnel du Sud tunisien, dont 95 % sont prélevés sur les terrains de parcours.

FIG. IV 4. - RELATIONS ENTRE LES SYSTEMES ECOLOGIQUES DANS LA REGION DE ZOUGRATA

(d'après FLORET et al., 1978)

LEGENDE

(RK) Sigle de l'unité

Ap Horizon de labour

Voile éolien

Horizon sablo-limoneux

Horizon sablo-limoneux à sablo-argileux à nodules calcaires

Horizon sablo-argileux à limono-sableux souvent alluvial ou alluvio-colluvial (séguis et fonds d'oueds)

=V= Encroûtement calcaro-gypseux

V Encroûtement gypseux

V Encroûtement gypseux de nappe

x Encroûtement nodulaire calcaire

Croûte calcaire démantelée (Villafranchien)

Vxmp Matériau sablo-argileux gypseux du Miopliocène

Calcaire dur du Crétacé

Nappe phréatique - plan d'eau temporaire

halomorphie

CAUSES DES PHÉNOMÈNES DE TRANSFORMATION DES UNITES

1 Surpâturage-éradication

2 Labour

3 Pâturage aménagé

4 Mise en défens-longue jachère

NATURE DES PHÉNOMÈNES DE TRANSPORT

Ee Erosion éolienne

Eo Apport éolien

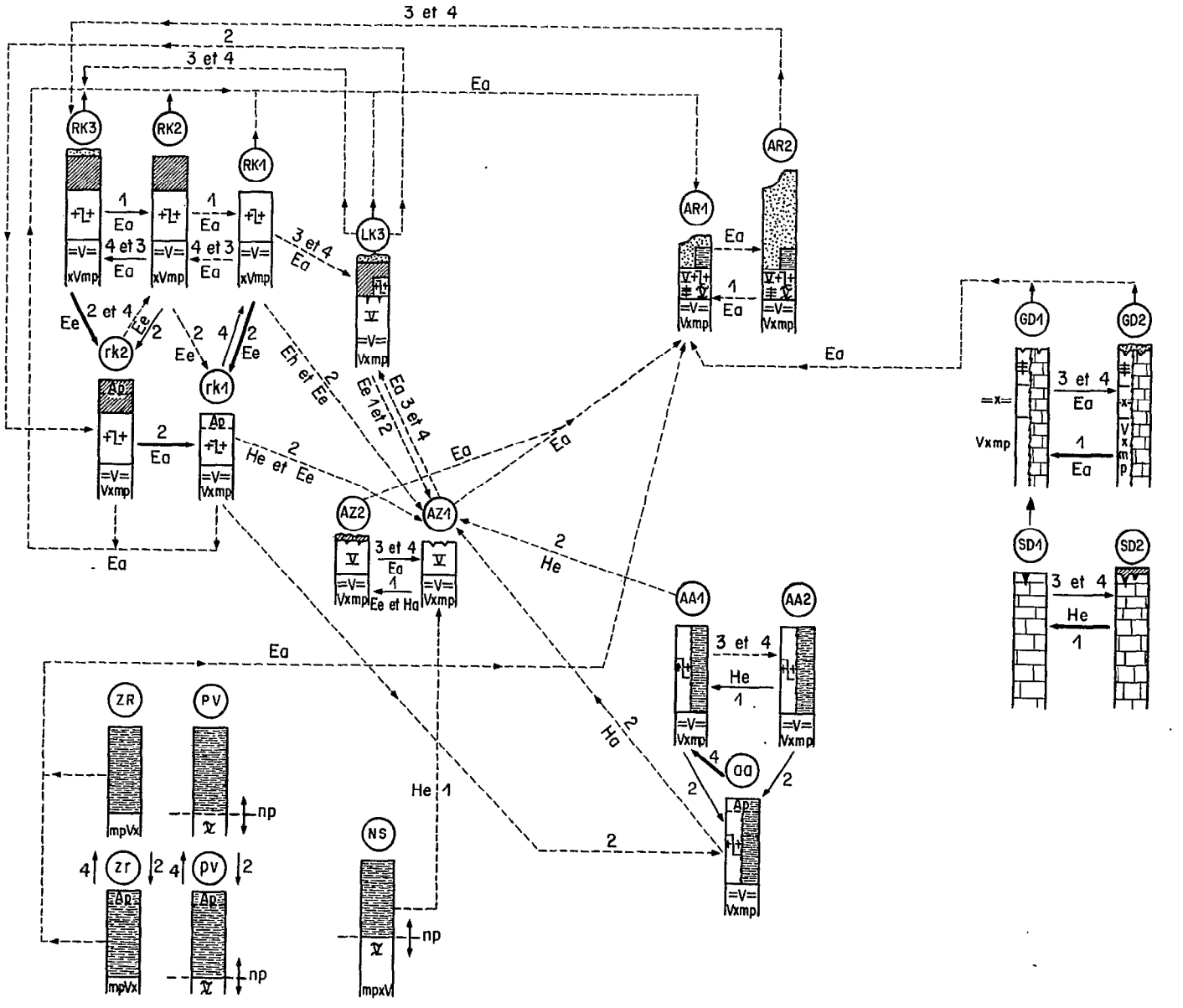
He Erosion hydrique

Ho Apport hydrique (alluvionnement)

INTENSITÉ DES PHÉNOMÈNES DE TRANSFORMATION EN SURFACE DES UNITÉS

forte

moyenne


3 et 4
2
3 et 4
Ea
RK3
RK2
RK1
LK3
AR1
AR2
1
Ea
4 et 3
Ea
xVmp
3 et 4
Ea
Ee
2 et 4
Ee
2
rk2
2
4
2
Ee
rk1
Eh et Ee
2
Ee 1 et 2
Ea 3 et 4
Ap
2
Ea
He et Ee
2
Ea
Ea
Ea
AZ2
AZ1
3 et 4
Ea
1
Ee et Ha
2
He
AA1
AA2
3 et 4
He
1
Ea
ZR
PV
mpVx
np
4
zr
2
4
pv
2
mpVx
np
NS
mpxV
He 1
2
Ha
2
aa
4
2
2
Ap
GD1
GD2
3 et 4
Ea
1
Ea
Vxmp
SD1
SD2
3 et 4
He
1

Transformations par dégradation

Cette transformation ne signifie pas obligatoirement qu'il existe des phénomènes d'érosion hydrique ou éolienne. Ainsi, certaines transformations par suite du travail du sol et de la mise en culture s'effectuent seulement par réduction du couvert ou disparition de la végétation steppique.

Dans la séquence à *Artemisia herba-alba* (AA), la végétation spontanée a disparu depuis longtemps ; aussi la mise en culture (passage de AA à aa) n'entraîne qu'une ablation lente de la surface des sols par érosion hydrique, et encore celle-ci n'existe vraiment que sur le glacis en pente relativement forte.

En revanche pour la séquence à *Rhantherium suaveolens* (RK), les transformations dues à la mise en culture sont généralement rapides; il s'agit d'une diminution de la productivité biologique du fait de la régression immédiate de la végétation pastorale et de la troncature des horizons de surface par érosion éolienne et déflation. Ce phénomène concerne actuellement d'assez grandes superficies de la zone-test.

Dans les séquences à *Ziziphus lotus* (ZR) et *Pulicaria laciniata* (PV), la mise en culture n'affecte que la végétation ; les sols, en raison de leurs caractéristiques physiques et du fait de leur position topographique sont peu sensibles aux effets négatifs des façons culturales, et l'on constate en général que les phénomènes d'alluvionnement sont supérieurs à ceux d'érosion.

Les transformations dues au surpâturage sont de même nature que celles causées par le travail du sol et la mise en culture, mais s'effectuent à des vitesses plus faibles. Ainsi, la mise en culture supprime immédiatement la couverture végétale steppique, il faut plusieurs années consécutives de surpâturage pour détériorer un couvert végétal initialement en bon état. Les transformations qui impliquent des troncatures du sol (= pertes des horizons de surface) sont encore plus lentes dans le cas de surpâturage, exception faite du cas des sols à horizon sableux éolien de surface (RK_3 et AR_2, AZ_2) où le piétinement des animaux favorise l'érosion éolienne. Dans les séquences à *Gymnocarpos decander* (GD) et à *Stipa tenacissima* (SD) sur lithosols en pente, la réduction du couvert végétal favorise assez rapidement le départ du sol par érosion hydrique.

Transformations par régénération

Il s'agit de transformations peu fréquentes dans les conditions actuelles. Elles sont observables dans des cas de mise en défens, d'abandons culturaux non suivis d'exploitation abusive et lorsqu'une gestion écologique des ressources est effectivement réalisée (par exemple : pâturage rationné et en rotation).Par ailleurs les matériaux transportés à la suite de l'érosion éolienne vont s'accumuler sur d'assez grandes épaisseurs dans des situations topographiques précises. Il peut donc y avoir création d'un nouveau milieu favorisant la régénération ou même l'apparition pionnière de certains systèmes écologiques (LK_3, AR_1 et AR_2) (cf. § II.1.3.5 et III.4). De la même façon, les produits de l'érosion hydrique issus des glacis limoneux soumis au labour ou des systèmes écologiques des montagnes soumis au surpâturage, tendent à s'accumuler dans les bas-fonds et à accroître l'épaisseur des sols des unités ZR, PV et NS. On peut même favoriser volontairement ce processus de formation de sols, comme en Israël (EVENARI *et al.*, 1971).

Lors des mises en défens, on assiste à la reconstitution plus ou moins rapide du couvert végétal selon la vitesse de cicatrisation du milieu ; ce couvert permet le piégeage progressif du sable en surface, stade qui peut être suivi d'une amélioration des conditions édaphiques; ainsi, le système RK_2 peut revenir en RK_3 en quelques années. Ces phénomènes sont plus rapides sur les zones sableuses que sur les zones limoneuses.

Cas particulier de changements de séquences

Les systèmes écologiques AA_1 et aa du plateau de Hamilet El Babouch se développent sur un matériau limono-sableux à nodules calcaires représentant l'horizon d'accumulation calcaire d'un sol isohumique qui devait, avant sa mise en culture, porter une steppe de plaine sableuse à *Rhantherium*. Ceci montre le passage possible entre les systèmes écologiques de la séquence à *Rhantherium suaveolens* (RK) et ceux de la séquence à *Artemisia herba-alba* (AA). Cet exemple n'est pas unique.

Les passages de ce type sont généralement très lents car, en plus d'un changement de végétation et d'une simple troncature du sol comme dans le cas cité plus haut, ils accompagnent parfois la mise en route de phénomènes pédogénétiques nouveaux. C'est le cas du passage

des systèmes écologiques rk, RK_1, LK_3, AA_1 et aa vers les systèmes écologiques AZ_2 et AZ_1 (cf. § II.1.".5).

En conclusion, chacun des 22 systèmes écologiques de la zone-test de Zougrata représentative de la région écologique des "Basses Plaines Méridionales", est interconnecté à un ou plusieurs autres systèmes par un réseau de relations d'autant plus nettes qu'elles se situent au niveau du secteur écologique ou de la séquence ; l'homme et les agents de l'érosion sont les principales variables qui déterminent ces relations.

2.6. EVOLUTION PREVISIBLE DE L'OCCUPATION DES TERRES ET DES RESSOURCES NATURELLES

L'étude du réseau de relations entre les systèmes écologiques permet de prévoir les tendances évolutives de chacun d'entre eux sous l'influence de l'utilisation qui en est faite par l'homme (mise en culture après éradication des ligneux, surpâturage, mise en défens, etc.).

Pour tenter de simuler cette évolution et la modéliser, la connaissance des taux actuels de passage d'un système écologique à un autre en un laps de temps donné, permet de proposer, pour toute la zone, une matrice de transition. A partir des surfaces initiales de chacun des systèmes écologiques, on peut ainsi obtenir une nouvelle répartition des surfaces (non localisée dans l'espace), au terme d'un pas de temps donné, en faisant l'hypothèse que, globalement, le système d'exploitation du milieu sera le même. (GODRON, 1973 ; GODRON et LEPART, 1975 ; FLORET *et al.*, 1973, 1975, 1978, 1981).

La matrice proposée (figure IV.5) présente des pourcentages de transformation (coefficients) à partir de l'état actuel pour les 5 premières années d'évolution. Cette matrice permet de quantifier les transformations schématisées sur la figure IV.4. Les coefficients sont obtenus principalement à partir de mesures faites par le FLOC'H sur une série diachronique de photographies aériennes (1948, 1963, 1975), mais aussi à partir d'observations effectuées entre 1969 et 1977 concernant l'érosion des sols, l'ensablement, les vitesses de cicatrisation de la végétation observées sur des friches, des jachères, des steppes surpâturées qui avaient été mises en défens et, enfin, grâce aux connaissances obtenues par des expériences et enquêtes sur la région.

	RK_3	RK_2	RK_1	LK_3	AR_2	AR_1	AA_2	AA_1	GD_2	GD_1	SD_2	SD_1	AZ_2	AZ_1	ZR	PV	NS	rk_2	rk_1	aa	zr	pv
RK_3	84,5	4				0,5												11				
RK_2	2	86	0,5			0,5												8	3			
RK_1			95											0,5					4,5			
LK_3	1			96		1												2				
AR_2					100																	
AR_1					5	93												2				
AA_2							94	5												1		
AA_1								92												8		
GD_2						0,5			90,5	9												
GD_1						0,5				99,5												
SD_2											95	5										
SD_1										1		99										
AZ_2						0,5							90,5	9								
AZ_1						0,5								99,5								
ZR															98						2	
PV																						100
NS																	100					
rk_2		3	1			0,5												92,5	3			
rk_1			3					1						0,3					94,7	1		
aa								3						0,3						96,7		
zr						0,5															99,5	
pv																						100

Fig. IV.5 - Matrice de transition indiquant les transformations se produisant en 5 ans, entre les systèmes écologiques de la zone de Zougrata, dans le cas du maintien du système actuel d'exploitation (d'après FLORET et al., 1978).

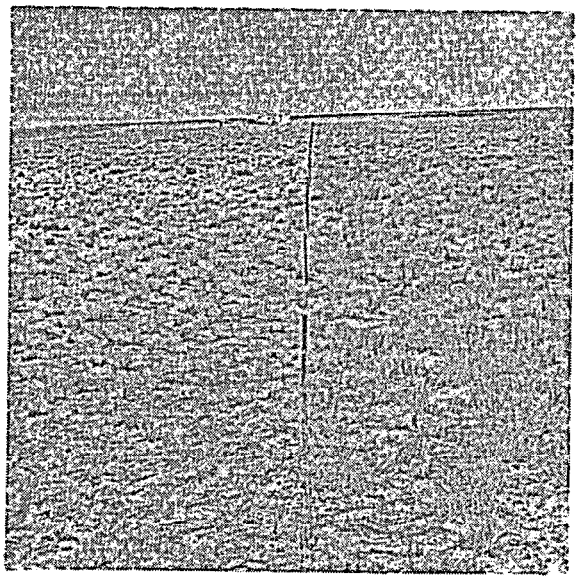
Grâce au calcul, on peut faire apparaître les évolutions simulées des surfaces de chaque système écologique au terme de 10, 15, 20 ou 25 ans qui sont certainement différentes des évolutions les plus probables, et ont seulement pour but d'attirer l'attention sur les conséquences que pourrait produire le maintien du système actuel.

En faisant références aux différents thèmes qui peuvent être extraits de la carte des systèmes écologiques, on peut avoir un aperçu du devenir de la région, par exemple après 25 années de maintien des pratiques actuelles et dans des conditions climatiques moyennes. On constate dans la colonne "maintien du système actuel" du tableau IV.5 :

- que les surfaces en pâturages auraient diminué de 12 % au profit des terres à céréales,
- que la production végétale moyenne annuelle, exprimée en unités fourragères, serait passée, grâce à l'accroissement de la céréaliculture, de 155 à 162 UF/ha.

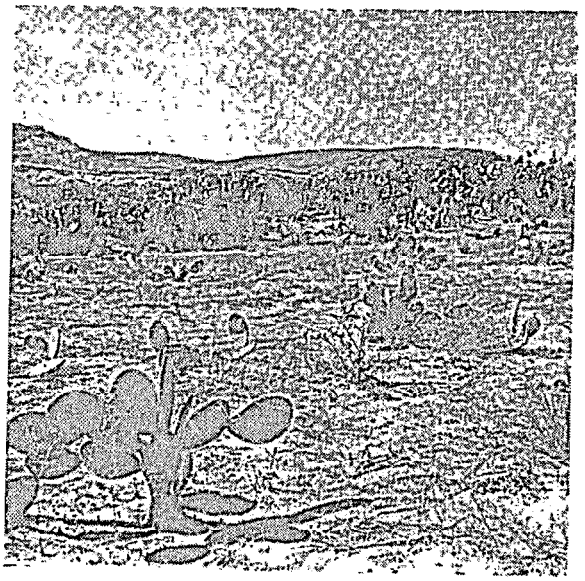
Cette faible progression de la production d'ensemble (4 à 5 % en 25 ans) semble dérisoire vis-à-vis des risques encourus. Il faut assurer la sauvegarde du potentiel des ressources naturelles tout en satisfaisant les besoins socio-économiques. En effet :

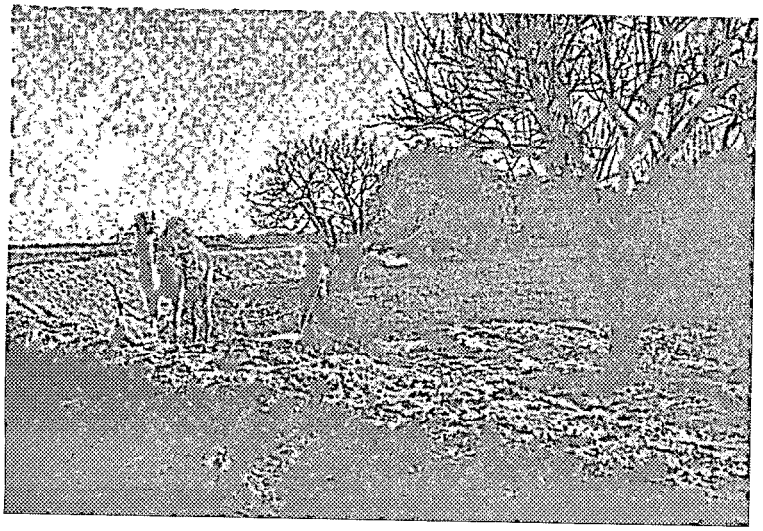
- dans le même temps, les parcours en bon état auraient régressé de plus de 30 % ;
- la phytomasse aérienne totale des espèces ligneuses, principale protection contre l'érosion éolienne, aurait régressé de près de 20 % ;
- la capacité de stockage de l'eau par les sols (réserve utile) aurait baissé et le coefficient primaire moyen régional de ruissellement aurait augmenté ; il en résulte que l'aridité édaphique se serait accrue ;
- les surfaces "désertisées pour tous les usages" (FLORET *et al.*, 1976) auraient ainsi progressé de 15 %.



Effet de la mise en défens dans une steppe sableuse

Plantation de cactus inerme





Travail traditionnel du sol derrière *jessour*

2.7. PROPOSITIONS POUR MODIFIER LA DYNAMIQUE ACTUELLE : UN AMENAGEMENT SUR DES BASES ECOLOGIQUES

La poursuite des pratiques utilisées actuellement dans la gestion des ressources naturelles de la zone-test de Zougrata, malgré un accroissement de la production végétale totale de 5 %, conduit à moyen terme (25 ans), à un état de détérioration tel qu'il sera très difficile et très coûteux de retrouver une productivité satisfaisante. Aussi, compte tenu de ce qui a été estimé précédemment sur l'aridité climatique, sur les ressources en eaux et en terres, sur la productivité des systèmes écologiques et leur dynamique, nous proposons ci-après deux scénarios d'aménagement en accord avec nos précédentes conclusions et dont les principes sont longuement décrits par ailleurs (FLORET *et al.*, 1977, 1978).

2.7.1. Scénarios d'aménagement

Dans ce contexte, deux types d'aménagement au niveau régional sont considérés pour la zone de Zougrata : l'un ne demandant qu'une intervention légère par rapport aux pratiques actuelles, l'autre, plus ambitieux, permettant de mieux assurer sur le long terme, la sauvegarde et le développement du capital sol-végétation.

Nous avons construit une série de matrices de transition correspondant à chaque scénario (FLORET *et al.*, 1978). Les coefficients de la matrice traduisent les objectifs fixés par les aménageurs et l'on sait qu'il serait possible d'examiner toute la gamme des scénarios intermédiaires (GODRON et LEPART, 1975).

1er scénario : Aménagement régional avec localisation optimale des cultures

Ce scénario est basé principalement sur la priorité qui est accordée à une localisation des cultures sur les terres les plus aptes à produire des céréales ou dans les zones ayant atteint un point de dégradation tel qu'il n'est pas possible d'envisager une régénération à moyen terme des ressources pastorales. Il implique uniquement l'interdiction de défricher les parcours encore en bon état mais impose de maintenir la céréaliculture sur certaines terres peu sensibles aux processus de désertisation.

La céréaliculture pourrait ainsi continuer à être pratiquée aux moindres risques pour une gestion agro-pastorale du territoire dans les zones déjà cultivées (pv, zr, rk_1, rk_2) ; en raison des besoins socio-économiques, on consentirait, faute d'une autre solution, à autoriser son extension sur les sols des steppes des zones sableuses ou limoneuses déjà dégradées (RK_1, AA_1).

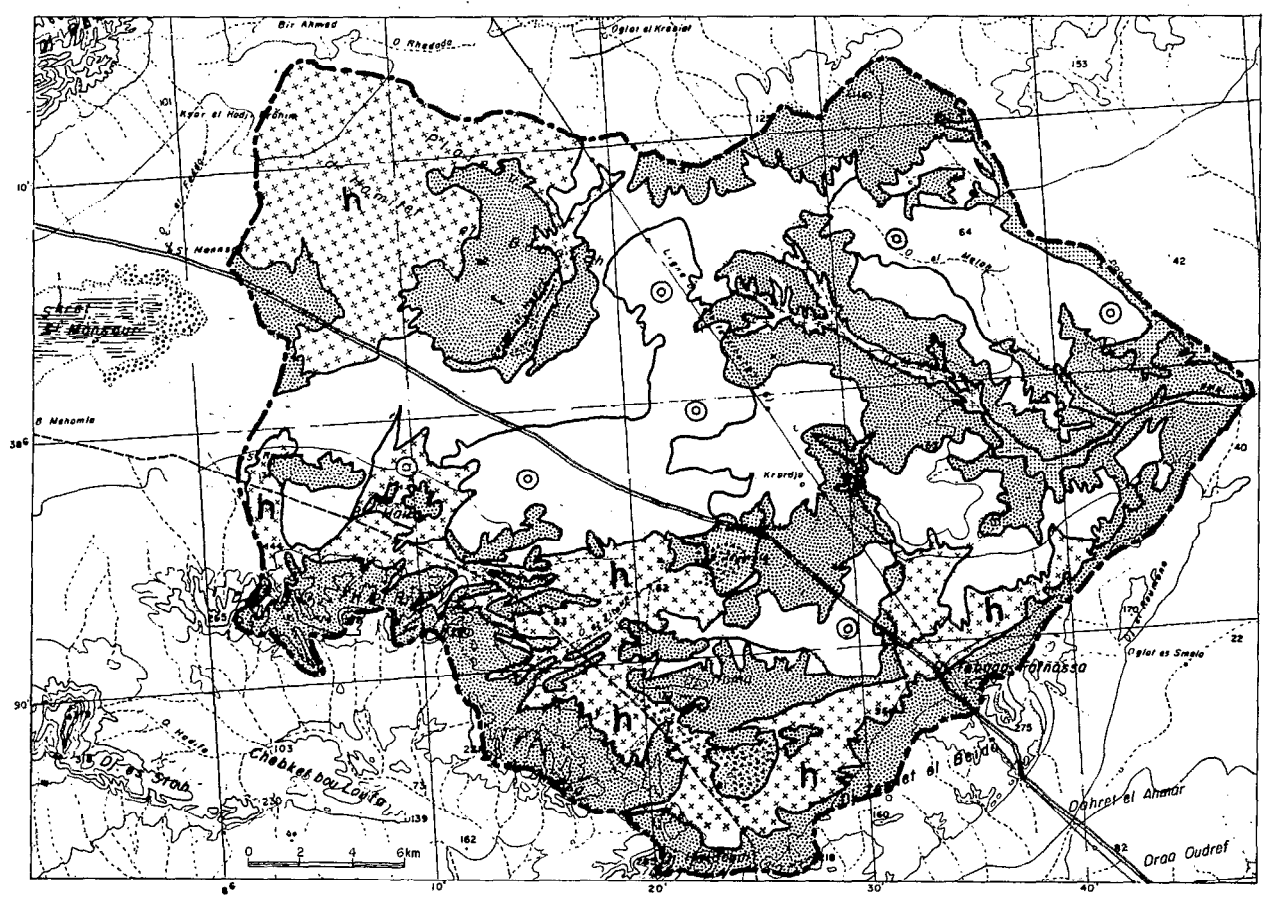
En effet,on constate actuellement, dans la zone de Zougrata, un taux d'augmentation de la surface céréalière d'environ 1 000 ha pour un pas de 5 ans, le prélèvement se faisant principalement au détriment des steppes sableuses en bon état (RK_3 et RK_2). On décide, dans ce premier scénario, de prélever ces " 1 000 ha en 5 ans" pour 1/3 dans RK_1 et pour 2/3 dans AA_1. Il s'agit donc d'une localisation "relativement optimale" de la culture du point de vue écologique. La localisation schématique des différents aménagements de ce scénario est représentée sur la carte au 1/200 000 de la figure IV.6. L'utilisation de la carte des systèmes écologiques au 1/50 000 (FLORET *et al.*, 1978) permettrait une précision qui est requise au niveau du plan de mise en valeur.

2ème scénario : Aménagement régional privilégiant l'élevage sur les steppes pastorales, avec réduction des surfaces cultivées

En premier lieu les cultures sont éliminées des zones sableuses et "intensifiées" sur les zones pouvant recevoir des appoints d'eau par ruissellement (aa, AA_1, rz, pv, RK_1 et rk_1). Toutes les zones sableuses actuellement cultivées (rk_2) retournent donc au pâturage (RK_2); une partie de ce RK_2 se régénère en RK_3.

En effet, on aménage les parcours et on favorise la régénération de la végétation pastorale sur les surfaces sableuses cultivées. Dans ce but, on maintient, au début, les effectifs actuels en animaux, grâce à un plan de développement pastoral intégré (réserves de fourrages, pâturage différé, rotations, supplémentation, actions zootechniques et vétérinaires, etc.) ; par la suite, on devrait pouvoir permettre l'augmentation de la charge animale. L'amélioration du parcours a peu de chances de se produire dans les zones trop dégradées (AA_1 et RK_1).

Un des principes fondamentaux de cet aménagement est de fournir aux troupeaux une supplémentation importante (20 % de la ration)



Zones à vocation pastorale (RK_3, RK_2, LK_3) où la culture ne sera tolérée que sur les surfaces où elle est déjà pratiquée (rk_2).

Zones traditionnellement cultivées (zr, aa, rk_1) et zones où l'on autorise l'extension de la culture, la régénération spontanée du parcours y étant trop lente (AA_1, RK_1).

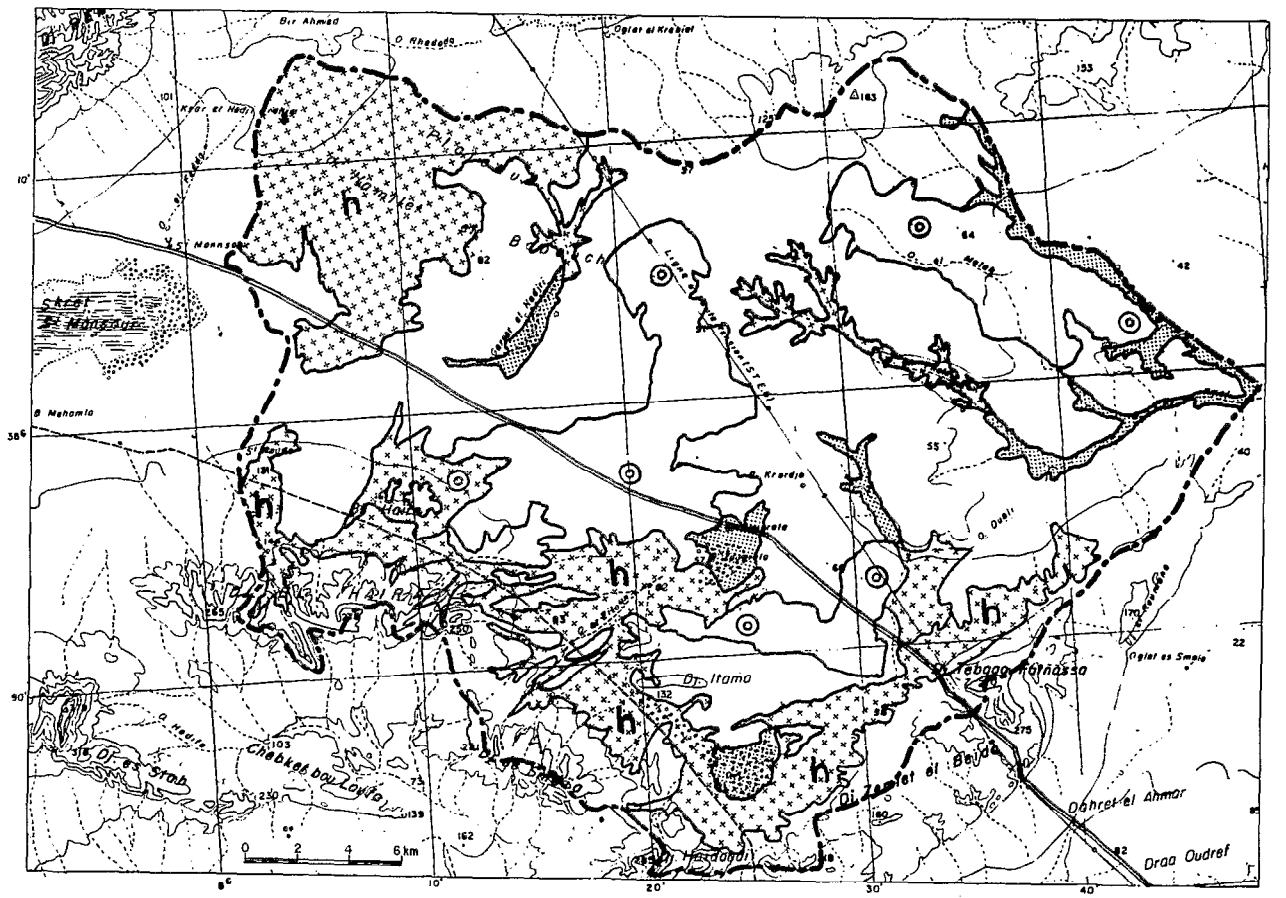
Zones à vocation pastorale exclusive, la nature du sol ne permettant pas en général la culture (SD_2, SD_1, GD_2, GD_1, AZ_2, AZ_1, AR_2, AR_1).

Zones optimales pour les cultures annuelles maraîchères et fourragères (cultures de décrue pour partie) et pour les plantations d'arbustes fourragers (NS, ZR et pv et zr pour partie).

h Zones où les aménagements de petite hydraulique de surface (gessours, tabias, épandage de crues, citernes, etc.) sont localement possibles (aa, rk, zr).

◎ Zones susceptibles d'être irriguées localement (RK_3, RK_2, rk_2, zr).

Fig. IV.6 - Carte schématique de localisation, dans la zone de Zougrata, des principaux aménagements dans le cas du scénario "Localisation optimale des cultures" (d'après FLORET et al., 1978).



Zones traditionnellement cultivées (zr, aa, rk_1) et zones ou l'on autorise l'extension de la culture, la régénération spontanée du parcours y étant trop lente (AA_1, RK_1).

Zones où la céréaliculture est interdite (RK_3, RK_2, RK_1, rk_2, AR_2, AR_1) ou impossible (SD_2, SD_1, GD_1, GD_2, AZ_1, AZ_2) et ou l'aménagement du parcours doit être mis en place.

Zones optimales pour les cultures annuelles maraîchères et fourragères (cultures de décrue, pv pour partie) et pour les plantations d'arbustes fourragers (NS, ZR et pv et zr pour partie).

h Zones où les aménagements de petite hydraulique de surface (gessours, tabias, épandage de crues, citernes, etc., sont localement possibles (aa, rk, zr).

Zones susceptibles d'être irriguées localement (RK_3, RK_2, rk_2, zr).

Fig. IV.7 - Carte schématique de localisation, dans la zone de Zougrata, des principaux aménagements dans le cas du scénario "Aménagement régional pastoral avec réduction des surfaces cultivées" (d'après FLORET et al., 1978).

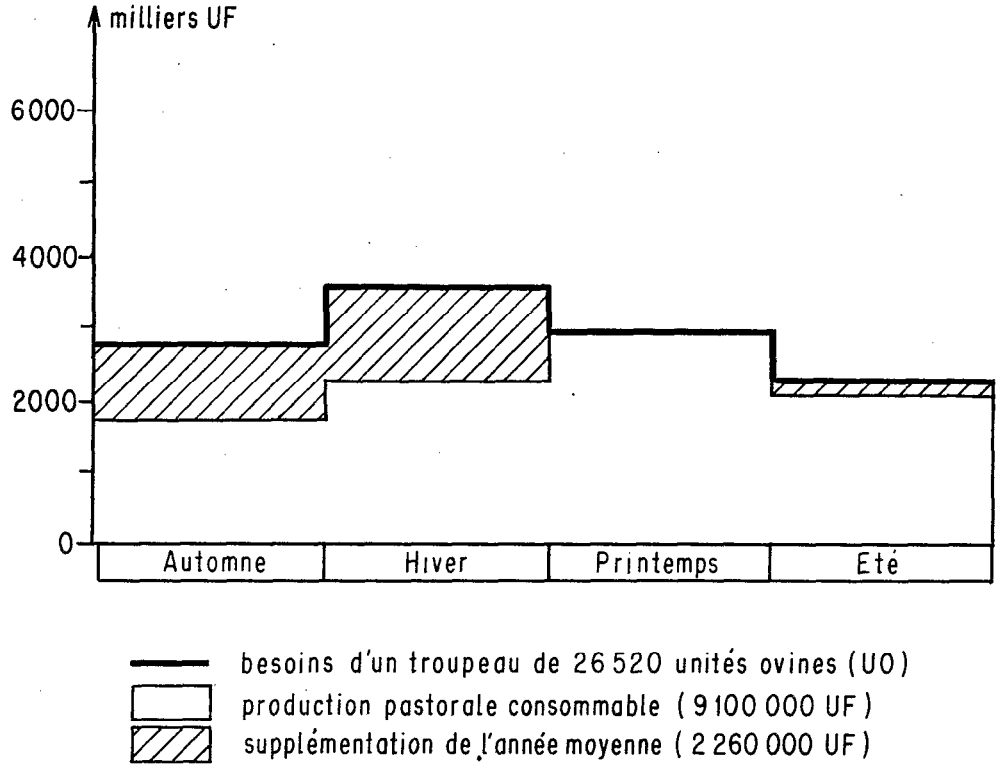


Fig. IV.8 - Calendrier schématique des besoins alimentaires et de la supplémentation des animaux dans le cadre d'un aménagement pastoral en année à pluviosité moyenne (zone de Zougrata, 81 260 ha.) (d'après FLORET et al., 1978).

conformément au calendrier de la figure IV.8, afin de diminuer les déplacements et augmenter la charge, et de conserver les effectifs animaux en période de disette (1 année sur 5 la production pastorale se trouve réduite au 1/3 de ce qu'elle est en année à pluviosité normale).

Ainsi, il s'agira, lorsque cet aménagement sera réalisé, de se procurer sur la zone-test 15 millions d'UF pour une période de 5 ans au titre de stock de sauvegarde et de supplémentation. Une partie pourrait être constituée par les céréales produites en années pluvieuses et moyennes et une autre proviendrait des réserves fourragères sur pied développées en utilisant au mieux les eaux de ruissellement. L'évaluation des ressources en eau montre que, malheureusement, il y aurait peu de chances de produire ces fourrages dans les zones irriguées avec les eaux des nappes.

La localisation de ces aménagements est étudiée à partir de la carte des systèmes écologiques ; la figure IV.7donne un aperçu schématique de la nouvelle utilisation de l'espace de Zougrata après la mise en oeuvre de ce scénario.

2.7.2. Effets des aménagements simulés au terme de 25 ans

Grâce à l'utilisation de ces matrices de transition, une comparaison sur les effets prévisibles des scénarios est proposée. Ainsi, tous les 5 ans la surface occupée par chaque système écologique peut être calculée. A partir de là, la production pastorale ou céréalière, la phytomasse, plusieurs indices de la désertisation, peuvent être évalués, ou calculés, pour l'ensemble de la zone de Zougrata et cela jusqu'au terme de 25 ans (FLORET *et al.*, 1978). Quelques exemples sont fournis, sur les figures IV.9 et IV.10.

L'examen du tableau IV.5 montre qu'il y aurait finalement peu de différences, au bout de 25 ans, entre la prolongation du système actuel et un aménagement léger avec localisation optimale des cultures (scénario 1) pour l'occupation des terres et des productions. Cet aménagement contribuerait en revanche à ralentir surtout la dégradation des parcours en interdisant le défrichement des meilleurs d'entre eux. A quoi sert par ailleurs, d'emblaver en céréales des surfaces de plus en plus grandes, puisque la main-d'oeuvre manque pour la récolte, en bonne année, et que cette récolte n'est pas mécanisable.

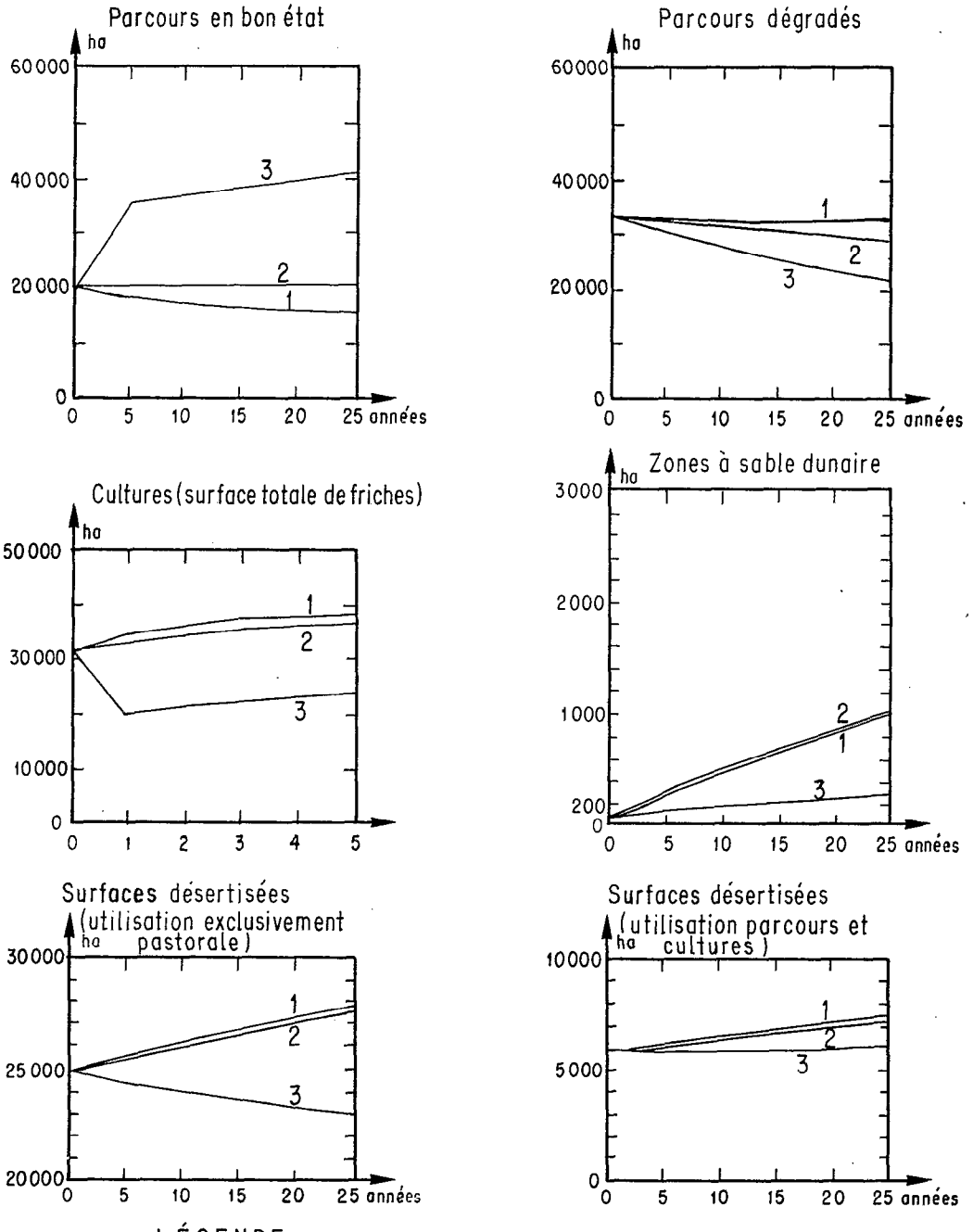
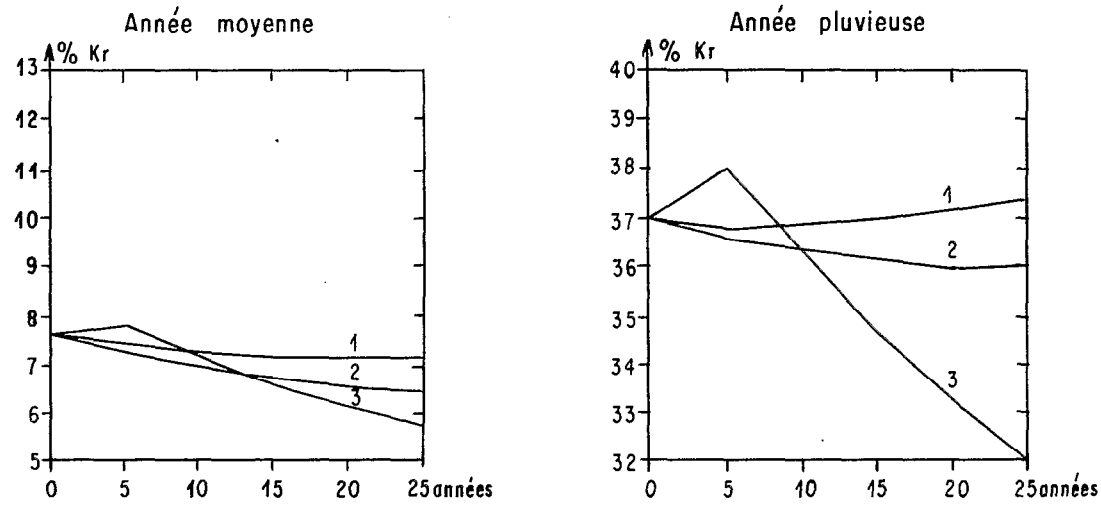
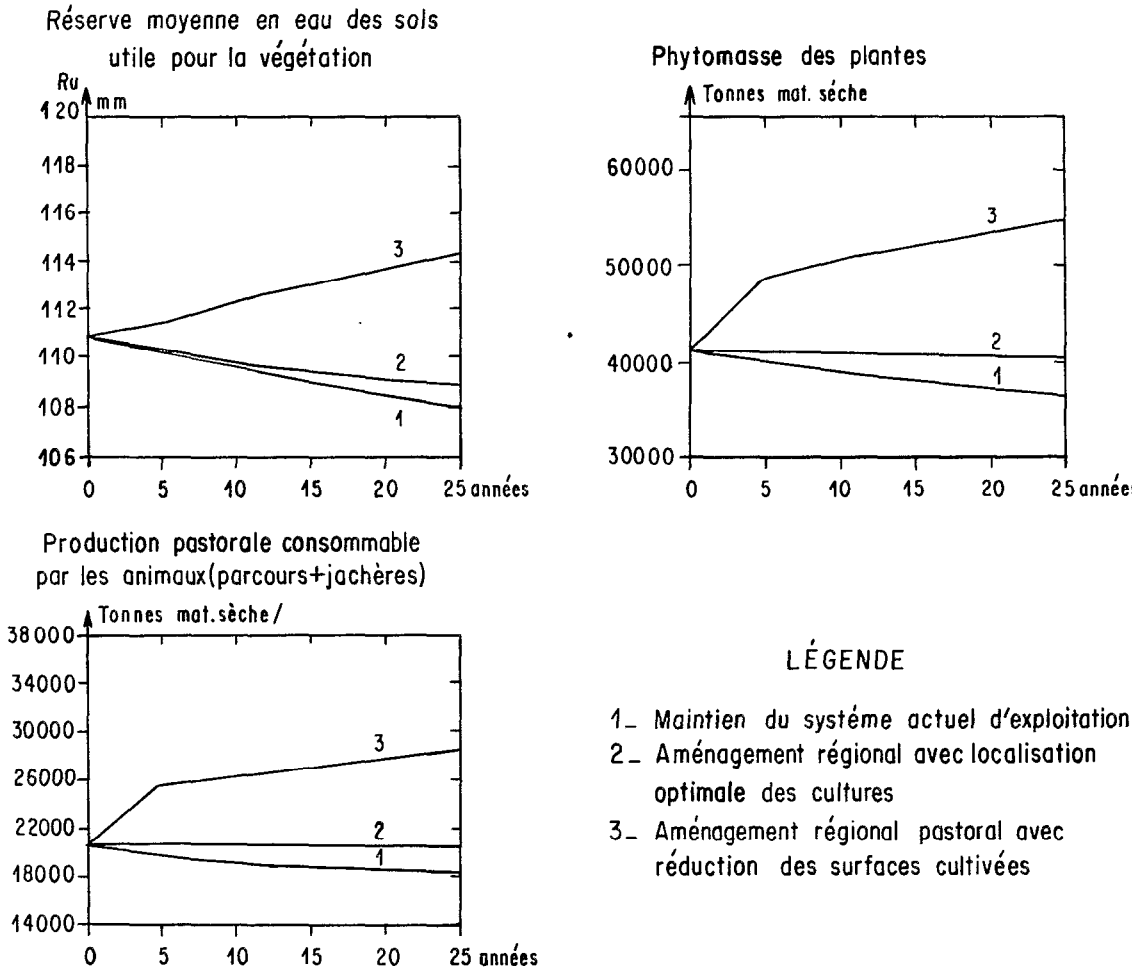


Fig. IV.9 - Evolution simulée de l'occupation des terres dans la zone-test de Zougrata (conditions climatiques moyennes) (d'après FLORET et al., 1978).



COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT PRIMAIRE MOYEN POUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE POUR 2 ANNÉES TYPES A PLUVIOSITÉ DIFFÉRENTE ET SELON LES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS ÉTUDIÉS



LÉGENDE

1_ Maintien du systéme actuel d'exploitation
2_ Aménagement régional avec localisation optimale des cultures
3_ Aménagement régional pastoral avec réduction des surfaces cultivées

Fig. IV.10 - Evolution simulée de la production de la végétation naturelle et de deux indices hydro-édaphiques dans la zone-test de Zougrata (conditions climatiques moyennes) (d'après FLORET et al., 1978).

TABLEAU IV.5 EFFETS SIMULES DE DEUX SCENARIOS D'AMENAGEMENT DE L'ESPACE RURAL COMPARES A CELUI CONCERNANT LA POURSUITE DU SYSTEME D'EXPLOITATION ACTUEL, DANS LA REGION DE ZOUGRATA (81 260 ha)

			SITUATION PREVISIBLE AU TERME DE 25 ANS		
		ETAT Actuel (1975)	Maintien du système actuel	Localisation optimale des cultures	Aménagement pastoral
OCCUPATION DES TERRES	Surface totale des parcours (en ha)	50 300	44 800	46 000	58 700
	Surface des parcours en bon état (en ha)	17 000	12 300	17 300	37 000
	Surface des parcours dégradés (en ha)	33 200	32 500	28 700	21 700
	Surface réservée à la culture (en ha)	30 900	36 400	35 200	22 500
	Surface désertisée (en ha)	6 000	7 100	7 000	6 000
	Coefficient de ruissellement primaire moyen en année très pluvieuse (%)	37,0	38,0	33,0	31,0
	Réserve moyenne en eau utile de la région (en mm)	111	108	109	115
PRODUCTIONS (en année à pluviosité moyenne)	Phytomasse aérienne totale des plantes pérennes (en tonnes)	42 000	36 000	40 000	54 000
	Evaluation de la production primaire nette de la végétation (parcours + jachères) en tonnes de matière sèche par an	34 000	30 000	33 000	46 000
	Evaluation de la production pastorale consommable par les animaux (en milliers UF/an) (1)	6 600	5 700	5 900	9 100
	Charge animale théorique en équilibre (en UO) (2)	18 400	15 800	16 300	25 200
	Production céréalière en tonnes (3) de grains récoltés	6 000	7 200	7 200	7 200

(1) La production consommable : partie de la végétation produite pouvant être consommée par les animaux (cf. notions d'accessibilité et d'appétabilité). Elle représente la quasi-totalité de la production primaire nette pour les espèces annuelles et 60 % environ pour les espèces pérennes.

(2) Ces valeurs sont théoriques ; elles sont relatives à une conduite traditionnelle du troupeau. Il est évident qu'au terme de 25 ans l'expérimentation zootechnique aura permis d'augmenter les performances animales et que les normes d'élevage ne seront plus les mêmes.

(3) La surface des terres n'est pas un facteur limitant de la céréaliculture. En effet, dans les différents scénarios, au terme de 25 ans, les sols en friche traditionnellement réservés à la culture, sont encore abondants. Aussi a-t-on fixé les surfaces à emblaver sur la base du rendement moyen en culture traditionnelle, et suivant les objectifs à atteindre. Il est en outre évident que les recherches agronomiques qui se poursuivent devraient permettre d'ici 25 ans une augmentation importante de la production céréalière, dont il n'a pas été tenu compte ici.

Des différences importantes apparaissent si l'aménagement pastoral (scénario 2) est mis en oeuvre, surtout en ce qui concerne la conservation du patrimoine naturel. La production consommable au terme de 25 ans sur les parcours deviendrait supérieure de 3 400 000 UF à ce qu'elle serait dans le cas du maintien du système actuel d'exploitation; mais cette amélioration de la production pastorale ne pourrait être obtenue que progressivement au cours de cette période de 25 ans, grâce à une charge animale momentanément inférieure à la charge d'équilibre ; elle demanderait aussi un encadrement technique (personnel, réseau de surveillance,...) plus important.

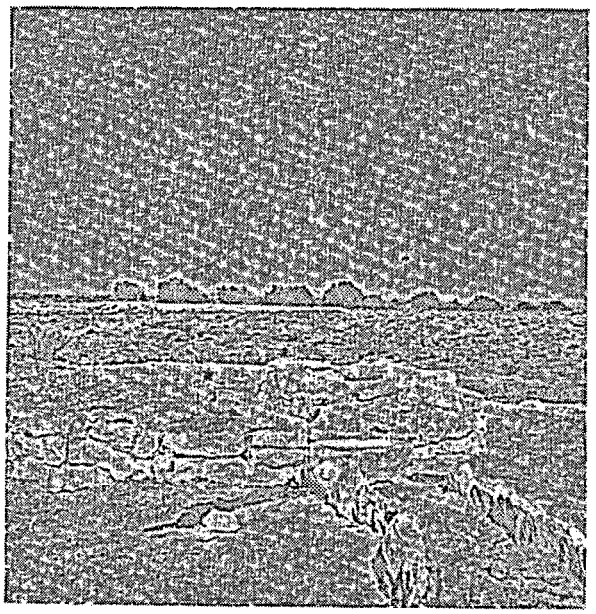
TABLEAU IV.6 Etat actuel de l'élevage et situation simulée au terme de 25 ans pour 3 scénarios, en année à pluviosité moyenne, pour la zone de Zougrata (81 260 ha).

	Etat actuel	Etat prévisible au terme de 25 ans		
		Maintien du système actuel	Localisation optimale des cultures	Aménagement à dominance pastorale
Production consommée sur les parcours (milliers d'UF)	6 600	5 700	5 900	9 100
Besoin des animaux en (UF par UO et par an)	380	380	380	427
Effectifs (UO)	18 400	15 800	16 300	26 500
Taux de supplémentation (%)	5	5	5	20
Supplémentation apportée (milliers UF)	380	300	310	2 260
Taux moyen de productivité (%)	60	60	60	110
Poids moyen d'un agneau produit (kg poids vif)	20	20	20	25
Poids d'agneaux produits sur la zone (tonnes poids vif)	220	190	195	730

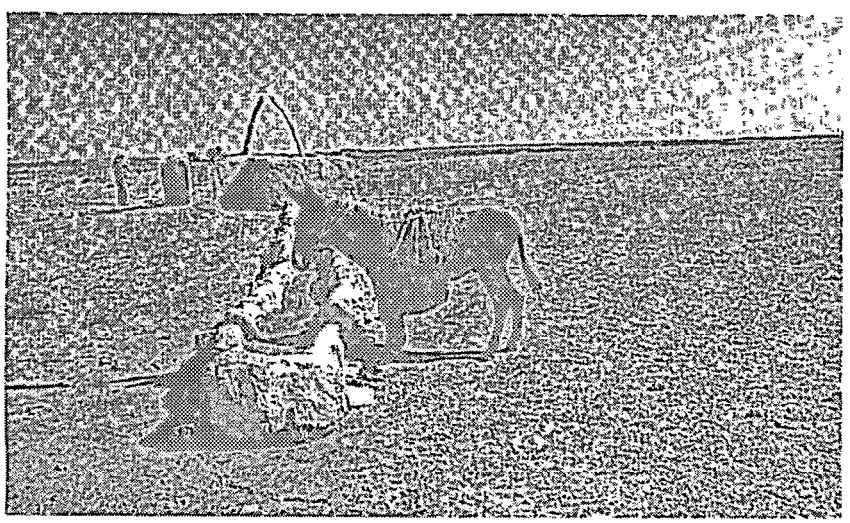
Le maintien du système actuel et la localisation optimale des cultures (scénario 1) ferait progresser les "surfaces désertisées pour tous les usages" de 1 000 ha environ en 25 ans, cependant que le scénario 2 les stabilise. Pour les deux scénarios d'aménagement, l'amélioration du bilan hydrique des sols serait très nette par rapport à la



Banquettes *(tabias)* pour la rétention des eaux de ruissellement



Citerne traditionnelle avec son abreuvoir (à l'arrière plan un *jessour* avec ses oliviers)



Puits de surface de *garaa* avec son abreuvoir

EXEMPLES D'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE

situation actuelle, ce qui est déjà un résultat très important en zone aride. A titre d'exemple nous donnons sur le tableau IV.6 les effets comparés sur la production animale de la mise en application des différents scénarios.

2.8. CONCLUSION

Compte tenu des disponibilités en terres arables "non sensibles" dans la zone de Zougrata, des aménagements hydrauliques possibles, des possibilités d'amélioration de la céréaliculture agricole, et aussi de l'impossibilité d'augmenter les capacités de récolte des céréales, il paraît souhaitable que l'activité de cette zone s'oriente dans le sens du scénario "aménagement pastoral". Des détails pour la mise en place d'aménagements de ce type sont donnés par IONESCO (1975) et dans le rapport technique FAO-PNUD (1979) auquel nous avons contribué.

L'approche méthodologique que nous venons de développer est destinée à permettre de localiser au mieux les productions agricoles, d'en fixer les proportions en surface et les niveaux d'intensité d'exploitation. Le problème est de tirer le maximum possible des ressources naturelles de la zone, sans entamer le "capital sol et végétation" et sans accélérer les phénomènes de désertisation.

Une telle étude n'est possible que par l'examen approfondi de la végétation et du sol dans leur état actuel et par la mesure de leur capacité de production. Une étude de l'évolution, à court terme et à moyen terme, des surfaces occupées par les différents systèmes écologiques dans différentes hypothèses de niveaux d'intensité et de systèmes d'exploitation, se révèle également nécessaire.

Le problème de l'aménagement de ces zones qui sont, à l'exception de celles où des possibilités d'irrigation existent, marginales pour la production agricole à l'échelle du pays, n'est pas pour autant résolu. Aux éléments étudiés doivent s'ajouter les aspects économiques, sociaux et politiques. Des options fondamentales sont à prendre. On peut, à l'extrême, se placer dans l'optique de la conservation intégrale de la nature, mettre de grandes surfaces en défens et envisager un aménagement touristique sous la forme de parcs naturels.

On peut, à l'inverse, vouloir tirer le maximum de ressources de ces régions pendant une courte période, et penser que les populations

ne souhaiteront plus y vivre dans quelques décennies ou que de nouvelles techniques seront applicables pour mettre en valeur les nouvelles zones désertiques ainsi créées. Nous avons proposé un moyen terme, qui devrait satifaire les besoins actuels des populations.

De toutes manières, grâce au dianostic écologique, les données sur le milieu étant acquises, il est relativement facile, sur ces bases, de construire un nouveau modèle correspondant plus exactement aux options retenues à de nouveaux besoins des habitants.

L'exposé que nous venons de faire a le mérite de fournir des arguments aux responsables du développement en leur suggérant les limites qu'ils ne peuvent pas franchir sous peine de prendre la responsabilité, pour la postérité, des dommages qui seraient causés à l'environnement. Il est aussi un exemple d'utilisation des données de la recherche fondamentale sur les relations végétation-milieu et sur la dynamique de la végétation et des sols, pour l'aménagement du territoire.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les êtres vivants qui doivent lutter sur un pas de temps très long contre les conséquences d'un manque d'eau intermittent savent remarquablement s'adapter aux conditions de l'aridité de leur territoire en profitant au mieux de la *variabilité, dans le temps et dans l'espace, de cette aridité.* Les notions de variabilité, d'hétérogénéité, seront les fils directeurs de ces conclusions générales.

Nous commencerons par un bref rappel des principaux résultats obtenus, en privilégiant ceux qui peuvent conduire à la caractérisation de l'aridité à l'interface atmosphère-sol-plante. Soulignons tout de suite deux points :

- *la diversité des unités géomorphologiques et des sols conduit à une répartition spatiale de l'aridité qui se combine à la variabilité spatiale et temporelle des précipitations;*
- *la diversité des conditions édaphiques et mésoclimatiques conduit à une répartition très hétérogène dans l'espace et dans le temps des ressources végétales.*

Cette diversité est souvent un avantage qu'il faut savoir utiliser dans un aménagement. Aussi essaierons-nous ensuite de souligner les caractéristiques favorables des espèces et du milieu sur lesquelles l'aménageur doit s'appuyer ; nous proposerons quelques ébauches de solution pour l'utilisation des ressources renouvelables.

Enfin nous tenterons d'indiquer les priorités de la recherche susceptibles de favoriser le progrès des connaissances pour le développement des zones présahariennes.

1. RAPPEL DES PRINCIPAUX RÉSULTATS DU DIAGNOSTIC RÉALISÉ

1.1. ARIDITE CLIMATIQUE ET ARIDITE EDAPHIQUE

En raison de la faible pluviosité (entre 100 et 200 mm par an), de la chaleur de l'été très sévère (moyennes des températures maximales du mois le plus chaud comprises entre 33 et 42° C), d'une demande évaporative très élevée (ETP Penman comprise entre 1 200 et 1 400 mm par an), la Tunisie présaharienne fait partie des zones arides où la sécheresse dure pendant les 5 à 7 mois les plus chauds. Avec un quotient pluviothermique d'Emberger situé entre 8 et 29, elle appartient pour l'essentiel à l'étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur, avec quelques tendances sahariennes au Sud et à l'Ouest, et à l'étage aride supérieur dans les montagnes et sur le littoral.

Cette aridité climatique est accentuée par une variabilité inter-annuelle des pluies, qui est très grande ; ainsi, durant la période 1971-1979, les deux extrêmes annuels observés sur nos stations de mesure sont 84 mm en 1976-1977 et 534 mm en 1975-1976. Une étude statistique a montré qu'à Gabès (dont la moyenne annuelle des précipitations, calculée sur 75 années, est de 187 mm), une année sur cinq, la pluie est inférieure à 100 mm (ce qui correspond à l'étage saharien) ou supérieure à 250 mm (ce qui correspond à l'étage aride supérieur, voire semi-aride inférieur).

Cette variabilité temporelle se combine avec une grande variabilité spatiale du comportement hydrique des sols et de la transpiration du couvert végétal. L'observation, durant plusieurs années, du régime hydrique des principaux systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne, nous a amenés à *compléter le concept d'aridité climatique par celui*

d'aridité édaphique, relié lui-même à celui des besoins en eau et d'alimentation en eau du végétal. En effet, les sols ne présentent pas les mêmes réactions à l'aridité climatique, car certains absorbent et stockent l'eau reçue ou apportée par ruissellement, alors que d'autres perdent de l'eau par ruissellement ou drainage excessif : c'est la *notion d'efficacité de la pluie*, et, d'une manière plus générale, des réserves en eau que les sols sont capables de constituer qui a retenu notre attention.

Ceci nous a semblé suffisamment important pour mériter une illustration appropriée dans ces conclusions. A cet effet, nous avons cherché à montrer comment le quotient pluviothermique d'Emberger pouvait être modulé en fonction des principaux types de milieux régionaux (EMBERGER avait d'ailleurs envisagé cette question sur certaines cartes bioclimatiques). *Pour cela nous avons pris en compte non pas la pluie tombant sur un milieu donné, mais la quantité qui s'infiltre en cet endroit.*

Nous avons étudié, avec suffisamment de détails, certaines des caractéristiques du milieu qui contribuent à modifier le bilan hydrique ; elles sont liées essentiellement à la nature de la surface du sol, à la porosité (surtout de surface), à la texture, à la structure, à l'état du recouvrement de la végétation, à l'utilisation des terres et, naturellement, à la pente et aux formes du terrain.

Sur la zone-test de Zougrata (81 000 ha), nous disposions d'une série d'enregistrements météorologiques allant de 1971 à 1979, ainsi que des mesures du bilan d'eau. Il a donc été possible de calculer, pour une vingtaine de milieux différents (cf. légende des systèmes écologiques, figure IV.2), des valeurs moyennes du quotient pluviothermique d'Emberger corrigé pour chacun des milieux et pour cette période. Le tableau V.1. donne un exemple de ce calcul pour quatre types de milieux. La valeur moyenne de Q_2 = 21,4 (calculée à partir des valeurs des postes météorologiques) est seulement représentative des zones où il n'y a pas d'apport ou de déficit d'eau par suite du ruissellement. *Les milieux sableux assez profonds seraient les seuls à posséder le caractère de zonalité écologique que l'on attribue aux classifications bioclimatiques générales*, en particulier à celle d'EMBERGER. Ailleurs on fait les constats suivants :

TABLEAU V.1. Variations stationnelles du quotient pluviothermique d'Emberger dans une même région écologique de la Tunisie présaharienne, en tenant compte de la pluie efficace (= infiltrée).
Exemple pour quatre types de milieu

	Station de référence GABES-SM		Types de milieux (période 1971-1979)			
	1901-77	1971-79	Steppe sableuse en bon état (Système RK3)	Jachère de zone limoneuse (Système AA1)	Steppe sur croûte gypseuse (Système AZ1)	Pelouse de bas-fond alluvial (Système ZR)
m(1)	5,9	7,0	4,6	4,8	5,1	5,1
Q2 utilisant la pluie totale	23,8	37,2	21,4	22,3	21,1	22,6
Q2 utilisant la pluie efficace (= infiltrée)	-	-	21,4	16,9	13,7	30,4

(1) nos stations de mesure sont situées à l'intérieur du pays alors que Gabès-SM est sublittorale

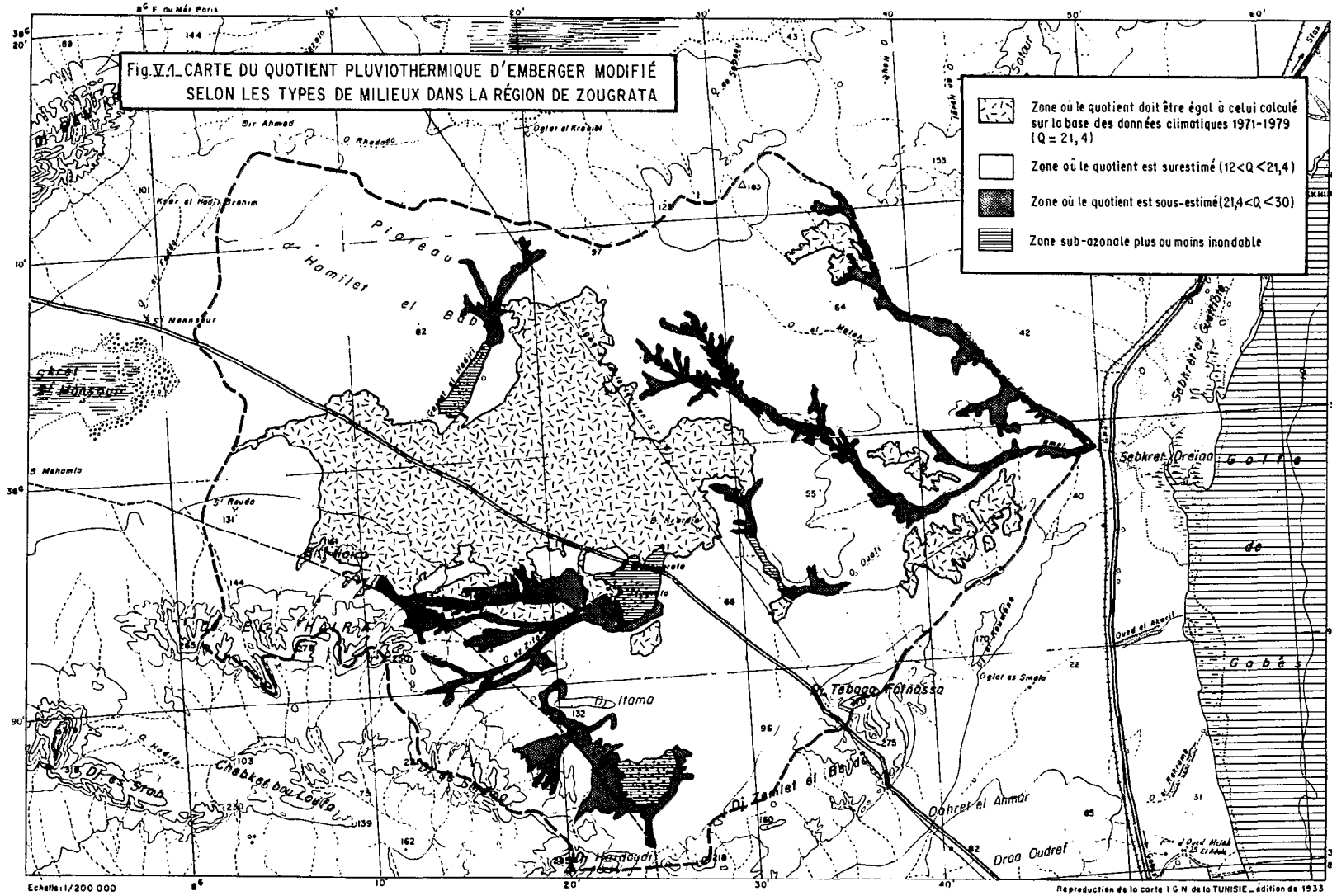


Fig. V.1 CARTE DU QUOTIENT PLUVIOTHERMIQUE D'EMBERGER MODIFIÉ SELON LES TYPES DE MILIEUX DANS LA RÉGION DE ZOUGRATA
Zone où le quotient doit être égal à celui calculé sur la base des données climatiques 1971-1979 (Q = 21,4)
Zone où le quotient est surestimé (12<Q<21,4)
Zone où le quotient est sous-estimé (21,4<Q<30)
Zone sub-azonale plus ou moins inondable
Plateau de Hamilet el Bad
Sebkret Oreiaa
Golfe de Gabès
Echelle: 1/200 000
Reproduction de la carte I G N de la TUNISIE - édition de 1933

- les glacis plus ou moins en pente et recouverts de croûte calcaire ont, en ne tenant compte que de la pluie infiltrée, un Q_2 compris entre 12 et 14, alors que sur les ensembles à croûte et encroûtement gypseux à végétation très clair-semée, Q_2 est compris entre 13 et 15 ; ils sont proches de l'étage saharien :
- les milieux limoneux, souvent dépourvus de végétation, et présentant une pellicule de battance à la surface du sol, ont, malgré leur faible pente, une mauvaise porosité de surface ; Q_2 sur leurs aires d'extension est compris entre 15 et 16 ;
- les bas-fonds peuvent présenter des Q_2 allant de 28 à 35 et même plus, suivant la situation topographique, en raison des apports d'eau ; ils sont proches de l'étage aride supérieur et même du semi-aride.

La carte de la figure V.1. est un essai de représentation du quotient d'Emberger, modifié selon les types de milieu, pour la zone-test de Zougrata. Nous avons calculé un quotient pluviothermique moyen pour la totalité de cette zone, en tenant compte, pour chaque type de milieu, de l'eau qui est effectivement à la disposition de la végétation, ainsi que de sa surface. Un tel quotient est égal à 17,2 pour la période 1971-1979, contre 21,4 pour la même période si l'on prend en considération les données météorologiques. *Le quotient d'Emberger, appliqué au niveau régional, est donc supérieur de 20 % à la moyenne pondérée des quotients stationnels. Il sous-estime actuellement l'aridité de la région en raison des grandes surfaces érodées qui s'y trouvent.*

1.2. L'EAU ET LE SOL

La caractérisation de l'aridité édaphique, grâce à l'étude du comportement hydrique des sols, a donc été au centre de nos préoccupations. Avant d'y revenir avec plus de détails, donnons un bref aperçu des sols existants et de leur évolution.

Malgré une énergie pédogénétique faible actuellement, les sols de la Tunisie présaharienne sont relativement bien différenciés et diversifiés. Ils sont encore marqués par l'influence de processus beaucoup plus intenses, dus à l'existence de climats plus pluvieux au cours des périodes passées et même assez récentes du Quaternaire. Par ailleurs le substrat sédimentaire, et les formes du relief auxquels ils sont liés, sont très variés. Le phénomène pédogénétique le plus actif actuellement est celui de la lexivation des sols solubles et leur

accumulation dans le profil sous forme de croûtes, encroûtements, amas. A ce processus s'ajoute l'évolution d'une matière organique peu abondante sous forme d'un mull calcaire de steppe, pénétrant profondément et régulièrement dans le profil.

Conjointement à ces néopédogénèses, on assiste sur l'ensemble du territoire à une dégradation, d'abord biologique, due à l'homme et à ses animaux, qui entraîne une forte érosion hydrique et éolienne (pouvant atteindre respectivement 8 000 et 20 000 tonnes/km^2/an, selon nos mesures). Ainsi se généralisent les pellicules de battance, la destructuration des horizons de surface, le décapage des surfaces structurales sur les reliefs, et des croûtes et encroûtements sur les glacis et dans les plaines. Parallèlement, des étendues de plus en plus importantes sont envahies de sables mobiles : les bas-fonds et les plaines littorales ou continentales halomorphes sont sans cesse alluvionnés. *La morphogénèse domine la pédogénèse.*

Actuellement, les sols inventoriés en Tunisie présaharienne présentent les caractères suivants. Les horizons sont riches en calcaire (5 à 90 %) et ne sont jamais désaturés ; le pH est compris entre 7,5 et 8,5 ; dans certains cas, le gypse peut être abondant et marquer la totalité du profil. Les accumulations de calcaire et de gypse prennent souvent la forme de croûtes et d'encroûtements plus ou moins fissurés. Les sols halomorphes, complètement stériles dès que la conductivité dépasse 60 mm hos/cm, sont bien représentés à l'aval de la toposéquence générale. A l'exception de ceux des oasis, *le niveau trophique des sols est en général très bas* ; la capacité d'échange varie de 4 à 5 meq/100 g pour les formations sableuses peu évoluées, à 15-18 meq/100 g pour les alluvions limoneuses les plus fertiles. Ils sont souvent moyennement pourvus en potasse et très peu en phosphore ; les teneurs en matière organique sont faibles, 0,2 % à 0,7 %, et le niveau d'azote variable mais le plus souvent très bas, 0,1 % dans le meilleur des cas.

Etendons-nous davantage sur le comportement hydrique de ces sols. La réserve en eau, utile à la végétation, que le sol peut emmagasiner, est très variable. Dans des sables très grossiers cette réserve est inférieure à 5 mm pour 10 cm d'épaisseur du profil, alors que sur les terres limono-argileuses des seguis elle peut dépasser 20 mm pour 10 cm. Ainsi, si l'on considère les principaux types de

sol exploitable par les racines, *la réserve utile en eau (ou capacité de stockage de l'eau disponible à la végétation) est égale : à quelques dizaines de millimètres pour les formations squelettiques gypseuses ou calcaires ; à 80 à 150 mm pour les formations sableuses ; en général à plus de 200 mm pour les formations limoneuses.*

Mais cette réserve est rarement complètement "remplie". Les sols squelettiques calcaires ou gypseux perdent beaucoup d'eau par ruissellement : plus de 50 % certaines années ; de même, les limons ont du mal à s'humecter en raison de leur caractère battant ; en revanche, ils retiennent bien l'eau infiltrée et constituent de bons réservoirs. Les sols profonds d'origine alluviale, mixte ou éolienne, de texture sableuse à sablo-limoneuse, malgré la présence éventuelle de pellicules de battance, s'humectent plus facilement, mais ils peuvent présenter parfois un drainage excessif.

Les sols qui présentent le meilleur comportement hydrique sont donc ceux qui offrent une infiltration rapide, peuvent stocker l'eau à moyenne profondeur grâce à un horizon "réservoir" limité par un obstacle à l'infiltration (croûte gypseuse), et qui sont protégés de l'évaporation par une diminution de la porosité capillaire de surface (mulch) quand la sécheresse survient. C'est le cas des sierozems, sols sablo-limoneux légèrement ensablés (absence de pellicule de battance), présentant à 50 cm de la surface un horizon limoneux qui fait office de réservoir; malgré leur grande sensibilité à l'érosion éolienne, *ces sierozems sont, incontestablement, les sols qui rentabilisent le mieux la pluviosité moyenne annuelle de 100 à 200 mm,* (Le HOUEROU 1959).Nous avons mis en évidence les avantages des sols, légers, même pauvres, en zone aride. En effet,*pour une même pluviosité annuelle, les sols sableux présentent,en moyenne,une période de sécheresse pour les plantes plus courte de 60 % que celle des sols limoneux.* Il ne faut pas oublier aussi les sols en position de bas-fond ou de bas de pente, qui bénéficient d'apport d'eau par ruissellement pouvant représenter de 30 à 200 % des précipitations de l'année.

D'une manière générale, pour tous les sols, il n'y a jamais report de l'eau du sol d'une année à l'autre ; la totalité des précipitations efficaces pour la recharge des réserves en eau est reprise par ETR.

1.3. VEGETATION, PHYTOMASSE, PRODUCTION VEGETALE, EFFICACITE BIOLOGIQUE

La phytomasse aérienne sur pied des terrains de parcours est faible et ne dépasse guère 1 500 kg MS/ha pour les meilleurs, si l'on exclut quelques formations arbustives des sommets ou des dépressions. La moyenne de cette phytomasse aérienne pérenne se situe entre 500 et 700 kg MS/ha. Ces chiffres donnent une idée de l'état de dégradation des parcours ; *la phytomasse aérienne moyenne actuelle des espèces pérennes est à moins de la moitié de la phytomasse qui paraît optimale pour la production.* La phytomasse des espèces pérennes est constituée à plus de 90 % par des Chaméphytes ligneux ; les espèces herbacées pérennes semblent moins bien résister au pâturage, car elles réapparaissent en quantité importante dans les mises en défens. Les quelques mesures de *phytomasse souterraine* réalisées permettent de penser que celle-ci est sensiblement *équivalente à la phytomasse aérienne.* Une trentaine d'espèces constituent la presque totalité de la phytomasse sur pied des terrains de parcours, chiffre relativement important et qui donne déjà un aperçu des possibilités d'adaptation de la végétation à des conditions de milieu très diversifiées.

La production aérienne de la végétation naturelle est faible et très variable selon les systèmes écologiques considérés. Par exemple, pendant nos années d'observation, les steppes des zones gypseuses n'ont jamais produit plus de 350 kg MS/ha/an alors que les pelouses des fonds alluviaux ont atteint 2 250 kg MS/ha/an. *Plus il y a de plantes pérennes dans un système, plus la production aérienne récoltable est étalée dans l'année.*

Cette production de la végétation naturelle présente des variations interannuelles considérables liées à la pluviosité. La production annuelle de la végétation naturelle présente une variabilité beaucoup plus grande que la variabilité interannuelle des précipitations. Ceci est lié à la répartition et à l'intensité des pluies : *pour une même valeur de pluie annuelle la production peut facilement varier de 1 à 3.* L'eau des faibles pluies est en effet immédiatement reprise par évaporation, alors que l'eau des trop fortes pluies est perdue par ruissellement. Il apparait clairement aussi que, *moins il y a de plantes pérennes dans un système, plus la production est variable entre les années.* Par exemple, sur les sols limoneux, avec une végétation à base d'espèces

annuelles, on a mesuré une production aérienne récoltable allant de 0 à plus de 1 700 kg MS/ha/an selon l'année.

La diminution de la phytomasse sur pied est rapide et importante lorsqu'apparaît la sécheresse. A partir de la fin du printemps, on a noté des pertes allant jusqu'à 6,4 kg MS/ha/jour sur une période de 3 mois. Là où les annuelles dominent, les pertes peuvent représenter jusqu'à 90 % de la production (en l'absence de pâturage). On note l'*absence d'accumulation durable de matière organique* sous forme de litière. Celle-ci disparaît en 6 mois et il n'y a pas de report d'une année sur l'autre.

L'efficacité des systèmes écologiques pour l'utilisation de l'eau va de 1 kg MS/ha/mm de pluie sur les croûtes gypseuses à 5-6 kg MS/ha/mm pour les steppes en bon état des zones sableuses ou pour les pelouses des fonds alluviaux. Si l'on considère l'efficacité pour l'utilisation de l'eau évapotranspirée, la gamme de variation en fonction des systèmes écologiques est sensiblement la même, allant de 0,18 à 0,60 g. MS/kgH_2O évapotranspirée. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur de celles mesurées dans d'autres régions arides.

D'une façon générale, on peut remarquer que *la sélection des espèces présentes s'est opérée plus sur des critères de reproduction que de production.* Par exemple, si l'on remplace une communauté végétale spontanée par une culture d'orge, même fertilisée, la production est en général plus élevée (mais moins étalée dans le temps, avec les inconvénients et les risques que cela comporte). C'est une des raisons qui pousse à chercher à modifier ces systèmes écologiques de la zone aride et à sélectionner des espèces plus adaptées aux exigences de production actuelles et à les cultiver. Il faut alors avoir présent à l'esprit que *l'eau n'est pas le seul facteur limitant de la production.* Celle-ci est aussi contrôlée par le niveau tropique du sol. On a montré que, surtout en année pluvieuse (250 - 300 mm), la pauvreté en éléments nutritifs limite la production.

1.4. DYNAMIQUE, DESEQUILIBRES

L'évolution régressive des systèmes écologiques liée à l'influence de l'homme, à la sensibilité du milieu à l'érosion (agressivité du climat, faible couverture végétale) est *importante.*
Si 50 % des sols de l'ensemble du territoire sont théoriquement cultiva-

bles, on peut considérer que 60 % de ceux-ci sont sensibles à l'érosion hydrique et éolienne ; les milieux sableux étant plus sensibles que les milieux limoneux.

La progression de la *désertisation*, appréciée sur la base de critères tels que la diminution de la capacité des sols de constituer des réserves en eau, l'augmentation du ruissellement, la baisse de la production végétale même en année à forte pluviosité, est peu spectaculaire mais considérable. Sur la base de la cartographie réalisée, la proportion des surfaces "très affectées" par la désertisation représente actuellement 25 % du territoire de la Tunisie présaharienne. *La dynamique de la végétation et des sols est fortement liée à celle, très importante, de l'utilisation des terres* (approximativement, si l'on fait une moyenne sur les 25 dernières années, c'est chaque année 1 % du territoire qui a été défriché et ajouté aux surfaces déjà mises en culture).

Les possibilités de *régénération* sont très différentes selon les systèmes écologiques et le degré de dégradation atteint. Sur les zones sableuses et montagneuses, la végétation montre une dynamique progressive relativement satisfaisante. Dans les zones à croûtes gypseuses, l'évolution est très lente. Sur les zones limoneuses, en général défrichées pour la culture depuis très longtemps, les semenciers d'espèces pérennes ont souvent disparu. Nous avons insisté sur l'*importance des dépôts éoliens actuels qui, s'ils ne sont pas trop abondants, jouent un rôle favorable pour la reconstitution du milieu* (accumulation sableuse et organique au pied des touffes). Cependant, ces nouveaux dépôts de sable n'ont pas la même fertilité que celle des matériaux dont ils sont issus et leur évolution biologique est lente. Notons que la régénération et la dégradation de la végétation se font à des vitesses en général plus rapides que celles des sols ; une nouvelle évolution du sol (pédogénèse) ne s'effectue qu'après réinstallation de la végétation (exception faite des pédogénèses ayant la dégradation pour origine : formation de croûtes gypseuses par exemple).

Nous ne reprendrons pas, dans ces conclusions, les nombreuses définitions données par les auteurs, concernant la *stabilité* des systèmes écologiques. Nous renvoyons au très bon article de NOY-MEIR (1975) pour des définitions appliquées aux systèmes écologiques de la zone aride. Il est évident que *les fluctuations en nombre d'individus de chaque espèce, en composition floristique, en biomasse et en production, sont*

très importantes et fonction de l'irrégularité des pluies et de la pression pastorale. A ce titre, *ces systèmes ne sont pas stables à court terme.* Cependant, la sélection s'est opérée au cours du temps au profit d'espèces capables d'une régénération rapide, grâce à des adaptations très diverses lorsque les conditions redeviennent favorables après une perturbation. Après une pression pastorale un peu trop forte, par exemple, nous avons vérifié que nombre de systèmes écologiques retrouvent leur équilibre si celle-ci diminue et nous en avons tiré certains enseignements pour des aménagements pastoraux. *Les systèmes écologiques de la zone aride peuvent donc être considérés comme stables à moyen terme* ou tout au moins "métastables" au sens de GODRON (1979).

En effet, au cours des siècles précédents, lorsque la pression des pasteurs nomades n'était pas trop forte, et, surtout, laissait des périodes de repos à la végétation, des oscillations de courte période autour de l'équilibre étaient la règle. Actuellement, des *seuils de dégradation* sont souvent *dépassés*, ce qui se traduit en général par une disparition complète de certaines espèces, la prolifération d'espèces non palatables et une érosion du sol. La régénération est alors plus lente et conduit à des systèmes écologiques différents, à productivité plus faible, et en général moins stables que les précédents.

2. ARIDITÉ ET AMÉNAGEMENT

2.1. PRINCIPES

Les résultats de recherches sur la végétation de ces zones arides soulignent bien la fluctuation et l'inégale répartition des productions, qui sont liées à de courtes périodes favorables, suivies de longues périodes de sécheresse et à la diversité des milieux. *L'aménagement doit s'appuyer sur cette variabilité spatiale et temporelle des productions. Par ailleurs, toutes les ressources en eau doivent être exploitées au maximum.*

Nous donnerons ci-après les caractéristiques favorables propres à ce milieu aride que l'aménageur doit chercher à utiliser. Nous proposerons ensuite quelques ébauches de solutions, pour l'utilisation des ressources renouvelables, dont la plupart ne sont qu'un perfectionnement des pratiques anciennes de l'homme dans ces régions.

2.2. CARACTERISTIQUES FAVORABLES DU MILIEU

Les espèces végétales se sont remarquablement adaptées à la variabilité temporelle des précipitations. Elles réagissent très rapidement lorsque les conditions de l'environnement changent. On a mesuré des accroissements moyens journaliers allant jusqu'à 20 kg MS/ha/jour durant deux mois au printemps pour des espèces annuelles. L'extraordinaire adaptation des espèces aux pulsations générales de l'environnement a fasciné tous les chercheurs ayant travaillé dans les zones arides. Cette adaptation porte surtout sur les mécanismes de la germination et de la résistance à la sécheresse. Les exemples sont nombreux : la germination n'a lieu qu'après une certaine quantité de pluie et pour certaines températures, qui donnent des chances de survie à la plantule ;

les Thérophytes bouclent leur cycle en 2-3 mois ; les Géophytes (comme les Asphodèles) peuvent passer plusieurs années sèches sans produire de pousse ; les Chaméphytes (comme *Rhantherium suaveolens*) réduisent considérablement leur surface foliaire et perdent des quantités importantes de matériel végétal actif en été (dimorphisme saisonnier). EVENARI *et al.* (1975) ont introduit à ce sujet les notions imagées d'espèces "arido-passives" (qui ne présentent pas de tissus photosynthétiques actifs durant la période sèche) et d'espèces "arido-actives" (qui doivent disposer de réserves d'eau pour fonctionner, même au ralenti). Ces dernières sont celles qui ont les caractères bien connus des vrais xérophytes (cuticule épaisse ; stomates rares et enfoncées ; tiges et pousses photosynthétiques ; feuilles petites, succulentes, ou épineuses). Ce sont elles qui sont placées devant la fameuse alternative : "mourir de soif" en ouvrant trop les stomates ou "mourir de faim" de CO_2 en les laissant fermés ; certaines, comme *Artemisia herba-alba*, résolvent mieux que d'autres ce dilemne en présentant une production relativement importante vis-à-vis de l'eau consommée. Il ne faut pas oublier aussi que, *même si la pluviosité est faible, les précipitations tombent en majeure partie durant la période froide*, à un moment où l'évaporation n'est pas trop importante. L'efficacité de la pluie pour la production végétale serait donc relativement plus importante qu'au Sud du Sahara.

La diversité des types biologiques (et des réponses adaptatives des végétaux) que l'on rencontre sur une même station avec une végétation en bon état, permet aussi de "tamponner" les conséquences défavorables de la variabilité climatique. *Les systèmes racinaires de ces végétaux se partagent le sol* jusqu'à la profondeur habituellement atteinte par la pluie. Les espèces annuelles et les petites espèces pérennes (comme *Plantago albicans*) tirent parti des pluies fréquentes, même peu abondantes, et leurs racines, proches de la surface, surtout dans leur stade juvénile, sont en compétition pour l'eau avec le pouvoir évaporant de l'air. Les espèces pérennes buissonnantes (comme *Rhantherium suaveolens, Retama raetam* etc.) ont fréquemment une partie de leur système racinaire également dans les couches de surface, mais elles exploitent aussi les couches profondes qui s'humectent sporadiquement lors de gros épisodes pluvieux. Par ailleurs, on trouve, dans certains milieux, des espèces proches des Phréatophytes (*Ziziphus lotus* par exemple) qui envoient leurs racines à de grandes profondeurs,

jusqu'à la nappe, s'il en existe. Cependant ce partage des ressources n'est peut être pas à son optimum actuellement ; on peut en effet se demander si ce n'est pas l'homme qui a fait disparaître une strate arbustive claire susceptible de compléter l'utilisation de l'espace.

La diversité de ces types biologiques est sans doute le résultat d'une lente adaptation. Elle permet, comme on l'a déjà signalé, l'étalement de la production dans l'année. Elle permet aussi l'utilisation conjointe de la végétation par des animaux à préférences alimentaires différentes tels que ovins, caprins, camelins, ce qui joue manifestement un *rôle synergique pour la production pastorale* globale d'une station donnée.

La plasticité des races locales d'animaux domestiques est un autre atout pour l'aménageur. En Tunisie présaharienne, les ovins de race barbarine, en particulier, peuvent supporter des pertes de poids considérables. C'est un caractère à favoriser par la sélection plutôt que de chercher à obtenir des animaux de gros formats, plus productifs en bonne année, ainsi que l'a souligné HADJEJ (1975a, 1975b, 1976). L'adaptation d'herbivores sauvages, tels que la Gazelle (*Gazella dorcas*), à des conditions de sécheresse extrême a parfois fait naître l'idée d'une exploitation rationnelle des régions très arides qui ne paraît pas acceptable dans des conditions de densité humaine assez élevée comme c'est le cas en Tunisie présaharienne.

La diversité des systèmes écologiques conduit à une variabilité spatiale importante et intéressante. Dans la région étudiée, on a évalué à une trentaine les systèmes les plus représentés (à une échelle voisine de 1/50 000), et qui participent de façon notable à la production de ressources renouvelables. Ce grand nombre d'unités sur une relativement petite surface doit être rapproché de plusieurs facteurs d'hétérogénéité : gradients climatiques rapides, diversité des roches-mères, mais surtout modalités de la redistribution de l'eau. L'eau est le facteur limitant pour les plantes sous climat aride. *La redistribution des faibles pluies, fonction des conditions topographiques, et le stockage de l'eau, fonction du type de sol, conduisent à une multitude de situations contrastées auxquelles se sont adaptés plantes, animaux et hommes*. La micro-hétérogénéité à la surface du sol (micro-topographie, inégalité des dépôts), provoque une redistribution de l'eau par ruissellement ou infiltration différentiels, ce qui donne en

général la possibilité à une partie au moins des espèces de germer et d'achever leur cycle, même si l'année présente un fort déficit de pluviosité. *Schématiquement, c'est sous climat aride que la redistribution de l'eau a son importance maximum pour les productions utiles à l'homme ;* en zone désertique l'eau est de toute façon insuffisante, en zone humide le ruissellement apporte un surplus d'eau souvent inutile, voire nuisible, pour la production végétale.

Cette diversité des systèmes écologiques est aussi un facteur favorable pour le pasteur qui peut conduire ses animaux sur des parcours à époques de production échelonnées : parcours à base d'annuelles de fin d'hiver et début de printemps des zones défrichées ; parcours de chaumes à la fin du printemps ; parcours de printemps et d'été des plaines sableuses ; parcours d'été des pelouses des fonds alluviaux. Nous rejoignons ici le problème de l'utilisation optimale des ressources qui va être évoqué dans le paragraphe suivant, après un bref rappel de la situation passée et actuelle.

2.3. QUELQUES EBAUCHES DE SOLUTION

Le territoire de la Tunisie présaharienne couvre 3 millions d'hectares, autrefois presque exclusivement consacrés à l'exploitation pastorale, et qui se trouvent maintenant défrichés à plus de 30 % de leur surface pour la céréaliculture et l'oléiculture. Les cultures de céréales, en vue desquelles ces défrichements sont principalement pratiqués, ont des rendements en grains qui varient de 0 à 1 000 kg/ha selon les années et le type de sol, avec une moyenne interannuelle certainement inférieure à 300 kg/ha. De pasteurs nomades, qui utilisaient la production de la végétation naturelle quand et où elle se présentait, les habitants tendent à devenir agriculteurs sédentaires. L'utilisation des terres est jusqu'à un certain degré sous la dépendance des conditions climatiques, de la position topographique, de la nature du substrat, de la composition de la flore, mais divers facteurs sociaux, tels que le désir d'appropriation des terres, écartent certains milieux d'une utilisation jugée la plus optimale. D'une façon générale, *la culture aurait dû rester localisée dans les zones basses ou sur le piémont des montagnes* recevant un appoint d'eau par ruissellement ; les 100 à 200 mm de pluviosité moyenne annuelle ne permettent pas des rendements soutenus sans cet apport. Or, on trouve maintenant des zones

défrichées pour être soumises à la céréaliculture, donc sujettes à l'érosion, en plaine et même sur les collines. La sédentarisation et la présence des zones cultivées s'opposent à la conduite des troupeaux pratiquée autrefois en mode semi-nomade. Les animaux domestiques dégradent les parcours au voisinage des habitations. S'ajoute à ce surpâturage localisé, le prélèvement sur la steppe du bois destiné à divers usages domestiques (cuissons, chauffage, abris) ou des matériaux utilisés pour un petit artisanat (*Stipa tenacissima, Lygeum spartum*). L'accroissement considérable de la population et son désir légitime d'un nouveau mode de vie ont donc conduit à s'écarter de la localisation optimale respective des cultures et des parcours qui était presque la règle dans un passé récent, à perdre la souplesse d'utilisation qui permettait l'adaptation à la variabilité spatiale et temporelle de la productivité biologique des différents milieux.

HOLLING (1973) souligne qu'un aménagement basé sur la flexibilité d'un système doit :

1. envisager beaucoup d'options possibles laissées ouvertes,
2. viser le niveau régional plutôt que le niveau local,
3. tirer parti de l'hétérogénéité de la région.

Donnons-en quelques exemples.

L'intégration de la céréaliculture et du parcours dans l'aménagement rural permet une *réponse flexible* pour la production en fonction de la pluviosité de l'année. Si l'année est bonne, la céréale est récoltée et les parcours suffisent aux animaux ; si l'année est sèche au printemps, la céréale en vert (qui a toujours un minimum de croissance hivernale) est pâturée avant maturité. C'est un système utilisé depuis fort longtemps par les populations locales.

Par ailleurs, *les céréaliculteurs peuvent répartir les risques* grâce à la diversité des systèmes écologiques. Nous avons souligné ci-dessus que sables et limons, par exemple, ne stockeront ni ne redistribueront pas l'eau à la culture de la même façon, pour une même quantité de pluie.

La variabilité spatiale des précipitations doit amener à une réorganisation de la *transhumance* inter-régionale, comme c'était la règle autrefois ; les *échanges commerciaux* entre régions doivent être favorisés ; des dispositions doivent être prises pour permettre l'abattage des animaux et le stockage de la viande en cas de sécheresse prolongée.

A côté de ces exemples d'aménagement qui présentent des tentatives d'adaptation à la variabilité spatiale et temporelle des précipitations, on peut en citer d'autres qui consistent à essayer de régulariser et à maximiser les productions grâce à une *meilleure utilisation des ressources en eau disponibles*. En zone aride, toute goutte d'eau doit être utilisée.

L'intégration des zones irriguées et des parcours (SKOURI, 1972 ; SKOURI et CABEE, 1974 ; IONESCO, 1975 ; TOUTAIN, 1977) devrait permettre une utilisation optimale de la production irrégulière de ces derniers et une stabilisation des effectifs des troupeaux grâce à la supplémentation en fourrages et grains. Jusqu'à présent, cependant, la dégradation en auréole des parcours, autour des zones agricoles intensives, est presque la règle. Il faut donc encourager cette intégration par une certaine réglementation et par des mesures incitatives appropriées. Malheureusement les nappes souterraines sont très inégalement réparties sur le territoire. Les débits des forages, très souvent artésiens, implantés dans les aquifères profonds, peuvent être doublés au Nefzaoua, au Djérid et dans la zone littorale de la Djeffara, et atteindre ainsi 18 à 20 m^3/seconde ; ce qui permettrait d'irriguer entre 20 000 et 30 000 hectares selon les techniques adoptées. Les nappes proches de la surface sont déjà trop exploitées dans la zone côtière (l'eau est en général très salée avec un résidu sec compris entre 3 et 7 g/l).

Une solution souple pour augmenter la quantité d'eau mise à la disposition des plantes, et compatible avec des principes écologiques d'aménagement, consiste en la *récupération des eaux de ruissellement* (en général peu salées : résidu sec inférieur à 1 g/litre) provenant des systèmes dégradés et à leur *concentration vers les systèmes les plus productifs*. C'est une pratique utilisée depuis longtemps en Tunisie et ailleurs (EVENARI, 1971), mais qui demande à être améliorée. Dans les zones où cette hétérogénéité topographique n'existe pas (par exemple dans un grand glacis limoneux uniforme), il peut paraître souhaitable de réserver une partie de la surface pour "collecter" de l'eau de ruissellement. Ce n'est pas chose aussi simple qu'on le pense parfois. Nous avons mené une étude sur cette question, en collaboration avec des hydrologues sur un glacis de ce type (BOURGES *et al.*, en cours de publication). La pluviosité moyenne annuelle y est de 180 mm.

On estime qu'il faut un équivalent pluviométrique au champ de 250 mm pour une céréale dans cette région. Il faut donc trouver 70 mm de ruissellement. Compte tenu des coefficients de ruissellement moyen (5 années d'observation), c'est une surface 3,5 fois supérieure à celle du champ cultivé qui peut fournir ces 70 mm. Même si la structure foncière ne s'oppose pas à la réservation d'un tel impluvium, aucun agriculteur n'acceptera actuellement ce schéma, préférant cultiver toute la surface, même pour un rendement moindre à l'hectare.

Un calcul économique serait nécessaire dans l'exemple précédent, comme chaque fois qu'il est question d'aménagement. Le choix entre l'élevage et la culture repose en majeure partie sur des *considérations économiques et sociales*. Nous avons montré que le meilleur moyen de lutter contre la dégradation progressive, et souvent irréversible, du milieu naturel de la Tunisie présaharienne, est de conserver une utilisation des terres à dominante pastorale, complétée par des cultures recevant une supplémentation en eau et une aridoculture bien localisée. Cet équilibre agro-pastoral est possible si on utilise la diversité des systèmes écologiques présents. Mais l'objectif du développement est surtout l'augmentation du revenu des habitants. Il est nécessaire de considérer à la fois ces deux orientations (lutte contre la dégradation et revenu) souvent contradictoires dans un aménagement, si on veut viser le court et le long terme. Et malheureusement, si on considère les prix actuels comparés des produits de l'élevage et des céréales, *revenus élevés et conservation du patrimoine apparaissent presque incompatibles.*

BEDOIAN (1978) estime que, dans la zone littorale de la Tunisie présaharienne, le revenu monétaire net, par unité de surface, est 8 fois plus élevé dans le cas de la culture d'orge (environ 80 F/ha) que celui obtenu par la pratique de l'élevage (environ 10F/ha)(1).Il calcule donc que, pour limiter le surpâturage tout en maintenant le même revenu, il suffirait d'augmenter légèrement les surfaces emblavées et de réduire les troupeaux. Même si la mise en culture a un effet plus néfaste sur le milieu que le surpâturage, il préconise cette solution, qui a en outre l'avantage de diminuer globalement la quantité de travail. En effet, cet auteur calcule que les pratiques actuelles d'exploitation du milieu, nécessitent un travail supérieur de 50 % à celui qui serait nécessaire pour obtenir le même

(1) Depuis cette étude le prix de la viande à augmenter régulièrement et la différence de revenus n'est plus aussi grande.

revenu monétaire en pratiquant exclusivement la céréaliculture. Enfin, BEDOIAN conclut que si l'élevage n'est pas plus délaissé, c'est uniquement en raison du prestige social auquel est lié la possession d'un troupeau.

Effectivement, on assiste sur l'ensemble de la Tunisie à une augmentation des surfaces cultivées ; en revanche, il est tout à fait illusoire de compter sur une réduction des effectifs des troupeaux qui vont continuer de dégrader des surfaces pastorales de plus en plus restreintes. Il semble que l'on évolue à moyen terme vers un élevage de type sédentaire, marginal par rapport aux revenus de la culture et nourri de plus en plus avec les produits et sous-produits de celle-ci (chaumes, son, grains, fourrages), les parcours n'étant plus guère qu'un faible appoint. Cette évolution ira sans doute de pair avec une amélioration des techniques d'utilisation des eaux de ruissellement. Le paysage apparaîtra, encore plus que maintenant, fait d'oasis de verdure où une agriculture moderne devra se développer (choix des cultivars, engrais, etc.) entourées de grandes zones dénudées.

Pourquoi accepter cette stérilisation de la majeure partie de la surface utile, cette perte d'une partie du patrimoine national, même si l'élevage prenait proportionnellement moins d'importance que par le passé ? Pour lutter contre cette tendance, *l'aménagement devra s'appuyer sur des bases écologiques* avec comme lignes directrices :

- l'inventaire des ressources et l'étude approfondie de leurs dynamiques, afin de *localiser au mieux les spéculations* et de déterminer de façon optimale les niveaux d'utilisation ;
- la prise en considération du moyen et du *long terme*, même si on cherche à maximiser dans l'immédiat les productions ;
- l'utilisation des avantages que procurent l'hétérogénéité du milieu pour obtenir des *productions diversifiées* ; cette diversité est le meilleur atout pour lutter contre l'aridité climatique ; elle permet de "tamponner" l'aridité générale ;
- l'ouverture de la région vers l'extérieur afin d'augmenter la *flexibilité des systèmes productifs* en favorisant les échanges de biens, de services et de personnes.

La présente étude peut contribuer à résoudre un certain nombre de problèmes posés par le fonctionnement et l'utilisation des systèmes écologiques des régions arides. Mais beaucoup de points restent à élucider et d'autres recherches sont nécessaires pour l'amélioration du potentiel de production et la conservation des ressources renouvelables de ces territoires.

3. CRITIQUES ET PROSPECTIVE

3.1. REPRESENTATIVITE DE L'ETUDE ET EXTENSION POSSIBLE

Schématisons les 2 principales étapes de l'approche suivie pour la collecte des données et l'extrapolation des résultats :

1) *Caractérisation des systèmes écologiques* de la région (une trentaine) au moyen de nombreux relevés dans chacun d'entre eux (flore, couvert, phytomasse, caractéristiques physiques et hydriques du sol) et *cartographie* plus ou moins simultanée des zones-test où sont représentés la majorité de ces systèmes, afin de mieux comprendre leurs relations entre eux et pour déterminer les plus importants (en surface et sur le plan économique).

2) *Installation de stations de mesures* localisées au mieux grâce aux relevés et à la cartographie pour être bien représentatives des plus importants de ces systèmes écologiques ; les principaux paramètres climatiques, l'évolution de la phytomasse aérienne et de l'eau dans le sol, sont suivis périodiquement dans ces stations durant plusieurs années.

Pour nos objectifs (prévision de la production et de la dynamique des systèmes écologiques, aménagement du territoire), nous avons retenu cette *approche qui va du général au particulier et qui permet de s'intéresser, à différents degrés, à la majorité des systèmes écologiques d'une région.*

On peut l'opposer à une autre approche classique, qui a été celle du Programme Biologique International par exemple, où, dans une même région, les efforts se concentrent sur un seul système écologique. Pour la même somme de travail, il est évident que de nombreux paramètres peuvent alors être étudiés et certains compartiments du système abordés en profondeur. Mais le problème de l'extrapolation régionale des données n'est pratiquement jamais résolu. De telles études ponc-

tuelles ont été parfois suivies par la construction d'un *modèle*, qui prend en compte tout ou partie du système, et qui doit permettre de tenter, par la *simulation*, l'extension des résultats. D'excellents modèles ont été construits pour certains compartiments du système grâce à une bonne connaissance de leur fonctionnement. Celui par exemple de VAN KEULEN (1975) est particulièrement intéressant pour simuler l'utilisation de l'eau et la croissance des plantes en zone aride. Les données recueillies sur une de nos stations ont servi à caler et à valider un modèle ayant sensiblement les mêmes objectifs (RAMBAL, 1980 ; FLORET *et al.*, 1981). Des modèles plus ou moins globaux, pouvant prendre en compte des objectifs d'aménagement pastoral en zone aride ont aussi été construits en Australie et aux Etats-Unis par GOODALL (1969, 1973), en Israël par SELIGMAN *et al.* (1971). De l'avis de ces auteurs eux-mêmes, ces modèles sont d'une utilisation pratique très limitée. Dans une récente revue par INNIS *et al.* (1978) sur les modèles de simulation applicables à l'ensemble d'un système, une des conclusions est que les modèles sont moins utiles aux aménageurs qu'aux chercheurs eux-mêmes, en raison du manque de connaissances sur les systèmes, de la complexité de ces modèles et du temps nécessaire pour les construire. *On est loin encore du modèle général applicable à l'ensemble des systèmes de la zone aride, et qui permettrait de sortir du cadre stationnel où sont effectuées les mesures.*

En ce qui concerne l'*extrapolation des résultats* de notre étude, rappelons que la plupart de ceux-ci ont été obtenus dans la partie orientale et centrale de la Tunisie présaharienne ; leur extension vers les zones plus continentales de la région doit être effectuée avec prudence ; elle nécessite des observations et études complémentaires, en particulier parce que la période de végétation y est plus courte en raison du régime thermique de ces zones.

Nous avons pu interpoler les résultats de mesures obtenues ponctuellement *grâce à la cartographie des systèmes écologiques* sur des zones-test. Le problème de l'extrapolation en dehors de celles-ci se pose. Même si les substrats sont peu différents, il faut évidemment tenir compte des variations des climats locaux. Du point de vue pratique, en dehors d'une extension possible par la cartographie classique sur le terrain, une certaine généralisation est possible par utilisation de la télédétection spatiale, comme l'a montré l'expérience ARZOTU

(LONG *et al.*, 1978), réalisée sur la zone étudiée. Cependant, ainsi que le souligne le rapport final de cette expérience, le contrôle au sol doit rester très important. Les possibilités d'un inventaire par télédétection des types de sols et de ressources pastorales des zones arides apparaissent encore limitées, en raison de l'hétérogénéité de la végétation, qui n'est en général pas traduite par des différences significatives dans les réponses spectrales. En revanche, une surveillance temporelle pourrait être réalisée, en particulier pour le développement saisonnier de la végétation annuelle (et des céréales), et pour des changements liés aux phénomènes de désertisation. D'une façon générale cependant, *pour la généralisation des observations stationnelles, la télédétection spatiale n'a pas encore un pouvoir d'identification et de résolution suffisant.*

3.2. RECHERCHES A ENTREPRENDRE

Nous venons d'insister sur l'intérêt de l'approche régionale pour l'étude des systèmes écologiques et de leurs relations, mais il est bien évident que l'étude des processus fondamentaux qui contribuent au fonctionnement de chaque individu ou portion de système, pris isolément, devrait être menée parallèlement. En particulier, tout ce qui touche à la *circulation et à l'utilisation de l'eau* pour la production doit être au centre d'études éco-physiologiques et de génétique écologique. En ce qui concerne ces dernières, il semble évident que la *sélection* des cultivars utilisés actuellement en zone aride a été faite pour des régions plus pluvieuses, sur la base d'une maximisation de la production et non de la *résistance à la sécheresse*. Le potentiel génétique de la plupart des bonnes plantes pastorales reste inexploré et des études auto-écologiques de celles-ci sont à peine entreprises. Citons cependant les travaux de HENCHI (1980) sur *Plantago albicans* et de POURRAT (1974) sur *Artemisia herba-alba*. Il faut aussi sélectionner ou introduire des espèces en envisageant une *utilisation de l'eau* au moment où elle est le plus facilement disponible pour les plantes, c'est-à-dire durant la *période froide* ; ce sont donc des espèces à zéro de végétation le plus bas possible qui doivent permettre de lutter contre les pertes par évaporation. Les mécanismes de la répartition de l'eau, dans les couches superficielles du sol, entre l'évaporation et l'absorption racinaire, semblent d'ailleurs assez mal connus.

Il faut en effet arriver à *minimiser* le plus possible la part de *l'évaporation au profit de la transpiration* qui est directement liée à la production. Il est à craindre aussi que des progrès obtenus par sélection dans le sens d'une augmentation de la production ne se fassent au détriment de l'étalement dans l'année de celle-ci. Un autre domaine où la sélection peut s'exercer a trait à la *répartition des assimilats* dans la plante. Par exemple, l'énergie devra-t-elle être stockée par les espèces pérennes plutôt dans les racines pour une plus grande exploitation du sol et pour la survivance, ou dans les feuilles ? FISCHER et TURNER (1978) donnent une excellente revue des domaines de la physiologie végétale à explorer pour améliorer la productivité des plantes de la zone aride et nous n'insistons pas sur cette question.

Au niveau des systèmes écologiques, que nous avons étudiés principalement sous l'angle des relations entre le sol et la végétation, des éléments très importants ont été laissés dans l'ombre. Il s'agit en particulier des *décomposeurs* et des *consommateurs primaires*. Nous avons conscience de n'avoir qu'une vue très imparfaite des relations entre les animaux domestiques et les autres éléments des systèmes. Des recherches sont à entreprendre sur les *interactions animal-végétal* et sur l'utilisation de la végétation aride par les animaux : quand les introduire sur le parcours ? à quel rythme ? combien en introduire ? quelles proportions des espèces pastorales laisser pour la constitution des réserves de la plante ? En Afrique du Nord, peu d'auteurs ont commencé à répondre à ces questions (NOVIKOFF *et al.*, 1973, 1978 ; AYYAD, 1977-1981 ; WAECHTER, 1982. Ne mentionnons pas les recherches et et la sélection sur les animaux eux-mêmes où beaucoup reste à faire.

Toujours à l'échelle des systèmes écologiques, nous pouvons maintenant faire d'assez bonnes prévisions de la production végétale annuelle consommable ou utilisable, compte tenu de la pluviosité de l'année et de sa répartition. *La modélisation* dans ce domaine est perfectible, mais a déjà donné des résultats intéressants comme nous l'avons souligné plus haut. En revanche, la *prévision de l'évolution d'un système* à long terme est beaucoup plus difficile et la modélisation des processus qui conduisent, par exemple, à l'équilibre entre espèces est loin d'être généralisable en zone aride, malgré quelques tentatives. Il y a encore trop de lacunes dans nos connaissances et,

surtout, dans les modes d'assemblage des éléments des systèmes écologiques. Pourtant les recherches sur la stabilité, sur la dynamique à court ou long terme doivent devenir une priorité. Elles débouchent de façon évidente sur les problèmes de désertisation et d'aménagement. *L'expérimentation in situ de dynamique provoquée*, même sur un pas de temps assez court (quelques années), permet de se faire une bonne idée des facteurs limitants et de l'évolution possible d'un système. Parmi les expérimentations possibles citons : fertilisation (surtout azotée) ; recépage des espèces pérennes ayant accumulé trop de biomasse ligneuse ; élimination des espèces refusées par les animaux ; sursemis à partir des espèces locales très recherchées et qui tendent donc à être éliminées (*Plantago albicans, Echiochilon fruticosum, Cenchrus ciliaris, Stipa lagascae, Artemisia herba-alba*) ; allègement ou augmentation de la charge, etc. Dans le domaine de la dynamique provoquée figure aussi une intervention qui relève encore plus directement de l'aménagement : la *concentration des eaux de ruissellement* sur une partie du territoire et son *stockage*. Les recherches sur cette technologie sont à développer. Beaucoup de procédés utilisés actuellement dans ce domaine en zone présaharienne étaient déjà en vigueur bien avant l'ère chrétienne. THAMES et FISCHER (1981) font une bonne revue des techniques utilisables et qui restent à adapter aux conditions locales.

D'autres limites de cette étude sont évidentes. Bien que faisant partie d'un projet plus vaste comprenant des disciplines telles que la sociologie et l'économie, celles-ci n'ont pu être suffisamment intégrées à notre réflexion, ce qui aurait dû nous interdire d'envisager des aménagements. Comment faire abstraction, par exemple, dans un plan d'aménagement, du fait que, dans certaines régions de la Tunisie présaharienne, 80 % du revenu total des familles provient de l'émigration (HADJEJ *et al.*, 1981), avec toutes les conséquences que cela comporte, en particulier sur la force de travail disponible ? Nous sommes convaincus que pour une approche intégrée des problèmes de développement, aux caractères des systèmes écologiques doivent être étroitement associés ceux des systèmes sociaux. C'est l'un des principes fondamentaux du programme l'Homme et la Biosphère de l'Unesco (Programme MAB) que des études de ce genre doivent s'efforcer d'appliquer.

BIBLIOGRAPHIE

ADAM J.G., 1967 - Evolution de la végétation dans les sous-parcelles protégées de l'UNESCO-IFAN à Atar, Mauritanie. Bulletin de l'I.F.A.N., XXIX, A, 1 : 92-106

ADAMS R., ADAMS M., WILLENS A. & WILLEMS A., 1978 - Dry Lands. The architectural press LTD : London, 152p.

ADAMSON R.S., 1939 - The classification of life-forms of plants . Bot. Rev., 5 : 546-561

ANONYME, 1957 - Range survey plant list. Ministry of agriculture of Israel, Soil conservation division, 15p.

AUBERT G., 1960 - Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs 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. & BOULAINE J., 1972 - La pédologie. *P.U.F. "Que sais-je"* n° 352, 128p.

AUBERT G. & OLLAT CH., 1969 - Observations sur l'utilisation d'eaux saumâtres pour l'irrigation et sur l'amélioration des sols salés. Acad. d'agr. de France. Scéance 19.02.69 : 244-254

AUBREVILLE A., 1949 - Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales. Paris

AYYAD M.A., 1978 - A preliminary assessment of the effect of protection on the vegetation of the mediterranean desert ecosystems. Terckholmia, 9 : 85-101

AYYAD M.A., (Principal Investigator). 1977-1981 - Systems Analysis of Mediterranean Desert Ecosystems of northern Egypt "Samdene" . Progress reports n° 1 à 5. University of Alexandria.

AYYAD M.A., 1981 - Soil - Vegetation - Atmosphere Interactions. Ecosystems Vol. 2. Ed. D.W. Goodall and R.A. Perry, IBP 17, Cambridge University Press : 9-31

AYYAD M. & LONG G., 1981 - Bases écologiques pour l'aménagement du territoire dans les zones à contraintes écologiques fortes, avec référence aux régions arides et semi-arides. Le rôle du MAB à cet égard. Conférence exposition UNESCO (MAB) - CIUS, "L'écologie en action", UNESCO, Paris, 51p.

BAGNOULS F. & GAUSSEN H., 1953 - Saison sèche et indice xérothermique. Facùlté des sciences de Toulouse, Doc. cartes prod.veget. III 47p., 1 carte

BALBA M. & EL GABALY M.M., 1965 - Soil and ground water survey for agricultural purposes in the N.W. Coast of Egypt. Research Bulletin n° 11. Faculty of Agric. Alexandria : 3-19

BALDY Ch., 1965 - Climatologie de la Tunisie Centrale. FAO/UNDP TUN 8, I 84 p., II Atlas 20, cartes couleurs 1/1000 000, III Annexes.

BALDY CH., BEN SALAH A., EL AMANI S., PONTANIER R. & POUGET M., 1968 - Résultats culturaux et climatologiques de la parcelle expérimentale de Bouchemma 1966-67. Inst. Nat. Rech. Agr. Tunisienne, doc. tech. n° 38; 18p.

BALDY CH., EL AMANI S. & POUGET M., 1967 - Rénovation d'une palmeraie littorale ancienne. Etude de sa remise en valeur intensive. Ann. Inst. Nat. Rech. Agr. Tunisienne. 40. 8

BALLIF J.L., FEODOROFF A. & HENIN S., 1966 - Distinction des transferts d'eau à l'état liquide ou vapeur au cours du dessèchement d'un sol nu. CR. Acad. Sci. Paris 263 1958-6°

BARBERY J. & DELNUMEAU M., 1979 - Carte des ressources en sols de la Tunisie. Feuille de Bizerte. DRES ES 179, Tunis, 35p. 1 carte couleur h.t.

BARBOUR M.G., 1967 - Ecoclinal patterns in the physiological ecology of a desert shrub, Larrea divaricata. Ph. D. Dissertation, Duke Univ., 242p.

BEDOIAN W.H., 1978 - Economic alternatives for a semi pastoral population in southeast Tunisia. Proceedings of the first International Rangeland Congress, Denver, Soc. for Range Management. Denver, Colorado : 71-75

BEKHODJA K., 1972 - Origine, évolution et caractère 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 : 1-105.

BEKHODJA K., BORTOLI L., COINTEPAS J.P., DIMANCHE P., FOURNET A., JACQUINET J.C. & MORI A., 1973 - Carte pédologique de la Tunisie 1/500.000, Sols de Tunisie n° 5

BELAID, 1967 - Notice de la carte de l'érosion en Tunisie. DRES Tunis n° 329

BERKOFSKY L., 1976 - The effect of variable surface albedo on the atmospheric circulation in desert regions. Journal of Applied Meteorology, Vol. 15 : 1139-1144

BILLAUX P., 1978 - Estimation du régime hydrique des sols au moyen des données climatiques (*La méthode graphique : son utilisation dans le cadre de la Taxonomie américaine des sols*) Cah. ORSTOM, ser. pedol. Vol XVI n° 3, 1978 : 317-338

BIRAND H., 1961 - Relations entre le développement des racines et des parties aériennes chez certaines plantes xérophytes et leur résistance à la secheresse. In : Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions, UNESCO, Paris : 175-182

BISHAY B.G. & STOOPS G., 1975 - Micromorphology of irrigation crusts formed on a calcareous soil of the mechanised farms North-West Egypt. Pedologie, 1975 XXV, 2, 143p.

BLAIDSELL J.P., 1958 - Seasonal development and yield of native plants on the Upper Snake River Plaine and their relation to certain climatic factors. U.S. Dept. Agric. Techn. Bull. 1190, 68p.

BONVALLOT J. & HAMZA A., 1977 - Causes et modalités de l'érosion dans le bassin versant inférieur de l'Oued El Hadjel (Tunisie Centrale). *Erosion et transports solides dans les eaux continentales*. Actes du Colloque de Paris juillet 1977, AISH, Publ. n° 122

BONVALLOT J. & BEN AMAR M., 1979 - Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du Sud) au cours des crues exceptionnelles de mars 1979. DRES ES 161, Tunis.

BOUKHRIS M., 1973 - Recherches écologiques et physiologiques sur les plantes gypsicoles de Tunisie. Thèse doct. état, USTL, Montpellier, 215p.

BOUKHRIS M. & LOSSAINT P., 1972 - Spécificité biogéochimique des plantes gypsicoles de Tunisie. *Oecol. Plant*. Vol. 7 : 45-68

BOUKHRIS M. & LOSSAINT P., 1975 - Aspects écologiques de la nutrition minérale des plantes gypsicoles de Tunisie. Rec. Eco. 1 : 329-348

BOULAINE J., 1961 - Observations sur les carapaces du piedmont saharien. *Travaux de l'Inst. Rech. Sah. Alger, XX*, 1-2 : 79-89

BOULAINE J., 1975 - Géographie du sol. *Presses universitaires de France Paris*, 200p.

BOULAINE J., 1978 - Projet de Taxonomie pédologique, tome 1, présentation générale. doc. travail, 20p.

BOULOS L., 1977 - A check-list of the Libyan flora I. Introduction and Adiantaceae-Orchidaceae. *Publ. Caire University Herbarium*, n° 7 et 8 : 115-141

BOULOS L., 1979 - A check-list of the Libyan flora. 2 - Salicaceae to Neuradaceae in Candollea, 34p. : 21-48. 3 - Compositae (by C. Jeffrey) in Candollea, 34p. : 307-332

BOULOS J., 1980 - A check-list of the Libyan flora. 3 - Compositae (by C. Jeffrey) (Corrigenda), in Candollea 35 (2) : 565-567

BOURAHLA A. & GUITTONEAU G., 1978 - Nouvelles possibilités de régénération des nappes alfatières en liaison avec la lutte contre la désertification. *Bull. Inst. Ecol. Applic.* (Orléans), 1 : 19-40

BOURGES J., 1974 - Aperçu sur l'hydrologie du Centre Sud Tunisien. Réseau d'observations et crues exceptionnelles. DRES Tunis, 76p.

BOURGES J. & BOUZAIANE S., 1974 - Les crues exceptionnelles du 12 décembre 1973 sur le bassin versant de l'Oued Zita. ORSTOM - DRES Tunis, 36p.

BOURGES J., FLORET C. & PONTANIER R., 1973 - Etude d'une toposéquence type sud tunisien. Djebel DISSA. Les sols, bilan hydrique, érosion, végétation, (résultats de la saison 1972-1973) TUNIS, *Dir. Ress. Eaux et Sol, Division des sols*, ES n° 89, 43p.

BOURGES J., FLORET C. & PONTANIER R., 1975 - Etude d'une toposéquence type du sud tunisien. Djebel DISSA. Les sols, ruissellement, bilan hydrique, érosion, végétation (résultats de la saison 1973-1974). *Dir. Ress. Eaux et Sol de Tunisie, Division des sols*, ES n° 93, 56p. Annexes

BOURGES J., FLORET C. & PONTANIER R., 1977 - Etude d'un milieu représentatif du Sud Tunisien : "Citerne Telmam". *Dir. des Ress. en Eau et en Sol, Tunis* : 147p.

BOURGES J. & PONTANIER R., 1977 - Compte rendu sommaire des mesures effectuées dans le cadre de l'ATP n° 651/2337 (mai à août 1977). ORSTOM, Tunis.

BOURGES J., FLORET C., GIRARD G. & PONTANIER R., 1980 - Etude d'un milieu représentatif du Sud Tunisien (type Segui) Citerne Telmam. *Travaux et documents de l'ORSTOM* (en cours de publication) Paris

BOYKO H., 1955 - Climatic, ecoclimatic and hydrological influence on vegetation in plant ecology, Proceedings of Montpellier symposium UNESCO - PARIS - Arid Zone Research 5 : 41-48

BROWN D., 1954 - Methods of surveying and measuring vegetation. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Hurley Berks Bull. n° 42, 223p.

BUCKMAN H.O. & BRADY N.C., 1968 - The nature and properties of soils (6th edition) The Macmillan Cie, New-York, 567p.

BUDYKO M.I., 1958 - The heat balance of the Earth's Surface tr Nina A Stepanova, US Depart. of Commerce, Washington, 259p.

BUDYKO M.I.,1974 - Climate and life Acad.Press, NY, 608p.

BUFFINGTON L.C. & HERBEL C.H., 1965 - Vegetational changes on a semi-desert grassland range from 1858 to 1963. *Ecol. Monogr.* 35 : 135-164

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., 1959 - Note sur les cartes de vocation des sols. DRES Tunis ES 14

BUREAU P. & 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

BURGMEISTER R., 1975 - L'élevage du chameau en Afrique du nord. *Publ. Okk. Allemand de Cooperation Technique.* (GTZ), Eschborn, 86 p.

BUSSON G., 1975 - Le Mésozoïque saharien. 1ère partie l'extrême Sud Tunisien. Editions du CNRS, Paris, 194p., 1 carte et 3 planches h.t. en couleurs.

BUSSON G. & PERTHUISSOT J.P., 1977 - Intérêt de la Sebkha el Melah (Sud Tunisien) pour l'interprétation des séries évaporitiques anciennes. Sedimentary geology, 19 : 139-164.

CABRERA A.L., 1955 - Latin America (review of research) Plant Ecology Unesco, Arid Zone Research, 6 : 77-110

CALDWELL M.M., 1972 - Adaptability and productivity of species prossessing C_3 and C_4 photosynthesis in a cool desert environment. Eco-physiological foundation of ecosystems productivity in arid zone. Ed. Nauka, Leningrad.

CALDWELL M.M., WHITE R.S., MOORE R.T. & CAMP L.B., 1977 - Carbone balance, productivity, and water use of cold-winter desert shrub communities dominated by C_3 and C_4 species. Oecologia 29 : 275-300

CALLOT G., CHAMAYOU H. & DELMAS B., 1980 - Mise en évidence expérimentale des phénomènes de dissolution et de reprécipitation simultanées de la calcite. Conséquences pédogénétiques. Bulletin de l'A.F.E.S. ; 1 : 5-16.

CAMPBELL G.S. & HARRIS G.A., 1977 - Water relations and water use patterns for Artemisia tridentata Nutt. in wet and dry years. Ecology, 58 : 652-659

CAPOT-REY R., 1952 - Les limites du Sahara français. Trav. Inst. Rech. Sahariennes, 8 : 23-48

CARLES J., 1948 - Le spectre biologique réel. Bull. Soc. Bot. Fr., 95 340p.

CASTANY G., 1952 - Paléogéographie, tectonique et orogénèse de la Tunisie. XIX Congrès géeologique international, Tunis 1952

CASTANY G.
Tunis, 1 carte couleur h.t. (1/500.000), 1 notice

CHATTAOUI T., 1979 - Etude agropédologique du Henné dans la région de Gabès. Sol de Tunisie n° 7 Tunis.

CHARNEY J.G., 1975 - Dynamics of deserts and drought in the Sahel. Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society. Vol. 101 ; n° 428 , 193-202

CHEVERRY C., 1974 - Contribution à l'étude pédologique des polders du Lac Tchad . Thèse Université Louis Pasteur, Strasbourg. ORSTOM, 275p.

CHEW M.C. & CHEW A.E., 1965 - The primary productivity of a desert shrub (Larrea tridentata) community. Ecological Monographs, 35, 4 : 355-375

CLAUDE J. & PONTANIER R., 1971 - Quelques données sur les crues, les modifications morphologiques et l'évolution des eaux et des alluvions du bassin Leben-Ouadrane après les pluies de l'automne 1969. DRES Tunis, 38p.

CLAUDE J., FRITSCH J.M. & PONTANIER R., 1971 - Présentation des résultats des premières mesures sur la citerne de ruissellement n° 1. Piste Trapsa. DRES Tunis, 29p.

CLEMENTS F.E., 1916 - Plant succession. Carnegie Institution Washington Pub. 242, 512p.

CLEMENTS F.E., 1936 - The origin of the desert climax and climate.in Goodspeed ed. University of California Press. Berkeley, Essays in geobotany in honour of William A. Setchell : 87-140

COHEN D., 1970 - The expected efficiency of water utilization in plants under different competition and selection regimes. Israel Journal of Botany, 19 : 50-54

COINTEPAS J.P., 1968 - Résultats d'une étude de l'évolution de la salure du sol dans le Sud Tunisien - Aïn Zerig. ES 67 DRES, Tunis, 12 p.

COINTEPAS J.P., EL FEKIH M. & POUGET M., 1966 - Légende des cartes d'Oasis du Sud Tunisien. ES 59, Division des sols, DRES, Tunis.

COLLINET J. & VALENTIN C., 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle (nouvelles perspectives. Application agronomique) Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol. XVII n° 4, 283-328

COLOMBANI J., 1978 - Utilisation de la sonde à neutrons pour la caractérisation d'un profil de sol du Sud Tunisien, simultanément à l'emploi de mesures tensiométriques et de traçages isotopiques et salins. Service Hydrologie de l'ORSTOM, Paris, Ronéo, 18p.

COQUE R., 1962 - La Tunise présaharienne (étude géomorphologique). *Thèse Fac. Let. Paris, Armand Colin,* 488p.

COQUE R. & JAUZEIN A., 1965 - Le Quaternaire moyen en l'Afrique du Nord *Bull. Ass. Fr. Et. Quat., Paris,* 3 : 117-132

CORNET A., 1981 - Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse Doct. ing. Université Sciences et Techniques du Languedoc, 354p.

COWLES H.C., 1899 - The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of lake Michigan. Botan. Gaz. 27 : 95-117, 167-202, 281-308, 361-391.

C.P.C.S., 1967 - Commission de Pédologie et de Cartographie des sols. *Lab. de Géologie-Pédologie de l'E.N.S.A. Paris-Grignon,* 87p.

CRUETTE J., 1967 - Dossier pluviométrique.Kebili 17/24, DRES,BIRH,Tunis

CURRIE P.O. & PETERSON G., 1966 - Using growing-season precipitation to predict Crested Weatgrass yields. Journ. of Range Management, 18, 5 : 284-288

DAGET Ph., 1977 (a) - Le Bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modèles de caractérisation. Vegetatio, Vol. 34, 1 = 1-20.

DAGET Ph., 1977 (b) - Le Bioclimat méditerranéen : analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. Vegetatio, Vol. 34, 2 : 87-103

DAGET Ph. & POISSONET J., 1971 - Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. Ann. Agron., 22, 1 : 5-41

DAN J., 1973 - Arid-Zone soils. In Arid Zone Irrigation, Yaron, Denfors Vaadia eds. Springer-Verlag : 11-28

DAUBENMIRE R.F., 1968 - Plant communities : a textbook of plant synecology. Harper et Row, New York, 300p.

DEBUSSCHE M., GODRON M., LEPART J. & ROMANE F., 1977 - An account of the use of transition matrix. *Agro-Ecosystems,* 3 : 81-92

DELPECH R., 1960 - Critères de jugement de la valeur agronomique des prairies. Fourrages, 4 : 83-98

DE MARTONNE E., 1926 - L'indice d'aridité. Bull Ass. Geog. Fran. n° 8

DESPOIS J., 1955 - La Tunisie Orientale - Sahel et Basse Steppe. PUF, Paris, 554p.

DESPOIS J., 1961 - Development of land use in Northern Africa : History of land use in arid regions. Arid Zone Res. : 219-237, UNESCO, Paris

DE VILLELE O., 1965 - Cinq années d'expérimentation sur les besoins en eau des cultures. Inst. Nat. Rech. Agr. Tunis Doc. Tech. nº 11

DE VRIES D.M., T'HART M.L. & KRUIJNE A., 1942 - Eeeen waardering von grasland op grond von de plantkundige samenstelling. Landbouvk. Tijdschr., Wageningen, 54 : 245-265

DI CASTRI F. & MOONEY H., 1973 - Mediterranean type ecosystems. Springer Berlin, 406p.

DIVISION DES SOLS TUNISIE, 1961 - Légende des cartes de vocation des sols. DRES Tunis ES 20

DJEBAILI S., 1978 - Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'atlas saharien algérien. Thèse de doct. d'état, U.S.T.L. Montpellier 229 p. et annexes.

DRESCH J., 1953 - Systèmes d'érosion en Afrique du Nord. Rev. de Géographie, Lyon, 28 : 253-261

DREW M.C., 1979 - Root development and activities. In : Arid land ecosystems : structure, functionning and management. Eds Goodall D.W., Perry R.A., Cambridge University Press : 573-606

DUBIEF J., 1953 - Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Dir. Serv. de la colonisation et de l'hydraulique ALGER, 457p.

DUBIEF J., 1953 - Les vents de sable du Sahara français. C.N.R.S.PARIS Colloque internation, 35 : 45-70

DUBIEF J., 1959 - Le climat du Sahara Vol. 1. Mémoires h.s. Inst. Rech. Sahariennes, 312p.

DUCHAUFOUR P.H., 1970 - Précis de pédologie. *Masson et Cie, Paris,* 418p.

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,* 477p.

DUPUIS M., 1975 - La répartition granulométrique des carbonates dans les sols. Sci. du sol. AFES,(4) : 249-270

DUTIL P., 1962 - Carte des matériaux superficiels du Sahara ($1/2.10^6$) Commission for technical cooperation in Africa LAGOS - NIGERIA

DUTIL P., 1971 - Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. *Thèse Doct. Etat, Strasbourg,* 346p.

DUTIL P., 1975 - Cultures sous conditions arides et sub-arides sans irrigation et avec irrigation par eaux salines. Symposium Israël-France Recherches écologiques relatives au développement des zones arides (deserts méditerranéens) à précipitations hivernales. 11-14-03 1974 Bet Dagan, Israël : 111-116

DUVIGNEAUD P. 1974 - La synthèse écologique. DOIN ed. 296p.

DYKSTERHUIS E.J., 1958 - Ecological principes in range evaluation. *Botan. Rev.* : 253-272

EIG A., 1931 - Les éléments et les groupes phytogéographiques auxiliaires dans la flore palestinienne I., Berlin, 201p.

EL AMMAMI S., BEN SALAH A. & PONTANIER R., 1975 - Rénovation d'une palmeraie littorale ancienne (Parcelle d'essais de Bouchemma - Gabès). Résultats de 1967 à 1970. Sols de Tunisie n° 7 : 79-126 DRES-TUNIS

EL AOUNI M.H. & SARSON M., 1976 - Production primaire et valeur pastorale de certains types de maquis des Mogods. Inst. Nat. Rech. Forest. Tunisie, 12, 11p.

EL AYOUTY E.Y., 1978 - Soil Algae. Progress report n° 4 SAMDENE. University of Alexandria Egypt. Vol. III 2.2 : 2-19

EL HAMROUNI A. & SARSON M., 1974 - Valeur alimentaire de certaines plantes spontanées ou introduites en Tunisie. Note Rech. n° 2, Inst. Nat. Rech. Forest. Tunis, 17p.

ELLENBERG H. & MUELLER-DOMBOIS D., 1967 - A key to Raunkier's plant life form with revised subdivision. Ber. Geobot. Institut ETH Stiftg. Rübel, Zürich, 37 : 57-73

EMBERGER L., 1938 - La définition phytogéographique du climat désertique. Mém. Soc. Biogeogr., 6 : 9-14

EMBERGER L., 1939 - Aperçu général sur la végétation du Maroc. Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zurich, 14 : 40-157

EMBERGER L., 1941 - Les limites de l'aire de la végétation méditerranéenne en France. Bull. Sc. Nat. Toulouse, 78, 3 : 158-180

EMBERGER L., 1952 - Sur le quotient pluviothermique. CR Acad. Sc. Fran., 234 : 2508-2510

EMBERGER L., 1971- Travaux de botanique et d'écologie. *Masson et Cie, Paris,* 520p.

EPSTEIN E. & GRANT W.J., 1967 - Soil losses and crust formation as related to some soil physical properties. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 3 : 547-549

ESCADAFAL R., 1979 - Contribution à l'étude des ressources en sols de la plaine des Ababsas (Médenine). Mémoire de Stage, ORSTOM DRES Tunis, n° 542, 69p.

ESCADAFAL R., 1981 - Etude de la surface du sol dans les régions arides (Sud tunisien). Recherches méthodologiques. ORSTOM, DRES Tunis ES 187, 64p.

ETTERSHANK G., ETTERSHANK J., BRYANT M. & WHITFORD W.G., 1978 - Effects of nitrogen fertilization on primary production in a Chihuahuan desert ecosystem. Journal of Arid Environment, 1 : 135-139

EVANS F.C., 1956 - Ecosystem as the basic unit in ecology. *Science*, 123 : 1127-1128

EVANS D.D. & BUOL W., 1968 - Micromorphological study of soil crusts. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 32 : 19-22

EVENARI M., 1981 - Synthesis. Ecosystems, Vol. 2. Ed. D.W. Goodall and R.A. Perry, IBP 17, Cambridge University Press : 555-591

EVENARI M. & GUTTERMAN Y., 1976 - Observations on the secondary succession of the plant communities in the Negev desert, Israel. I. Artemisietum herbae albae. Etudes de biologie végétale, ed. R. Jacques : 57-86, Paris (CNRS)

EVENARI M., SCHANAN L. & TADMOR N., 1971 - The Negev : The Challenge of a Desert. Cambridge, Mass Harvard Univ. Press, 345p.

EVENARI M., BAMBERG E.R., SCHULZE E.D., KAPPEN L., LANGE O.L. & BUSCHBOM V., 1975 (a) - The biomass production of some higher plants in Near-Eastern ans American deserts. In : Photosynthesis ans productivity in different environments. ed. J.P. Cooper, Cambridge University Press : 121-127

EVENARI M., SCHULZE E.D., KAPPEN L., BUSCHBOM V. & LANGE O.L., 1975 (b) - Adaptative mechanisms in desert plants. In : Physiological Adaptation to the Environments, ed. F.J. Vernberg : 111-129 New York : Instext Educ. Publishers

EVENARI M., SCHULZE E.D., LANGE O.L. & BUSCHBOM V., 1976 - Plant production in arid and semi-arid areas. In : Water and plant life. Ecological studies 19. ed. O. Lange, L. Kappen et E.D. Schulze. Springer Verlag, Berlin 1 : 57-86

EVENARI M., SCHULZE E.D. & LANGE O.L., 1972 - Eco-physiological investigation in the Negev desert. III The diurnal course of carbon dioxide exchange and transpiration and its balance in regard to primary production. Eco-physiological foundation of ecosystems productivity in arid zone, ed. Nauka, Leningrad

F.A.O. 1976 - A Framework for Land evaluation, Soil Bulletin F.A.O., Rome.

F.A.O. 1978 - Report on the agro-ecological zones project Vol. 1. Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report 48/1. F.A.O., Rome.

F.A.O. 1979 - Report on the agro-ecological zones project Vol. 2. Results for South West Asia. World Soil Resources Report 48/2. F.A.O, Rome.

F.A.O. P.N.U.D., 1979 - Recherche et développement des parcours du centre Sud Tunisien. Synthèse de travaux réalisés au cours du projet et recommandations. Rapport technique AG : DP/TUN/69/001, 195 p. + cartes.

FAUCK R., 1972 - Les sols rouges sur sable et grès d'Afrique Occidentale. Mémoire O.R.S.T.O.M., Paris, 257 p.

FERSI M., 1978 - Dossiers pluviométriques de Gabès, Matmata, Médenine, D.R.E.S. Tunis et Gabès. 4 vol. ronéo.

FISCHER R.A., and TURNER N.C., 1978 - Plant productivity in the arid and semi arid zones Ann. Rev. Plant. Physiol., 1978, 29 : 277-317.

FLORET C., 1967 - Conception et réalisation cartographique à moyenne échelle du thème phytoécologique en Tunisie Septentrionale. Bull. Com. Fr. de Cartogr., 32 : 202-204, 1 Extrait de carte (couleurs).

FLORET C., 1968 - La carte phytoécologique à 1'échelle de 1/200 000 de la Tunisie septentrionale. Son utilisation pour le développement du territoire. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie. Vol. 41(1): 41-48.

FLORET C., 1971 - Recherches phytoécologiques entreprises par le C.N.R.S. sur le biome "Zone Aride" en Tunisie. Montpellier, Document Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques, Montpellier n° 57, 26 p.

FLORET C., 1974 - Carte phytoécologique et des ressources pastorales d'Hadj Gacem. Inst. Nat. Rech. Agron., Tunisie/FAO, projet TUN/69/001, Notice : 13 p. ronéo., 1 carte au 1/50 000, 3 cartes au 1/12 500.

FLORET C., 1981 - The effects of protection on steppic vegetation of the mediterranean arid zone of Southern Tunisia. Symposium "Dynamique de la végétation dans les formations méditerranéennes ligneuses", Montpellier, 15-20 sept. 1980, Vegetatio (sous presse).

FLORET C., et DAGET Ph., avec la collaboration de MM. CHABERT et BUISSON 1971 - Phytoécologie et types de milieux en Tunisie septentionale. Cartographie et mise en valeur. Séminaire sur les problèmes méditerranéens. GEMBLOUX, Sept. 1971, 15 p.

FLORET C. et HADJEJ M.S., 1977 - An Attempt to Combat Desertification in Tunisia. Ambio, Stockholm, Vol. 6 (6) : 366-368 (versions française et arabe).

FLORET C., et LE FLOC'H E. 1972 - Désertisation, dégradation, et régénération de la végétation pastorale dans la Tunisie présaharienne. Symposium sur la désertisation Gabès déc. 1972, Tunis, FAO, projet TUN/69/001, 11 p. ronéo.

FLORET C., et LE FLOC'H E., avec la collaboration de MM. ROMANE F., LEPART J. et DAVID P., 1973 - Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie présaharienne. Conséquences pour la planification de l'aménagement régional de la zone-test d'Oglat Merteba, Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie et Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Montpellier n° 71 : 45 p.; 6 cartes noir, 4 cartes couleur.

FLORET C. 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, Paris 26 : 51-59.

FLORET C. et LE FLOC'H E., 1980 - Contribution des espèces ligneuses à la valeur pastorale des steppes du Sud tunisien. Colloque international sur les fourrages ligneux en Afrique. International Livestock. Centre for Africa, Addis Abeba, 8-12 avril 1980.

FLORET C. et LONG G., 1968 - "Ecologie - Agronomie - Economie" au niveau national et régional ; un cas concret la Tunisie. In "Symposium Intern sur les problèmes théoriques de la recherche biologique régionale". Bratislava.

FLORET C., LE FLOC'H E. et PONTANIER R., 1977 - Carte de la sensibilité à la désertisation en Tunisie Centrale et Méridionale (Processus de dégradation en cours des sols et de la végétation). Sols de Tunisie, 8 , : 1-68 ; 1 carte h.t. couleur, échelle 1/1 000 000.

FLORET C., LE FLOC'H E. et PONTANIER R., 1980 - Principes de cartographie de la désertisation en Tunisie. Actes du Colloque de la cartographie à petite échelle, Grenoble sept. 1980

FLORET C., LE FLOC'H E. et PONTANIER R., 1980 - Une méthode d'étude de la désertisation. Application au cas de la Tunisie. Proceedings of the International Congress on Arid and Semi-arid Studies, La Serena, Chili, January 14-19. 1980.

FLORET C., LE FLOC'H E., PONTANIER R. et ROMANE F., 1974 - Propositions pour l'élaboration de modèles en vue de la planification et de l'aménagement des parcours en zones arides, steppiques et désertiques de la région présaharienne. Séminaire sur les processus d'élaboration des données brutes sur les herbages et les terrains de parcours. Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques, Montpellier, 10 p. ronéo.

FLORET C., LE FLOC'H E., PONTANIER R., et ROMANE F. 1975 - Elaboration d'un modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement des parcours des régions arides : (Elaboration of regional ecological model for the planning and the range management of arid zones). Réunion régionale sur les pâturages des zones arides et semi-arides du Nord de l'Afrique. Sfax Tunisie 3-12 avril 1975, Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, 41 p. ronéo, English abstract 14 p.

FLORET C., LE FLOC'H E., PONTANIER R. et ROMANE F., 1977 - Contribution à l'étude de cas sur la désertification région d'Oglat-Merteba, Tunisie. Conférence des Nations Unies sur la désertification, Nairobi (1977). Extrait et adapté du document A/CONF. 74/12 : 3-93 et 130-143 (Français et Anglais).

FLORET C., LE FLOC'H E., PONTANIER R. et ROMANE F., 1978 - Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement agro-pastoral des régions arides. Application à la région de Zougrata. Inst. Rég. Arides, Médenine, Dir. Ress. Eau et Sol, Tunis, Doc. techn. n° 274 p., 1 carte h.t.

FLORET C., LE FLOC'H E., PONTANIER R. et ROMANE F., 1978 - Simulation of the impact of differents levels of human pressure on the grazing lands of southern Tunisia. Proceedings of the International Rangelands Congress, August 14-18, 1978, Denver, Colorado, 52-54.

FLORET C., LE FLOC'H E., PONTANIER R. et ROMANE F., 1981 - Dynamique de systèmes écologiques de la zone aride. Application à l'aménagement sur des bases écologiques d'une zone de la Tunisie présaharienne. Acta Oecologica/Oecol. Applic., 2 (3) : 195-214.

FLORET C. et PONTANIER R., 1978 - Etude des relations climat-sol-végétation de quelques formations végétales naturelles du Sud tunisien (production, bilan hydrique des sols). Inst. Rég. Arides, Médenine, Dir. Ress. Eau et Sol, Tunis, C.N.R.S./ Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques, Montpellier et O.R.S.T.O.M., Paris, 196 p.

FLORET C. et PONTANIER R., 1980 - Bases écologiques du développement agro-pastoral en zone aride. Rev. Hommes, Terre et Eaux, Institut Hassan II, Rabat (sous presse).

FLORET C., PONTANIER R. et RAMBAL S., 1981 - Primary production and water use for South tunisian steppe. Measurements and modelling approach. Journal of Arid Environments (sous presse).

FLORET C. et SCHWAAR D., 1966 - Cartographie phytoécologique à petite échelle et photo-interprétation en Tunisie du Nord. In Actes du 11ème Symposium Intern. de Photo-interprétation, Paris 1966, Edit., Technip. IV 12-17, IV 2-22.

FLORET C. et SCHWAAR D., 1968 - La carte d'utilisation du sol à l'échelle de 1/50 000 de la Tunisie Septentrionale. Ann. Inst. Nat. Agron. Tunisie. 41 (4) : 75-100.

FLORET C et SELMI T., 1973 - Carte phytoécologique de Guelb Mizna (Région de Douiret) 1/50 000. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie/ FAO, Projet TUN/69/001 et projet parcours Sud et projet TF-FAO/SIDA/TUNS. Notices 20 p. ronéo., 1 carte.

FLORET C. et TELAHIGUE T., 1975 - Evaluation des ressources pastorales. Carte phytoécologique et des ressources pastorales. Domaine du Chahal (pour partie) 1/50 000, Inst. Nat. Rech. Agron., Tunisie/FAO Projet TUN/69/001, Notice, 15 p. ronéo, 1 carte.

FOURNET A., 1962 - Etude pédologique de Ksar Rheriss. DRES Tunis n° 215

FOURNET A., 1968 - Reconnaissance pédologique du Massif des Matmatas DRES .Tunis n° 336.

FOURNIER F., 1969 - L'érosion hydrique et le climat. Bull. Tech. Inf., 237 : 111-115.

FOURNIER F., 1979 - Les aspects de la conservations des sols dans les différentes régions climatiques et pédologiques de l'Europe. Conseil de l'Europe Colloque Sauvegarde de la Nature, 206 p.

FROMENT D., VAN SWINDEREN H., SCHWAAR, D., 1964 - Carte physionomique des groupements végétaux : Zones focales de Sbeitla, Djilma, Hadjeb el Aioun. Projet de planification rurale intégrée de la Tunisie centrale. F.A.O. 1 carte, 1 notice.

FUCHS M., 1973 - Climate and irrigation, in Arid Zone irrigation, Yaron, Danfors Vaadia eds, Springer-Verlag : 3-9.

GADDAS N., 1978 - Etudes des relations végétation-milieu et effet biologique de la mise en défens notamment sur l'alfa dans le bassin versant de l'Oued Gabès, Tunisie. Thèse doc. spéc, U.S.T.L., Montpellier, 139 p.

GARDIA-MOYA A. and MCKELL C.M., 1970 - Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. Ecology, 51 : 81-88.

GARRISON G.A., 1971 - Carbohydrate reserves and response to use Wildland shrubs. Their biology and utilisation. Intern. Symposium Utah State University., Logan Utah : 271-278.

GAUSSEN H. et VERNET A., 1954 - Carte des précipitations en Tunisie au 1/500 000, 2 coupures, Inst. Nat. Rech. Agr. Tunis.

GILBON D., 1989 - Rainfed farming systems in the mediterranean region. Plant and Soil 58,: 59-80.

GIFFORD G.F., FAUST R.H., COLTHARP G.B., 1977 - Measuring soil compaction on rangeland. Journal of Range Management 30 (6) Nov. 1977 : 457-460.

GODRON M., 1968 - Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. Oecol. Plant., 3 : 185-212.

GODRON M., 1973 - Quelques réflexions sur les modèles applicables à l'aménagement du territoire, in Analyse socio-économique de l'environnement,St-Nizier, Grenoble, 12-15 déc. 1972, 75-85.

GODRON M., 1979 - Eléments d'écologie des végétaux terrestres. Univers. Montpellier, II, 66 p.

GODRON M., DAGET Ph., EMBERGER L., LE FLOC'H E., LONG G., POISSONET J., SAUVAGE Ch., WACQUANT J.P., 1968 - Code pour le relevé méthodologique de la végétation et du milieu. Principes et transcription sur cartes perforées, 292 p.,46 tabl.42 fig.CNRS,Paris

GODRON M., GUILLERM J.L., POISSONET J., POISSONET P., THIAULT M., et TRABAUD L., 1980 - Dynamics and management of vegetation. Chap. 19 in Mediterranean-type Schrublands, 2 volumes of Ecosystems of he World.Elsevier : 317-344.

GODRON M. et LEPART J., 1975 - Sur la représentation de la dynamique de la végétation au moyen de matrices de succession. In : R. TUXEN (Editor). Sukzessionsforschung. Ber. Symp. Int. Ver. Vegetationskunde, Rinteln, 1973, 269-287, Cramer. Vaduz.

GODRON M., POISSONET J., 1972 - Quatre thèmes complémentaires pour la cartographie de la végétation et du milieu (Séquence de végétation, diversité du paysage, vitesse de cicatrisation, sensibilité de la végétation) Bull. Soc. Languedocienne de Géographie., 6 (3) : 329-356.

GOMMAA A.M., FATHI A.M. and EL ZAHABY E.M., 1978 - Morphological, chemical and hydrophysical soil characteristics.Progress rep. n° 4 SAMDENE,University of Alexandria vol. III : 5-1 : 5-52.

GOODALL D.W., 1952 - Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Aust. J. Sc. Res., Ser. B 5 : 1-14.

GOODALL D.W., 1973 - Modelling US/IBP Desert Biome, Res. Memo 73-52. Utah State Univer. Logan, 700 p.

GOODALL D.W., 1981 - Modelling of arid ecosystems dynamics. in Arid Land Ecosystems, ed. D.W. GOODALL et R.A. PERRY, 2 : 385-409.

GOUNOT M., 1959 - Contribution à l'étude des groupements végétaux messicoles et ruderaux de la Tunisie. Ann. Serv. Bot. Agr. Tunisie t. 31, 282 p.

GREIG-SMITH P., 1964 -Quantitative plant ecology. Butterworths, Sc. Publi. London, 256 p.

GRISEBACH A., 1877-78 - La végétation du globe. 2 vol. Paris (trad. Tchihatchef). I, 765 p., 1877 ; II, 905 p. 1878. Baillere Paris.

GRISHINA L.A. and EROS HICHEVA N.L., 1972 - Organic matter and Nitrogen in Sandy desert soils under certain plant micro-associations. Ecophysiological foundation of ecosystems productivity in Arid Zone.Intern. Symp. USSR - June 7-19 1972 : 216-218.

GUINOCHET M., 1951 - Contribution à l'étude phytosociologique du Sud-Tunisien. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger 42 : 131-153.

GUTMAN M., 1978 - Primary production of transitional Mediterranean steppe. Proceedings of the first internation.rangeland congress Denver. 225-228.

HADJEJ M.S., 1975a - Possibilités de développement de l'élevage dans le Centre-Sud tunisien. Réunion régionale pour la formulation de programmes coopératifs de recherches, de formation et d'aménagement sur les pâturages des zones arides du nord de l'Afrique (Sfax). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, 12 p., mimeo.

HADJEJ M.S., 1975b - Les aspects zootechniques de l'élevage en milieu pastoral dans le Centre-sud tunisien. Réunion régionale pour la formulation de programmes coopératifs de recherches, de formation et d'aménagement sur les pâturages des zones arides du nord de l'Afrique (Sfax). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, 5 p. miméo.

HADJEJ M.S., 1976 - Les systèmes de production agricole dans les zones arides. Tozeur. Séminaire sur la recherche scientifique et le développement des zones arides de Tunisie (Tozeur). 19 p., mimeo.

HADJEJ M.S., HADJI A., BOUHAWACH T., 1981 - L'intégration des économies de marché et de subsistance et ses conséquences écologiques dans les terres à pâturages et les terres marginales des zones arides de Tunisie. Conférence exposition UNESCO (MAB) - CIUS : "L'écologie en action", UNESCO, Paris, 22 p.

HALLAIRE M., 1964 - Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement. L'eau et la production végétale : 27-62 INRA, Paris.

HARE K.F., 1961 - Les causes de l'existence d'une zone aride ; Histoire de l'utilisation des terres des régions arides, UNESCO Paris Rech. Zone Aride XVII : 27-33.

HEATWOLE J. et MUIR R., 1979 - Thermal microclimates in the pre-Saharan steppe of Tunisia. Journ. of Arid. Env., 2 : 119-136.

HENCHI B., 1980 - Caractéristiques écophysiologiques de *Plantago albicans*, ssp. *albicans* L. : Modification du métabolisme azoté par les contraintes hydriques et édaphiques. Thèse spécialité (écologie végétale). Fac. Sc. Tunis, 128 p.

HENNING D. and FLOHN H., 1977 - Climate aridity index map, United nations conference on desertification. Nairobi 29 August. 9 Sept. 1977 Doc. A/Conf. 74/31 FAO et UNESCO, Paris-Rome.

HENIN S., 1969 - Le Profil cultural, Masson et Cie édit. Paris, 332 p.

HENIN S., 1976 - Cours de Physique du sol. 2 tomes, ORSTOM, EDITEST.

HILLEL D., 1960 - Crust formation in loessial Soils. 7 th intern. congress of soil science, Madison, Wisc., U.S.A. : 330-339.

HILLEL D., 1974 - L'eau et le sol, principes et processus physiques. Vender, 288 p.

HILLEL D. and GARDNER W.R., 1970 - Transient infiltration into Crust-topped profiles. Soil. Sci. 109, 2 : 69-76.

HOLLING C.S., 1973 - Resilience and stability of ecological systems. Ann. Rev. Ecol. et Syst. 4 : 1-23.

HORN H.S., 1975 - Markovian properties of forest succession. In : Ecology and evolution of communities, M. Cody et J. Diamond (E.D.S.) 196-211. Havard University Press. Cambridge.

HSIAO T.C., ACEVEDO E., 1974 - Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. Agricultural Meteorology, 14 : 59-84.

IBRAHIM M. 1979 - Recherche sur la dynamique et le bilan de l'eau d'un écosystème à Pin pignon (*Pinus pinea* L.) sur sable dunaire. Thèse docteur d'Etat, USTL, Montpellier.

IMAM M., 1979 - Seed germination and seedling emergence in systems analysis of Mediterranean desert ecosystems of northern Egypt. Samdene, M. AYYAD Principal Investigator, Progress Report n° 5, 8 p. miméo.

INNIS G.S. (ed.). 1978 - Grassland simulation model. Ecological studies 26. Springer-Verlag, 298 p.

INNIS G.D., NOY-MEIR I., GODRON M., VAN DYNE G.M., 1978 - Total system simulation models. in Grasslands, systems analysis and man. ed. A.J. BREYMEYER et C.M. VAN DYNE. IBP 19, Cambridge University Press.

IONESCO T., 1965 - Considérations bioclimatiques et phytoécologiques sur les zones arides du Maroc. Les cahiers de la recherche agronomiques. 19 : 1-69, Rabat.

IONESCO T., 1975 - Les améliorations pastorales. Méthodologie et réalisations dans le Centre-Sud de la Tunisie. Réunion régionale pour la formulation de programmes coopératifs de recherches de formation et d'aménagement sur les pâturages des zones arides du nord de l'Afrique (Sfax). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, 46 p., miméo.

IONESCO T., LE HOUEROU H.A., 1973 - Appélabilité des espèces végétales de la Tunisie steppique. Doc. Projet FAO TUN 69/001 et Projet FAO TUN 71/525, 68 p. ronéo.

JAILLARD, B., 1980 - Fonctionnement hydrique d'un sol carbonaté (incidence sur la chlorose ferrique). Thèse d'Ingénieur docteur, USTL Montpellier; INRA-ENSA Montpellier, 131 p.

JACQUET J., 1960 - Répartition spatiale des précipitations à l'échelle fine et précision des mesures pluviométriques Ass. Intern. Hydrologie Scientifique, 53 : 317-342.

JAKSON R.D. and IDSO S.B., 1975 - Surface albedo and desertification. Science, 189 : 1012-1013.

JOFFRE L.M., 1978 - Note sur une méthode d'estimation de la phytomasse aérienne de l'espèce dominante en milieu steppique (Région de Bir Lahmar, Gouvernorat de Médenine). Institut des Régions Arides de Tunisie et D.G.R.S.T. France, Projet LAT Tunisie, Rapport de stage, 16 p. ronéo.

JORDANT C.F., 1971 - Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. J. Ecol., 59 : 127-142.

JOVET AST S. et BISCHLER H., 1975 - Biologie des hépatiques des déserts mediterranéens. Sympos. France et Israel. p. 167 et 179.

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.

JOHREN M., WENT F.W., PHILIPPS F., 1956 - Ecology of desert plant IV. Combined Field and Laboratory work on Germination of Annuals in the Josua Three National Monument, California. Ecology, 37, 2 : 318-330.

KASSAM A.H., 1981 - Climate, soil and land ressources in north Africa and west Asia. Plant and soil, 58 : 1-29.

KASSAS M., 1966 - Plant life in Deserts. In : Arid Lands. Geographical appraisal. E.S. Hills ed., Nethnen and Co Ltd, UNESCO : 145-180.

KERSHAW K.A., 1964 - Quantitative and dynamic ecology. Edward Arnold publishing Co Ltd, London, 183 p.

KILLIAN Ch. et LEMEE G., 1956 - Les xérophytes : leur économie d'eau In Handbuch der Pflanzenphysiologie. III Pflanzen und Wasser (ed. W. Stocker), Springer, Berlin : 787-82

KOPPEN W., 1936 - Der geographische system der klimate. in Handbuch der klimatologie. Koppen and Geiger, Band 1 Teil C. Borntraeger Berlin.

KOVDA V.A., ROZANOV B.G., ONISCHENKO S.K., 1977 - Experimental world, schema of aridity and drought probability. United nations conference on desertification Nairobi 29 Augsut- 9 September 1977. Doc. 1/CONF 74/31 FAO et UNESCO - Paris-Rome.

KOVDA V.A., SAMOILAVO E.M., CHARLEY J.L. and SKUJINS, J., 1979 - Soil processes in arid lands. I.B.P. 16 Arid Land Ecosystems vol 1 Cambridge University press p : 439-470.

KUCHLER A.W., 1947 - A geographical system of vegetation. Geographical review 37 (2) : 233-240.

LAGOUARDE J.P., 1979 - Mesure de la température de surface du sol en conditions naturelles et son application en micrométérologie. Thèse Univ. Sc. et Med. et Inst. Nat. Polytech. de Grenoble, 140 p.

LANDSBERG H.E., 1976 - The definition and determination of climatic changes fluctuations, an out looks, in R.J. Kope ed., Atmospheric quality and climatic change, Un. of North Carolina at Chapel Hill, Studies in Geography n° 9 : 52-64.

LARCHER W., 1975 - Physiological Plant Ecology. New York, Springer-Verlag, 252 p.

LARSM F. and WHITMAN W., 1942 - A comparison of used and unused grassland mesas in the bad-lands of South Dakota. Ecology, 23 : 438-445.

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 FLOC'H E., 1979 - Eléments pour une cartographie de l'occupation des terres en Tunisie Aride et Saharienne. I.R.A. Médenine CEPE/CNRS, Montpellier, 28 p.

LE FLOC'H E., 1979 - Carte phytoécologique. Feuille spéciale de Médenine. IRA Médenine, CEPE/CNRS, Montpellier, 33 p., 1 carte h.t.

LE FLOC'H E., 1981 - Contribution à l'étude ethnobotanique de la Tunisie (recensement des espèces végétales utilisées ou susceptibles de l'être). Publ.Scient. Tunisiennes. Program. Flore et Végétation Tunisiennes (sous presse).

LE FLOC'H E., FLORET C., 1972 - Désertisation, dégradation et régénération de la végétation pastorale dans la Tunisie présaharienne Symposium sur la désertisation. Gabès, décembre 1972. FAO Project TUN/69/001. 11 p., ronéo.

LE FLOC'H E., PONTANIER R., 1976 - Problèmes posés par l'interprétation thématique des images et des données numériques Landsat du Sud de la Tunisie. Expérience ARZOTU. CEPE/CNRS Montpellier 44 p.

LE HOUEROU H.N., 1968 - La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes. Colloque d'Hammamet. Ann. Alg. de Géographie. 3 (6) : 2-27.

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., 1959 - Ecologie, phytosociologie et productivité de l'olivier en Tunisie méridionale. Bull. du serv. carte phytogéo. Tome IV, fasc. I : 7-71 p.

LE HOUEROU H.N., 1960a - Carte des milieux édaphiques de la Tunisie, zones arides et désertiques. éch. 1/500 000ème. Arch. Inst. Bot. Montpellier et C.E.P.E./C.N.R.S. (diffusion restreinte).

LE HOUEROU H.N., 1960b - Contribution à l'étude des sols du Sud-Tunisien Ann. Agro., Paris, 11,3 : 241-309.

LE HOUEROU H.N., 1962 - Les pâturages naturels de la Tunisie aride et désertique. Paris : Inst. Sc. Econ. Appl. Tunis, 106 p.

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., 1970 - North Africa, Past, Present, Future. Arid Lands in transition, American Association for the Advancement of Science : 227-277.

LE HOUEROU H.N., 1972 - Africa - The mediterranean region. In : Wildland Shrubs - their Biology and Utilization (eds. Mckell, Blaisdo and Goodin). USDA Forest Service, Ogden, Utah : 26-36.

LE HOUEROU H.N., 1972 - An assessment of the primary and secondary production of the arid grazing lands ecosystems of North Africa in International symposium USSR on eco-physiological foundation of ecosystems productivity in arid zone, Leningrad, 168-172.

LE HOUEROU H.N., 1974 - Deterioriation of the ecological equilibrum in the arid zone of North Africa. F.A.O., WSE 8868, 11 p.

LE HOUEROU H.N., 1976 - Tunisie. In: Peut-on arrêter l'extension des deserts. Rédacteurs A. RAPP, H.N. LE HOUEROU. B. LUNDHOLM Ecological bulletin N. 24, Stockholm : 133-142.

LE HOUEROU H.N., 1977 - Biological recovery versus desertization. Economic geography, 53 (4) : 413-420.

LE HOUEROU H.N., 1980 - Fourrages ligneux en Afrique du Nord. Colloque international sur les fourrages ligneux en Afrique, Centre International pour l'Elevage en Afrique, 8-12 avril 1980, Addis Abeba, (en cours d'impression).

LE HOUEROU H.N., 1981 - Long term dynamics in arid-land vegetation and ecosystems of North Africa. IBP Synthesis, Cambridge Univ. Press. Goodall, Evenari and Noy-Meir eds : 357-384.

LE HOUEROU H.N., 1981 - The Desert and Arid Zones of Northern Africa in Ecosystems of the World. Hot deserts and Arid Shrublands chap. 4-5 D. Goodall and M. Evenari, eds. Elsevier publ. comp. (in press).

LE HOUEROU H.N., CLAUDIN J. et POUGET M., 1979 - Etude bioclimatique des steppes algériennes (avec une carte bioclimatique à 1/1 000 000) Bull. soc. hist. nat. Afr. du Nord.Tome 68 Fasc. 3 et 4 : 33-74. Alger.

LE HOUEROU H.N., HAYWOOD, M. et CLAUDIN J., 1973 - La végétation du Hodna (Algérie) ; 150 p. 2 cartes coul. 1/200.000 FAO (Rome)

LE HOUEROU H.N. et HOSTE C.H., 1977 - Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean basin and in the African Sahelo - Sudanian Zone. Journal of Range management, 30 (3) : 181-189.

LEWIS J.K., 1959 - The ecosystem concept in range management. An. Soc. Range Management Abstr. 12 : 23-25.

LIETH H., 1973 - Primary Production : terrestrial ecosystems. Human ecology, 1, (4) : 303-332.

LIETH H., 1975 - Primary Production of the Major Vegetation Units of the World. in Primary Productivity of the Biosphère, eds. H. Lieth and R.H. Whittaker, Springer-Verlag, New-York : 203 -215.

LIETH H. and WHITTAKER R.H., 1975 - Primary productivity of the Biosphere. Ecological studies,14, 339 p.,Springer-Verlag.

LIGUE DES ETATS ARABES, 1980 - Organisation du développement agricole. Carte agroclimatique et pédologique des pays Arabes,1/6000 000.

LOISEAU P. et SEBILLOTTE M., 1972 - Etude et cartographie des paturages du Maroc Oriental, Tome 1, 2, 3 ronéo. MARA-ERES - SCET coopération Paris.

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., 1974 - Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Tome I : Principes généraux et méthodes. Masson et Cie, Paris, 256 p. et Tome II : Application du diagnostic phytoécologique, Masson et Cie. Paris. 222 p.

LONG G., 1978 - Essai sur les conditions de la détermination des potentialités biologiques des ressources naturelles de l'espace rural. Bulletin d'Ecologie,4 (9): 323-328.

LONG G., 1979 - Les bases écologiques du développement de l'espace rural méditerranéen. Zones rurales marginalisées. Le Courrier du C.N.R.S., 31 : 17-25.

LONG G., DELPECH R., DAGET Ph., 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., DEBUSSCHE G., LACAZE B., LE FLOC'H E., et PONTANIER R., 1978 - Contribution a l'analyse écologique des zones arides de Tunisie avec l'aide des données de la télédétection spatiale Expérience ARZOTU - Rapport final CEPE/CNRS - CNES - Montpellier, 222 p.

LONG G. et LE MOAL Y., 1978 - Bases écologiques et socio-économiques du développement alternatif des zones rurales marginalisées. Economie rurale, 124 : 23-29.

LOYER J.Y., 1971 - Etude pédologique de Guarn Halfaya. DRES Tunis n° 412.

Mc GINNIES W.G., 1979 - General description of desert areas in Arid Land ecosystems, vol 1 PBI 16, Goodall and Perry eds : 5-19.

Mc INTYRE D.S., 1958 - Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. Soil Sci., 85 : 261-266.

MACMAHON J.A., 1981 - Introduction (to ecosystem dynamics) Arid Lands. Ecosystems (vol. 2) Ed. D.W. Goodall and R.A. Perry, I.B.P. 17, Cambridge University Press : 263-269.

MAHBOUBI A.A., 1980 - Etude in situ du bilan hydrique pour quelques graminées (Extraction de l'eau par le système racinaire et résistance à la sècheresse). Thèse Doct. Ing., USTL, Montpellier, 205 p.

MANIL G., 1963 - Niveaux d'écosystème et hiérarchie de facteurs écologiques. Un exemple d'analyse dans les hêtraies ardennaises de Belgique. Bull. Sci. Acad. Roy. Belgique, 49, 6, (32): 603-623.

MARGALEF R., 1969 - Diversity and stability : a practical proposal and a model of interdependence : 25-37. In Diversity and stability in ecological systems. Brookhaven Symposia in Biology n° 22, 264 p. (Reprod. by Nat. Tech. Inform. Service, Springfield, Va. 22151.

MAXIMOV N.A., 1916 - Recherches sur la transpiration des plantes xérophytes comparée à celle des mésophytes. J. Soc. Bot. Russie, 1 : 56-75.

MAY R.M., 1975 - Stability in ecosystems : some comments. in Unifying concepts in ecology, Eds W.A Van Sabben and R.A. Lowe. McConnel, Cr., W. Junk Publishers The Hague : 161-167.

MEHER-HOMJI V. M., 1965 - Aridity and semi-aridity, a phyto-climatic consideration with references to India. Ann. of Arid Zone, Vol. 4 (2) 152-158.

MEIGS P., 1952- World distribution of arid and semi-arid homoclimates Rev. Res. on Arid Zone Hydr. Unesco, Paris 203-210.

MEIRI A. and SHLHEVET J., 1973 - Crop growth under saline conditions. in Arid Zone Irrigation. Yaron, Danfors Veadia eds Springer Verlag : 277-290.

METRO A., 1970 - The Magreb of Africa North of the Sahara in : Afforestation in Arid Zones RN Kaul ed. : 37-58. The Hague, W. Junk. (monographiae biologicae vol. 20)

MONOD Th., 1964 - Deserts. Publicat. UICN n° 4, part II, Ecosystems and biological productivity : 116-132.

MONOD Th., 1973 - Les déserts. Horizons de France, Paris, 247 p.

MORI G., 1968 - Etude pédologique du Bled S'Medeb (suite). DRES Tunis n° 364.

MORI G. et FOURNET A., 1964 - Etude pédologique de Sidi Medeb, zone Nord Mezzouna-Graiba. Sebkha en Noual et Mezzouna. DRES Tunis n° 331.

MORICE E., & CHARTIER F., 1954 - Méthode statistique, 1. Elaboration des statistiques, 187 pp., 2. Analyse statistique. Imprimerie Nationale Paris.

MOTT J.J., 1972 - Germination of annual species from an arid region of Western Australia. Journal of Ecology 60 : 293-304.

MYERS K., PARKER B.S., 1975 - A study of the biology of the wild rabbit in climatically different regions in eastern Australia. VI changes in numbers and distribution related to climate and land systems. Australian Wild . Res., 2 : 11-32.

NAEGELE A., 1959 - La végétation de la zone aride : Les parcelles protégées d'Atar. La Nature : 72-76.

NAHAL I., 1975 - Principes de conservation du sol. Masson éditeur Paris 143 p.

National Academy of Sciences, 1977 - Expansion des ressources en eau dans les zones arides. Techniques prometteuses et possibilités de recherches. Washington DC 156 p.

NATIONS-UNIES, 1977 a - Projet de plan d'action contre la désertification. Conférence UNCOD Nairobi Doc. A/Conf. 74/4, 29 août 9 sept. 1977.

NATIONS-UNIES, 1977 b - Population society and desertification. Conférence UNCOD Nairobi DocA/Conf. 74/8 ; 62 p.

NATIONS-UNIES, 1977 c - Etude de cas sur la désertification. Région d'Oglat Merteba. Conférence des Nations Unies sur la Désertification. Nairobi Doc. A/Conf., 74/12. 143 p., 1 carte couleur (anglais et français).

NATIONS-UNIES, 1977 d - Carte mondiale de la désertification à l'échelle 1/25 000 000. Conférence UNCOD Nairobi Doc A/Conf 74/2. 29 aout - 9 Sept. 1977.

NATIONS-UNIES, 1977 e - Conférence sur la désertification. Climate and desertification A/Conf. 74/5 Nairobi 29 août - 9 sept. 1977.

NEALES T.F., PATTERSON A.A. and HARTNEY V.J., 1968 - Physiol. adaptation to drought in the carbon assimilation and water loss of xerophytes. Nature, 219 : 469-472.

NEDJAROUI D., 1981 - Evolution des éléments biogènes et valeurs nutritives dans trois principaux facies (*Artemisia herba alba* Asso, *Lygeum spartum* L., *Stipa tenacissima* L.) de végétation dans les hautes plaines steppiques de la Wilaya de Saïda. Thèse de spécialité, écologie végétale, Faculté des Sciences, Alger Bab. Elzobiar, 165 p.

NISHIDA K., 1963 - Studies on stomatal movement of crassulacea plants in relation to the acid metabolism. Physiol. Plant. 16 : 281-298.

NOBLE I.R., 1977 - Long term biomass dynamics and arid chenopod schrub community at Koonamore South Australia. Aust. J. Bot. 25 : 639-653.

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.

NOVIKOFF G., 1976 - Measurement and prevention of desert encroachment. US/IBP Desert Biome, Progress report n° 5 of Tunisian Presaharian Project Logan Utah : 193-211.

NOVIKOFF G., WAGNER F.A., SKOURI M. and Hadjej M.S., 1973-1977 - System analysis of the presaharan ecosystem of Southern Tunisia. US/IBP Desert Biome. Utah State Univ., Logan. Progress report n° 1 à 6, (mimeo).

NOY-MEIR I., 1973 - Desert ecosystems : environment and producers. Ann. Rev. Ecol. and Syst. 4 : 25-51.

NOY-MEIR I., 1974 - Stability in arid ecosystems and the effects of man on it. - In : Cové A.J. (Ed.) Structure, Functioning and management of Ecosystems. Proc. of the First International Congress of Ecology : 220-225, Wageningen ; Pudoc

NOY-MEIR I., 1974 - Desert ecosystems : higher trophic levels. Annual Review of Ecology and Systematics, 5 : 195-211.

NOY-MEIR I., 1975 - Primary and secondary production in sedentary and nomadic grazing systems in the semi-arid region : analysis and modelling. Final Research Report submitted to the Ford Foundation (Project 7/E-3). Department of Botany, Hebrew University.

NOY-MEIR I., 1979/80 - Structure and function of desert ecosystems. Israel Journal of Botany, 28 : 1-19.

OBERLANDER T.M., 1979 - Characterization of arid climates according to combined water balance parameters. Journal of Arid Env. 2 : 219-241.

ODUM E.P., 1969 - The strategy of ecosystem development. Science, 164 : 262-270.

ODUM E.P., 1971 - Fundamentals of ecology. 3 rd ed. W.B. Saunders Co., Philadelphia, 574 p.

ORIANS G.H., 1974 - Diversity, stability and maturity in natural ecosystems Proceedings of the First International Congress of Ecology, The Hague, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen : 64-66.

ORSHAN G., 1964 - Seasonal dimorphism of desert and Mediterranean chamaephytes and their significance as a factor in their water economy : 206-222 in : The water Relations of Plants. Oxford Blackwell Sci. Publ.

ORSHAN G., DISKIN S., 1968 - Seasonal changes in productivity under desert conditions. Actes du colloque de Copenhague:fonctionnement des ecosystèmes terrestres au niveau de la production primaire, Unesco : 191-201.

ORSTOM 1972 - Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols. n° 1, ORSTOM - Bondy.

ORSTOM 1972 - Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de physique des sols. SSC ORSTOM - Bondy.

OTTERMAN J., 1974 - Borino high albedo soils by overgrazing : a hypothesized desertification mechanism, Science, 186 : 531-533.

OZENDA P., 1977 - Flore du Sahara. Deuxième édition revue et complétée CNRS. Paris, 622 p.

PEARSON L.C., 1965 - Primary production in grazed and ungrazed desert communities of eastern Idaho. Ecology, 46, 3 : 278-285.

PECHANEC J.F. and PICKFORD G.D., 1937 - A comparison of some methods used in determining percentage utilization of range grasses. J. of Agric. Res. Washington, 54, 10 : 753-765.

PENMAN H.L., 1948 - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Ray. Soc. London ser. A. vol. 193 : 120-145.

PHILIP J.R., 1966 - Plant water relations. Some physical aspects. Ann. Rev. Plant. Physiol. 17 : 245-268.

PLET JALOUX C., MONNIER G. et PEDRO G., 1971 - Etude expérimentale sur la genèse et la mise en place des encroûtements gypseux. CR. Acad. Sc. Paris, 272 : 3017-3020.

POLJAKOFF-MAYBER A. and GALE J., 1975 - Plants in Saline Environments. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New-York, 213 p.

PONS A., QUEZEL P., 1956 - Premiers résultats de l'analyse palynologique de quelques paléosols sahariens. C.R. Ac. Sc. CCXLIII : 1656-1658.

PONS A., QUEZEL P., 1957 - Première étude palynologique de quelques paléosols sahariens . Travaux I.R. 9 Alger, XVI : 15-40.

PONTANIER R., 1967 - Reconnaissance pédologique de la presqu'île Djorf. DRES Tunis n° 1076/E. 10 p. ronéo. 1 carte 1/25 000.

PONTANIER R., 1967 - Etude pédologique du périmètre de la Nouvelle Matmata. DRES Tunis n° 332; 26 p. roéno. 2 cartes couleur 1/25 000.

PONTANIER R., 1968 - Etude pédologique du périmètre du Nefzaoua. DRES Tunis n° 363; 85 p. ronéo. 2 cartes couleur 1/100 000.

PONTANIER R., 1968 - Etude pédologique des oasis d'Aïn Zerig. DRES Tunis n° 380; 23 p. ronéo. 2 cartes couleur 1/4 000. Annexes.

PONTANIER R., 1968 - Etude pédologique des oasis de Gabès (suite) Arram groupe Zerkine, groupe Kettana. DRES Tunis n° 401; 42 p.

PONTANIER R., 1969 - Etude pédologique du périmètre de Regueb-Sud. DRES Tunis n° 414 ; 36 p. ronéo. 2 cartes couleur 1/50 000. Annexes.

PONTANIER R., 1970 - Note sur les possibilités d'extension du périmètre irrigué de Hazoua. DRES Tunis n° 431 ; 10 p. ronéo. 1 carte 1/12 500. Annexes.

PONTANIER R., 1970 - Etude pédologique de l'extension Dhroumess-Still. DRES Tunis n° 434 ; 8 p. ronéo. 1 carte 1/25 000. Annexes.

PONTANIER R., 1970 - Extension de Nefta-Ouest. DRES Tunis n° 444 ; 12 p. ronéo 2 cartes 1/12 500. Annexes.

PONTANIER R. et SELMI M., 1972 - Etude pédologique de la plaine de Maknassy. DRES Tunis n° 452. 4 cartes couleur 1/50 000.

PONTANIER R., 1972 - Etude pédologique d'El Hamma Nord. DRES Tunis n° 460 ; 2 cartes couleur 1/100 000.

PONTANIER R., 1973 - Etude pédologique du Bou Hedma. DRES Tunis n° 474. 2 cartes couleur 1/50 000.

PONTANIER R., 1974 - Reconnaissance pédologique dans la région de Gourine. DRES Tunis n° 488 ; 14 p. ronéo. 1 carte couleur 1/10 000. Annexes.

PONTANIER R. et VIEILLEFON J., 1977 - Carte des ressources en sols de la Tunisie (1/200 000). Feuille Gabès-Sidi Chemmakh. DRES Tunis ES 135 57 p. ronéo. 1 carte couleur h.t. (1/200 000). Annexes.

PONTANIER R., et ZANTE P., 1976 - Etude pédologique de la zone d'Oglat Merteba. DRES/ORSTOM Tunis n° 507 ; 60 p. ronéo., 2 cartes 1/100 000. Annexes.

PONTANIER R., 1979 - Carte pédologique du bassin versant de l'Oued Zita. ORSTOM Tunis 1, carte couleur 1/12 500.

POUGET M., 1963 - Etude pédologique de la zone de Gabès Nord. DRES Tunis. n° 246 ; 3 cartes couleur.

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., 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., 1980 - Les relations sol-végétation dans les steppes sud algéroises. Mémoire de thèse. Travaux et document de l'ORSTOM n° 116, 555 p.

POURRAT Y., 1974 - Propriétés écophysiologiques associées à l'adaptation d'*Artemisia herba-alba*, plante d'intérêt pastoral, au milieu désertique. Thèse de spécialité en Physiologie végétale, Université Paris VI, 135 p.

PREZIOCI P.C., 1952 - Le climat de la Tunisie, évaporation, bilan hydrologique, zones climatiques. Serv. météo. nat. Tunis 13 p. 12 cartes.

QUEZEL P., 1965 - La végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie. Fischer Verlag, Stuttgart. Masson, Paris, 333 p.

QUEZEL P. et SANTA S, 1962-63 - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S. Paris. Tome I. 565 p., Tome 2, 605 p.

RAMBAL S., 1980 - Modélisation de l'utilisation de l'eau et de la production végétale d'une steppe à *Rhantherium suaveolens*, Dest. de la zone aride Sud Tunisien. These doct. ing. Univ. Sc. Tech. Languedoc Montpellier : 188 p.

RAUNKIAER C., 1937 - Plant life forms. Clarendon, Oxford, 104 p.

RAPP A., 1974 - A review of desertization in Africa. Water, vegetation and man. SIES Stockholm 77 p.

REDETZE K.A., 1973 - A matrix model of rangeland grazing system. Thesis Ph. D. Colorado State University. Fort Collins, U.S.A. 135 p.

RIETVELD J., 1978 - Soil non-wettability and its relevance to surface runoff on sandy soils in Mali p. 174. Wiegenmyen Report. Production Primaire au Sahel.

RIEU M., 1978 - Eléments d'un modèle mathématique de prédiction de la salure dans les sols irrigués. Application aux polders du Tchad. Thèse. Université Paul Sabatier Toulouse 134 p.

RIOU Ch., LAGOUARDE J.P. et CHARTIER R., 1979 - Evaporation du sol nu en zone semi-aride et en conditions hivernales. Relation avec l'albedo et la température de la surface du sol. Ann. Agro. 1979,30 (4) : 347-361.

ROCHE M., 1963 - Hydrologie de surface. ORSTOM. Gauthier-Villars Paris, 429 p.

RODIN L.E. and BAZILEVICH N.I., 1967 - Production and mineral cycling of terrestrial vegetation (English translation) Oliver and Boyd. London, 288 p.

RODIN L.E., 1976 - The primary productivity of desert communities in northern Africa and Asia. 3 th Intern. Geogr. Congress. Precongress Symposium K 26 Askkabad, USSR, July 20-26, 1976 139-142.

RODIN L.E., VINOGRADOV B., MIROCHNITCHENKO Yu., PELT M., KALENOV H. et BOTSCHANTZEV V., 1970 - Etudes géobotaniques des pâturages du secteur ouest du département de Médéa (Algérie) 124 p. 2 cartes coul. 1/200 000. Ed. Nauka Leningrad.

ROMANE F., 1974 - A simplified version of the Desert Biome general purpose model to simulate the production of dry mater in plants. US/IBP Desert Biome Res. Memo. 74-55 Utah State Univ. Logan ; 1-29.

ROOSE E., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de 1'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Trav. et Doc. ORSTOM, n° 78, 108 p.

ROSENZWEIG M.L., 1968 - Net primary productivity of terrestrial communities : prediction from climatological data. The American Naturalist, 102, 923 : 67-74.

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.

RUSTAMOV I.G., 1972 - Phytomass quantitative characteristics and productivity of subshrublet communities of Krasnovodsk plateau. Eco-physiological foundation of ecosystems productivity in arid zone : 129-131, ed. Nauka Leningrad.

RALISBURY F.B. and ROSS C., 1969 - Plant Physiology, Wads worth Publ. Cie Inc. Belmont Califor. 764 p.

SANKARY M.N., 1971 - Comparative plant ecology of two mediterranean type arid areas, in Syria and California, with emphasis on the autecology of twenty dominant species. Ph. D. Dissertation, Univ. California, Davis, 516 p.

SASSI J., 1978 - Contribution à l'étude phytoécologique des milieux salés et gypseux dans la région de Gabès et d'El Hamma (Tunisie). D.E.A. U.S.T.L. Montpellier; 41 p.

SAUGIER B., RIPLEY E.A. and LEUKE P., 1974 - Modeling VIII. A mechanistic model of plant growth and water use for the Matador grassland. Matador Project Technical Report 65. Canadian Comittee for IBP Univ. of Saskatchewan , Saskatoon.

SCHMIDT R.H., J.R., 1979 - A climatic delineation of the"real" Chihuahuan Desert.Journal of Ar. Env. 2 : 243-250.

SCHOENENBERGER A., 1961 - Cours de phytosociologie, Station de Recherches Forestières Tunisie ORSTOM Tunis, 113 p. ronéo.

SCHOMER-ILAN A., NISSENBAUM A. and WAISEL Y., 1981 - Photosynthetic pathways and the ecological distribution of the *Chenopodiaceae* in Israel. Oecologia (Berl.), 48 : 244-248.

SCHREVE F., 1951 - The vegetation of the Sonoran Desert. Carnegie Imp. Washington. Pub. n° 591.

SHANAN L., EVENARI M. and TADMOR N.H., 1967 - Rainfall patterns in the central Negev Desert. Israel Eploration J. 17 : 163-184.

SHANTZ H.L., 1927 - Drought resistance and soil moisture Ecology, 8, : 145.

SHANTZ H.L., 1938 - Plants as soils indicators in soils and men. U.S. Dept. Agricult. Yearbook. : 835-860.

SELIGMAN N.G., TADMOR N.H., NOY-MEIR I and DOVRAT A., 1971 - An exercice in simulation of a semi-arid mediterranean grassland. Bulletin de recherche agronomique Gembloux. Semaine d'Etudes des problèmes méditerranéens : 138-143.

SINGH J.S., LAUENROTH W.K. and STEINHORST R.K., 1975 - Review and assessment of various techniques for estimating net aerial production in grasslands from harvest data. Botanical Review, 41 : 181-232.

SKOURI M., 1972 - Conclusions générales. Possibilités d'amélioration de l'élevage ovin en Tunisie centrale. Séminaire sur l'élevage ovin et l'aménagement des parcours en Tunisie Centrale. Kairouan 18-21 avril. Service de Documentation de la Recherche Agronomique. 5 p. ronéo.

SKOURI M. et CABEE M., 1974 - Quelques réflexions concernant l'élevage et l'aménagement des parcours en Tunisie Centrale. Séminaire International sur le Pastoralisme.Alger, 22-27 avril.

SKUJINS, 1975 - Soil microbiological and biochemical investigations.III. Tunisian Presaharan Project. Annual Report 1974. US/IBP Desert Biome Utah State University Press Logan.

SKUJINS J., 1977 - Soil microbiological and biochemical investigations 1972-76. Progress report n° 6. Tunisian presaharian project US/IBP Desert Biome. Logan : 215-249.

SLATYER R.O., 1964 - Efficiency of water utilization by arid zone vegetation. Annals of Arid Zones, 3 : 1-12.

SLATYER R.O., 1967 - Plant-water relationships. New York Acad. Press : 306-307.

SLATYER R.O., 1977 - Les changements dynamiques dans les écosystèmes terrestres : Modalités techniques d'étude et application à l'aménagement. Notes tech. MAB-UNESCO, Paris, 36 p.

SLATYER R.O. and MABBUTT J.A., 1964 - Hydrology of arid and semi-arid regions. in Handbook of applied hydrology. Van Te Chow ed. p. 24-1 : 24-46 Mac Graw-Hill Book Cie New-York, London.

SMITH D.A. & SCHMUTZ E.M., 1975 - Vegetative changes on protected versus grazed desert grassland ranges in Arizona. Journal of Range management 26, (6) : 453-458.

SMITH D.D. and WISCHMEIER W.H., 1962 - Rainfall erosion. Adv. in Agron. 14 : 109-148.

SOIL SURVEY STAFF, 1975 - Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. United States Depart. of Agric. Handbook n° 436, 754 p.

SOLBRIG O.T., 1977 - Drought resistance in desert plants. Life form strategies in response to water resources. In Convergent evolution in warm deserts, Orians G.H. and Solbrig O.T. ed. US/IBP Synthesis Series, 3, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania , 333 p.

SOURDAT M., 1961-62 - Etude pédologique de la zone Sidi Medeb, Zone Sud. DRES Tunis. Etude n° 257. 3 cartes couleur.

SPECHT R.L., 1972 - Water use by plant communities in the arid zone of Australia. Eco.phys. found. of ecos. produc. in arid zone . Int. symp. USSR June 7-19, 1972. Proc. : 48-53.

STEWART Ph., 1968 - Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique : quelques réflexion. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord Alger 59, 1-4 : 23-36.

STEWART Ph., 1975 - Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord ; Alger 65 1-2, Alger.

SUSINI J., 1973 - Analyses chimiques et Physico-chimiques des sols et des eaux (extrait du recueil provisoire des méthodes utilisées à la P.E.M.R.N. à Alger), ES 88, DRES Tunis.

SZAREK S.R., 1979 - Primary production in four North American deserts : indices of efficiency. ournal of Arid Environments, 2 : 187-209.

TACKHOLM V., 1974 - Students Flora of Egypt. 2 rd ed. Cairo University

TADMOR N.H., BENJAMIN R. and GUTMAN., 1966-1970 - Fertilizer application to arid range. Preliminary reports 1-4, Volcani Inst. Agric. Res.

TADMOR N.H., EYAL E. and BENJAMIN R.W., 1974 - Plant and sheep production on semi arid annual grassland in Israel. Journal of Range Management, 27, 6 : 427-432.

TADMOR N.H., ORSHAN G., RAWITZ E., 1962 - Habitat analysis in the Negev desert of Israel. The Bulletin of the research council of Israel, XI, 3 : 148-173.

TANSLEY A.G., 1929 - Succession, the concept and its values Proceed. Intern. Congress of Plant. Sci. Ithaca, 1926 : 676-677.

TANSLEY A.G., 1946 - Introduction to plant ecology. 2 nd cd 1949, Unwin Bros Ltd London, 260 p.

TELAHIGUE T., 1976 - Contribution à l'étude phytoécologique de la zone de Bir Lahmar. Médenine, Tunisie. D.E.A. U.S.T.L. Montpellier 84 p.

TELAHIGUE T., 1981 - Contribution à l'étude des déséquilibres écologiques et agricoles en zone aride tunisienne : le cas des friches post-culturales dans la région de Bir Lahmar. Thèse Docteur ingénieur en écologie générale et appliquée, option écologie terrestre, U.S.T.L., Montpellier, 159 p.

THALEN D.C.P., 1979 - Ecology and utilization of desert shrub rangelands in Iraq. Dr. W. Junk B.V. Publishers. The Hague 448 p.

THORNTHWAITE C.W., 1944 - Report of the committee on transpiration and evaporation. Trans. Am. Geoph. Union Vol. 25 (V): 683-693.

THAMES J.L., FISCHER J.N., 1981 - Management of water resources in arid lands. in Arid Land Ecosystems, eds. D.W. Goodall and R.A. Perry, 2 : 519-547.

THORNTWAITE C.W., 1948 - An approach toward a rational classification of climate. Geo. Rev. Vol. 38 : 55-94.

TOUTAIN G., 1977 - Eléments d'Agronomie Saharienne. Cellule des zones Arides. Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques. Inst. Nat. Rech. Agron., 276 p.

TREWARTHA G.T., 1961 - The earth's problem climate. University of Wisconsin Press. Madison, 334 p.

TRICART J., 1969 - Le modelé des régions sèches. Sedes, Paris, 472 p.

TRICART J. et KILIAN J., 1979 - L'écogéographie et l'aménagement du milieu naturel. Maspero Paris, 326 p.

TRUMBLE H.C. & WOODROFFE K., 1954 - Influence of climatic factors in the reaction of desert shrubs to grazing by sheep. In : "The biology of deserts" Inst. Biology. London Symp. 3 : 129-147.

TURC L., 1951 - Nouvelle formule pour le calcul du bilan de l'eau en fonction des valeurs annuelles moyennes des précipitations et de la température. C.R. Acad. Scien. Franç., 223 : 633-635.

TURC L., 1961 - Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. agr. 12, (13) : 13-49 Paris.

TUTIN T.G., HEYWOOD V.A., BURGES N.A., MOORE D.M., VALENTINE D.H., WATERS S.M. et WEBB D.A., 1964 - 1968 - 1972 - 1976 - 1980 - Flora europaea, 5 vol. Cambridge University Press 1 : XXXII 370 p. (1974) ; 4 : XXIX, 505 p. (1976) ; 5 : XXXVI, 452 p. (1980).

TUXEN R., and ELLENBERG H., 1937 - Der systematische und der ökologische Gruppenwert. Ein Beitrag zur Begriffobildung un Methodik in der Pflanzensoziologie. Mitt. Florist. Soriol. Arbeitsgem. 2 : 171-181.

UNESCO, 1953 - Une série de revues sur la recherche (couverture Jaune) et une série de compte rendus de Symposiums (couverture grise), publiés par l'Unesco et concernant la recherche dans les zones arides, entre 1953-1963. (21 brochures).

UNESCO, 1958 - "Afrique du Nord et Australie méditerranéenne" in Climat et et Microclim." Paris Rech. Zone Aride XI : 141-147.

UNESCO, 1961 - Les problèmes de la salinité dans les régions arides Actes du Colloque de Téhéran, UNESCO Paris, 395 p.

UNESCO, 1970 - Research and training on irrigation with saline water. 1962-1969, Technical Report. DRES Tunis, UNESCO-PARIS.

UNESCO 1972 - Etude des ressources en eaux du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet (REG 100). Conclusions et recommandations. UNESCO Paris, DRES Tunis.

UNESCO, 1977 - Carte de la répartition mondiale des régions arides. Notes techniques du MAB 7, UNESCO Paris.

USHER M.B., 1969 - A matrix approach to the management of renewelable resources with special reference to solution forest. Jour. App. Ecol. 3 : 355-367.

VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S. et THONY J.L., 1978 - Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. Ann. Agro., 29 (1) : 1-36.

VACHAUD G., VAUCLIN M. et COLOMBANI J., 1981 - Bilan hydrique dans le Sud Tunisien. Caractérisation expérimentale des transferts dans la zone non saturée. Journ. of hyd. 49 : 31-52.

VALENTIN C., 1981 - Esquisse au 1/25 000 des différenciations morpho-structurales de la surface des sols d'un petit bassin versant sahélien. (Polaka-Oursi, Hte Volta). ORSTOM Abidjan 12 p., 1 carte multigr.

VAN KEULEN H., 1975 - Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Wageningen. Centre for agricultural publishing and documentation, 176 p.

VAN CAMPO M., 1957 - Analyse pollinique des dépôts würmiens d'El Guettar (Tunisie). Verhandlungen der 4è Internationalen Tagung der Quatarbotaniker. Veröff, Geobotanishes Institut Rubel, Zurich, 34 : 133-135.

VASEK F.C., 1979-80 - Early successional stages in Mojave desert scrub vegetation. Israel journal of Botany, 28 : 133-148.

VIEILLEFON J., 1976 - Inventaire critique des sols gypseux en Tunisie. Etude préliminaire. Dir. des Ress. en Eau et en Sol, Tunis ES 98 ; 80 p.

VIEILLEFON J., 1978 - Les sols gypseux en Tunisie. Contribution à l'amélioration de leur étude analytique. Sols de Tunisie n° 10 : 40-105.

VIETS F.G., Jr., 1962 - Fertilisers and efficient use of water. Advances agron., 14 : 223-265.

VOZNESENSKY V.L., REINUS R.M. and ZALENSKY V., 1970 - Problems of desert development; 5 : 21-29.

WAECHTER P., 1978 - Essais d'orientation sur les possibilités d'accroitre la production végétale et d'améliorer les conditions d'intégration des systèmes culturaux et d'élevage. Inst. Reg. AridesTunisie et C.N.R.S. France, 41 p. Ronéo.

WAECHTER P., 1972 - Etude des relations entre les animaux domestiques et la végétation dans les steppes du Sud de la Tunisie. Implications pastorales. Thèse Ing. Doct. Uni. Sci. Tech. Lang.Montpellier, 293 p.

WAGNER F.H., 1976 - Integrating and control mechanisms in arid and semiarid ecosystems. Considerations for impact assesment. Proceedings of a Symposium on evaluation of environmental impact. 27 th Annual Meeting of the American Institut of Biological Sciences, New Orleans, Louisiana.

WAGNER F.H., 1981 - Population dynamics in Arid Land Ecosystems (vol. 2) Ed. D.N. Goodall and R.A. Perry. IBP 17, Cambridge University Press . 125-168.

WALTER H., 1955 - Le facteur eau dans les régions arides et sa signification pour l'organisation des communautés dans les contrées subtropicales. In Colloques Internationaux du CNRS, Vol. 59 : Les divisions écologiques du monde, 27-39, CNRS Paris, 236 p.

WINTER K., 1981 - C_4 Plants of High Biomass in Arid regions of Asia. Occurence of C_4 Photosynthesis in Chenopodiaceae and Polygonaceae from Middle East and USSR. Oecologia (Berl.) 48 : 100-106.

WARREN A., MAIZELS J.K., 1977 - Ecological change and desertification, 169-260 in : Desertification : its causes and consequences Pergamon Press, Oxford.

WATSON A., 1979 - Gypsum crusts in deserts - Review. Journal of Arid Env. 2 : 3-20.

WENT F.W., 1955 - The ecology of desert plants. Scientific American, 192 : 68-75.

WESTOBY M., 1979-80 - Elements of a theory of vegetation dynamics in arid rangelands. Israel Journal of Botany ; 28 : 169-194.

WISCHMEIER W.H., 1962 - Rainfall erosion potential. Geographic and location differences of distribution. Agricul. Engin; 43 : 212-415.

WITT de C.T., 1958 - Transpiration and crop yields. Versl. Landbouwk Onderz (Agric. Res. Rep.) 663p., Pudoc, Wageningen.

WITTAKER R.A., 1974 - Stability in plant communities, Proceedings of the Forest International Congress of Ecology, The Hague, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 68 p.

WHITTAKER 1975 - Communities and ecosystems. 2d editions Mc Millan Publishing Co Inc. New-York, 395 p.

ZAKHARYANTS I.L., 1972 - Characteristic features of photosynthesis in Kyzylkum desert plants. in Eco-physiological foundation of ecosystems productivity in arid zone. ed. Nauka, Leningrad : 6-9.

ZANTE P. et FERSI M., 1980 - Etude d'une toposéquence type du Sud tunisien (Dj. Dissa) Pluviométrie, Bilan hydrique, Erosion, résultats des saisons 74-75, 75-76 et 76-77. DRES ORSTOM Tunis ES n° 159, 77 p. multigr.

ZANTE P. et FERSI M., 1980 - Pluviométrie, Bilan hydrique, Erosion sur une toposéquence type du sud tunisien (Dj. Dissa) Synthèse de 1972 à 1977. DRES, ORSTOM Tunis. ES n° 182 ; 130 p. multigr. 30 fig. 26 tabl. + annexes.

ZIEGLER H., BATANOUNY K.H., SANKHLA N., VYAS O.P. and STICHLER W., 1981 - The photosynthetic pathway types of some desert plants from India, Sandi Arabia, Egypt and Irak. Oecologia, 48 : 93-99.

ZOHARY M., 1952 - Ecological studies in the vegetation of the Near Eastern III. Hydro-économical types in the vegetation of Near East Deserts. Symposium on the Biology and Productivity of Hot and Cold Deserts, London : 56-57.

ZOHARY M., 1961 - On hydro-ecological relations of the near east desert vegetation. In Plant Water Relationships in Arid and Semi-Arid Conditions. UNESCO Arid Zone Research, 16 : 199-21 .

GLOSSAIRE DES TERMES VERNACULAIRES

UTILISES LOCALEMENT

Achaba : location d'une terre pour le pâturage.

Chott : zone périphérique des sebkhas, à végétation halophile.

Djebel : montagnes et collines.

Erg : formation de sable non fixé, organisée en champs de dunes.

Garâa (pluriel *garaet*) : zone inondée temporairement par des eaux douces ou peu salées.

Hammada : plateau rocheux peu incliné dans les régions désertiques, sans couverture de sols ou de débris fins.

Jessour : zone comprenant un impluvium et un champ cultivé en amont d'une *tabia* (ex. système en *jessours*).

Nebka, micronebka : accumulations et fixations de sable par des végétaux pérennes, qui s'exhaussent quand l'accumulation s'accroît.
Les *nebkas* peuvent atteindre plusieurs mètres de hauteur et de 10 à 20 m de diamètre.
Les *micronebkas* dépassent rarement 1 m de hauteur et de diamètre.

Oued : cours d'eau au débit épisodique.

Reg : forme de relief relictuelle liée à la déflation éolienne, constitué des résidus grossiers (pierres, blocs et cailloux); fréquent en zone aride.

Sebkha (pluriel *sebkhet*) : dépression salée sans végétation spontanée et impropre à la culture.

Ségui : zone à l'aval d'un versant bénéficiant d'un apport d'eau supplémentaire par ruissellement et d'un apport d'alluvions pouvant être retenus par aménagement de petite hydraulique. Une terre de *ségui* est en général de texture limono-sableuse à limono-argileuse.

Sirocco : vent chaud du sud, caractérisé par un brusque abaissement de l'humidité relative de l'air et une forte montée de la température.

Tabia : petite digue en terre et en pierres sèches barrant un talweg, pouvant être aménagée de déversoirs, permettant la retenue des eaux de ruissellement et des produits de l'érosion hydrique.

ANNEXES

ANNEXE 1 - DESCRIPTIONS ET ANALYSES DE PROFILS DE SOL DE LA TUNISIE PRÉSAHARIENNE

ANNEXE 2 - DONNÉES CONCERNANT LA VÉGÉTATION

ANNEXE 3 - DONNÉES CLIMATIQUES RECUEILLIES

ANNEXE 1

DESCRIPTIONS ET ANALYSES DE QUELQUES SOLS REPRESENTATIFS DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE

A11 - Sols des formations sableuses

A12 - Sols des formations limoneuses

A13 - Sols des formations gypseuses

A14 - Sols des formations à croûte calcaire

A15 - Sols des formations halomorphes

A16 - Sols des oasis

A11 - Sols des formations sableuses

1 - PD1 Dissa
2 - PZO 41 Oglat merteba
3 - PZO 143 Oglat merteba
4 - PZ RK_3 Km 52 Zougrata
5 - PZ LK_3 Zougrata

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS ISOHUMIQUES
SOUS-CLASSE	à complexe saturé et pedoclimat frais pendant les saisons pluvieuses
GROUPE	SIEROZEM
SOUS-GROUPE	modal
Famille	sol colluvions
Série	à encroûtement gypso-calcaire

PROFIL
PD 1

Mission/Dossier : ORSTOM-DRES-Tunisie
Observateur : PONTANIER Roger
Date d'observation : 2.9.72

LOCALISATION

Lieu : Djebel DISSA
Coordonnées : 37G 69 de Latitude N
8G 49 de Longitude E
62 m d'Altitude

Document carto. : Environs de Gabès (1933)
Mission I.G.N. : Tunisie 1/50.000
Photo aérienne : 70TU 170/250 photo n° 007
Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride inférieur (Emberger)
Pluviométrie moyenne annuelle : 187 mm
Température moyenne annuelle : 19,3°c
Saison lors de l'observation : Automne

Station : Gabès
Période de référence : 1985 - 1977

SITE

Géomorphologique : Bas de glacis d'accumulation d'une colline
Topographique : Bas de pente
Drainage : Excellent
Erosion : Moyenne
Pente en % : 3%

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Matériau colluvionné (sableux- quelques cailloux calcaire)
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique : Senonien recouvert par Miopliocene
Impuretés ou remaniements :

EGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chamephytes
Composition floristique par strate : Association à Rhantherium suaveolens et Stipa lagascae degradée par d'anciens labours et le surpâturage

UTILISATION

Modes d'utilisation : parcours
Techniques culturales : ———
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif : Steppe très degradée

Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

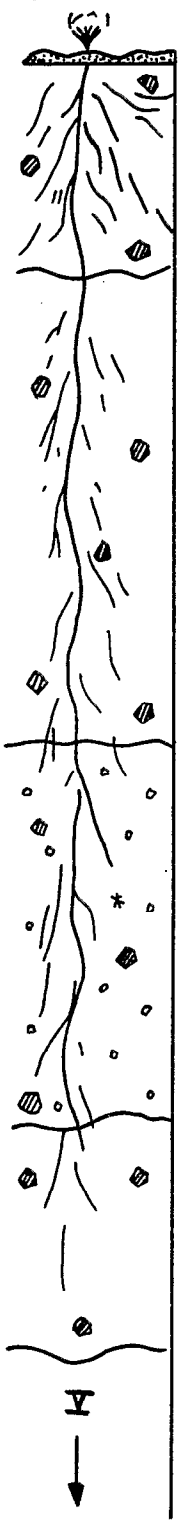
Microrelief :
Edifices biologiques : Voile éolien par plages. Pellicule de battance, associée à des cailloux
Dépôts ou résidus grossiers : (70% de pellicule).
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Passe vers le haut à encroûtement gypseux et vers le bas le sol reste identique mais s'approfondit, la texture devenant plus limoneuse, à l'aval de la toposequence.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		**PROFIL** PD I

Croquis du profil	Prelèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 15 50 80 90	0-15cm Sec - 10YR 7/4 sec - Brun très pâle. A Mat. organique non direct. décelable. Moins de IPC de m.o. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus. Graviers et cailloux peu abondants, de roche sédimentaire calcaire.A arêtes anguleuses. Non altérée - localement. Texture sableuse à sables fins et grossiers. Structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse. Moyenne - boulant.Agrégats à pores nombreux, fins tubulaires sans orientation dominante. Très poreux - non cimenté. Très friable. Très fragile. Racines fines et moyennes pénétrant les agrégats. Chevelu. Turricules. Galeries. Activité forte. Transition très nette. Régulière. 15 - 50 cm Sec - 10YR 7/6 sec - Jaune. A matière organique non directement décelable. Moins de IPC de m.o. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus et en pseudomycelium Graviers et cailloux peu abondants de roche sédimentaire calcaire. A arêtes anguleuses. Non altérée. Localement.Structure sableuse à sablo-limoneuse à sables fins et grossiers Structure fragmentaire peu nette, polyédrique moyenne. Cohérents - Fentes de 0,1 cm, distantes de 20 cm. Agrégats à pores nombreux - fins - tubulaires, sans orientation dominante. Poreux - non cimenté. Friable. Fragile. Qq. racines fines et moyennes pénétrant les agrégats. Pas de chevelu. Débris de coquilles. Transition distincte et ondulée. 50 - 80 cm Sec - 10YR 8/4 sec - brun très pâle. A matière organique non directement décelable, moins de I pc de m.o. Vive effervescence généralisée irrégulièrement répartie. Eléments carbonatés en pseudomycellium, petits amas, diffus? Graviers et cailloux peu abondants. De roche sédimentaire calcaire non altérée. A arêtes anguleuses. Localement. Texture sablo-argileuse à sables fins et grossiers. Structure fragmentaire nette. Polyédrique moyenne. Cohérent. Fentes de 0,1cm, distantes de 20 cm. Agrégats à pores nombreux fins tubulaires sans orientation dominante. Poreux. Non cimenté. Friable. Fragile.Qq racines fines et moyennes pénétrant les agrégats. Activité moyenne. Transition greduelle ondulé. 80 - 90 cm Sec - 10YR 8/8 sec. Brun très pâle. A matière organique non directement décelable. Moins IPC de m.o. Vive effervescence. Eléments carbonatés diffus. Graviers et cailloux peu abondants, de roche sédimentaire calcaire, non altérée. Localement. Texture sablo-argileuse à sables fins et grossiers Structure fragmentaire peu nette. polyédr. moyenne. Cohérent Pente de 0,1 cm, distantes de 20 cm. Pores nombreux fins, tubulaires, sans orientation dominante. Poreux.non cimenté. Friable et fragile. Qq racines fines et moyennes pénétrant les agrégats.Activité faible. Transition très nette et régul. + 90 cm Sec - 10YR 8/2 sec. Blanc. Sans tâches. Apparamment non org. Faible effervescence, généralisée. Eléments carbonatés gypseux en encroûtement. Sans éléments grossiers. Structure massive très nette, général à éclats anguleux. Cohérents. Pas de fentes. Très peu poreux. Matériau à consistance rigide. Induré et friable. Croûte sulfatée et carbonatée. Pas de racines. Activité nulle.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PL1

	Horizon	9									HRZ
	Groupe	13									GR
	Sous-groupe	17									SG
	(Famille)	21									FM
	(Série)	25									SR
	(Région)	29									RG
	Numéro du sac	33									SAC
	Profondeur minimale en cm	37	0	15	25	35	50	80	90		PMI
	Profondeur maximale	41	15	25	35	50	80	90			PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus	45									REF
	Carbonate de calcium %	49	10,0	11,5	12,5	15,0	20,0	24,5	16,5		CDC
	Argile	53	3,0	8,5	10,3	12,5	15,5	15,5			ARG
	Limon fin 2 à 20 µ	57	1,5	3,0	3,5	4,5	6,0	7,0			LMF
	Limon grossier 20 à 50 µ	61	6	10,0	11,0	9,0	10,0	10,0			LMG
	Sable fin 50 à 200 µ	65	78,0	71,0	67,0	66,0	62,0	61,0			SBF
	Sable grossier	69	11,0	7,0	8,0	8,0	7,0	6,0			SBG
		73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Mat. org. totale %	13	0,36	0,42	0,38	0,35	0,30	0,27			C
	Azote	17									N
	Acides humiques	21									AH
	Acides humiques bruns	25									AHB
	Acides humiques gris	29									AHG
	Acides fulviques	33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5	37	8,5	8,25	8,45	8,50	8,20	8,15	8,05		PHE
	pH chlorure de potassium	41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium Ca^{++}	45	1,94	0,73	1,28	0,60	1,71	0,30			CAE
	Magnésium Mg^{++}	49	2,4	2,4	4,4	2,4	1,4	1,4			MGE
	Potassium K^{+}	53	0,09	0,17	0,18	0,27	0,18	0,1			KE
	Sodium Na^{+}	57	0,07	0,1	0,14	0,23	0,21	0,21			NAE
	Capacité d'échange Na/T	61	4,5	3,5	6,0	3,5	3,5	2,0			T
Acide phosphorique en 10^{-3}		65	1,5	2,9	2,3	6,5	6,0	10,5			PT
	Phosphore assim. Truog	69									PAT
		73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen	13									PAO
	gypse %	17	1,03	0,81	1,7	0,81	1,03	1,82	63,1		PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu	21									PRT
	Résidu	25									RSD
	Silice SiO_2	29									SI
	Alumine Al_2O_3	33									AL
	Fer Fe_2O_3	37									FE
	Titane TiO_2	41									TI
	Manganèse MnO_2	45									MN
	Fer libre Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium Ca^{++}	53									CA
	Magnésium Mg^{++}	57									MG
	Potassium K^{+}	61									K
	Sodium Na^{+}	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}	69									PRS
		73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	2,7	13	10,4	11,7	11,7	11,8	12,8	12,9			PF2
	pF 3	17									PF3
	pF 4,2	21	3,3	3,5	3,5	3,6	4,3	4,2			PF4
	Instabilité structurale	25									IS
	Perméabilité	29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm	33	1,15	0,76	0,98	1,12	2,5	2,8			L
	Chlorures Cl^{-}	37	4,5	2,5	3,0	4,0	4,5	7,0			CL
	Sulfates $SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates $CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates $HCO3^{-}$	49									HCO
	Calcium Ca^{++}	53									CAS
	Magnésium Mg^{++}	57									MGS
	Potassium K^{+}	61									KS
	Sodium Na^{+}	65									NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm	69									L 10
		73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS ISOHUMIQUES
SOUS-CLASSE	A COMPLEXE SATURE PEDOCLIMAT FRAIS PENDANT LA SAISON HUMIDE
GROUPE	SIEROZEMS
SOUS-GROUPE	TYPIQUES
Famille	SUR MATERIAU COMPLEXE SABLO-LIMONEUX
Série	SUR CAILLOUTIS EN PROFONDEUR

PROFIL

PZO 41

Mission/Dossier : TUNISIE Oglat Merteb

Observateur : ZANTE/ PONTANIER

Date d'observation : 9/10/74

LOCALISATION

Lieu : PISTE TRAPSA - Cote 125

Coordonnées : 37G 44'70" de Latitude N
8G 27'75" de Longitude E
125 m d'Altitude

Document carto. : Feuille Oglat Merteba 1/100000 LXXXI

Mission I.G.N. : TUNISIE 1967

Photo aérienne : 09

Photographie : 036

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride inférieur à hiver doux

Station : Gabes

Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm

Période de référence : 1885-1975

Température moyenne annuelle :

Saison lors de l'observation : AUTOMNE

SITE

Géomorphologique : plaine

Topographique : plane

Drainage : Externe : bon; interne : bon

Erosion : Eolienne moyenne

Pente en % : 1

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Materiau sable-limoneux et galets d'oued

Type et degré d'altération : non altéré

Etage stratigraphique : quaternaire récent

Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes

Composition floristique par strate :
Association à Rhantherium suaveolens et Artemisia campestris

UTILISATION

Modes d'utilisation : parcours, céréaliculture,

Techniques culturales :

Modelé du champ :

Densité de plantation :

Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité : indeterminé

Successions culturales : céréaliculture épisodique

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : pellicule de battance

Edifices biologiques :

Dépôts ou résidus grossiers :

Affleurements rocheux : Bombements de croûte calcaire démantelée

présence éventuelle d'un voile éolien

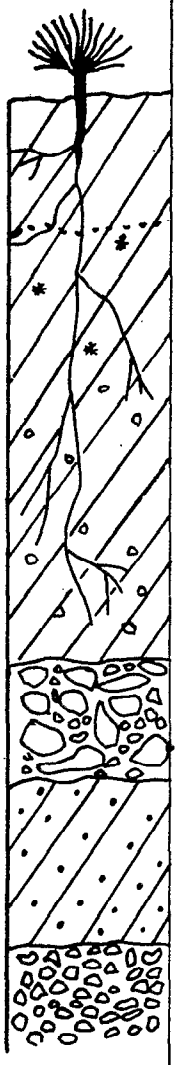
EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

A l'Ouest, et à l'Est : sols alluviaux

Au Sud, croûte gypseuse

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZo 41

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0	0-20 cm Frais 7,5 YR 6/4 Sec. Brun clair. Matière, organique non directement décelable. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus, en pseudomycélium et en nodules peu nombreux. Sans éléments grossiers. Texture sablo limoneuse à sables fins. Structure fragmentaire nette. Polyédrique subanguleuse. Fine et moyenne. Cohérent. Pas de fentes. Agrégats à pores nombreux. Tubulaires sans orientation dominante Très poreux. Peu friable. Assez compact. Qq. racines. Fines et moyennes. Activité faible. Transition distincte et régulière.
		20	20-75cm Frais 7,5 YR 7/4. Sec. Rose. matière organique non directement décelable. Effervescence. Eléments carbonatés diffus en amas et en nodules. Texture. Sablo limoneuse à sablo argileuse à sables fins. Structure fragmentaire nette. Polyédrique subanguleuse moyenne à grossière. Cohérent. Agrégats à pores nombreux fins et moyens. Tubulaires sans orientation dominante. Très poreux. Friable. Non compact. Racines fines et moyennes, pénétrant les agrégats dans la masse de l'horizon. Activité moyenne. Transition nette et régulière.
		75	75-90 cm Sec. Blanc rose. Apparemment non organique. Horizon de cailloux et graviers, de ferme arrondie ou allongée. A arêtes émoussées. Faiblement altérés de roche calcaire dure. Volume des vides importants, pas de reprise par le calcaire. Boulant. Non cimenté. Très poreux. Transition très nette régulière. 90-110 cm Sec. Rose. apparemment non organique. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus et en petits nodules Texture sableuse à sablo-limoneuse. Structure polyédrique subanguleuse peu nette et régulière.
		90	> 110 cm Frais. non organique. Effervescence vive généralisée. Eléments carbonatés diffus et en encroûtement. Graviers très abondants de roche calcaire dure et ferme irrégulière. Peu altérés. Légère reprise par le calcaire. Volume des vides faible. Peu cimenté. Pas de racine. Activité nulle.
		110	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL
PZO 41

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		13								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33								SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	10	20	50		90	110	PMI
	Profondeur maximale		41	15	20	50	75		110		PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Carbon.de calc.act.%						05				REF
	Carbonate de calcium total		49	15	18	17	21		16	35	CDC
	Argile		53	10	04	14			7		ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	13	11	11			12		LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	14	12	10			11		LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	59	67	63			68		SBF
	Sable grossier		69	4	05	3			2		SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1 CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone		13	03	01	02	01				C
	Azote MO %		17	0	0	0	0				N
	Acides humiques		21								AH
	Acides humiques bruns		25								AHB
	Acides humiques gris		29								AHG
	Acides fulviques		33								AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37								PHE
	pH chlorure de potassium		41								PHK
Cations échangeables en mé.	Calcium	Ca++	45				4,5				CAE
	Magnésium	Mg++	49				1,0				MGE
	Potassium	K+	53				0,4				KE
	Sodium	Na+	57				0,1				NAE
	Capacité d'échange		61				6				T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65								PT
	Phosphore assim. Truog		69								PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2 CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13								PAO
	Gypse 10^{-2}		17				traces				PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21								PRT
	Résidu		25								RSD
	Silice	SiO_2	29								SI
	Alumine	Al_2O_3	33								AL
	Fer	Fe_2O_3	37								FE
	Titane	TiO_2	41								TI
	Manganèse	MnO_2	45								MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49								FEL
en mé	Calcium	Ca++	53								CA
	Magnésium	Mg++	57								MG
	Potassium	K+	61								K
	Sodium	Na+	65								NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69								PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3 CARTE
	pF 2,5		13								PF2
	pF 3		17								PF3
	pF 4,2		21								PF4
	Instabilité structurale		25								IS
	Perméabilité		29								PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	1,5	1,0	1,7	2,5				L
	Chlorures	Cl^-	37				14				CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41				15				SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45								CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49				2				HCO
	Calcium	Ca++	53				16				CAS
	Magnésium	Mg++	57				2				MGS
	Potassium	K+	61				0				KS
	Sodium	Na+	65				12				NAS
	Extrait un dixième Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69	30	27	33	32				L 10
	saturation de la pate		73	4	4	4	4	4	4	4	4 CARTE

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS ISOHUMIQUES
SOUS-CLASSE	A COMPLEXE SATURE PEDO-CLIMAT PENDANT LA SAISON HUMIDE
GROUPE	SIEROZEMS
SOUS-GROUPE	TYPIQUES
Famille	Sur materiau sableux à sablo-limoneux
Série	Enterrant un encroûtement nodulaire calcaire sur Miopliocène gypseux

PROFIL

PZO 143

Mission/Dossier : TUNISIE Oglat Merteba

Observateur : FONTANIER /ZANTE

Date d'observation : 10/10/74

LOCALISATION

Lieu : O. el Krarouba
Coordonnées : 37G 40' 30" **de Latitude** N
8G 28' 50" **de Longitude** E
150 **m d'Altitude**

Document carto. : Feuille Oglat Merteba 1/100 000
Mission I.G.N. : TUNISIE 1967 LXXXII
Photo aérienne : 09
Photographie : 030

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride inférieur à hivers doux
Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm
Température moyenne annuelle :
Saison lors de l'observation : Automne

Station : Gabès
Période de référence : 1935 - 1975

SITE

Géomorphologique : Ancien glacis démantelé plus ou moins ensablé
Topographique : Plane
Drainage : Bon
Erosion : Faible
Pente en % : 1 %

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Materiau sablo- limoneux
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique : Quaternaire
Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes dominée par Lygeum spartum
Composition floristique par strate : Sous association à lygeum spartum de l'Association à Rhantherium suaveolens et Artemisia campestris

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

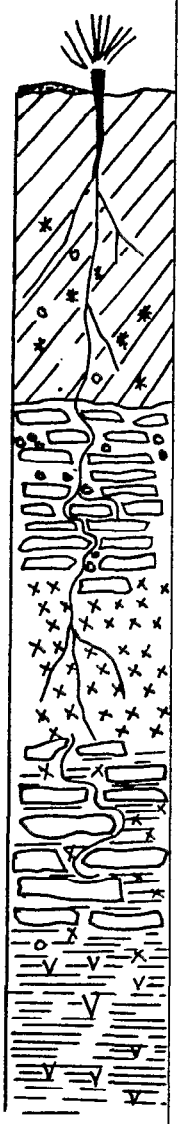
Microrelief : Voile éolien
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers :
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Vers l'amont, lithosols à croûte calcaire démantelée
Vers l'aval, sols peu évolués d'apports alluviaux

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZO 143

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 45 65 85 1.05	0.45cm Frais 7,5 YR 6/8 Sec jaune rougeâtre. A matière organique non directement décelable. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus. Pseudomycélium et Qq nodules dans le bas de l'horizon. Texture sablo-limoneuse à sables fins. Structure fragmentaire peu nette et généralisée. Polyédrique subanguleuse moyenne. Poreux. Friable. Nombreuses racines fines et moyennes. Pénétrant les agrégats dans la masse de l'horizon. Activité moyenne. Transition distincte et régulière. 45-65cm Frais 7?5 YR 7/4 Sec. Rose. A matière organique non directement décelable. Vive effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus et en encroûtement en plaquettes. Bien lité. Texture sablo-limoneuse. Structure fragmentaire très nette, lamellaire. Très grossière. Poreux. Racines fines et moyennes. Entre les plaquettes et déviées. Activité faible. Transition distincte et régulière. 65-85cm Sec 7,5 YR 7/4 Sec. Rose. A matière organique non directement décelable. Vive effervescence. Généralisée. Eléments carbonatés diffus et en nodules, formant encroûtement nodulaire pulvérulent. Boulant. Non cimenté. Racines fines et moyennes. Entre les nodules et déviées. Activité faible. Transition nette et régulière. 85-105 cm Sec 7,5 YR 7/4. Sec. Rose. Apparemment non organique Vive effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus et en encroûtement en plaquettes, bien lité. Eléments plus grossiers que dans l'horizon 45-65. Poreux. Peu cimenté. Racines fines et moyennes/ Entre les plaquettes et déviées. Transition distincte et régulière. > 105 cm Sec. 7,5 YR 8/4. Sec. Rose. Apparemment non organique. Vive effervescence généralisée. Eléments carbonatés et gypseux. Diffus et en macrocristaux. Texture sablo-limoneuse. Structure massive à éclats émoussés. Cohérents. Pas de fente. Pores nombreux fins et très fins. Poreux. peu cimenté. peu fragile. Pas de racines. Activité nulle.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PZO 143

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		13								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33								SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	10	20	30	45	65	85	PMI
	Profondeur maximale		41	10	20	30	45	65	85	105	105 PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45								REF
	Carbonate de calcium total			10	11	14	17	38	58	59	34 CDC
	Argile		53	04	06	09	10	08			ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	05	04	02	07	06			LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	11	10	09	06	15			LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	78	77	73	75	61			SBF
	Sable grossier		69	02	01	02	03	08			SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1 CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone		13	02	02	02	03	03			C
	Azote MO %		17	03	03	03	06	06			N
	Acides humiques		21								AH
	Acides humiques bruns		25								AHB
	Acides humiques gris		29								AHG
	Acides fulviques		33								AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	7,4	7,3	7,5	7,3	7,3	7,2	7,2	7,1 PHE
	pH chlorure de potassium		41					6,2			PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca + +	45					1,0			CAE
	Magnésium	Mg + +	49					0,3			MGE
	Potassium	K +	53					0,0			KE
	Sodium	Na +	57					8			NAE
	Capacité d'échange		61								T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65								PT
	Phosphore assim. Truog		69								PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2 CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13								PAO
	Gypse 10 - 2		17						07	02	30 PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21								PRT
	Résidu		25								RSD
	Silice	SiO_2	29								SI
	Alumine	Al_2O_3	33								AL
	Fer	Fe_2O_3	37								FE
	Titane	TiO_2	41								TI
	Manganèse	MnO_2	45								MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49								FEL
en mé	Calcium	Ca + +	53								CA
	Magnésium	Mg + +	57								MG
	Potassium	K +	61								K
	Sodium	Na +	65								NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69								PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3 CARTE
	pF 2,5		13								PF2
	pF 3		17								PF3
	pF 4,2		21								PF4
	Instabilité structurale		25								IS
	Perméabilité		29								PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	0,8	1,6	0,8	1,8	2,1			L
	Chlorures	Cl^-	37					11			CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41					13			SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45								CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49					2			HCO
	Calcium	Ca + +	53					18			CAS
	Magnésium	Mg + +	57					1			MGS
	Potassium	K +	61					0			KS
	Sodium	Na +	65					5			NAS
	~~extrait un dixième~~ Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69	31	31	32	32	38			L 10
	Saturation de la pâte		73	4	4	4	4	4	4	4	4 CARTE

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	Sols Isohumiques
SOUS-CLASSE	Sols à complexe saturés. Pédoclimat frais pendant la saison humide
GROUPE	Sierozems
SOUS-GROUPE	Typiques
Famille	Polyphasés (sierozem sur brun. tronqué)
Série	avec voile éolien

PROFIL

PZ RK3

Mission/Dossier : Modèle ZOUGRATA Gabès
Observateur : POUTANIER
Date d'observation : 28.2.74

LOCALISATION

Lieu : Station Km 52 - parcelle biomasse 73-74 **Document carto. :**
Coordonnées : **de Latitude** **Mission I.G.N. :**
de Longitude **Photo-aérienne :**
m d'Altitude **Photographie :**

CLIMAT

Type : Méditerranéen ari[illegible] **Station :** Gabès
Pluviométrie moyenne annuelle : 187 mm **Période de référence :** 1885 - 1977
Température moyenne annuelle : 19,3°C
Saison lors de l'observation : fin hiver

SITE

Géomorphologique : Plaine sableuse
Topographique : plane
Drainage : bon
Erosion : éolienne **Pente en % :** 0

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : mixte - apport sableux et materiau SA à nodules calcaires
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique :
Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes en bon état
Composition floristique par strate : Rhantherium suaveolens, Artemisia campestris, Plantago albicans

UTILISATION

Modes d'utilisation : parcours **Jachère, durée, périodicité :**
Techniques culturales : **Successions culturales :**
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :

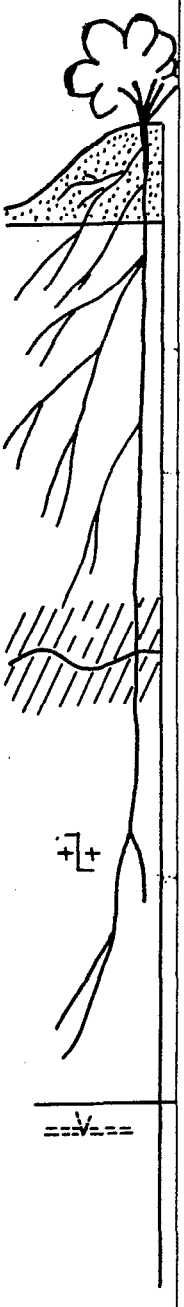
ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : micro-nebkhas
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers : voile éolien
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZ RK 3

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons
		20 0 50 125

-20.0 cm
Frais 10 YR 6/6 humide jaune brunâtre. Sans tâche.A m.o. non direct. décelable. Faible effervescence.général. Elém. carb. diffus.Sans autres éléments. Sans éléments grossiers. Text. sableuse à sable fin.Structure particulaire.Boulant Pas de fentes.très poreux.racines fines.Chevelu.Activité moyenne.Transition très nette et interrompue.

0.50 cm
Frais 10 YR 5/8 brun jaunâtre. Sans tâches.A m.o.directement déeelable.Effervesc.généralisée.Eléments carbonatés diffus.sans autres éléments.sans éléments grossiers.Texture SL à SF calcaire.Structure fragmentaire peu nette général. Polyédrique subanguleuse moyenne et fine.Volume des vides faibles entre les agrégats.Meuble.Pas de fentes.Agrégats à pores nombreux moyens tubulaires sans orientation dominante Très poreux. Pas de faces luisantes de glissement.Pas de revêtements. Peu plastique.Non collant.Friable,fragile.Racines fines et moyennes pénétrant les agrégats dans la masse de l'horizon.Chevelu.Qq.débris de coquilles.Vids,galeries Activité moyenne.Transition distincte et régulière.

[illegible]-125 cm
Frais 10 YR 6/6 humide.jaune brunâtre.Sans tâche.Am.o. directement décelable.Vive effervescence general.irrégulièrement répartie.Eléments carbonatés diffus et en amas.Sans autres éléments.sans éléments grossiers.Texture SA à SF calcaire.Struct. fragmentaire nette généralisée polyédrique moyenne et grossière.Volume des vides faibles entre les agrégats.Meuble.Pas de fentes.Agrégats à pores nombreux tubulaires fins sans orientation dominante.Poreux.pas de faces luisantes de glissement.pas de revêtements.peu plastique, non collant.Friable.fragile.Qq.racines pénétrant les agrégats dans la masse de l'horizon.Pas de chevelu.Qq.débris de coquille.Activité faible.Transition nette et ondulée.

> 125 cm
Frais 7,5 YR 7/8 jaune rougeâtre.Sans tâches.Apparemment non organique.Vive effervescence généralisée et irrégl. répartie.Eléments carbonatés et gypseux, diffus et en pseudomycelum et en encroûtement et en macrocristaux.Sans autres éléments grossiers.Structure massive nette à éclats émoussés. Très peu poreux.Matériau à consistance rigide. Croûte sulfatée et carbonatée.Pas de racines.Activité nulle.

Matière organique totale 10^{-2}

-20-0	0-10	10-30	30-50	50-80	80-125
0,14	0,48	0,44	0,42	0,46	0,36

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL
PZ RK 3

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		15								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33								SAC
	Profondeur minimale en cm		37	-20	0	10	30	50	80	125	PMI
	Profondeur maximale		41	0	10	30	50	80	125		PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45								REF
	Carbonate de calcium		49	12,6	15,6	19,2	24,0	37,2	33,2	23,6	CDC
	Argile		53	3,0	8,0	9,5		14,5		15,5	ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	1,5	5,0	7,0		14,5		15,5	LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	4,0	10,0	8,0		16,0		19,0	LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	84,0	71,0	67,5		48,0		48,0	SBF
	Sable grossier		69	7,0	5,0	5,5		4,0		4,0	SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1 CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone		13								C
	Azote		17								N
	Acides humiques		21								AH
	Acides humiques bruns		25								AHB
	Acides humiques gris		29								AHG
	Acides fulviques		33								AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,0	8,1	8,1	8,1	8,5	8,2	7,8	PHE
	pH chlorure de potassium		41								PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45		0,9			3,4			CAE
	Magnésium	Mg++	49		1,6			1,6			MCE
	Potassium	K+	53		0,3			0,1			KE
	Sodium	Na+	57		0,2			0,3			NAE
	Capacité d'échange		61		3,0			5,5			T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65								PT
	Phosphore assim. Truog		69								PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2 CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13								PAO
	Gypse 10-2		17	traces	0,5	traces	traces	traces	traces	20,0	PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	*Perte au feu*		21								PRT
	Résidu		25								RSD
	Silice	SiO_2	29								SI
	Alumine	Al_2O_3	33								AL
	Fer	Fe_2O_3	37								FE
	Titane	TiO_2	41								TI
	Manganèse	MnO_2	45								MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49								FEL
en mé	Calcium	Ca++	53								CA
	Magnésium	Mg++	57								MG
	Potassium	K+	61								K
	Sodium	Na+	65								NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69								PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3 CARTE
	pF 2,7		13	4,8	10,3	12,0	12,3	15,2	14,2		PF2
	pF 3		17	1,6	3,9	4,7	4,8	5,7	5,5		PF3
	pF 4,2		21								PF4
	Instabilité structurale		25								IS
	Perméabilité		29								PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33		2,0	1,6		1,5	1,0	2,6	L
	Chlorures	Cl^-	37		4,6			4,5	2,6	1,5	CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41		17,0			10,0	6,5	29,0	SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45								CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49		2,0			1,9	2,2	1,4	HCO
	Calcium	Ca++	53		16,0			10,5	7,0	28,5	CAS
	Magnésium	Mg++	57		5,5			3,0	1,5	5,0	MGS
	Potassium	K+	61								KS
	Sodium	Na+	65		3,2			3,3	2,4	1,7	NAS
	~~extrait au dixième Conductivité L 1/10 en m-mho/cm~~		69		28,4	30,4		32,4	35,2	36,0	L 10
	Saturation de la pâte %		73	4	4	4	4	4	4	4	4 CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS ISOHUMIQUES
SOUS-CLASSE	SOLS A COMPLEXE SATURE. PEDOCLIMAT FRAIS PENDANT LA SAISON HUMIDE
GROUPE	SIEROZEMS
SOUS-GROUPE	TYPIQUES
Famille	SUR MATERIAU SABLEUX D'ORIGINE EOLIENNE SUR ENCROUTEMENT CALCARO-GYPSEUX
Série	AVEC VOILE EOLIEN

PROFIL

PZ LK_3 MB 143

Mission/Dossier : Modèle ZOUGRATA GABES
Observateur : Roger PONTANIER
Date d'observation : 28/02/1974

LOCALISATION

Lieu : GARAET ZOUGRATA
Coordonnées : **de Latitude** / **de Longitude** / 53 **m d'Altitude**
Document carto. : MEHAMLA 1/100.000
Mission I.G.N. :
Photo aérienne :
Photographie :

CLIMAT

Type : MEDITERRANEEN ARIDE INFERIEUR
Pluviométrie moyenne annuelle : 187 mm
Température moyenne annuelle : 19,3°C
Saison lors de l'observation : Fin hiver
Station : GABES
Période de référence : 1885-1977

SITE

Géomorphologique : Sable éolien
Topographique :
Drainage :
Erosion :
Pente en % : ~ 1 %

MATÉRIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Steppe à *Lygeum spartum* et *Rhantherium suaveolens*
Type et degré d'altération : LK
Etage stratigraphique :
Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique :
Composition floristique par strate :

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :
Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

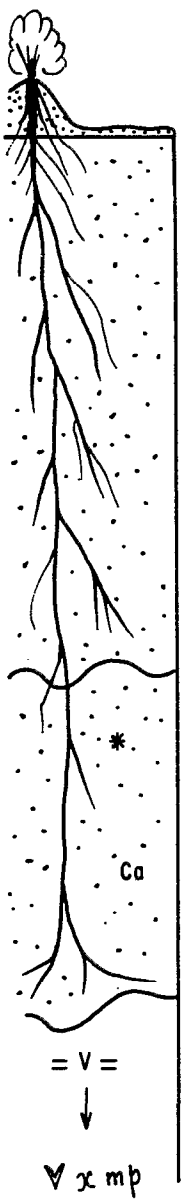
Microrelief : Micro nebkas. Voile éolien en surface.
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers :
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Passe aux sols hydromorphes à remise en mouvement du gypse vers l'aval, et vers l'amont et latéralement à des sols isohumiques plus ou moins tronqués sur limon à nodules calcaires et sur miopliocène gypseux ou à des sols sur encroûtement gypseux.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZ LK_3



Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
	0 0.55	* Voile éolien sableux très mobile, et micro nebkas fixées par touffes de *Rhantherium suaveolens* et de *Lygeum spartum*
SP 21	10	* Frais. 10 YR 6/6 humide. Jaune brunâtre. Sans taches. A matière organique non directement décelable. Moins de 1PC de m.o. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus. Sans autres éléments. Très peu de graviers et de cailloux de roche sédimentaire calcaire dure de forme irrégulière à arêtes anguleuses, non altérée. Dans la masse Texture sableuse à sable fin calcaire. Structure fragmentaire peu nette, généralisée, polyedrique subanguleuse moyenne. Volume des vides faible entre les agrégats. Boulant. Pas de fentes. Agregats à pores nombreux, fins, tubulaires, sans orientation dominante. Très poreux. Pas de faces luisantes et de glissement. Pas de revêtements. Non plastique, non collant, très friable, très fragile. Racines fines et moyennes pénétrant les agrégats dans la masse de l'horizon. Pas de chevelu. Débris de coquilles. Activité faible. Transition diffuse et irrégulière.
0. 132	20	
1027	35 35.50	* Humide 10 YR 7/6 humide jaune. Sans taches. A matière organique non directement décelable. Moins de 1PC de m.o. Vive effervescence généralisée de 15 à 30 PC $CaCo_3$. Eléments carbonatés diffus et en pseudo mycellium sans autres éléments. Très peu de graviers, très peu de cailloux de roche sédimentaire calcaire dure. De forme irrégulière à arêtes anguleuses. Non altérée. Dans la masse. Texture sableuses à sable fin calcaire, structure fragmentaire peu nette, polyedrique subanguleuse moyenne. Volume des vides faible entre les agrégats. Boulant. Pas de fentes. Agregats à pores nombreux fins, tubulaires sans orientation dominante. Très poreux. Pas de faces luisantes, de glissement. Pas de revêtement. Non plastique, non collant Très friable, très fragile. Racines fines et moyennes pénétrant les agrégats. Pas de chevelu. Débris de coquilles. Activité faible. Transition nette et ondulée.
1078	50	
1029	> 50.	* Humide 5 YR 8/1 humide. Blanc. Sans taches. Apparemment non organique. Effervescence. Eléments carbonatés et gypseux en croûte. Sans autres éléments. Structure massive très nette, à éclats anguleux. Pas de fentes. Matériau à consistance rigide, induré ; non fragile, non friable Croûte sulfatée. Pas de racines. Activité nulle.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PZ LK 3

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		13								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33								SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	10	20	35	50			PMI
	Profondeur maximale		41	10	20	35	50				PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45								REF
	Carbonate de calcium		49	13,3	15,6	19,0	27,9	23,6			CDC
	Argile		53		6,0		7,0				ARG
	Limon fin	2 à 20 μ	57		6,5		6,0				LMF
	Limon grossier	20 à 50 μ	61		8,0		9,0				LMG
	Sable fin	50 à 200 μ	65		73,0		72,0				SBF
	Sable grossier		69		6,0		6,0				SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1 CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	m.o. %		13	0,48	0,35	0,31	0,26				C
	Azote		17								N
	Acides humiques		21								AH
	Acides humiques bruns		25								AHB
	Acides humiques gris		29								AHG
	Acides fuviques		33								AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,2	8,3	8,3	8,2	8,2			PHE
	pH chlorure de potassium		41								PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45		1,5						CAE
	Magnésium	Mg++	49		0,6						MGE
	Potassium	K+	53		0,4						KE
	Sodium	Na+	57		0,5						NAE
	Capacité d'échange		61		3,0						T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65								PT
	Phosphore assim. Truog		69								PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2 CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13								PAO
Gypse			17	0	0	0	0	48,6			PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21								PRT
	Résidu		25								RSD
	Silice	SiO_2	29								SI
	Alumine	Al_2O_3	33								AL
	Fer	Fe_2O_3	37								FE
	Titane	TiO_2	41								TI
	Manganèse	MnO_2	45								MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49								FEL
en mé	Calcium	Ca++	53								CA
	Magnésium	Mg++	57								MG
	Potassium	K+	61								K
	Sodium	Na+	65								NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69								PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3 CARTE
	pF 2,5		13	8,3	8,6	10,2	12,9	20,1			PF2
	pF 3		17								PF3
	pF 4,2		21	2,6	3,0	4,0	4,6	6,8			PF4
	Instabilité structurale		25								IS
	Perméabilité		29								PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33		1,0		1,5				L
	Chlorures	Cl^-	37		4,0						CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41		4,1						SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45								CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49		2,7						HCO
	Calcium	Ca++	53		6,0						CAS
	Magnésium	Mg++	57		2,0						MGS
	Potassium	K+	61								KS
	Sodium	Na+	65		3,0						NAS
~~extrait un dixième Conductivité L 1/10 en m-mho/cm~~			69		32,0		34,8				L 10
Saturation de la pâte			73	4	4	4	4	4	4	4	4 CARTE

A12 - Sols des formations limoneuses

6 - PZO 70 Oglat Merteba

7 - $PCOT_1$ AA_1 Citerne Telman

8 - PZ RK_1 Zougrata

9 - PZ ZR Zerkine

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS PEU EVOLUES
SOUS-CLASSE	NON CLIMATIQUES
GROUPE	APPORT ALLUVIAL
SOUS-GROUPE	MODAUX (non différenciés)
Famille	sur matériau alluvial complexe limono-sableux
Série	Confluent des Oueds Rhirane et Beni AÏssa

PROFIL

PZO 70

Mission/Dossier : TUNISIE Oglat Merteba

Observateur : ZANTE /PONTANIER

Date d'observation : 5/11/1971

LOCALISATION

Lieu : BENI AISSA

Coordonnées : 37g49'00" de Latitude N
8g 33'50" de Longitude E
110 m d'Altitude

Document carto. : Carte Oglat Merteba 1/100.000

Mission I.G.N. : TUNISIE 1963 LXXIII

Photo aérienne : CUVI

Photographie : 007

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride inférieur à hivers doux (Emberger)

Station : GABES

Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm

Période de référence : 1885 - 1975

Température moyenne annuelle : 19,3°C

Saison lors de l'observation : AUTOMNE

SITE

Géomorphologique : Terrasses

Topographique : Plane

Drainage : Externe : moyen : Interne : moyen

Erosion : Faible

Pente en % : < 1

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Matériau sablo-limoneux

Type et degré d'altération :

Etage stratigraphique : Quaternaire

Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes

Composition floristique par strate : Arthrophytum scoparium

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours

Techniques culturales :

Modelé du champ :

Densité de plantation :

Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :

Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : microgilgas - pellicule de battance

Edifices biologiques :

Dépôts ou résidus grossiers :

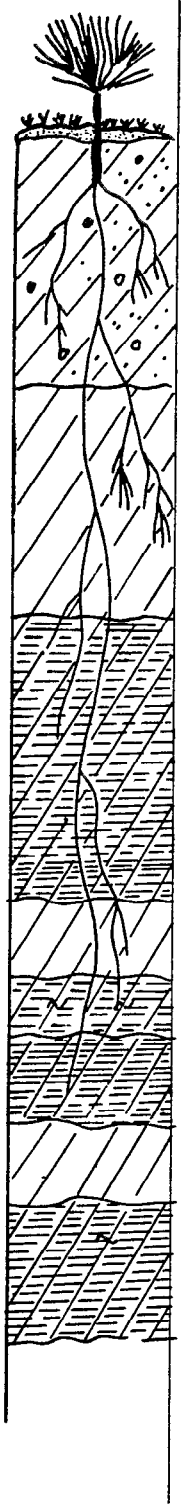
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Vers l'Est : sierozems enterrant un sol subtropical
Au Nord, à l'Ouest, au Sud : sols bruts d'apports fluviatiles

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZO 70

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 40 75 115 135 145 155 180	* 0-40 Frais, 7,5 YR 6/8 Sec. Jaune rougeâtre.Matière organique non directement décelable. Effervescence. Eléments carbonatés diffus en petits amas et en petits nodules friables. Sans éléments grossiers. Texture limono-sableuse à sablo-limoneuse à sable fins.Structure fragmentaire.Polyédrique subanguleuse grossière Cohérent.Pas de fentes.Agrégats à pores nombreux, fins et moyens.Tubulaires et vacuolaires. Sans orientation dominante. Poreux. Friable.Racines fines.Chevelu.Activité moyenne.Transition graduelle régulière. * 40-75 Frais 7,5 YR 5/8 Sec.Brun vif. Matière organique non directement décelable. Effervescence. Eléments carbonatés diffus. Texture sablo-limoneuse à sables fins. Structure peu nette. Polyédrique subanguleuse moyenne. Agrégats à pores tubulaires fins. Peu nombreux. Sans orientation dominante. Poreux. Très friable.Racines fines et moyennes.Chevelu.Activité moyenne.Transition graduelle et régulière. * 75-115 Humide 7,5 YR 4/4.Humide.Brun.Qq.taches peu étendues,arrondies à limites nettes.Peu contrastées. de texture limono-argileuse.Matière organique non directement décelable.Effervescence.Eléments carbonatés diffus.Texture limono-sableuse.Structure peu nette.Généralisée.Polyédrique subanguleuse fine. Poreux.Peu plastique.Non collant.Racines fines et moyennes.Chevelu.Activité moyenne.Transition graduelle. Régulière. * 115-135 Humide 7,5 YR 6/4 Sec.Brun clair.Horizon sablo-limoneux.moins calcaire,moins structuré. Bon enracinement. * 135-145 Humide 7,5 YR 6/2 Sec.Gris rosé. Horizon à texture plus lourde,limono-sableux,mieux structuré, pores plus gros et plus nombreux.Davantage de matière organique. Bon enracinement. * 145-155 Humide.Brun clair Sec.Horizon semblable à l'horizon 115-135. Sablo-limoneux-peu organique.Poreux.Peu structuré * 155-180 Humide gris rosé.Sec. Matière organique non directement décelable.Effervescence vive.Eléments carbonatés diffus.Texture limono-sableuse.Structure polyédrique subanguleuse moyenne.Poreux.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PZO 70

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		13								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33	J 515	J 516	J 517	J 520	J 521	J 522	J 523	J 524	SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	20	40	75	115	135	145	155	PMI
	Profondeur maximale		41	20	40	75	115	135	145	155	180	PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	17	17	12	17	12	16	09	21	CDC
	Argile		53	12	12	08	10	06	07	03	07	ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	14	12	09	11	06	12	06	21	LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	16	17	16	20	19	29	12	23	LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	56	55	66	59	68	51	77	45	SBF
	Sable grossier		69	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone mat.org. %		13	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	C
	Azote		17	0,5	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	N
	Acides humiques		21									AH
	Acides humiques bruns		25									AHB
	Acides humiques gris		29									AHG
	Acides fulviques		33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9	7,6	7,9	7,9	PHE
	pH chlorure de potassium		41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca + +	45	1,0	3,5	0,3			3,2		4,1	CAE
	Magnésium	Mg + +	49	0,6	1,6	1,6			0,6		3,6	MGE
	Potassium	K +	53	0,6	0,5	0,2			0,2		0,2	KE
	Sodium	Na +	57	0,3	0,4	0,5			0,6		0,7	NAE
	Capacité d'échange		61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65									PT
	Phosphore assim. Truog		69									PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13									PAO
	Phosphore ass. citrique		17						1	1	1	PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21									PRT
	Résidu		25									RSD
	Silice	SiO_2	29									SI
	Alumine	Al_2O_3	33									AL
	Fer	Fe_2O_3	37									FE
	Titane	TiO_2	41									TI
	Manganèse	MnO_2	45									MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium	Ca + +	53									CA
	Magnésium	Mg + +	57									MG
	Potassium	K +	61									K
	Sodium	Na +	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69									PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5		13									PF2
	pF 3		17									PF3
	pF 4,2		21									PF4
	Instabilité structurale		25									IS
	Perméabilité		29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	0,5	0,6	0,5			2,8		3,2	L
	Chlorures	Cl^-	37	2	.2	1			.3		3	CL
	Sulfates	SO_4^{--}	41	2	.3	2			39		4,1	SO4
	Carbonates	CO_3^{--}	45									CO3
	Bicarbonates	HCO_3^-	49	.2	.2	0,2			1		.2	HCO
	Calcium	Ca + +	53	4	.4	4			22		3,1	CAS
	Magnésium	Mg + +	57	1	.2	1			10		7	MGS
	Potassium	K +	61									KS
	Sodium	Na +	65	,1	,1	,1			9		9	NAS
~~extrait pâte saturée en mé~~			69	32	36	32			36		34	L 10
Saturation de la pâte %			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS PEU EVOLUES
SOUS-CLASSE	NON CLIMATIQUES
GROUPE	SOLS D'APPORTS
SOUS-GROUPE	Salés
Famille	Sur matériau alluvio-colluvial
Série	à remise en mouvement du gypse (amas)

PROFIL

P COT 1 AA1

Mission/Dossier : Tunisie ZITA

Observateur : PONTANIER

Date d'observation : 18.05.1972

LOCALISATION

Lieu : Citerne TELMAM

Coordonnées : 37g83 de Latitude N
8g35 de Longitude E
80 m d'Altitude

Document carto. : Carte El Hamma 1/100.000

Mission I.G.N. :

Photo aérienne : Mission 1963 CXXXVII 1/25 000 n°69

Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride

Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm (Gabès).

Température moyenne annuelle :

Saison lors de l'observation : Printemps

Station : Gabès

Période de référence : 1885 - 1975

SITE

Géomorphologique : Glacis d'accumulation

Topographique : Plane

Drainage : Mauvais (salure)

Erosion : en nappe

Pente en % : 1 à 2

MATÉRIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Alluvions et colluvions à texture lourde

Type et degré d'altération :

Etage stratigraphique :

Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes (10% couverture)

Composition floristique par strate :

Arthrophytum schmittianum, Erodium glaucophyllum, Artemisia herba-alba
Diplotoxis ara, etc...

UTILISATION

Modes d'utilisation : mis en défens

Techniques culturales :

Modelé du champ :

Densité de plantation :

Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :

Successions culturales : Ancienne zone de céréaliculture

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : Surface glacée

Edifices biologiques :

Dépôts ou résidus grossiers :

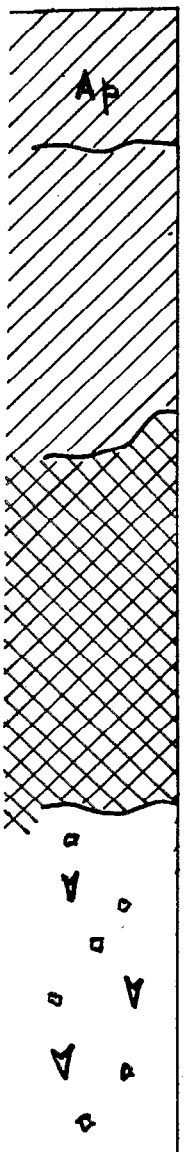
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Sols halomorphes à alcalis en aval vers l'O.Telmam, sol gypseux en amont et parfois latéralement (lambeaux de glacis).

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PCOT 1 AA1

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 15 50/55 100/105	* 0-15 Frais -10YR 7/4 sans tâches. A mat. org.non directement décelable.Moins de 1 % MO. Effervesc.général. Eléments carbonatés et gypseux diffus. Sans autres éléments. Texture limono-sableuse à sable fin calcaire Structure fragm. peu nette généralisée, polyédrique moyenne. Volume des vides faible entre les agrégats. Cohérent.Fente de 0,1cm distantes de 5cm. Agrégats à pores nombreux fins, tubulaires sans orientation dominante.Peu poreux.Pas de faces luisantes.Pas de glissement, pas de revêtements. Matériau à consistance semi-rigide, non cimenté.Plastique.Friable.Fragile.qq. racines fines et moyennes pénétrant les agrégats. Chevelu.Horizon labouré.Semelle de labour.Activité très faible.pH=8,30 C=2,9 mmhos/cm.Transition nette et régulière. * 15-50/55 Frais 10YR 6/4 sans tâches. A m.o. non direct décelable.moins de 1% de m.o. Effervescencegénéralisée.Eléments carbonatés et gypseux diffus.Sans autres éléments.Texture équilibrée à sable fin.Structure fragment.ployédrique moyenne et grossière.Vol. des vides faible.Cohérent.Fentes de 0,1cm distantes de 5 cm. Agrégats à pores nombreux,tubulaires fins, sans orientation dominante.peu poreux.Matériau à consistance semi-rigide, non cimenté.Plastique, collant, peu fragile.Qq racines fines pénétrant les agrégats Pas de chevelu.Activité très faible. pH=8,15 C=5,0 mmhos/cm. Transition distncte et irrégulière. * 50/55 - 100/105 Frais 7,5 YR 5/6 sans tâches. A.m.o. non direct. décelable.Moins de 1% de m.o. Effervesc. généralisée, éléments carbonatés et gypseux diffus et en pseudomycellium et en amas. Sans autres éléments. 34% argile, 3% sable.Texture argilo-limoneuse.Struct. fragment. polyédrique moyenne et grossière Vol. des vides faibles entre les agrégats.Cohérent.Fentes de 0,1cm dist. de 10 cm.Agrégats à pores nombreux, fins tubulaires sans orient.dominante.Peu poreux?Pas de faces luisantes.Pas de faces de glissement. Pas de revêtement.Matériau à consistance semi-rigide, non cimenté.Plastique,collant, peu friable, peu fragile, qq.racines fines pénétr. les agrégats.Pas de chevelu Activité très faible pH=8,0 C=12 mmhos/cm. Transition nette et régulière. * > 105 Frais 10YR 8/4, sans tâches, apparemm.non organ. Effervesc. généralisée.Eléments carbonatés et gypseux diffus et lithiques et en macrocristaux.15% Eléments grossiers.Graviers, très peu de cailloux, très peu de blocs de roches sédimentaires, calcaires et gypseuses, de forme irrégulière. Texture équilibrée Structure massive, peu nette à éclats émoussés. Vol. des vides faibles entre les agrégats.Cohérent.Pas de fente.Matériau à consistance rigide.Peu cimenté,non plastique, non collant.Peu fragile.Efflorescences chlorurés et sulfatés.Pas de racines.Activité nulle. pH=8,05; C = 8,7 mmhos/cm.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PCOT1 AA1

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		13								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33	688	528	216	794	207	199		SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	15	30	50	100	130		PMI
	Profondeur maximale		41	15	30	50	100	130			PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45								REF
	Carbonate de calcium		49	15,7	16,1	16,1	14,1	12,5	14,1		CDC
	Argile		53	20,0	20,0		34,0	22,5	18,0		ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	15,0	17,0		15,0	11,0	10,0		LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	33,0	23,0		11,0	20,0	19,0		LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	40,0	39,0		27,0	17,0	24,0		SBF
	Sable grossier		69	2,0	3,0		10,0	25,0	24,0		SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone	MO %	13	0,29	0,32	0,28	0,28	0,08			C
	Azote		17								N
	Acides humiques		21								AH
	Acides humiques bruns		25								AHB
	Acides humiques gris		29								AHG
	Acides fulviques		33								AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,30	8,15	8,2	8,15	8,18	8,05		PHE
	pH chlorure de potassium		41								PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca^{++}	45	8,19	2,65	4,26					CAE
	Magnésium	Mg^{++}	49	2,7	2,0	2,0					MGE
	Potassium	K^{+}	53	0,7	0,56	0,7					KE
	Sodium	Na^{+}	57	1,21	0,82	1,03					NAE
	Capacité d échange		61	12,0	6,1	8,2					T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65								PT
	Phosphore assim. Truog		69								PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13								PAO
	CYOSS		17	0,44	0,52	8,04	17,8	29,2	32,2		PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21								PRT
	Résidu		25								RSD
	Silice	$Si O_2$	29								SI
	Alumine	$Al_2 O_3$	33								AL
	Fer	$Fe_2 O_3$	37								FE
	Titane	$Ti O_2$	41								TI
	Manganèse	$Mn O_2$	45								MN
	Fer libre	$Fe_2 O_3$	49								FEL
en mé	Calcium	Ca^{++}	53								CA
	Magnésium	Mg^{++}	57								MG
	Potassium	K^{+}	61								K
	Sodium	Na^{+}	65								NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69								PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,7		13	18,0	20,5	21,5	24,3				PF2
	pF 3		17								PF3
	pF 4,2		21	6,4	8,2	8,1	8,3				PF4
	Instabilité structurale		25								IS
	Perméabilité		29								PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	2,9	5,0	5,2	12,0		8,7		L
	Chlorures	Cl^{-}	37	4,5	23,0	23,5	80,5		53		CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41	28,0	44,0	44,0			70,0		SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45								CO3
	Bicarbonates	$HCO3^{-}$	49	2,1	1,4	1,4			1,6		HCO
	Calcium	Ca^{++}	53	22,5	33,0	31,0			33,0		CAS
	Magnésium	Mg^{++}	57	2,0	6,0	8,0			27,0		MGS
	Potassium	K^{+}	61								KS
	Sodium	Na^{+}	65	19,8	26,5	30,9			69,5		NAS
			69	31,2	36,0	40,0	40,4		33,0		L 10
	Saturation de la pâte %		73	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	Sols peu évolués
SOUS-CLASSE	non climatiques
GROUPE	d'érosion
SOUS-GROUPE	régosoliques
Famille	sur limon à nodules calcaires
Série	sur miopliocène gypseux

PROFIL

PZ RK1

Mission/Dossier : Modèle Zougrata-Gabès
Observateur : Pontanier
Date d'observation : 28.02.1974

LOCALISATION

Lieu : Garaet Zougrata
Coordonnées : de Latitude / de Longitude / m d'Altitude
Document carto. :
Mission I.G.N. :
Photo aérienne :
Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride
Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm
Température moyenne annuelle : 19,3°C
Saison lors de l'observation : fin d'hiver
Station : Gabès
Période de référence : 1885 - 1975

SITE

Géomorphologique : Plateau érodé
Topographique : Plat
Drainage : Externe bon Interne moyen
Erosion : Hydrique en nappe
Pente en % : 1 %

MATÉRIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Limon à nodules calcaires
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique :
Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes très dégradée
Composition floristique par strate : RK1 Rhantherium suaveolens

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales : Ancien, céréaliculture
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :
Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

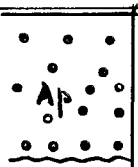
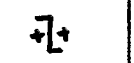
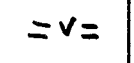
Microrelief : Surface très battante avec pellicule
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers : nodules calcaires en surface
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Passe à des sols isohumiques sur limon à nodules calcaires à l'Ouest et au Nord, et aux sols de la Garet Zougrata et à LK. au sud, et à l'Est.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZ RK1

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0	* 0-15cm Frais 10YR 7/6 humide.Jaune?Sans tâches. A m.o. non direct. décel.Vive effervescence.Eléments carbonatés diffus et en nodules.Sans autres éléments Graviers (nodules non en place) de formes arrondies. LS à sable fin calcaire. Struct. fragmentaire nette généralisée,polyédrique moyenne et fine. Volume des vides assez important entre les agrégats. Meuble.Pas de fentes.Agrégats à pores peu nombreux, fins tubulaires sans orientation dominante.Poreux?Pas de faces luisantes de glissement.Pas de revêtement.non cimenté. Peu plastique, non collant, friable,Qq.racines fines et moyen.pénétrant les agrégats.Pas de chevelu.Débris de coqu.Semelle de labour.Activité très faible.Transition nette et régulière.
		15	
			* 15-75cm Sec 10YR 7/4 sec. Brun très clair.Sans tâche A m.o. non direct. décelable.Vive effervescence.Eléments carbonatés en nodules et diffus.Sans autres éléments.Sans éléments grossiers.SA à sable fin calcaire.Struct.Fragment. très nette généralisée, polyédrique moyenne et fine.Vol.des vides faible entre les agrégats.Meuble.Pas de fentes.Agrégats à pores peu nombreux, fins, tubulaires,sans orientation domin. Peu nombreux.Pas de faces luisantes de glissement.Pas de revêtement.Peu cimenté.Peu plastique.Non collant, peu friable,peu fragile.Qq racines fines et moyennes pénétrant les agrégats dans la masse.Pas de chevelu. Qq débris de coquilles.Activité très faible.Transition très nette et régulière.
		75	
			* 75-110 Sec 10YR 8/4 sec brun très clair.Sans tâches Apparemment non organique.Vive effervescence généralisée.Eléments carbonatés et gypseux diffus,en nodules et en encroûtement. Sans autres éléments? Sans éléments grossiers.Structure massive nette généralisée à éclats émoussés.Cohérent.Pas de fente. Très poreux.Pas de faces luisantes, de glissement.Pas de revêtements.Induré.non fragile.Croûte sulfatée et carbonatée. Pas de racines.Activité nulle. Transition graduelle et ondulée.
		110	* > 110cm Sec 10YR 8/4 brun très clair.Sans tâches. Apparemment non organique.Vive effervescence général. Eléments carbonatés et gypseux, diffus et en macro cristaux.Sans autres éléments. Sans éléments grossiers Texture SA à sable fin.Calcaire.Structure massive peu nette généraliséé à éclats émoussés. Cohérents.Pas de fentes.Très poreux.Pas de faces de glissement, luisantes. Pas de revêtements.Induré.non friable,non fragile. Pas de racines.Activité nulle.

Mat.organique totale 10-2

0-15 cm	15-40 cm	40-75 cm
0,43	0,27	0,12

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PZ RK1

	Horizon	9									HRZ
	Groupe	13									GR
	Sous-groupe	17									SG
	(Famille)	21									FM
	(Série)	25									SR
	(Région)	29									RG
	Numéro du sac	33									SAC
	Profondeur minimale en cm	37	0	15	75	110					PMI
	Profondeur maximale	41	15	75	110						PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus	45									REF
	Carbonate de calcium	49	25,4	33,9	29,2	17,7					CDC
	Argile	53	11,0	15,0		15,0					ARG
	Limon fin 2 à 20 µ	57	19,5	18,0		4,5					LMF
	Limon grossier 20 à 50 µ	61	11,0	10,0		7,0					LMG
	Sable fin 50 à 200 µ	65	52,0	52,0		70,0					SBF
	Sable grossier	69	6,0	4,0		3,0					SBG
		73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone	13									C
	Azote	17									N
	Acides humiques	21									AH
	Acides humiques bruns	25									AHB
	Acides humiques gris	29									AHG
	Acides fulviques	33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5	37	8,4	8,1	7,9	7,8					PHE
	pH chlorure de potassium	41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium Ca++	45	1,5								CAE
	Magnésium Mg++	49	2,6								MGE
	Potassium K+	53	0,6								KE
	Sodium Na+	57	0,3								NAE
	Capacité d'échange	61	5,0								T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total	65									PT
	Phosphore assim. Truog	69									PAT
	Gypse 10-2	73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
		13	0	0	29,7	16,9					PAO
	Phosphore ass. citrique	17									PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu	21									PRT
	Résidu	25									RSD
	Silice SiO_2	29									SI
	Alumine Al_2O_3	33									AL
	Fer Fe_2O_3	37									FE
	Titane TiO_2	41									TI
	Manganèse MnO_2	45									MN
	Fer libre Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium Ca++	53									CA
	Magnésium Mg++	57									MG
	Potassium K+	61									K
	Sodium Na+	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}	69									PRS
		73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,7	13	14,3	15,8							PF2
	pF 3	17									PF3
	pF 4,2	21	4,8	5,3							PF4
	Instabilité structurale	25									IS
	Perméabilité	29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm	33	1,5			4,5					L
	Chlorures Cl^-	37	2,2			16,0					CL
	Sulfates $SO4^{--}$	41	15,0			40,0					SO4
	Carbonates $CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates $HCO3^-$	49	2,6			1,5					HCO
	Calcium Ca++	53	10,5			33,0					CAS
	Magnésium Mg++	57	3,0			9,0					MGS
	Potassium K+	61									KS
	Sodium Na+	65	3,6			15,9					NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm	69	32,0			36,4					L 10
	Saturation de la pâte %	73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS PEU EVOLUES
SOUS-CLASSE	NON CLIMATIQUES
GROUPE	D'APPORT ALLUVIAL
SOUS-GROUPE	SALES EN PROFONDEUR A FACIES ISOHUMIQUE
Famille	SUR ALLUVIONS SABLO-LIMONEUSES à sables fins
Série	SUR ENCROUTEMENT GYPSEUX

PROFIL

PZ ZR

Mission/Dossier : CEPE-ORSTOM ZERKINE TUNISIE

Observateur : Roger PONTANIER

Date d'observation : 17.02.1972

LOCALISATION

Lieu : Zerkine - Parcelle B

Coordonnées : 37G 41 de Latitude N
8G 80 de Longitude E
25 m d'Altitude

Document carto. : Carte 1/50.000 Mareth

Mission I.G.N. :

Photo aérienne :

Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride

Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm

Température moyenne annuelle : 19,3°C

Saison lors de l'observation : hiver

Station : Gabès

Période de référence : 1885 - 1975

SITE

Géomorphologique : Fond entouré de collines à encroûtement gypseux

Topographique :

Drainage : Bon

Erosion : faible

Pente en % : 1 %

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Alluvions sablo-limoneuses à limono-sableuse

Type et degré d'altération :

Etage stratigraphique :

Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Pelouse

Composition floristique par strate : Cynodon dactylon et Artemisia campestris

UTILISATION

Modes d'utilisation : parcours

Techniques culturales :

Modelé du champ :

Densité de plantation :

Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité : anciennement cultivé

Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : plat

Edifices biologiques : -

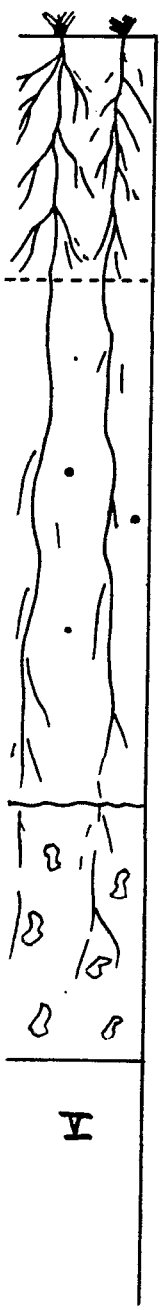
Dépôts ou résidus grossiers : -

Affleurements rocheux : -

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZ ZR

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 19 82 110	Pellicule de battance en surface * 0-19cm Frais 7,5 YR 7/6. Brun rougeâtre. Sans tâche A débris organiques et décal. moins de 1 pc. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus. Sans éléments grossiers texture SL à sable fin calcaire. Structure fragmentaire peu nette localisée autour des racines polyédrique fins. Volume des vides assez important. Boulant- pas de fentes, pores nombreux fins tubulaires sans orientation dominante-poreux- Pas de faces luisantes. Pas de revêtements. Matériau à consistance pâteuse, non cimenté, non plastique, non collant- friable-fragile- nombreuses racines fines et moyennes pénétrant les agrégats. Chevelu - Turricules Semelle de labour. Activité moyenne Transition nette et régulière. * 19-82cm Frais 7,5 YR 7/6. Brun rougeâtre. Sans tâche A m.o. non direct. décel. moins de IPC. Effervescence généralisée. Eléments carbonatés diffus.Sans éléments grossiers. Sablo-limoneux à sable fin calcaire. Structure fragmentaire peu nette.Généralisée.Polyédrique très grossière. Volume des vides faible. Pas de fentes.Agrégats à pores nombreux, fins tubulaires, sans orientation dominante.Poreux.Consistance pâteuse.Non cimenté, non plastique, non collant, friable peu fragile-Quelques racines fines et moyennes pénétrant les agrégats.Pas de chevelu. Turricules.Activité très faible. Transition graduelle et ondulée. * 82-110cm Frais 7,5 YR 8/6 humide. Brun rougeâtre- Quelques tâches peu étendues 7,5 YR 8/2 sans relation visible.Arrondies héterog.dans les dimensions Peu contrastées m.o. non direct.decel.moins de 1pc. Effervescence généralisée.Eléments carbonatés diffus et en pseudomycelium. Eléments gypseux en pseudomycel. sans éléments grossiers. SL à sable fin calcaire. Structure fragmentaire peu nette.poly. très grossière. Volume des vides faible.Meuble.Pores nombreux-fins tubul.sans orientation dominante.poreux.Consistance pâteuse, non cimenté, non plastique, non collant, friable, peu fragile.qq. racines fines et moyennes pénétrant les agrégats.Pas de chevelu.Activité très faible. Transition très nette et régulière. * > 110cm Frais 10YR 8/2 humide.Blanc sale.Sans tâches Apparem.non organique.Effervescence généralisée. Eléments carb.et gypseux diffus et en encroûtement. Sans éléments grossiers.Texture limoneuse gypseuse. Structure massive très nette, généralisée Cohérent. Pas de fentes.Pores peu nombreux, fins tubulaires sans orientation dominante, non plastique, non collant, non friable, non fragile.Croûte sulfatée .Pas de racines.Activité nulle.

Matière organique totale 10-2	0-19cm	19-50 cm	50-82 cm	82-106cm	cm
	0,62	0,37	0,43	0,21	

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL

~~PZ~~ ~~ZR~~

	Horizon	9									HRZ
	Groupe	13									GR
	Sous-groupe	17									SG
	(Famille)	21									FM
	(Série)	25									SR
	(Région)	29									RG
	Numéro du sac	33									SAC
	Profondeur minimale en cm	37	0	19	50	82	110				PMI
	Profondeur maximale	41	19	50	82	140					PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus	45									REF
	Carbonate de calcium	49	10,8	11,7	12,1	15,0	2,8				CDC
	Argile	53	5,5	7,0	10,0	8,0					ARG
	Limon fin 2 à 20 µ	57	5,0	6,5	7,5	9,0					LMF
	Limon grossier 20 à 50 µ	61	21,0	23,0	19,0	13,0					LMG
	Sable fin 50 à 200 µ	65	47,0	62,0	63,0	67,0					SBF
	Sable grossier	69	traces	traces	tr.	traces					SBG
		73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone	13									C
	Azote	17									N
	Acides humiques	21									AH
	Acides humiques bruns	25									AHB
	Acides humiques gris	29									AHG
	Acides fulviques	33	8,1	8,25	7,9	7,95	8,1				AF
Acidité	pH eau 1/2,5	37									PHE
	pH chlorure de potassium	41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium Ca ++	45									CAE
	Magnésium Mg ++	49									MGE
	Potassium K +	53									KE
	Sodium Na +	57									NAE
	Capacité d'échange	61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total	65									PT
	Phosphore assim. Truog	69									PAT
		73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen	13									PAO
	~~Phosphore ass. citrique~~ cycle 10^{-2}	17	1,02	0,73	0,94	1,25	64,7				PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu	21									PRT
	Résidu	25									RSD
	Silice SiO_2	29									SI
	Alumine Al_2O_3	33									AL
	Fer Fe_2O_3	37									FE
	Titane TiO_2	41									TI
	Manganèse MnO_2	45									MN
	Fer libre Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium Ca ++	53									CA
	Magnésium Mg ++	57									MG
	Potassium K +	61									K
	Sodium Na +	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}	69									PRS
		73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5	13									PF2
	pF 3	17									PF3
	pF 4,2	21									PF4
	Instabilité structurale	25									IS
	Perméabilité	29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm	33	1,5	1,5	8,5	8,0	4,75				L
	Chlorures Cl^-	37	3,5	11,0	76,0	59,5	19,5				CL
	Sulfates $SO4^{--}$	41	14,2			14,0					SO4
	Carbonates $CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates $HCO3^-$	49	2,6	1,6		2,3					HCO
	Calcium Ca ++	53	13,5	11,0		37,5					CAS
	Magnésium Mg ++	57	2,5	3,0		13,5					MGS
	Potassium K +	61									KS
	Sodium Na +	65	4,8	6,1		43,7					NAS
	~~extrait un dixième~~ Conductivité L 1/10 en m-mho/cm	69									L 10
	Saturation de la pâte.	73	$29_{,6}$	$32_{,4}$	$36,0_4$	$35,2_4$	$25,6_4$	4	4	4	CARTE

A13 - Sols des formations gypseuses

10 - PCTO 3 Citerne Telmam

11 - PZO 295 Oglat Merteba

12 - PZO 17 Oglat Merteba

13 - PHN 171 Sidi Monsour

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS CALCOMAGNESIMORPHES
SOUS-CLASSE	SOLS GYPSEUX
GROUPE	A ACCUMULATION LOCALISEE
SOUS-GROUPE	A ENCROUTEMENT GYPSEUX
Famille	Sur matériau alluvio-colluvial à éléments détritiques gypseux
Série	Léger recouvrement limono-sableux en surface

PROFIL

PCTO 3

Mission/Dossier : Tunisie TELMAM

Observateur : PONTANIER

Date d'observation : 18.5.1972

LOCALISATION

Lieu : Citerne TELMAM

Coordonnées : 37g83 de Latitude N
8g35 de Longitude E
80 m d'Altitude

Document carto. : Carte El Hamma 1/100 000

Mission I.G.N. : Mission 1963 CXXXVII 1/25 000

Photo aérienne : N° 69

Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride inférieur (Emberger)

Station : Babès

Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm (Gabès)

Période de référence : 1885 - 1971

Température moyenne annuelle :

Saison lors de l'observation : Printemps

SITE

Géomorphologique : Glacis d'érosion légèrement couvert

Topographique : Plane

Drainage : Mauvais

Erosion : en nappe

Pente en % : 1 à 2

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Alluvions etcolluvions grossières à éléments de gypse lithique

Type et degré d'altération :

Etage stratigraphique :

Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes (10% couverture)

Composition floristique par strate : Traganum nudatum, Erodium glaucophyllum, Moricandia arvensis, Suaeda mollis

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours

Techniques culturales :

Modelé du champ :

Densité de plantation :

Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :

Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief :

Edifices biologiques : Terriers de rongeurs

Dépôts ou résidus grossiers : Cailloux en surface

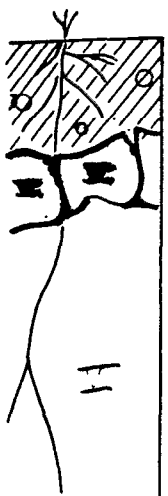
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Terrain gypseux entouré de sol peu évolués d'apport salés en profondeur.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		**PROFIL** PCTO3

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 8 13 50/55 100 135	* 0-8cm Frais 10YR 7/6 sans tâches A.m.o. non direct. décelable, moins de 1% de m.o. Effervesc. Général. Eléments carbonatés et gypseux diffus.Sans autres éléments.Texture limono-sableuse à sable fin. Caillou peu abondants, début de croûte gypseuse.Struct. fragment peu nette, généralisée,polyédri.moyenne.Vol des vides très faible. Meuble.Pas de fentes.Agrégats à pores nombreux,fins tubulaires sans orientation dominante. Matériau à consist.malléable, non cimenté, plastique,friable,fragile. Racines fines et grosses pénétrant les agrégats.Chevelu.Turricules coprolithes galeries,poterie ruines.Activité forte. PH8, 0; C= 7,7mmhos/cm. Trans.nette et interrompue. * 8-13cm Frais 10YR 8/2 sans tâches.Apparem.non orga. Faible effervesc. Eléments carbonatés et gypseux diffus et en croûte.Struct.massive très nette,localisée à éclats argileux.Fentes de 0,3cm; dist.de 10cm.Sans pores visibles.Matér. à consist.rigide,fortement cimenté,non fragile.Qq.racines fines et grosses entre les agrégats.Pas de chevelu.Activ.nulle, transition nette et interrompue. * 13-50/55 Frais 10YR 8/3, sans tâches.Apparem.non organ. Faible effervesc.Eléments carbonatés et gypseux diffus et en encroûtem. et en amas.Sans autres élements.Struct.nette à éclats émoussés.Pas de fentes.Cohérent.Pores nombreux fins, tubulaires.sans orient.Bomin. Matériaux à consistance sémi-rigide. Peu cimenté.Friable.Encroûtement sulfaté.Qq.racines fines et grosses pénétrant la masse de l'horizon.Pas de chevelu.Activ.nulle.Transition distincte et irrégulière. * 50/55-100cm Sec 10YR 7/2 sans tâches Apparem.non organ. Faible effervesc.Eléments carbon.et gypseux diffus en amas et micro-cristaux lenticulaires et en encroûtement.Sans autres él.Struct.massive peu nette à éclats émoussés.Vol.des vides très faibles.Pas de fentes. Pores peu nombreux.fins, tubulaires sans orient.dominants.Peu poreux.Peu cimenté, friable,fragile. Encroût.sulfaté.Pas de racines.Transit. nette. * 100-135cm Sec 10YR 7/6 sans taches.Apparem.non organ.Effervesc.Eléments carbonatés et gypseux diffus et en macro-cristaux.Sans autres éléments30% d'éléments grossiers.Graviers abondants de roches sédimentaires calcaires, et de roches sédimentaires gypseuses.Struct.massive à éclats émoussés.Vol. des vides très faible.Cohérent.Pas de fentes.Pores nombr.fins, tubulaires sans orient.domin.Matériau à consistance semi rigide.Peu cimenté.Peu friable, peu fragile. Pas de racines.Activité nulle. Transit.nette et ondulée. Ph 8,C- 18 mmhos/cm. * 136cm Sec 10YR 6/4 sans tâches.Apparem.m.o. Effervesc. Eléments carbon.et gyps.,diffus et en trame. microcristalline et, pseudomycellium.Sans élém. grossiers.Texture équilibrée.Struct.massive, nette généra. à éclats anguleux.Cohérent. Pas de fentes.Agrégats sans pores visibles.Peu poreux. Matériau à consistance semi rigide, peu cimenté, peu friable. Peu fragile pas de racines.Activité nulle pH 8,10 C-33 mmhos/cm.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PCTO3

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		13								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33								SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	8	13	30	50	80	100	135	PMI
	Profondeur maximale		41	8	13	30	50	80	100	135		PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	10,0	3,1	3,3	3,3	5,5	6,2	9,0	10,0	CDC
	Argile		53	10,5					17,5		21,0	ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	14,0					9,0		11,0	LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	30,0					22,0		27,0	LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	29,0					39,0		31,0	SBF
	Sable grossier		69	5,0					8,0		5,0	SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone		13	0,84								C
	Azote		17									N
	Acides humiques		21									AH
	Acides humiques bruns		25									AHB
	Acides humiques gris		29									AHG
	Acides fulviques		33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,0	8,1	8,1	8,2	8,1	8,2	8,1	8,2	PHE
	pH chlorure de potassium		41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45									CAE
	Magnésium	Mg++	49									MGE
	Potassium	K+	53									KE
	Sodium	Na+	57									NAE
	Capacité d'échange		61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65									PT
	Phosphore assim. Truog		69									PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13									PAO
	Phosphore assimilable Dyrss %		17	3,8	65,8	58,9	55,7	39,2	33,9	26,9	19,8	PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21									PRT
	Résidu		25									RSD
	Silice	SiO_2	29									SI
	Alumine	Al_2O_3	33									AL
	Fer	Fe_2O_3	37									FE
	Titane	TiO_2	41									TI
	Manganèse	MnO_2	45									MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium	Ca++	53									CA
	Magnésium	Mg++	57									MG
	Potassium	K+	61									K
	Sodium	Na+	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69									PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5		13									PF2
	pF 3		17									PF3
	pF 4,2		21									PF4
	Instabilité structurale		25									IS
	Perméabilité		29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	7,7				13,5	18,0		33,0	L
	Chlorures	Cl^-	37									CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49									HCO
	Calcium	Ca++	53									CAS
	Magnésium	Mg++	57									MGS
	Potassium	K+	61									KS
	Sodium	Na+	65									NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69	33,2				41,6	37,2		36,0	L 10
Saturation de la pâte %			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS CALCOMAGNESIMORPHES
SOUS-CLASSE	GYPSEUX
GROUPE	A ACCUMULATION LOCALISEE
SOUS-GROUPE	A CROUTE GYPSEUSE DURE
Famille	SUR MARNES GYPSEUSE DU NEOCOMIEN (WEALD)
Série	

PROFIL PZO 295

Mission/Dossier : OGLAT-MERTEBA

Observateur : ZANTE/PONTANIER

Date d'observation : 30-12-74

LOCALISATION

Lieu : Draa el Feratiss

Coordonnées : 37G 57' 50" de Latitude N
7G 94' 50" de Longitude E
70 m d'Altitude

Document carto. : feuille OglatMerteba 1/100 000
Mission I.G.N. : TUNISIE 1967 LXXXII
Photo aérienne : 10
Photographie : 013

CLIMAT

Type : Méditerranéen saharien supérieur
Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm
Température moyenne annuelle :
Saison lors de l'observation : HIVER

Station : GABES
Période de référence : 1 885 - 1975

SITE

Géomorphologique : Glacis d'érosion
Topographique : Plane
Drainage : Externe : bon - Interne : mauvais
Erosion : Forte

Pente en % : < 1

MATÉRIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Marnes gypseuses vertes ou rouges
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique : Néocomien , faciès Wealdien
Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes
Composition floristique par strate : Association à Traganum nudatum et Anabasis articulata

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif : surpâturage

Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

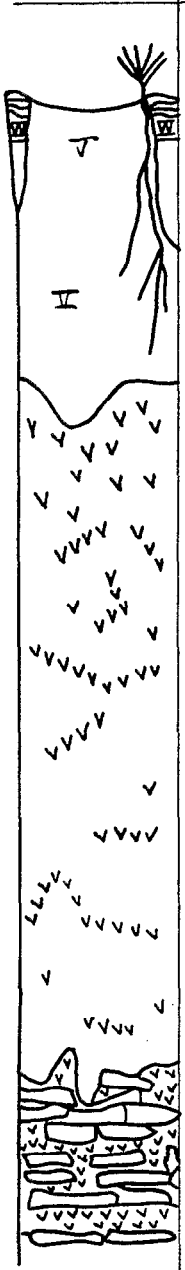
Microrelief : Croûte polygonée et réticulée
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers :
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Au Nord et Nord-Ouest : sols halomorphes à alcalis très salés
Autres directions : sols peu évolués d'apports modaux ou salés

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZO 295

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 20 40 120	* 0-0/20 Sec 2,5 YR 8/0. Blanc -Sec - Sans tâches- Apparemment non organique- Faible effervescence généralisée. Eléments gypseux en croûte.Sans éléments grossiers.Structure massive très nette.Fragmentaire.Prismatique.Grossière.Cohérent.Fentes de 0,1 cm de largeur distantes de 10,20cm.Matériau à consistance rigide.Fortement cimenté.Qq.racines fines et moyennes. Revêtant les fissures.Activité tres faible.Transition très nette.Interrompue. * 0/20-40 cm Frais 2;5 YR 8/2 Blanc - Humide - Sans taches.Apparemment non organique.Faible effervescence généralisée.Eléments gypseux en encroûtement.Plateux.Sans éléments grossiers.Structure massive. Nette - à éclats émoussés.Cohérent.Pas de fentes. Pores peu nombreux.Vésiculaires.Peu poreux.Consistance semi-rigide.Non plastique.Non collant.Friable. Qq.racines fines.Pénétrant la masse de l'horizon.Activité très faible.Transition graduelle ondulée. * 40-120cm Sec 5YR 7/4 Rouge jaunâtre - sec - Apparamment non organique.Faible effervescence.Eléments gypseux en encroûtement et en macrocristaux assamblés en veinules.Sans éléments grossiers.Texture sablo-limoneuse à sables grossiers.Structure fragmentaire très nette et généralisée.Polyédrique moyenne.Cohérent.Pas de fentes.Peu poreux.Consistance rigide.Peu fragile.Pas de racines.Transition diffuse. Irrégulière. * > 120cm Sec.Brun rouge - Sec - Non organique - Effervescent -Eléments cabonatés diffus et en nodules friables.Eléments gypseux en macrocristaux et lithiques.Roche sédimentaire marneuse, non altérée. En plaquettes.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL
PZO 295

	Horizon	9									HRZ
	Groupe	13									GR
	Sous-groupe	17									SC
	(Famille)	21							Plaquettes		FM
	(Série)	25							marnes		SR
	(Région)	29									RG
	Numéro du sac	33									SAC
	Profondeur minimale en cm	37	0	0	40	60	80	100			PMI
	Profondeur maximale	41	20	40	60	80	100	120	120		PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus	45									REF
	Carbonate de calcium total	49	4,1	5,4	2,0	3,0	7,5	32,5	59,1		CDC
	Argile	53									ARG
	Limon fin 2 à 20 µ	57									LMF
	Limon grossier 20 à 50 µ	61									LMG
	Sable fin 50 à 200 µ	65									SBF
	Sable grossier	69									SBG
		73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone	13									C
	Azote	17									N
	Acides humiques	21									AH
	Acides humiques bruns	25									AHB
	Acides humiques gris	29									AHG
	Acides fulviques	33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5	37									PHE
	pH chlorure de potassium	41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium Ca ++	45									CAE
	Magnésium Mg ++	49									MGE
	Potassium K +	53									KE
	Sodium Na +	57									NAE
	Capacité d'échange	61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total	65									PT
	Phosphore assim. Truog	69									PAT
		73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen	13									PAO
	[illegible]	17									PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu Gypse%	21	72,1	61,2	39,1	30,7	23,2	11,7	Tr.ou 80%		PRT
	Résidu	25									RSD
	Silice SiO_2	29									SI
	Alumine Al_2O_3	33									AL
	Fer Fe_2O_3	37									FE
	Titane TiO_2	41									TI
	Manganèse MnO_2	45									MN
	Fer libre Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium Ca ++	53									CA
	Magnésium Mg ++	57									MG
	Potassium K +	61									K
	Sodium Na +	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}	69									PRS
		73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5	13									PF2
	pF 3	17									PF3
	pF 4,2	21									PF4
	Instabilité structurale	25									IS
	Perméabilité	29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm	33									L
	Chlorures Cl^-	37									CL
	Sulfates $SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates $CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates $HCO3^-$	49									HCO
	Calcium Ca ++	53									CAS
	Magnésium Mg ++	57									MGS
	Potassium K +	61									KS
	Sodium Na +	65									NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm	69									L 10
		73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS CALMMGNESIMORPHES
SOUS-CLASSE	GYPSEUX
GROUPE	A ACCUMULATION LOCALISEE
SOUS-GROUPE	CROUTE GYPSEUSE
Famille	SUR MATERIAU GYPSEUX DU MIOPLIOCENE
Série	

PROFIL

PZO 17

Mission/Dossier : TUNISIE Oglat Merteba.
Observateur : ZANTE/PONTANIER
Date d'observation : 28/9/1974

LOCALISATION

Lieu : O. El AISOUB
Coordonnées : 37G47'70" de Latitude N
8G12' 12" de Longitude E
m d'Altitude

Document carto. : Feuille Oglat Merteba 1/100.000
Mission I.G.N. : TUNISIE 1967 LXXXII
Photo aérienne : 09
Photographie : 040

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride inférieur à hivers doux
Pluviométrie moyenne annuelle : 183 mm
Température moyenne annuelle :
Saison lors de l'observation : AUTOMNE

Station : GABES
Période de référence : 1885 - 1975

SITE

Géomorphologique : Glacis d'érosion encroûté
Topographique : Bas du glacis
Drainage : Externe : Bon Interne : mauvais
Erosion : Perte

Pente en % : 2

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Argiles sableuses gypseuses
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique : Miopliocène
Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes et hémicryptophytes
Composition floristique par strate : Association à Anarrhinum brevifolium et Zygophyllum album
Sous-association à Lygeum spartum

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

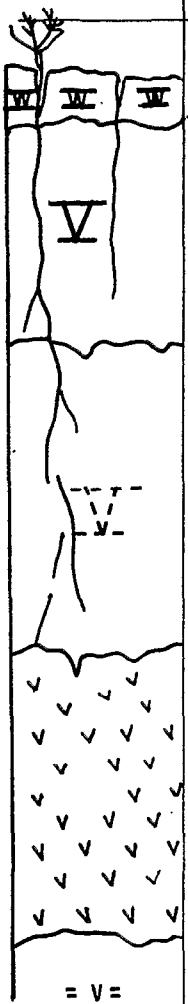
Microrelief : Polygones de croûte gypseuse
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers :
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

en bas de glacis, sols peu évolués modaux sur colluvions grossières ou peu évolués steppisés.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZO 17

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons
		0 5 20 40 60

* 0-5 cm Sec Blanc sans tâches -Apparemment non organique.Aucune effervesc. Eléments gypseux en croûtes.Sans éléments grossiers.Structure fragmentaire très nette et généralisée, lamellaire, très grossière.Cohérent.Fentes de 0,4 cm de largeur distantes de 25 cm.Agrégats sans pores visibles.Très peu poreux.Matériau à consistance rigide.Induré.Croûte sulfatée.Qq racines fines et moyennes.Revêtant les fissures.Chevelu.Activité très faible.Transition très nette. Interrompue.

* 5-20 cm Frais 7,5 YR 8/0 Blanc. Sans tâches.Apparemment non organique.Faible effervescence généralisée Eléments carbonatés et gypseux.Diffus et en encroûtement.Sans éléments grossiers.Structure massive très nette et généralisée. A éclats émoussés. Cohérent. Pas de fentes.Agrégats à pores peu nombreux.Très fins.Peu poreux.Matériau à consistance rigide.Fortement cimenté.Qq racines fines et moyennes.Entre les agrégats et déviées.Activité très faible.Transition nette régulière.

* 20-40 cm Humide 7,5 YR 8/0 Blanc.Sans tâches, apparemment non organique.Faible effervescence généralisée.Eléments carbonatés et gypseux. Diffus et en encroûtement tuffeux .Sans éléments grossiers.Structure massive nette et généralisée à éclats émoussés. Cohérent. Pas de fentes.Agrégats sans pores visibles Très peu poreux.Matériau à consistance semi-rigide. Non plastique, non collant.Qq racines fines et moyennes.Chevelu.Activité très faible.Transition nette régulière.

* 40-60 cm Humide 10 YR 8/3 jaunâtre.Sans tâche.Apparemment non organique.Faible effervescence généralisée.Eléments carbonatés et gypseux.Diffus en encroûtement et en macro-cristaux.Sans éléments grossiers. Structure massive nette et généralisée à éclats émoussés. Cohérent, pas de fentes.Agrégats sans pores visibles.Très peu poreux.Matériau à consistance rigide. Fortement cimenté.Pas de racines Activité nulle. Transition nette et régulière.

* > 60 cm, Humide. 10 YR 8/4 jaunâtre.Qq tâches irrégulières à limites peu nettes. Peu contrastées.Apparemment non organique.Faible effervescence généralisée.Eléments carbonatés et gypseux.Diffus en encroûtement et en macro-cristaux.Sans éléments grossiers.Structure massive à éclats émoussés.Cohérent pas de fentes.Pores peu nombreux.Très fins.Peu poreux. Consistance rigide.Fortement cimenté, pas de racines.Pas de chevelu. Activité nulle.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL
PZO 17

	Horizon	9									HRZ
	Groupe	13									GR
	Sous-groupe	17									SG
	(Famille)	21									FM
	(Série)	25									SR
	(Région)	29									RG
	Numéro du sac	33									SAC
	Profondeur minimale en cm	37	0	5	20	40	60				PMI
	Profondeur maximale	41	5	20	40	60					PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus	45									REF
	Carbonate de calcium	49	3	1	traces	9	18				CDC
	Argile	53									ARG
	Limon fin 2 à 20 µ	57									LMF
	Limon grossier 20 à 50 µ	61									LMG
	Sable fin 50 à 200 µ	65									SBF
	Sable grossier	69									SBG
		73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone	13									C
	Azote	17									N
	Acides humiques	21									AH
	Acides humiques bruns	25									AHB
	Acides humiques gris	29									AHG
	Acides fulviques	33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5	37	7,7	7,7	7,6	7,4	7,5				PHE
	pH chlorure de potassium	41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium Ca^{++}	45									CAE
	Magnésium Mg^{++}	49									MGE
	Potassium K^{+}	53									KE
	Sodium Na^{+}	57									NAE
	Capacité d'échange	61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total	65									PT
	Phosphore assim. Truog	69									PAT
		73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen	13									PAO
	gypse %	17	69	72	81	61	19				PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu	21									PRT
	Résidu	25									RSD
	Silice SiO_2	29									SI
	Alumine Al_2O_3	33									AL
	Fer Fe_2O_3	37									FE
	Titane TiO_2	41									TI
	Manganèse MnO_2	45									MN
	Fer libre Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium Ca^{++}	53									CA
	Magnésium Mg^{++}	57									MG
	Potassium K^{+}	61									K
	Sodium Na^{+}	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}	69									PRS
		73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5	13									PF2
	pF 3	17									PF3
	pF 4,2	21									PF4
	Instabilité structurale	25									IS
	Perméabilité	29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm	33	3,0	3,2	3,1	2,6					L
	Chlorures Cl^{-}	37									CL
	Sulfates $SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates $CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates $HCO3^{-}$	49									HCO
	Calcium Ca^{++}	53									CAS
	Magnésium Mg^{++}	57									MGS
	Potassium K^{+}	61									KS
	Sodium Na^{+}	65									NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm	69	44	40	63	50					L 10
	Saturation en pâte %	73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS CALCOMAGNESIMORPHES
SOUS-CLASSE	SOLS GYPSEUX
GROUPE	A ACCUMULATION LOCALISEE
SOUS-GROUPE	
Famille	MATERIAU GYPSEUX EOLIEN
Série	

PROFIL

PHN 171

Mission/Dossier : EL HAMMA NORD TUNISIE
Observateur : Roger PONTANIER
Date d'observation : 3/02/1971

LOCALISATION

Lieu : SEBKHA SIDI MANSOUR
Coordonnées. 38 G 04 de Latitude N
8 G 01 de Longitude E
80 m d'Altitude

Document carto. : Feuille MEHAMLA 1/100.000
Mission I.G.N. : TU 63 1/25 000
Photo aérienne : CXXVIII - 45
Photographie :

CLIMAT

Type : MEDITERRANEEN ARIDE INFERIEUR - EMBERGER
Pluviométrie moyenne annuelle : 160 mm
Température moyenne annuelle : 19,3°C
Saison lors de l'observation : HIVER

Station :
Période de référence :

SITE

Géomorphologique : Bourrelet éolien en bordure de Sebkha (Lunette)
Topographique : Mi-pente
Drainage : Bon
Erosion. Déflation

Pente en % : 5 %

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Matériau gypseux éolien
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique :
Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes
Composition floristique par strate : *Erodium glaucophyllum - Gymnocarpos decander - Anabasis brevifolia Atractylis scatuloïdes*

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif : Surpâturé

Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

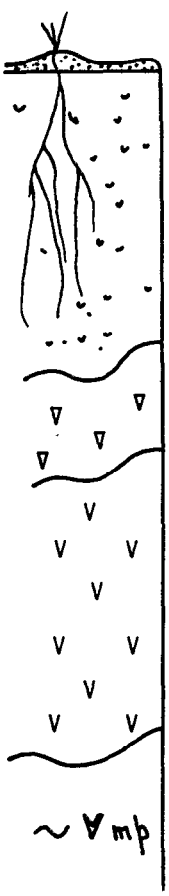
Microrelief : Léger voile éolien, avec quelques micro-nebkhas
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers : Gypse lenticulaire en surface par endroit
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Nous passons à une croûte gypseuse dure et patinée vers le haut de la dune, vers des sols alluviaux vers le bas à l'Est, vers des sols à alcalis en bordure de la Sebkha.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PHN 171

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0	* Voile éolien calcaire, non gypseux.
	681		* Frais. 2,5 Y 7/6. Effervescence. Eléments gypseux diffus et en lentilles de 2 à 3 mm. Moins de 1PC de m. o. non directement décelable. Texture équilibrée. Structure particulaire. Meuble. Très poreux. Quelques racines moyennes Transition graduelle ondulée.
		30	
	703		* Frais 2,5 Y 8/6. Effervescence. Eléments gypseux diffus, en lentilles et en amas. M.o. non directement décelable. Moins de 1PC. Texture équilibrée. Structure particulaire. Meuble poreux. Quelques racines. Transition graduelle et ondulée.
		40	
	214		* Frais 2,5 Y 8/4. Forte effervescence. Eléments gypseux en lentilles. Texture équilibrée. Structure massive peu nette mais peu cimentée. Poreux. Pas de racine.
		80	
	614		* Frais 7,5 YR 7/8. Jaune rougeâtre. Amas gypseux. Structure massive. Vive effervescence. Miopliocène gypseux.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PHN 171

	Horizon		9									HRZ
	Groupe		13									GR
	Sous-groupe		17									SG
	(Famille)		21									FM
	(Série)		25									SR
	(Région)		29									RG
	Numéro du sac		33									SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	30	40	80		Voile			PMI
	Profondeur maximale		41	30	40	80			éolien			PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	14,9	13,7	18,0	23,0		19,5			CDC
	Argile		53	24,5			12,5		7,0			ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	14,0			15,5		11,0			LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	12,0			19,0		12,0			LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	38,0			49,0		68,0			SBF
	Sable grossier		69	7,0			5,0		2,0			SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	(Oxydable) m.o. %		13	0,51	0,12	0,10						C
	Azote		17									N
	Acides humiques		21									AH
	Acides humiques bruns		25									AHB
	Acides humiques gris		29									AHG
	Acides fulviques		33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	7,95	7,85	7,90	8,00		8,00			PHE
	pH chlorure de potassium		41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45									CAE
	Magnésium	Mg++	49									MGE
	Potassium	K+	53									KE
	Sodium	Na+	57									NAE
	Capacité d'échange		61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65									PT
	Phosphore assim. Truog		69									PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13									PAO
	Gypse (Phosphore assimilable)		17	32,4	30,0	24,9	14,5		traces			PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21									PRT
	Résidu		25									RSD
	Silice	SiO_2	29									SI
	Alumine	Al_2O_3	33									AL
	Fer	Fe_2O_3	37									FE
	Titane	TiO_2	41									TI
	Manganèse	MnO_2	45									MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium	Ca++	53									CA
	Magnésium	Mg++	57									MG
	Potassium	K+	61									K
	Sodium	Na+	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69									PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5		13									PF2
	pF 3		17									PF3
	pF 4,2		21									PF4
	Instabilité structurale		25									IS
	Perméabilité		29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33									L
	Chlorures	Cl^-	37									CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49									HCO
	Calcium	Ca++	53									CAS
	Magnésium	Mg++	57									MGS
	Potassium	K+	61									KS
	Sodium	Na+	65									NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69									L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

A14 - Sols des formations à croûte calcaire

14 PZ GD_2 Zougrata

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS MINERAUX BRUTS
SOUS-CLASSE	NON CLIMATIQUES
GROUPE	BRUTS D'EROSION
SOUS-GROUPE	LITHOSOLS
Famille	SUR CROUTE CALCAIRE VILLAFRANCHIENNE DEMANTELEE
Série	SUR MIOPLIOCENE GYPSEUX

PROFIL

PZ GD_2 MB 146

Mission/Dossier : Modèle ZOUGRATA GABES
Observateur : Roger PONTANIER
Date d'observation : 28/02/1974

LOCALISATION

Lieu : O. ZITOUN - Km 52
Coordonnées. **de Latitude** **de Longitude** **m d'Altitude**
Document carto. :
Mission I.G.N. :
Photo aérienne :
Photographie :

CLIMAT

Type. Méditerranéen aride inférieur (Emberger)
Pluviométrie moyenne annuelle : 187 mm
Température moyenne annuelle : 19,3 °C
Saison lors de l'observation : fin hiver
Station : GABES
Période de référence : 1885-1979

SITE

Géomorphologique : Témoin de l'ancienne surface Villafranchienne
Topographique : Sommet de butte témoin
Drainage : Faible
Erosion : Eolienne et hydrique
Pente en % : 2 %

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Croûte calcaire Villafranchienne
Type et degre d'altération : démantelée
Etage stratigraphique :
Impuretés ou remaniements :

VÉGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chamephytes peu dense
Composition floristique par strate : *Gymnocarpos decander, Rh. suaveolens* et *Astragalus armatus*

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :
Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

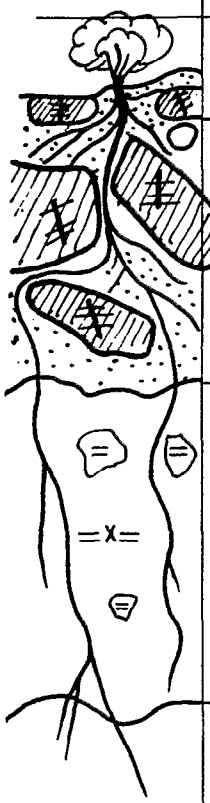
ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief :
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers : Nombreux cailloux et blocs de croûte calcaire. Voile éolien par endroit.
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PZ GD_2



Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
	0	* Croûte Villafranchienne démantelée. Blocs de 0,5 à 25 kg pris dans une guangue sableuse d'origine éolienne, calcaire. Chevelu très dense, et nombreuses racines. Le tout est frais et organique (1,81 % m.o. !)
guangue P 43		Poreux
Blocs		
[illegible] - 140	20	* Frais. Blanc sale. Encroûtement nodulaire calcaire. Encore quelques racines, et quelques cailloux de croûte.
P 6		Moy. Poreux
	40	* Frais Horizon blanc sale. Calcaire pulvérulent. Quelques rares racines fines.
DS 230		Très poreux.
	65	* Encroûtement calcaro gypseux, compact, frais impénétrable aux racines. Gypse macrocristallisé.
DS 78		Vers le fond on passe au mat. miopliocène sablo-argileux, gypséux classique.
		Peu poreux.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PZ GD$_2$

	Horizon		9									HRZ
	Groupe		13									GR
	Sous-groupe		17									SG
	(Famille)		21									FM
	(Série)		25	Sol	Croûte	= x =	Ca	= v =				SR
	(Région)		29	(guangue)	Vill							RG
	Numéro du sac		33									SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	0	20	40	65				PMI
	Profondeur maximale		41	20	20	40	65					PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	20,0	81,0	52,9	63,1	44,0				CDC
	Argile		53	6,0								ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	6,0								LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	7,0								LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	69,0								SBF
	Sable grossier		69	11,0								SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	(Carbone) m.o. %		13	0,81		0,42	0,28					C
	Azote		17									N
	Acides humiques		21									AH
	Acides humiques bruns		25									AHB
	Acides humiques gris		29									AHG
	Acides fulviques		33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	7,7		7,9	7,9	7,7				PHE
	pH chlorure de potassium		41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45									CAE
	Magnésium	Mg++	49									MGE
	Potassium	K+	53									KE
	Sodium	Na+	57									NAE
	Capacité d'échange		61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65									PT
	Phosphore assim. Truog		69									PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13									PAO
Gypse	(Phosphore assimilable)		17	0,4	0	0,4	1,5	32,6				PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21									PRT
	Résidu		25									RSD
	Silice	SiO_2	29									SI
	Alumine	Al_2O_3	33									AL
	Fer	Fe_2O_3	37									FE
	Titane	TiO_2	41									TI
	Manganèse	MnO_2	45									MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium	Ca++	53									CA
	Magnésium	Mg++	57									MG
	Potassium	K+	61									K
	Sodium	Na+	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69									PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5		13	8,6								PF2
	pF 3		17									PF3
	pF 4,2		21	2,9								PF4
	Instabilité structurale		25									IS
	Perméabilité		29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33									L
	Chlorures	Cl^-	37									CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49									HCO
	Calcium	Ca++	53									CAS
	Magnésium	Mg++	57									MGS
	Potassium	K+	61									KS
	Sodium	Na+	65									NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69									L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

A15 - Sols des formations halomorphes

15 - PZO 322 Oglat Merteba

16 - PHN 250 El Hamma

17 - PHN 381 El Hamma

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS HALONORPHES
SOUS-CLASSE	SOLS A STRUCTURE DEGRADEE
GROUPE	SOLS A ALCALIS NON LESSIVES
SOUS-GROUPE	TRES SALES STRUCTURE POUDREUSE EN SURFACE EN SAISON SECHE
Famille	SUR ALLUVIONS DE MARNES ET SABLES
Série	

PROFIL

PZ 322

Mission/Dossier : ZANTE/PONTANIER

Observateur : 30/01/75

Date d'observation :

LOCALISATION

Lieu : Djebibina -chott fedjadj
Coordonnées : 37G65'70" **de Latitude** N
7G95'00" **de Longitude** E
35 **m d'Altitude**

Document carto. : Feuille Oglat Merteba 1/100 000
Mission I.G.N. : TUNISIE 1967
Photo aérienne : 10
Photographie : 094

CLIMAT

Type : Méditerrannéen aride inférieur à hivers doux
Pluviométrie moyenne annuelle : 183
Température moyenne annuelle :
Saison lors de l'observation : HIVER

Station : GABES
Période de référence : 1885 - 1975

SITE

Géomorphologique : Plaine en bordure du Chott
Topographique : à l'aval d'un talus de marnes gypseuses
Drainage : moyen
Erosion : moyenne

Pente en % : 1

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Marnes gypseuses
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique : Crétacé inférieur "Weald"
Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à halophytes
Composition floristique par strate : Association à Salsola tetranda et Suaeda fruticosa.

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief : micronebkas
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers :
Affleurements rocheux :

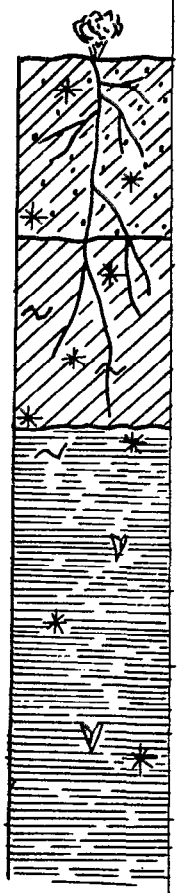
EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

à l'amont, sols peu évolués alluviaux salés

à l'aval, sols halomorphes, salins ou à alcalis (chott)

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		**PROFIL** PZO 322

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0 25 50	0.25 cm Sec. Humide. Matière organique non directement décelable peu organique. Effervescence. Eléments carbonatés diffus gypseux, en pseudomycelium et en amas. Texture sableuse à Sable limoneuse à sable fins.Structure peu nette. Polyédrique subanguleuse fine, meuble, très poreux.non plastique non collant. Qq. racines-fines-chevelu. Transition distincte et régulière. 25-50 cm Sec. Humide. Matière organique non directement décelable. Effervescence. Eléments carbonatés diffus et gypseux en pseudomycélium et amas. Texture limono-sableuse à sables fins. Structure nette.polyédrique subanguleuse. Fine et moyenne.Qq. pores tubulaires.Sans orientation dominante.Poreux peu plastique.peu collant.Qq. racines fines. Transition distincte et régulière. > 50 cm Sec. Humide. Apparemment non organique. Effervescence. Eléments carbonatés diffus. Gypseux en pseudomycélium et macro-cristaux. Texture limoneuse à limono-argileuse. Structure nette.Polyédrique subanguleuse moyenne cohérent. Agrégats à pores nombreux fins et très fins. Tubulaires sans orientation dominante et vacuolaires. Très peu poreux. Consistance semi-rigide.Plastique.Collant. pas de racines. Activité nulle.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL
PZO 322

	Horizon		9								HRZ
	Groupe		13								GR
	Sous-groupe		17								SG
	(Famille)		21								FM
	(Série)		25								SR
	(Région)		29								RG
	Numéro du sac		33	J 830	J 831	J 832	J 833				SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	10	25	50				PMI
	Profondeur maximale		41	10	25	50	110				PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45								REF
	Carbonate de calcium		49	9	10	14	8				CDC
	Argile		53	7	10	10	6				ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	11	4	13	28				LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	20	11	18	28				LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	60	72	51	31				SBF
	Sable grossier		69	1	2	4	2				SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1 CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone		13								C
	Azote		17								N
	Acides humiques		21								AH
	Acides humiques bruns		25								AHB
	Acides humiques gris		29								AHG
	Acides fulviques		33								AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,5	8,8	8,9	8,5				PHE
	pH chlorure de potassium		41								PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45	3,1							CAE
	Magnésium	Mg++	49	3,0							MGE
	Potassium	K+	53	1,0							KE
	Sodium	Na+	57	0,4							NAE
	Capacité d'échange		61	8							T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65								PT
	----------		69	8	10	14	10				PAT
	Gypse %		73	2	2	2	2	2	2	2	2 CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13								PAO
	Phosphore ass. citrique		17								PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21								PRT
	Résidu		25								RSD
	Silice	SiO_2	29								SI
	Alumine	Al_2O_3	33								AL
	Fer	Fe_2O_3	37								FE
	Titane	TiO_2	41								TI
	Manganèse	MnO_2	45								MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49								FEL
en mé	Calcium	Ca++	53								CA
	Magnésium	Mg++	57								MC
	Potassium	K+	61								K
	Sodium	Na+	65								NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69								PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3 CARTE
	pF 2,5		13								PF2
	pF 3		17								PF3
	---Kérin log 10 k		21	2	2	1	1				PF4
	Instabilité structurale		25	2	2	2	2				IS
	SATURATION %		29	33	30	36	43				PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	5,5	15,2	14,0	20,5				L
	Chlorures	Cl^-	37	26	203	161	324				CL
	Sulfates	SO_4^{--}	41	43	164	180	235				SO4
	Carbonates	CO_3^{--}	45								CO3
	Bicarbonates	HCO_3^-	49	2	1	2	2				HCO
	Calcium	Ca++	53	33	34	30	33				CAS
	Magnésium	Mg++	57	12	26	27	65				MGS
	Potassium	K+	61								KS
	Sodium	Na+	65	28	294	268	425				NAS
	extrait un dixième Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69	7	45	43	48				L 10
	Na/T calcule		73	4	4	4	4	4	4	4	4 CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS HALOMORPHES
SOUS-CLASSE	SOLS A STRUCTURE DEGRADEE
GROUPE	SOLS A ALCALI NON LESSIVES
SOUS-GROUPE	SOLS A ENCROUTEMENT SALINS SUPERFICIEL
Famille	ALLUVIONS SALEES DU COMPLEXE TERMINAL
Série	ENCROUTEMENT GYPSEUX DE NAPPE

PROFIL

PHN 250

Mission/Dossier : EL HAMMA NORD

Observateur : Roger PONTANIER

Date d'observation : 3/03/1971

LOCALISATION

Lieu : CHOTT FEDJADJ

Coordonnées : 37 G 75 **de Latitude** N
8 G 16 **de Longitude** E
13 **m d'Altitude**

Document carto. : Feuille EL HAMMA 1/100.000
Mission I.G.N. : TU 67 1/25.000
Photo aérienne : 11-001
Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride inférieur Emberger
Pluviométrie moyenne annuelle : 187 mm
Température moyenne annuelle : 19,3°C
Saison lors de l'observation : Printemps

Station : GABES
Période de référence : 1885-1977

SITE

Géomorphologique : Chott (dépression)
Topographique : plane
Drainage : mauvais
Erosion :

Pente en % : 0

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Matériau complexe de remplissage
Type et degré d'altération :
Etage stratigraphique : Complexe terminal
Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : Aucune végétation à l'exception de quelques touffes sur micronebkhas (> 1 % de couverture)
Composition floristique par strate :
Halocnemum strobilaceum

UTILISATION

Modes d'utilisation : /
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif :

Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

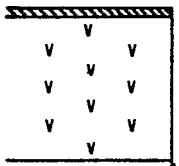
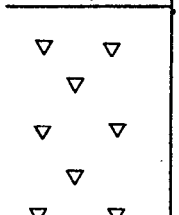
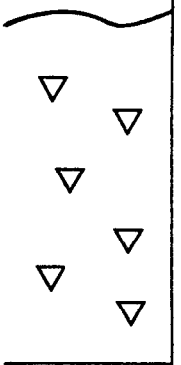
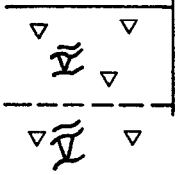
Microrelief : Quelques micronebkhas à *Halocnemum*. Voile éolien par endroit. Croûte saline.
Edifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers :
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Passe à des sols moins salés en bordure du chott.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		**PROFIL** PHN 250

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0	* Pellicule à croûte saline "soufflée".
	883	10	* Très humide beige clair. Matière organique non directement décelable. Faible effervescence. Eléments gypseux en cristaux lenticulaire. Texture sablo-limoneuse. Structure particulaire. Très poreux. Pas de racine. Friable Transition nette et régulière.
	612	25	* Très humide. Brun. Moins de 1PC m.o. Effervescence. Eléments gypseux en petits amas. Texture limoneuse. Structure massive. Très peu poreux. Consistance maléable. Pas de racines. Transition diffuse et ondulée.
	578	60	* Idem précédent, mais éléments gypseux en amas et en gros nodules farineux et faible effervescence.
	602 nappe	80	* Très humide à noyé. Blanc sale. Vive effervescence. Eléments gypseux en encroûtement et en amas. Structure massive. Consistance rigide. Peu poreux.
			* nappe à résidu sec = 96 g/l

Cm	0-10	10-25	>25
Na /T calculé	76,5	71,0	75,0
SAR	220	202	204

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PHN 250

	Horizon		9									HRZ
	Groupe		13									GR
	Sous-groupe		17									SG
	(Famille)		21									FM
	(Série)		25									SR
	(Région)		29									RG
	Numéro du sac		33									SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	10	25	60					PMI
	Profondeur maximale		41	10	25	60	–					PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	2,9	14	7,6	14					CDC
	Argile		53	8,0	18,0	15,5						ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	15,0	11,5	13,5						LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	9,0	41,0	30,0						LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	74,0	30,0	33,0						SBF
	Sable grossier		69	traces	traces							SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	~~Carbone~~ m.o. %		13	0,51	0,65	0,86	0,12					C
	Azote		17									N
	Acides humiques		21									AH
	Acides humiques bruns		25									AHB
	Acides humiques gris		29									AHG
	Acides fulviques		33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,2	8,0	8,15	8,35					PHE
	pH chlorure de potassium		41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45									CAE
	Magnésium	Mg++	49									MGE
	Potassium	K+	53									KE
	Sodium	Na+	57									NAE
	Capacité d'échange		61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65									PT
	Phosphore assim. Truog		69									PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13									PAO
Gypse			17	14,8	11,4	66,8	56,5					PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21									PRT
	Résidu		25									RSD
	Silice	SiO_2	29									SI
	Alumine	Al_2O_3	33									AL
	Fer	Fe_2O_3	37									FE
	Titane	TiO_2	41									TI
	Manganèse	MnO_2	45									MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium	Ca++	53									CA
	Magnésium	Mg++	57									MG
	Potassium	K+	61									K
	Sodium	Na+	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69									PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,7		13	8,0	25,6	35,0						PF2
	pF 3		17									PF3
	pF 4,2		21									PF4
	Instabilité structurale		25									IS
	Perméabilité		29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	154	144	154	170					L
	Chlorures	Cl^-	37	2395	2250	2590	2970					CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49	2,2	0,7	0,7						HCO
	Calcium	Ca++	53	80,0	67,5	65,0						CAS
	Magnésium	Mg++	57	150	212,5	239,0						MGS
	Potassium	K+	61									KS
	Sodium	Na+	65	2379	2399	2520						NAS
Saturation de la pate			69	23,6	32,8	35,6	30,8					L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS HALOMORPHES
SOUS-CLASSE	STRUCTURE NON DEGRADEE PAR LES IONS ABSORBES
GROUPE	SOLS SALINS
SOUS-GROUPE	A HORIZON SUPERFICIEL FRIABLE
Famille	ALLUVIONS FLUVIALES REMANIEES PAR VENT
Série	à remise en mouvement [redacted]gypse

PROFIL

PHN 381

Mission/Dossier : EL HAMMA NORD

Observateur : Roger PONTANIER

Date d'observation : 24/01/1970

LOCALISATION

Lieu : OUED MELAH OUDREF
Coordonnées 37 G 77 **de Latitude** N
8 G 43 **de Longitude** E
35 **m d'Altitude**

Document carto. : EL HAMMA 1/100 000
Mission I.G.N. : CXXXVII/250 TU 63
Photo aérienne : N° 101
Photographie :

CLIMAT

Type : MEDITERRANEEN ARIDE INFERIEUR EMBERGER
Station : GABES
Pluviométrie moyenne annuelle : 187 mm
Période de référence : 1885-1977
Température moyenne annuelle : 19,3°C
Saison lors de l'observation : HIVER

SITE

Géomorphologique : Bordure de
Topographique : plaine
Drainage : mauvais
Erosion : faible
Pente en % < 1 %

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Sable d'apport mixte
Type et degré d'altération :
Étage stratigraphique :
Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : steppe à chamephytes crassulescents
Composition floristique par strate : *Zygophyllum album, Limoniastrum guyonianum, Retama raetam, Atriplex* ssp. et *Aeluropus littoralis.*

UTILISATION

Modes d'utilisation : Parcours à camelidés
Techniques culturales :
Modelé du champ :
Densité de plantation :
Rendement ou aspect végétatif : Steppe en bon état
Jachère, durée, périodicité :
Successions culturales :

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

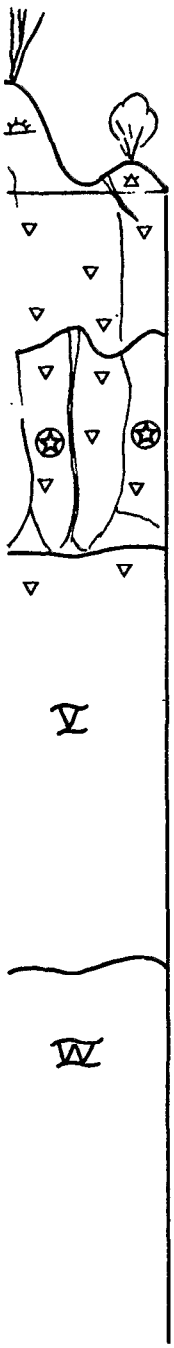
Microrelief : Nebkas et micronebkas
Édifices biologiques :
Dépôts ou résidus grossiers :
Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Passe, vers le Nord à des sols gypseux, vers le Sud à des sols très salés à alcalis.

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		**PROFIL** PHN 381

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0	* Nebkaset et micronebkhas à forte activité biologique.
	177	20	* Frais. 7,5 YR 7/6 Brun jaunâtre humide. Matière organique non directement décelable. Moins de 1PC. Effervescence faible. Eléments carbonatés diffus. Eléments gypseux en petits amas. SL finement sableux. Structure particulaire friable. Poreux. Racines et chevelus. Transition graduelle ondulée. Galeries.
	203	50	* Humide 7/5 YR 7/4 Brun clair humide. Moins de 1PC m.o. Effervescence faible. Eléments carbonatés. Eléments gypseux en amas, petites roses, pseudomycelium, et racines gypsifiées. SL. Structure particulaire. Très poreux. Racines avec paillaisson sur l'encroûtement. Efflorescences salines. Transition distincte et régulière.
	742	continue 75	* Humide 7,5 YR 8/4 Beige clair humide. Non organique. Effervescence faible. Eléments gypseux en amas et en encroûtement. Structure continue. Eclat. Consistance rigide. Peu poreux. Pas de racines. Transition distincte et régulière.
	625	105	
		(continue)	* Humide 7,5 YR 8/2 blanc sale humide. Effervescence faible. Eléments gypseux en croûte. Structure continue. Très induré. Consistance rigide. Peu poreux. Pas de racines.

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PHN 381

	Horizon		9									HRZ
	Groupe		13									GR
	Sous-groupe		17									SG
	(Famille)		21									FM
	(Série)		25									SR
	(Région)		29									RG
	Numéro du sac		33									SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	20	50	105					PMI
	Profondeur maximale		41	20	50	75	–					PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	4,9	4,5	1,6	3,4					CDC
	Argile		53									ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57									LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61									LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65									SBF
	Sable grossier		69									SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-3}	Carbone		13									C
	Azote		17									N
	Acides humiques		21									AH
	Acides humiques bruns		25									AHB
	Acides humiques gris		29									AHG
	Acides fulviques		33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	7,85	8,15	8,05	8,05					PHE
	pH chlorure de potassium		41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45									CAE
	Magnésium	Mg++	49									MGE
	Potassium	K+	53									KE
	Sodium	Na+	57									NAE
	Capacité d'échange		61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65									PT
	Phosphore assim. Truog		69									PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
	Phosphore assim. Olsen		13									PAO
Gypse			17	8,1	5,5	41,5	62,3					PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21									PRT
	Résidu		25									RSD
	Silice	SiO_2	29									SI
	Alumine	Al_2O_3	33									AL
	Fer	Fe_2O_3	37									FE
	Titane	TiO_2	41									TI
	Manganèse	MnO_2	45									MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium	Ca++	53									CA
	Magnésium	Mg++	57									MG
	Potassium	K+	61									K
	Sodium	Na+	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69									PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5		13									PF2
	pF 3		17									PF3
	pF 4,2		21									PF4
	Instabilité structurale		25									IS
	Perméabilité		29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	2,95	6,0	10,4	18,0					L
	Chlorures	Cl^-	37	3,5	14,5	39,5	53,4					CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49	1,9	1,9	1,4						HCO
	Calcium	Ca++	55	28,5	25,0	23,5						CAS
	Magnésium	Mg++	57	8,0	18,0	19,0						MGS
	Potassium	K+	61									KS
	Sodium	Na+	65	3,4	39,0	110,6						NAS
			69	27,2	30,0	40,0	41,0					L 10
Saturation de la pâte			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

A16 - Sols d'oasis

18 - PK_6 Kettana

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	PEU EVOLUES (Courtepas et al., 1966)
SOUS-CLASSE	NON CLIMATIQUES
GROUPE	d'apport
SOUS-GROUPE	à hydromorphie d'amas et de nodules gypseux et calcaires
Famille	sur alluvions fluviatiles fines
Série	série de l'Oued Ferd. Kettana, Zrig Barrania

PROFIL

PK 6

Mission/Dossier : KETTANA

Observateur : R. PONTANIER

Date d'observation : 20/08/1968

LOCALISATION

Lieu : KETTANA (périmètre n° 4)

Coordonnées **de Latitude** **de Longitude** **m d'Altitude**

Document carto. :

Mission I.G.N. :

Photo aérienne :

Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen Aride inférieur - L. Emberger **Station :** Gabès - S. Météo.

Pluviométrie moyenne annuelle : 187 **Période de référence :** 1887-1975

Température moyenne annuelle : 19°3

Saison lors de l'observation : Eté ; la dernière irrigation a été effectuée 24 jours plus tôt.

SITE

Géomorphologique : Plaine alluviale de l'O. Ferd

Topographique : Plane

Drainage : Moyen

Erosion :

Pente en % : < 1 %

MATÉRIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Alluvions calcaires, fines, sur Miopliocène gypseux

Type et degré d'altération :

Etage stratigraphique :

Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : Périmètre irrigué récent (1955)

Composition floristique par strate : Verger d'oliviers, pommiers, abricotiers et grenadiers. Planches de piments.

UTILISATION

Modes d'utilisation : Irrigation **Jachère, durée, périodicité :**

Techniques culturales : Submersion par planche **Successions culturales :**

Modelé du champ :

Densité de plantation :

Rendement ou aspect végétatif : beaucoup de mauvaises herbes (*Cynodon dactylon*)

ASPECT DE LA SURFACE DU TERRAIN

Microrelief :

Edifices biologiques :

Dépôts ou résidus grossiers :

Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		PROFIL PK 6

Croquis du profil	Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
		0	* Horizon de culture.Sec. Beige. Calcaire. Organique. Sablo-limoneux. Structure plyédrique fine émoussée peu cohérente. Poreux. Très bon enracinement. Quelques petits amas gypseux en tête d'épingle.
		30	* Idem. Sec. Beige. Calcaire-sablo-limoneux. Moins organique. Structure polyédrique moyenne très peu cohérente tend de se développer poreux. Bon enracinement.
		70	* Passage brusque à un horizon moins sec, brun lie de vin, très calcaire avec amas calcaire et taches. Sablo-argileux. Structure polyédrique moyenne. Moyennement cohérente. Porosité faible malgré de nombreuses tubulaires. Enracinement bon des oliviers.
		105	* Frais. Beige clair. Calcaire. Sablo-limoneux. Peu structuré. Bonne porosité. Apparition de tramées rouilles à la base. Présence de nombreux petits amas gypseux.
		135	* Frais. Beige. Légèrement calcaire, gypseux. C'est induré assez compact, il s'agit d'un début d'encroûtement gypseux de nappe reprenant le Miopliocène gypseux. Présence de taches et de trainées rouilles.
			Nappe à 2,60 m le 20.8.1968

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL PK 6

	Horizon		9									HRZ
	Groupe		13									GR
	Sous-groupe		17									SG
	(Famille)		21									FM
	(Série)		25									SR
	(Région)		29									RG
	Numéro du sac		33									SAC
	Profondeur minimale en cm		37	0	30	70	105	135				PMI
	Profondeur maximale		41	30	70	105	135					PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	10,0	13,8	26,0	22,0	15,8				CDC
	Argile		53	10,5	13,5	17,0	18,0	11,0				ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	4,5	4,5	7,0	6,0	5,0				LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	17,0	17,0	16,0	15,0	27,0				LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	68,0	65,0	48,0	45,0	55,0				SBF
	Sable grossier		69	–	–	2,0	1,0	2,0				SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1	CARTE
Matières organiques en 10^{-2}	~~Carbone~~ totale		13	1,22	0,60	0,35	0,35	0,10				C
	Azote		17									N
	Acides humiques		21									AH
	Acides humiques bruns		25									AHB
	Acides humiques gris		29									AHG
	Acides fulviques		33									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,0	8,0	8,1	7,9	7,9				PHE
	pH chlorure de potassium		41									PHK
Cations échangeables en mé	Calcium	Ca++	45									CAE
	Magnésium	Mg++	49									MGE
	Potassium	K+	53									KE
	Sodium	Na+	57									NAE
	Capacité d'échange		61									T
Acide phosphorique en 10^{-3}	Phosphore total		65									PT
	Phosphore assim. Truog		69									PAT
			73	2	2	2	2	2	2	2	2	CARTE
Gypse total 10^{-2}	Phosphore assim. Olsen		13									PAO
	Phosphore ass. citrique		17	0,9	0,4	0,7	6,5	18,8				PAC
Eléments totaux (triacide) en 10^{-2}	Perte au feu		21									PRT
	Résidu		25									RSD
	Silice	SiO_2	29									SI
	Alumine	Al_2O_3	33									AL
	Fer	Fe_2O_3	37									FE
	Titane	TiO_2	41									TI
	Manganèse	MnO_2	45									MN
	Fer libre	Fe_2O_3	49									FEL
en mé	Calcium	Ca++	53									CA
	Magnésium	Mg++	57									MG
	Potassium	K+	61									K
	Sodium	Na+	65									NA
Structure et caractéristiques hydriques	Porosité en 10^{-2}		69									PRS
			73	3	3	3	3	3	3	3	3	CARTE
	pF 2,5		13									PF2
	pF 3		17									PF3
	pF 4,2		21									PF4
	Instabilité structurale		25									IS
	Perméabilité		29									PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	5,3	5,1	6,0	7,6	7,0				L
	Chlorures	Cl^-	37									CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41									SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49									HCO
	Calcium	Ca++	53									CAS
	Magnésium	Mg++	57									MGS
	Potassium	K+	61									KS
	Sodium	Na+	65									NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69									L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

ANNEXE 2

DONNEES CONCERNANT LA VEGETATION

A20 - Types biochimiques de photosynthèse pour des espèces de la flore tunisienne.

A21 - Liste floristique de la station du Km 52 (RK_3-RK_2). Types biologiques.

A22 - Liste floristique de la station de la citerne Telmam (AA.). Types biologiques.

A23 - Liste floristique de la station Km 8 (AZ_2). Types biologiques.

A24 - Liste floristique de la station de Zerkine (ZR). Types biologiques.

A25 - Evolution saisonnière du pourcentage de matière sèche pour quelques espèces végétales de la Tunisie présaharienne.

A26 - Valeur nutritive de quelques plantes pastorales des formations étudiées en Tunisie présaharienne.

A271 - Evolution de la fréquence spécifique après mise en défens, (sur croûte gypseuse). Station 1.

A272 - Evolution de la fréquence spécifique après mise en défens, (sur sierozem tronqué). Station 2.

A273 - Evolution de la fréquence spécifique après mise en défens, (sur sierozem). Station 3.

A274 - Evolution de la fréquence spécifique après mise en défens, (sur sierozem ensablé). Station 4.

A275 - Evolution de la densité des espèces végétales aprés mise en défens (sur sierozem ensablé). Station 4.

A276 - Evolution de la fréquence spécifique après mise en défens, (sur piémont limoneux). Station 5.

A277 - Révision nomenclaturale de quelques espèces citées.

A 20 - Types biochimiques de photosynthèse pour des espèces de la flore tunisienne.

ESPECES DU TYPE C_4	
Anabasis aphylla	*Echinochloa colona*
Anabasis articulata	*Heteropogon contortus*
Anabasis oropediorum	*Hyparrhenia hirta*
Aristida adsencionis	*Noaea mucronata*
Aristida plumosa	*Panicum turgidum*
Arthrophytum schmittianum	*Salsola kali*
Arthrophytum scoparium	*Salsola longifolia*
Atriplex glauca	*Salsola tetragona*
Atriplex halimus	*Salsola tetrandra*
Atriplex semi baccata	*Salsola soda*
Bassia muricata	*Salsola vermiculata*
Calligonum comosum	*Suaeda fruticosa*
Cornulaca monacantha	*Suaeda vermiculata*
Dicanthium annulatum	
ESPECES DU TYPE C_3	
Aizoon hispanicum	*Farsetia aegyptiaca*
Asphodelus tenuifolius	*Halimione portulacoïdes*
Atriplex hastata	*Halocnemum strobilaceum*
Atriplex mollis	*Halopeplis amplexicaulis*
Beta vulgaris	*Helianthemum lippii*
Chenopodium album	*Peganum harmala*
Chenopodium ambrosioïdes	*Phoenix dactilyfera*
Chenopodium murale	*Polypogon monspeliensis*
Chenopodium vulvaria	*Ricinus communis*
Citrullus colocynthis	*Salicornia arabica*
Cressa cretica	*Sisymbrium irio*
Diplotaxis harra	*Thymelaea hirsuta*

A21 - Liste floristique Station "Km 52" - Types biologiques

	(1)	(2)
Ajuga iva var. *pseudo-iva* (L.) Schreb.	H	2
Anacyclus cyrtolepidioïdes Pomel	Th	1
Argyrolobium uniflorum (Desc.) Jaub. et Spach.	Ch	1
Aristida ciliata Desf.	H	2
Artemisia campestris L.	Ch	2
Arthrophytum schmittianum (Pomel) M. et W.	Ch	2
Asphodelus tenuifolius Cav.	Cr	1
Astragalus armatus ssp. *tragacanthoïdes* (Desf.) M.	Ch	2
Astragalus cruciatus Link	Th	1
Astragalus caprinus ssp. *lanigerus* (Desf.) M.	H	1
Atractylis serratuloïdes Sieb.	H	1
Calendula aegyptiaca Desf.	Th	1
Carduus getulus Pomel	Th	1
Centaurea dimorpha Viv.	Th	1
Centaurea cf. *furfuracea* Coss. et Kral.	Th	1
Chrysanthemum coronarium L.	Th	1
Cutandia dichotoma (Forsk.) Trab.	Th	1
Cynodon dactylon (L.) Pers.	Cr	2
Daucus syrticus Murbeck	Th	1
Diplotaxis harra (Forsk.) Boiss.	H	1
Echiochilon fruticosum Desf.	Cr	2
Echium pycnanthum ssp. *humile* (Desf.) Jah. et M.	H	1
Emex spinosa (L.) Campdera	Th	1
Enarthrocarpus clavatus Del.	Th	1
Erodium triangulare ssp. *laciniatum* (Cav.) M.	Th	1
Fagonia glutinosa Del.	Th	1
Filago germanica L.	Th	1
Hedysarum spinosissimum L.	Th	1
Hippocrepis bicontorta Lois.	Th	1
Helianthemum lippii var. *sessiliflorum* (Desf.) Murb.	Ch	1
Ifloga spicata (Forsk.) Sch.-Bip.	Th	1
Koeleria pubescens ssp. *salzmannii* (B. et R.) Trab.	Th	1
Koelpinia lineraris Pallas	Th	1
Launaea resedifolia ssp. *eu-resedifolia* M.	H	1
Linaria aegyptiaca (L.) Dum. Cors.	Ch	1
Linaria laxiflora Desf.	Th	1

(1) - Th = Thérophytes
Ch = Chaméphytes
H = Hémicryptophytes
Cr = Cryptophytes
NP = Nanophanérophytes

(2) - 1 = arido passive
2 = arido active
3 = phréatophyte

A21 (suite)

Lithospermum apulum (L.) Vahl.	Th	1
Lobularia lybica (Viv.) Webb.	Th	1
Lygeum spartum L.	H	2
Malva parviflora L.	Th	1
Marrubium deserti De Noé	Ch	2
Matthiola longipetala ssp. *kralikii* (Pomel) M.	Th	1
Medicago laciniata (L.) All.	Th	1
Medicago minima Grufb.	Th	1
Medicago truncatula Gaertn.	Th	1
Muricaria prostrata (Desf.) Desv.	Th	1
Nonnaea vesicaria(L.) Rchb.	Th	1
Paronychia arabica (L.) DC.	Th	1
Plantago albicans L.	H	1
Plantago coronopus L.	Th	1
Picris coronopifolia Desf.	Th	1
Pituranthos tortuosus D.C.	Ch	1
Polygonum equisetiforme S. et Sm.	H	2
Reichardia tingitana (L.) Roth.	Th	1
Rhantherium suaveolens Desf.	Ch	2
Reseda decursiva Forsk.	Th	1
Salsola vermiculata (L.) var. *brevifolia* Desf.	Ch	2
Salvia verbenaca ssp. *clandestina* (L.) Pugsl.	Ch	2
Schismus barbatus(L.) ssp. *calycinus* (L.) M. et W.	Th	1
Senecio gallicus (L.) ssp. *coronipofolius* Desf. M.	Th	1
Stipa lagascae R. et S.	H	2
Stipa retorta Cav.	Th	1
Teucrium polium s.l. L.	Ch.	2
Thesium humile L.	Th	1

A22 - Liste floristique de la station (AA_1)

Citerne Telmam -Types biologiques

Adonis dentata Del.	Th	1
Ajuga iva ssp. *pseudo-iva* (L.) Schreb.	H	2
Anabasis oropediorum M.	Ch	2
Anacyclus cyrtolepidioïdes Pomel	Th	1
Anagallis arvensis L.	Th	1
Anagallis monelli L.	Th	1
Anthemis pedunculata Desf.	Th	1
Artemisia campestris L.	Ch	2
Artemisia herba-alba Asso.	Ch	2
Arthrophytum scoparium (Pomel) Iljin	Ch	2
Asphodelus tenuifolius Cav.	Gr	1
Asteriscus pygmaeus Coss. et Kral.	Th	1
Astragalus cruciatus Link	Th	1
Astragalus gyzensis Del.	Th	1
Astragalus tenuifoliosus M.	Th	1
Atractylis cancellata L.	Th	1
Atractylis flava Desf.	H	1
Atractylis serratuloïdes Sieb.	H	1
Brachypodium distachyum (L.) P.B.	Th	1
Calendula aegyptiaca Desf.	Th	1
Calendula algeriensis B. et R.	Th	1
Carduus gaetulus Pomel	Th	1
Carthamus lanatus L.	Th	1
Centaurea furfuracea Coss. et Kral.	Th	1
Chrysanthemum coronarium L.	Th	1
Convolvulus althaeoïes L.	Cr	1
Coronilla scorpioïdes Koch	Th	1
Cutandia dichotoma (Forsk.) Trab.	Th	1
Cynodon dactylon (L.) Pers.	Cr	2
Dipcadi serotinum (L.) Medik	Cr	1
Diplotaxis erucoïdes (L.) DC.	Th	1
Diplotaxis harra (Forsk.) Boiss.	H	1
Diplotaxis simplex (Viv.) Spreng.	Th	1
Echium pycnanthum ssp. *humile* (Desf.) Jah. et M.	H	1
Enarthrocarpus clavatus Del.	Th	1
Erodium glaucophyllum L'Herit.	H	1
Erodium hirtum Desf.	H	1
Erodium triangulare ssp. *laciniatum* (Cav.) M.	H	1
Euphorbia retusa Forsk.	Th	1
Filago germanica L.	Th	1
Fumaria parviflora Lamk.	Th	1
Glaucium corniculatum Curtis	Th	1
Hedysarum carnosum Desf.	Th	1
Hedysarum spinosissimum ssp.*eu-spinosissimum* Briq.	Th	1
Helianthemum kahiricum Del.	Ch	2
Herniaria fontanesii Batt. non Gay	Ch	2

A22 (suite)

Hippocrepis bicontorta Lois.	Th	1
Hordeum murinum L.	Th	1
Ifloga spicata (Forsk.) Sch.-Bip.	Th	1
Koeleria pubescens ssp. *salzmannii* (B. et R.) Trab.	Th	1
Launaea angustifolia (Desf.) Muschler	H	1
Launaea nudicaulis (L.) Hook. f.	Th	1
Launaea resedifolia O.K.	Th	1
Linaria aegyptiaca (L.) Dum. Cors.	Ch	1
Linaria laxiflora Desf.	Th	1
Lithospermum apulum (L.) Vahl	Th	1
Lygeum spartum L.	H	2
Malva aegyptiaca L.	Th	1
Maresia nana (DC.) Batt.	Th	1
Marrubium deserti De Noé	Ch	2
Matricaria aurea (L.) Sch.-Bip.	Th	1
Matthiola longipetala ssp. *kralikii* (Pomel) M.	Th	1
Medicago truncatula Gaertn.	Th	1
Mesembryanthemum cristallinum L.	Th	1
Moricandia arvensis ssp. *suffruticosa* (Desf.) M.	Ch	1
Nasturtiopsis coronopifolia (Desf.) Boiss.	Th	1
Peganum harmala L.	H	1
Picris coronopifolia Desf.	Th	1
Plantago albicans L.	H	1
Plantago ovata Forsk.	Th	1
Polygonum equisetiforme S. et Sm.	H	2
Pteranthus dichotomus Forsk.	Th	1
Reichardia tingitana (L.) Roth	Th	1
Reseda decursiva Forsk.	Th	1
Salsola tetrandra Forsk.	Ch	2
Salsola vermiculata var. *villosa* L.	Ch	2
Salvia aegyptiaca L.	Ch	1
Scabioza atropurpurea ssp. *maritima* (L.) Fiori et Paoli	Th	1
Scandix pecten-veneris L.	Th	1
Schismus barbatus ssp. *calycinus* (L.) M. et W.	Th	1
Scorzonera undulata Vahl.	Cr	1
Spergularia sp.	Th	1
Stipa retorta Cav.	Th	1
Sueda mollis (Desf.) Del.	Ch	2
Thesium humile L.	Th	1
Thymelaea hirsuta Endl.	Ch	2
Traganum nudatum Del.	Ch	2
Trigonella anguina Del.	Th	1
Trigonella stellata Forsk.	Th	1
Vicia monantha ssp. *cinerea* (M.B.) M.	Th	1
Volutaria lippii (L.) Cass.	Th	1

A23 - Liste floristique Station "Km 8". Types biologiques

Anacyclus cyrtolepidioïdes Pomel	Th	1
Annarhinum brevifolium Conson et Kralick	Ch	1
Argyrolobium uniflorum (Desc.) Jaub. et Spach.	Ch	1
Artemesia campestris L.	Ch	2
Astragalus armatus ssp. *tragacanthoïdes* (Desfontaines) Maire	Ch	2
Astragalus cruciatus Link	Th	1
Astragalus tenuifoliosus M.	Th	1
Atractylis serratuloïdes Sieb.	H	1
Coris monspeliensis Murbeck	H	1
Cutandia dichotoma (Forsk.) Trab.	T	1
Daucus syrticus Murbeck	T	1
Echiochilon fruticosum Desf.	Ch	2
Erodium glaucophyllum (L.) L'Héritier	H	1
Filago germanica L.	T	1
Gymnocarpos decander Forsk.	Ch	2
Hedysarum spinosissimum L.	T	1
Helianthemum crassifolium Persoon	Ch	2
Helianthemum kahiricum Delile	Ch	2
Helianthemum lippii var. *intricatum* Murbeck	Ch	2
Helianthemum lippii var. *sessiflorum* (Desf.) Murb.	Ch	1
Hippocrepis bicontorta Lois.	Th	1
Koeleria pubescens ssp. *salzmannii* (B. et R.) Trab.	Th	1
Linaria aegyptiaca (L.) Dum. Cors.	Ch	1
Lygeum spartum var. *genium* Maire et Neiller	H	2
Marrubium deserti de Noé	Ch	1
Medicago truncatula Gaertn.	Th	1
Ononis natrix ssp. *falcata* (Viviani) Murbeck	Ch	2
Paronychia arabica (L.) DC.	Th	1
Pituranthos chloranthus ssp. *cossonianus* M.	Ch	2
Pituranthos tortuosus D.C.	Ch	2
Plantago albicans L.	H	1
Polygonum equisetiforme S. et Sm.	H	2
Rhantherium suaveolens Desf.	Ch	2
Salvia verbenaca ssp. *clandestina* (L.) Pugsl.	H	2
Schismus barbatus ssp. *calycinus* (L.) M. et W.	T	1
Stipa lagascae Romer et Schultz	H	2
Teucrium polium L.	Ch	2
Thymelaea microphylla Coss. et Dur.	Ch	2
Zygophyllum album L.	Ch	2

A24 - Liste floristique Station "Zerkine". Types biologiques

Adonis dentata Del.	Th	1
Ajuga iva ssp. *pseudo-iva* (L.) Schreb.	H	1
Allium roseum L.	Gr	1
Anacyclus cyrtolepidioïdes Pomel	Th	1
Anagallis arvensis L.	Th	1
Argyrolobium uniflorum (Desc.) Jaub. et Spach.	Ch	1
Artemisia campestris L.	Ch	2
Astragalus caprinus ssp. *lanigerus* (Desf.) M.	H	1
Astragalus cruciatus Link	Th	1
Astragalus tenuifoliosus M.	Th	1
Brachypodium distachyum (L.) P.B.	Th	1
Brassica tournefortii Gouan.	Th	1
Bromus rubens M.	Th	1
Bupleurum semicompositum L.	Th	1
Calendula aegyptiaca Desf.	Th	1
Carduus getulus Pomel	Th	1
Chrysanthemum coronarium L.	Th	1
Coronilla scorpioïdes Koch	Th	1
Cutandia dichotoma (Forsk.) Trab.	Th	1
Cynodon dactylon (L.) Pers.	Cr	2
Diplotaxis semplex DC.	Th	1
Erodium glaucophyllum L'Héritier	Th	1
Erodium triangulare ssp. *laciniatum* (Cav.) M.	Th	1
Euphorbia exigua L.	Th	1
Filago germanica L.	Th	1
Hedypnoïs cretica (L.) Willd.	Th	1
Hedysarum spinosissimum L.	Th	1
Herniaria fontanesii Batt. non Gay	Ch	2
Hippocrepis bicontorta Lois.	Th	1
Hordeum murinum L.	Th	1
Koeleria pubescens ssp.*salzmannii* (B. et R.) Trab.	Th	1
Launaea resedifolia O.K.	H	1
Linaria aegyptiaca (L.) Dum. Cors.	Ch	1
Linaria laxiflora Desf.	Th	1
Linaria tenuis Sprencel	Th	1
Lithospermum apulum (L.) Vahl	Th	1
Lobularia lybica (Viv.) Webb.	Th	1
Lotus creticus ssp. *cytisoïdes* (L.) Asch.	H	1
Malva parviflora L.	Th	1
Matthiola longipetala ssp. *kralikii* (Pomel) M.	Th	1
Medicago cf *minima* Grufb.	Th	1
Medicago truncatula Gaertn.	Th	1
Paronychia arabica (L.) DC.	Th	1
Phalaris minor L.	Th	1

A24 (suite)

Picris coronopifolia Desf.	Th	1
Pituranthos tortuosus DC.	Ch	2
Plantago albicans L.	H	1
Plantago coronopus L.	Th	1
Plantago ovata Forsk.	Th	1
Polygonum equisetiforme S. et Sm.	H	2
Reseda decursiva Forsk.	Th	1
Salvia verbenaca ssp. *clandestina* (L.) Pugsl.	H	2
Schismus barbatus ssp. *calycinus* (L.) M. et W.	Th	1
Stipa retorta Cav.	Th	1
Vicia lutea L.	Th	1
Vicia monantha ssp. *cinerea* (Marschall-Bieberstein) Maire	Th	1
Volutaria lippii (L.) Cass.	Th	1
Ziziphus lotus Lamarck	Ph	3

A 25 - Evolution saisonnière du pourcentage de matière sèche pour quelques espèces végétales de la Tunisie présaharienne.

ESPECES	Partie de la plante concernée	Sept. Oct. Nov. %	Déc. Janv. Févr. %	Mars Avril Mai %	Juin Juillet Août %
Anabasis oropediorum	Total	83,6	66,4	68,3	-
Argyrolobium uniflorum	Total	72,4	67,9	59,7	79,3
Aristida pungens	Total	81,0	58,0	66,5	78,0
Artemisia campestris	Partie verte Bois	44,1 65,8	39,2 56,0	41,9 62,8	65,0 69,7
Arthrophytum schmittianum	Partie verte Bois	53,0 77,2	56,8 73,6	50,9 77,3	55,1 79,2
Arthrophytum scoparium	Total	72,0	69	71,0	-
Astragalus armatus ssp. tragacanthoïdes	Partie verte Bois	44,8 71,7	45,8 71,5	48,7 72,0	60,9 73,9
Atractylis serratuloïdes	Partie verte Bois	- 73	46,4 69,0	43,0 71,3	64,2 73,0
Cynodon dactylon	Total	69,1	49,2	62,0	73,5
Echiochilon fruticosum	Partie verte Bois	54,1 64,5	46,3 64,3	47,2 67,5	75 80,0
Echium pycnanthum ssp. humile	Total	44,3	40,0	39,2	69,0
Gymnocarpos decander	Partie verte Bois	66,3 73,6	38,0 67,5	45,7 72,0	61,6 75,7
Helianthemum kahiricum	Partie verte Bois	62,5 80,9	51,0 71,0	53,5 73,6	69,0 79,9
Helianthemum lippii var. intricatum	Partie verte Bois	67,6 76,5	47,6 72,3	61,9 80,6	67,0 78,1
Helianthemum lippii var. sessiliflorum	Partie verte Bois	55,2 69,0	48,9 65,0	53,4 68,2	70,5 77,3
Linaria aegyptiaca	Total	63,3	59,9	54,4	72,6
Lygeum spartum	Partie verte Bois	60,3 89,0	56,2 86,5	55,9 87,3	62,5 89,1
Marrubium deserti	Partie verte Bois	49,6 74,8	43,7 79,2	52,3 76,7	62,0 77,5
Ononis natrix ssp. falcata	Partie verte Bois	- -	42,0 68,0	51,0 78,0	64,0 86,0
Pituranthos chloranthus ssp. cossonianus	Partie verte Bois	53,3 73,3	49,0 62,0	46,2 69,0	58,0 74,2
Pituranthos tortuosus	Partie verte Bois	49,7 74,3	51,3 75,9	47,6 75,6	53,7 79,9
Plantago albicans	Total	63,1	48,7	55,4	78,8
Polygonum equisetiforme	Total	66,2	51,0	42,3	59,5
Retama retam	Total	-	57,1	57,0	-
Rhantherium suaveolens	Partie verte Bois	36,3 71,4	44,5 70,9	44,9 73,2	57,8 76,9
Salsola vermiculata var. brevifolia	Partie verte Bois	59,6 83,0	42,9 74,0	54,3 75,8	65,9 78,6
Stipa lagascae	Partie verte Partie sèche	66,2 79,2	59,4 81,3	60,2 81,2	74,8 87,8
Teucrium polium	Partie verte bois	49,3 72,5	41,2 68,0	47,1 72,5	55,7 72,9
Thymelaea microphylla	Partie verte Bois	60,0 71,0	40,3 61,0	41,6 69,3	55,6 63,5
Zygophyllum album	Total	42,0	33,2	32,5	-
Plantes annuelles	Total	39,6	43,3	46,5	73,8

A 26 - Valeur nutritive de quelques plantes pastorales des formations étudiées en Tunisie présaharienne.

Espèces (feuilles et pousses vertes)	Matière sèche (MS) %	% de matière sèche										
		Matière minérale	Matière cellulosique	Matière azotée	Matière grasse	Extractif non azoté	P	Ca	K	Na	Matière azotée digestible g/kg MS	UF/kg MS
Cynodon dactylon	47,5	23,7	22,5	7,5	1,8	44,5	0,12	1,70	0,58	0,09	51	0,47
Hedysarum carnosum	20,4	24,6	18,5	18,0	1,7	31,2	0,25	3,29	1,53	0,99	86	0,60
Medicago sp. pl. (surtout truncatula)		25,3	29,7	15,6	3,8	25,6	0,11	2,94	1,81	0,03	117	0,54
Moricandia arvensis ssp. suffruticosa		29,8	13,0	30,9	5,6	20,7	0,34	5,70	3,36	0,82	85	0,25
Pituranthos tertuosus	65,7	6,3	40,7	8,3	4,6	40,1	0,12	1,36	0,71	0,09	42	0,22
Plantago albicans	48,6	25,3	23,3	6,5	2,2	42,7	0,11	2,23	1,20	0,05	39	0,42
Polygonum equisetiforme	28,9	9,9	17,7	17,4	4,1	50,9	0,15	1,47	0,73	0,05	59	0,32
Rhantherium suaveolens	40,9	11,3	32,1	8,7	2,4	45,5	0,13	1,39	1,99	0,08	42	0,28
Schismus barbatus ssp. calycinus	38,1	14,6	31,7	12,4	3,2	38,1	0,22	0,74	1,37	0,04	49	0,26
Stipa retorta		20,3	28,2	4,4	2,2	44,9	0,07		0,64	0,43	26	0,45
Plantago ovata	29,4	21,3	20,5	7,9	1,7	48,6	0,11	2,37	0,88	0,12	47	0,45

Annexe A 271 - EVOLUTION DE LA FREQUENCE SPECIFIQUE (FS %) APRES MISE EN DEFENS

Mise en défens : Station n° 1 (sur croûte gypseuse)

(Dj. Dissa)

E S P E C E S	17 Oct. 1972	27 Avril 1973	30 Sept. 1973	25 Avril 1974	10 Oct. 1974	3 Mai 1975	11 Oct. 1975	15 Mai 1976	4 Novem. 1976	5 Avril 1977	15 Mars 1978	20 Avril 1979
Atractylis serratuloides	2,3	2,7	2,8	3,4	1,3	3,8	0,7	4,4	6,7	4,3	6,7	5,7
Helianthemum lippii var intricatum	4,1	3,6	4,1	4,4	4,2	5,4	2,7	6,6	5,2	5,9	5,4	6,7
Anarrhinum brevifolium	0,2	0,2	0,3	0,8	0,2	0,6		0,5		0,3	0,7	0,7
Thymelaea microphylla	0,2	0,3	0,5		0,5	0,5	0,5	0,6	0,8		0,6	0,5
Zygophyllum album	0,2	0,2		0,8	0,5	0,9	0,8			0,8	0,4	1,2
Pituranthos tortuosus			0,6	0,3		0,6						
Helianthemum kahiricum			0,3		0,2							
Herniaria fontanesii				0,6	0,3			0,5	0,9	0,6	0,3	
Argyrolobium uniflorum				0,2	0,2	0,2		0,3				
Helianthemum crassifolium					0,3	1,2	0,6	0,2	1,7	0,8	0,3	0,8
Gymnocarpos decander						0,2		0,3			0,3	0,3
Lygeum spartum						0,9	0,3	0,5	1,4	0,2	0,3	1,1
Pituranthos chlorantus ssp. cossonianus								0,8	1,4	2,3	1,5	1,2
Echium pycnanthum ssp. humile								0,2				
Litière	0,1	0,1	0,3	0,2		1,2	0,2	1,9	3,6	1,9	1,6	4,0
TOTAL (pérennes)	7,0	7,1	8,9	10,7	7,7	15,5	5,8	16,8	21,7	17,1	18,1	22,2
TOTAL moins litière	6,9	7,0	8,6	10,5	7,7	14,3	5,6	14,9	18,1	15,2	16,5	18,2

Annexe A 272 - EVOLUTION DE LA FREQUENCE SPECIFIQUE (FS %) APRES MISE EN DEFENS

Mise en défens : Station n° 2 (sur sierozem tronqué)

(Dj. Dissa)

E S P E C E S	17 Oct. 1972	26 Avril 1973	28 Sept. 1973	25 Avril 1974	11 Oct. 1974	3 Mai 1975	11 Oct. 1975	15 Mai 1976	4 Novem. 1976	15 Avril 1977	15 Mars 1978	20 Avril 1979
Helianthemum lippii var. sessiliflorum	1,6	1,2	0,9	1,2	0,6	2,7	2,8	1,4	2,8	3,1	1,8	1,5
Plantago albicans	3,0	6,9	2,0	5,5	0,8	7,7	0,5	6,7	6,3	6,7	4,0	4,9
Rhantherium suaveolens	3,0	3,7	4,4	5,0	4,7	6,2	4,2	7,5	8,9	10,0	12,5	10,0
Linaria aegyptiaca	0,2	1,1	0,5	0,6	0,2	1,2	0,2	0,9	0,2	-	-	-
Echiochilon fruticosum	1,7	3,6	1,9	3,2	2,3	4,0	3,0	5,3	6,1	7,1	4,8	3,4
Argyrolobium uniflorum	0,2	-	0,2	0,6	0,3	0,7	-	1,9	2,5	0,5	0,4	0,7
Thymelaea microphylla	1,9	1,2	0,8	2,8	1,7	3,8	2,9	4,8	4,7	3,1	5,0	4,6
Pituranthos tortuosus	0,8	0,9	0,2	3,1	1,1	4,0	1,2	1,1	0,8	1,5	0,1	4,0
Pituranthos chlorantus ssp. cossonianus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,8	-
Artemisia campestris	-	0,2	-	-	0,2	-	-	6,6	6,4	0,3	-	-
Helianthemum kahiricum	-	-	-	-	0,2	0,8	-	2,0	1,7	-	2,0	2,8
Coris monspeliensis	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,8	0,5	-	-
Helianthemum lippii var. intricatum	-	-	-	-	-	-	-	1,0	1,4	0,9	-	1,7
Atractylis serratuloides	-	-	-	0,2	-	0,3	-	1,1	1,9	1,5	0,3	0,6
Medicago trancatula	-	-	-	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	2,0
Hedysarum spinosissimum	-	-	-	1,1	-	0,5	-	8,3	-	-	1,9	3,6
Koeleria pubescens	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Filago germanica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brachypodium distachium	-	-	-	-	-	0,3	-	0,2	-	-	-	-
Hippocrepis bicontorta	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-
Asphodelus tenuifolius	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
Scorzonera undulata	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-
TOTAL annuelles	-	-	-	1,5	-	0,8	-	9,5	0,3	-	1,1	5,6
TOTAL pérennes	12,4	18,7	10,9	22,4	12,1	31,4	14,8	40,8	44,5	35,2	39,7	34,2
Litière	0,3	2,5	3,6	2,5	2,2	5,2	1,0	3,8	9,8	2,1	9,5	6,5
TOTAL	12,7	21,2	14,5	26,4	14,3	37,4	15,8	54,1	54,6	37,3	51,1	46,3
TOTAL moins litière	12,4	18,7	10,9	23,9	12,1	32,2	14,8	50,3	44,8	35,2	41,6	39,8

Annexe A 273 - EVOLUTION DE LA FREQUENCE SPECIFIQUE (FS %) APRES MISE EN DEFENS

Mise en défens : Station n° 3 (sur sierozem)

(Dj. Dissa)

ESPECES	5 Oct. 1972	24 Avril 1973	27 Sept. 1973	25 Avril 1974	10 Oct. 1974	3 Mai 1975	11 Oct. 1975	15 Mai 1976	4 Nov. 1976	4 Avril 1977	14 Mars 1978	20 Avril 1979
Helianthemum lippii var sessiliflorum	0,5	2,3	1,6	3,2	2,0	4,5	2,9	9,8	7,7	12,2	8,7	8,4
Plantago albicans	5,2	19,8	8,7	13,3	4,8	20,3	4,8	23,7	14,4	13,8	19,0	20,9
Echiochilon fruticosum	2,8	3,0	3,4	2,3	1,6	4,7	2,7	5,0	5,2	7,2	6,5	7,9
Argyrolobium uniflorum	0,6	2,3	0,5	1,5	0,5	4,3	0,9	6,8	3,0	2,5	1,1	0,3
Thymelaea microphylla	0,2	0,8	0,5	0,9	-	1,6	1,5	1,3	2,3	3,2	3,0	2,1
Linaria aegyptiaca	-	0,6	0,8	1,5	-	0,5	0,2	1,3	1,4	1,1	1,2	3,1
Astragalus armatus ssp. tragacanthoides	0,5	0,8	0,9	0,9	0,2	1,4	1,1	1,6	2,0	1,7	1,4	0,8
Pituranthos tortuosus	0,5	1,2	1,6	3,0	0,5	4,0	2,2	-	2,4	2,2	1,1	3,8
Rhantherium suaveolens	0,8	1,9	1,7	2,7	2,0	3,4	3,3	5,0	3,6	3,8	3,9	4,9
Teucrium polium	0,2	0,6	0,3	0,3	-	0,6	-	-	-	0,4	0,7	-
Artemisia campestris	-	-	-	0,2	-	-	-	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1
Pituranthos chloranthus ssp. cossonianus	-	-	-	-	-	-	-	5,5	7,8	5,6	5,9	8,7
Plantules	1,2	-	-	-	-	-	0,2	-	0,3	-	-	-
Atractylis flava	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hippocrepis bicontorta	-	0,5	-	0,3	-	0,2	-	1,9	-	-	-	0,8
Paronychia arabica	-	0,6	-	-	-	0,6	-	0,2	-	-	-	-
Anacyclus cyrtolepidoides	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Daucus syrticus	-	-	-	0,8	-	0,1	-	0,6	-	-	-	0,1
Brachypodium distachyum	-	0,5	-	2,0	-	4,2	-	2,3	-	0,9	-	-
Koeleria pubescens	-	0,2	-	2,2	-	0,6	-	1,4	-	-	-	2,6
Lotus pusillus	-	0,3	-	0,5	-	0,2	-	0,2	-	-	-	-
Medicago truncatula	-	0,3	-	0,3	-	-	-	-	-	-	1,1	-
Launaea resedifolia	-	-	-	0,3	0,5	1,6	-	14,2	-	-	-	-
Astragalus cruciatus	-	-	-	0,6	-	-	-	0,5	-	-	-	0,6
Cutandia dichotoma	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Schismus barbatus	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Hedysarum spinosissimum	-	-	-	0,3	-	0,2	-	-	-	-	8,1	12,0
Annuelles sèches	-	-	-	-	-	-	-	3,1	-	-	-	-
TOTAL annuelles	1,2	2,4	-	8,1	0,5	7,7	0,2	24,4	0,3	0,9	9,2	16,1
TOTAL pérennes	11,5	33,3	20,0	31,8	11,6	45,3	19,6	60,3	50,3	54,0	52,7	61,0
Litière	3,0	5,6	6,7	2,5	5,8	5,9	5,4	51,1	19,8	23,6	12,6	8,0
TOTAL	15,7	41,3	26,7	42,4	17,9	58,9	25,2	135,8	70,4	78,5	74,5	85,1
TOTAL moins litière	12,7	35,7	20,0	39,9	12,1	53,0	19,8	84,7	50,6	54,9	61,9	77,1

A 274 - Evolution de la fréquence spécifique après mise en défens, (sur sierozem ensablé). Station 4.

ESPECES	1972	1973			1974			1975			1976			1977		1978	1978	1979
	19 Nov.	19 Mars	30 Mai	16 Nov.	14 Mars	11 Juin	11 Nov.	6 Mai	21 Juil.	10 Oct.	16 Fev.	21 Mai	8 Nov.	23 Fév.	24 Mai	6 Mars	29 Mai	17 Avril
Rhantherium suaveolens	31,7	35,5	41,0	32,7	31,7	46,1	45,7	47,9	50,0	51,1	51,1	51,4	48,5	48,4	42,0	40,0	44,6	41,1
Arthrophytum schmittianum	0,1	0,4	0,8	0,2	0,5	0,7	2,2	3,1	3,2	4,0	3,0	4,5	4,5	4,1	4,0	4,0	4,0	4,3
Plantago albicans	5,7	11,2	9,6	6,7	8,6	14,0	19,6	25,6	19,9	14,0	27,0	22,6	16,4	37,2	22,2	21,1	18,9	4,6
Argyrolobium uniflorum	0,1	0,7	1,0	0,4	0,5	1,2	0,7	1,9	0,7	1,6	2,0	4,1	1,7	0,7	0,7	0,5	-	0,5
Pituranthos tortuosus	-	-	0,1	0,1	1,2	1,3	1,1	1,2	1,4	1,5	1,0	1,5	1,4	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
Helianthemum lippii var sessiliflorum	-	0,5	0,4	0,1	1,5	4,2	2,4	6,7	6,2	6,0	5,6	9,2	8,4	9,1	9,0	8,6	8,6	9,0
Stipa lagascae	0,6	0,6	1,6	1,2	1,0	1,4	1,1	2,6	2,0	1,9	2,7	4,6	4,7	4,7	6,1	6,0	10,8	6,5
Teucrium polium	-	0,2	0,4	-	-	-	-	0,4	0,2	-	0,2	0,4	-	-	-	0,3	0,3	0,3
TOTAL pérennes	38,4	49,1	54,9	41,4	45,0	68,9	72,6	89,4	83,6	80,1	92,6	98,3	85,6	105,8	85,5	82,1	88,8	67,9
Medicago truncatula	0,6	14,5	7,4	-	5,3	5,2	7,5	9,9	-	-	8,6	-	-	1,5	-	1,3	-	-
Diplotaxis simplex	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Paronychia arabica	-	1,6	1,5	-	-	0,3	0,2	4,1	-	-	3,5	5,0	0,2	1,4	-	3,8	-	-
Hippocrepis bicontorta	1,0	2,5	4,7	-	1,1	1,1	1,2	1,2	-	-	1,9	-	-	-	-	0,9	-	-
Lobularia libyca	0,1	1,0	-	-	0,7	0,1	0,2	1,9	-	-	1,2	-	-	0,2	-	2,2	-	-
Lotus creticus ssp. cytisoides	0,4	-	1,0	-	0,6	0,2	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asphodelus tenuifolius	-	2,1	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atractylis flava	0,2	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,2	-	-
Daucus syrticus	0,7	1,7	2,2	-	0,2	2,5	0,2	1,7	-	-	1,2	1,6	-	0,4	-	0,5	-	-
Astragalus cruciatus	-	4,5	2,1	-	0,9	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	1,5	-	-
Cutandia dichotoma	-	5,6	4,2	0,8	2,5	2,7	0,1	1,7	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Medicago minima	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-
Ifloga spicata	-	0,4	0,4	-	0,6	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Picris coronopifolia	-	5,2	2,7	-	2,1	1,6	3,2	8,7	-	-	8,6	-	-	0,4	-	15,9	-	-
Anacyclus cyrtolepidioides	-	0,9	-	-	-	-	0,1	1,5	-	-	2,9	-	-	-	-	1,0	-	-
Filago germanica	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Launaea resedifolia	-	-	-	-	0,6	-	0,7	0,9	-	-	1,1	2,5	0,1	1,1	-	0,9	-	-
Astragalus tenuifolius	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-
Plantago coronopus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Centaurea dimorpha	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Schismus barbatus ssp. calycinus	3,9	6,6	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Annuelles sèches	-	-	-	-	-	-	-	-	11,5	11,2	-	17,4	1,0	-	-	-	-	0,7
TOTAL annuelles	8,3	47,7	27,6	0,8	14,6	14,6	13,6	32,0	11,5	11,2	34,2	26,7	1,3	5,0	0,0	28,2	0,0	1,1
Litière	9,0	5,5	8,3	24,1	8,9	15,6	12,1	22,8	11,5	19,5	15,2	13,8	18,3	18,0	23,7	14,3	27,3	22,0
TOTAL	55,7	102,3	90,8	66,3	68,5	99,1	98,3	144,2	106,6	110,8	142,0	138,8	105,2	128,8	109,2	124,6	116,1	91,0
TOTAL moins litière	46,7	96,8	82,5	42,2	59,6	83,5	86,2	121,4	95,1	91,3	126,8	125,0	86,9	110,8	85,5	110,3	88,8	69,0

Annexe A 275 - EVOLUTION DE LA DENSITE DES ESPECES VEGETALES APRES MISE EN DEFENS

Mise en défens : Station n° 4 (Touffes/ha)

(Km 52)

E S P E C E S	Touffes	31/5/72	13/6/73	20/10/73	2/10/77	% augmentation
Rhantherium suaveolens	vivantes	26 549	27 981	28 333	30 142	13,5
	mortes	445	664	1 731	2 526	467,6
Pituranthos tortuosus	vivantes	273	260	325	466	70,7
Stipa lagascae	"	1 783	2 850	3 307	4 088	129,3
Arthrophytum schmittianum	"	1 158	1 522	1 587	1 717	48,3
Salsola vermiculata	"	195	425	481	481	146,7
Helianthemum sessiliflorum	"	263	1 275	1 940	2 669	914,8
Linaria aegyptiaca	"		685	1 067	1 535	
Teucrium polium	"	247	351	455	676	173,7
Aristida ciliata	"		26	39		
Artemisia campestris	"	78	182	247	286	266,7
Lygeum spartum	"		39	156	145	
Astragalus armatus ssp. tragacanthoides	"	26	65	104	112	330,8
Argyrolobium uniflorum	"		2 135	2 669	2 747	
Marrubium deserti	"	143	130	169	208	45,5
Echiochilon fruticosum	"		130	156	118	
Astragalus capricus lanigerus	"		26	39		
Atractylis serratuloides	"		26	78	65	
TOTAL vivantes	"		38 108	41 152	45 455	

Annexe A 276 - EVOLUTION DE LA FREQUENCE SPECIFIQUE (FS %) APRES MISE EN DEFENS

Mise en défens : Station n° 5 (sur piedmont limoneux)

(Citerne Telmam)

ESPECES	1972	1973		1974			1975		1976		1977	1978	1979
	11 Oct.	19 Mars	14 Nov.	15 Mars	23 Avril	10 Déc.	7 Mai	30 Oct.	5 Mars	27 Oct.	4 Avril	28 Fév.	16 Avril
Arthrophytum scoparium	3,1	5,3	6,6	6,7	6,3	6,5	9,9	8,3	8,9	13,3	15,9	13,0	10,4
Moricandia arvensis ssp. suffruticosa	0,5	2,7	1,6	3,1	3,2	1,2	3,3	1,3	4,4	5,3	4,4	5,3	5,9
Cynodon dactylon													1,2
TOTAL pérennes	3,6	8,0	8,2	9,8	9,5	7,7	13,2	9,6	13,3	18,6	20,3	18,3	17,5
Plantules	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9	-	-	1,2
Plantago ovata	-	0,7	-	3,2	1,5	-	0,2	0,2	-	-	-	0,8	-
Anacyclus cyrtolopidioides	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	0,5	0,7	0,3	0,7
Volutaria lippii	-	-	-	3,8	1,0	-	-	-	0,8	-	-	2,7	3,7
Filago germanica	-	-	-	2,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Schismus barbatus ssp. calycinus	-	0,2	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Trigonella spp.	-	-	-	0,5	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,9
Stipa retorta	-	0,7	-	-	0,7	-	1,9	-	2,1	0,0	10,5	28,9	16,9
Pteranthus dichotomus	-	-	-	1,1	-	-	-	-	0,9	-	-	-	-
Maresia nana	-	2,1	-	-	2,3	-	-	-	-	-	-	4,1	-
Chrysanthemum coronarium	-	-	-	0,3	0,3	-	-	-	-	-	-	0,9	-
Nastursiopsis coronopifolia	-	14,3	-	5,0	3,0	-	0,6	-	0,5	-	-	-	-
Malva aegyptiaca	-	1,0	-	0,2	2,1	-	-	-	-	-	-	0,3	-
Spergularia sp.	-	0,2	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Asphodelus tenuifoliosus	-	-	-	0,3	0,5	-	-	-	8,0	-	-	-	0,1
Anthemis pedunculata	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,3
Annuelles sèches	-	-	7,2	-	-	-	-	-	-	69,5	-	-	-
Erodium glaucophyllum	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-
Brachypodium distachyum	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	2,5	-	2,3
Mesembryanthemum cristallinum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	2,8
TOTAL annuelles et bisannuelles	0,0	18, 2	0,2	16,9	12,6	0,0	2 ,9	0,2	13,7	2 ,4	13,7	43,0	28,9
Litière et plantes mortes	0,5	4,0	11,3	5,3	3,3	4,7	4,6	2,8	1,8	76,7	59,7	42,7	21,5
TOTAL	4,1	30,2	19,7	32,0	25,4	12,4	20,7	12,6	28,8	97,7	93,7	104,1	67,9
TOTAL moins litière et annuelles sèches	3,6	26,2	8,4	26,7	22,0	7,7	16,1	9,8	27,0	21,0	34,0	61,3	46,4

Annexe A277

Révision nomenclaturale de quelques espèces citées

d'après LE FLOC'H (1981) (selon TUTIN et al., 1964, 1968, 1972, 1976, 1980 [FE] ; TACKHOLM, 1974 [VT] ; BOULOS, 1977, 1979, 1980 [LB])

Nomenclature du texte	Révision nomenclaturale
Acacia raddiana Savi	id. [VT]
Adonis dentata Del.	Adonis dentatus Del. [VT]
Ajuga iva (L.) Schreb.	Ajuga iva (L.) Schreb. [FE]
Allium roseum (L.)	id. [FE VT LB]
Anabasis articulata (Forsk.) Mog.	Anabasis articulata (Forsk.) Mog.
Anacyclus clavatus (Desf.) Pers.	id. [FE]
Anagallis arvensis L.	id. [FE VT]
Anthyllis sericea ssp. henoniana (Coss.) M.	Anthyllis henoniana Cosson ex Batt. [FE]
Arthrocnemum indicum (Willd.) Mug.	Arthrocnemum glaucum (Del.) Ung. Sternb.[FE]
Aristida ciliata Desf.	Stipagrostis ciliata (Desf.) De Winter [LB]
Aristida plumosa L.	Stipagrostis plumosa (L.) Munro ex Anders ssp. plumosa [LB]
Aristida obtusa Del.	Stipagrostis obtusa (Del.) Nees [LB]
Aristida pungens Desf.	Stipagrostis pungens (Desf.) de Winter ssp. pungens [LB]
Artemisia campestris L.	id. [FE]
Artemisia herba-alba Asso	id. [FE LB]
Arthrophytum schmittianum (Pom.) Maire et Weill.	Haloxylon salicornicum Mog. Burge ex Boiss. [LB]
Arthrophytum scoparium (Pom.) Iljin	Haloxylon scoparium Pomel [LB]
Asphodelus tenuifolius Cavan	Asphodelus fistulosus L. [FE]
Astericus pygmaeus Coss. et Kral.	Asteriscus pygmaeus (DC.) Coss.et D.R.[VT]
Atractylis serratuloides Sieb.	Atractylis serratuloides Sieb. ex Coss.[LB]
Atriplex halimus L.	id. [FE VT LB]
Atriplex mollis Desf.	id. [FE LB]
Calendula aegyptiaca Pers.	Calendula arvensis L. [LB]
Calligonum comosum L'Hérit.	id. [LB]
Cardunus getulus Pomel	id. [VT LB]
Centaurea dimorpha Viv.	id. [VT]
Cleome arabica L.	id. [VT]
Coronilla scorpioides Koch.	Coronilla scorpioides (L.) Koch. [FE VT]
Cynodon dactylon (L.) Pers.	id. [FE VT LB]
Diplotaxis harra (Forsk.) Boiss.	Diplotaxis harra (Forsk.) Boiss. [LB]
Enarthrocarpus clavatus Del.	Enarthrocarpus clavatus Del. ex Godron [LB]
Erodium glaucophyllum (L.) L'Hérit.	Erodium glaucophyllum (L.) Aiton
Euphorbia retusa Forsk.	id. [FE VT]
Fagonia glutinosa Del.	id. [VT]
Hedypnois cretica (L.) Willd.	Hedypnois rhagadioloides (L.) F.W. Schmidt [LB]
Helianthemum kahiricum Del.	id. [VT]
Helianthemum lippii var. sessiliflorum (Desf.) Murb.	Helianthemum sessiflorum (Desf.) Pers. [FE VT]
Juniperus phoenicea L.	id. [FE VT LB]
Koeleria pubescens P.B. ssp. salzmannii (B. et R.) Trab.	Lophochloa salzmannii (Boiss. et Rent.) H. Scholz [LB]
Koelpinia linearis Pallas	id. [LB]

A 277 (suite)

Launaea nudicaulis (L.) Hooker f.	id.	[FE VT LB]
Launaea quercifolia (Desf.) Maire	Launaea quercifolia (Desf.) Pamp.	
Launaea resedifolia (L.) O. Kuntze	Launaea resedifolia (L. emend. Coss.)Kuntze	
Limonium pruinosum (L.) O. Kuntze	id.	[VT]
Lithospermum apulum (L.) Vahl	Neastostema apulum (L.) I.M. Johnston	
Lygeum spartum L.	Lygeum spartum Loefl. ex L.	[VT LB]
Malva aegyptiaca L.	id.	[FE VT]
Matricaria aurea (L.) Sch. Bip.	Chamomilla aurea (Loefl.) Gay ex Kralik	[FE]
Mesembryanthemum cristallinum L.	Mesembryanthemum crystallinum L.	[FE VT LB]
Nitaria retusa (Forsk.) Asch.	id.	[VT]
Ononis natrix L.	id.	[FE VT]
Peganum harmala L.	id.	[FE VT]
Plantago albicans L.	id.	[FE VT]
Plantago coronopus L.	id.	[FE VT]
Plantago ovata Forsk.	Plantago ovata (Forskal)	[FE]
Polygonum equisetiforme S. et Sm.	Polygonum equisetiforme Sibth. et SM.	[FE VT LB]
Reichardia tingitana (L.) Roth	id.	[FE VT LB]
Retama raetam (Forsk.) Webb.	Lygos raetam (Forskal) Heywood	[FE VT]
Rhantherium suaveolens Desf.	id.	[LB]
Salicornia arabica L.	Sarcocornia fruticosa (L.) A.J. Scott	[LB]
Salsola kali L.	id.	[FE VT LB]
Salsola longifolia Forsk.	id.	[VT]
Salsola vermiculata L.	id.	[FE VT]
Salvia aegyptica L.	id.	[VT]
Salvia verbenaca L.	id.	[FE VT]
Scorzonera undulata Vahl.	id.	[FE LB]
Stipa retorta Cav.	Stipa capensis Thunb.	[LB]
Stipa tenacissima L.	id.	[FE LB]
Suaeda fruticosa (L.) Forsk.	Suaeda fruticosa Forskal ex Gmelin	[LB]
Suaeda mollis (Desf.) Del.	Suaeda vermiculata Forskal ex Gmelin	[LB]
Teucrium polium L.	id.	[FE VT]
Thymelea hirsuta (L.) Endl.	id.	[FE VT]
Thymus capitotus (L.) Hoffm. et Link	id.	[VT]
Ziziphus lotus (L.) Desf.	Ziziphus lotus L. Lam.	[FE VT]
Zygophyllum album L.	Zygophyllum album L. fil	[FE VT]

ANNEXE 3

DONNEES CLIMATIQUES RECUEILLIES

A31 - Précipitations en mm sur les stations de mesures

A32 - Hauteur des précipitations saisonnières (mm) et nombre de jours de pluie (entre paranthèses)

A33 - Gabès- Paramètres climatiques principaux 1971-76.

A34 - Telmam- Paramètres climatiques principaux 1972-76.

A35 - Dissa- Paramètres climatiques principaux 1972-1975.

A36 - Km 52- Paramètres climatiques principaux 1971-1977.

A 31 - Précipitations en mm sur les stations de mesures

Année	Station	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
1971	GABES SM	9,1	155,9	6,5	4,7	10,2	10,5	52,7	38,6	21,1	0	0,2	0	309,3
	Km 52	(45,0)	0	9,0	8,0	6,5	5,5	23,7	71,2	15,5	0	7,0	0	191,4
1972	ZERKINE	9,0	28,0	8,0	7,5	22,0	11,0	119,0	36,0	12,0	0	0	0	252,5
1972	GABES SM	13,1	15,3	3,2	35,1	21,4	26,2	22,2	6,9	1,2	0,2	0	4,1	148,9
	Km 52	7,0	70,7	4,6	39,2	12,7	12,6	41,6	5,0	0	0	0	16,2	209,6
1973	ZERKINE	4,4	12,5	1,5	42,1	23,4	24,1	21,2	1,0	0	0	0	0	134,2
	Km 8	14,8	14,0	1,1	32,3	22,7	24,0	32,4	6,3	0	0	0	0	147,6
	DISSA	21,3	16,2	1,6	41,4	14,6	22,6	36,4	9,2	0	0	0	3,0	164,3
	TELMAM	12,9	22,4	3,7	55,0	8,2	19,9	31,3	3,6	0	0	0	6,7	173,7
1973	GABES SM	0,3	2,7	32,3	203,5	1,1	21,8	24,6	10,1	0	5,0	0	0	311,4
	Km 52	0	1,6	11,8	251,9	3,5	16,5	20,2	5,0	0	3,1	2,0	0	315,6
1974	Km 47	0	1,6	10,8	309,0	0	19,0	20,5	7,5	0	4,5	1,2	0	374,1
	ZERKINE	2,0	0	130,0	234,0	2,5	20,5	44,1	11,7	0	6,5	0	0	451,3
	Km 8	0	2,5	24,7	160,4	0	27,8	39,3	6,0	0	6,0	0	0	266,7
	DISSA	0	3,4	13,8	169,0	1,2	27,1	35,6	5,3	0	4,4	0	0	259,8
	TELMAM	0	2,5	12,9	298,9	1,9	23,8	23,7	5,1	0	2,4	0	0	371,2
1974	GABES SM	72,4	39,0	1,5	2,1	17,1	59,8	71,2	15,5	6,8	0	0	0	285,4
	Km 52	31,3	27,9	9,6	3,1	3,3	22,3	54,5	8,2	3,5	13,0	3,0	0	185,7
	Km 47	31,0	34,9	11,6	9,2	5,8	28,2	54,2	8,0	3,0	13,5	0	0	199,4
1975	ZERKINE	34,0	11,0	2,0	4,1	31,6	88,0	32,7	16,0	3,9	0	0	0	221,3
	Km 8	28,5	72,3	3,2	1,6	8,0	35,0	61,0	21,0	8,5	28,0	0	0	267,1
	DISSA	38,5	24,0	0,8	1,2	8,9	33,8	55,6	13,2	8,8	14,6	0	0	199,4
	TELMAM	28,9	16,6	2,1	0	3,5	32,2	46,3	12,4	5,0	12,3	0	0	161,0
1975	GABES SM	72,8	99,0	10,4	59,1	120,7	78,4	59,6	0,4	25,1	6,8	0	1,3	533,6
	Km 52	31,2	8,0	22,2	16,5	66,7	57,1	56,7	0	31,3	5,5	0	0	295,2
	TELMAM	15,3	20,6	19,5	7,4	134,7	77,8	56,1	0	22,7	3,1	0	0	357,2
1976	ZERKINE	6,5	60,8	10,7	55,1	139,8	76,0	63,9	0	15,5	2,6	0	0	431,0
1976	GABES SM	1,0	31,3	29,6	0,2	6,9	1,7	3,5	3,9	2,7	0	0	0	80,8
	Km 52	0	15,7	22,8	1,1	17,8	17,5	0	3,3	6,1	0	0	0	84,3
1977	TELMAM	20,3	14,6	9,2	0,6	12,6	24,2	0	4,7	5,6	0	0	0	91,8

Annexe A32 - Hauteur des précipitations saisonnières (mm) et nombre de jours de pluie (entre parenthèses)

Année	Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
1971	GABES SM	171,5 (12)	25,2 (6)	112,4 (13)	0,2 (1)	309,3 (32)
	Km 52	54,0 (4)	20,0 (5)	110,4 (12)	7,0 (2)	191,4 (23)
1972	ZERKINE	45,0 (6)	40,5 (8)	167,0 (9)	0	252,5 (23)
1972	GABES SM	31,6 (16)	82,7 (23)	301,3 (11)	4,3 (2)	148,9 (52)
	Km 52	82,3 (11)	64,5 (15)	46,6 (7)	16,2 (2)	209,6 (35)
1973	TELMAM	39,0 (8)	83,1 (13)	34,9 (5)	6,7 (1)	163,7 (27)
	DISSA	39,1 (8)	78,6 (12)	45,6 (12)	3,0 (1)	164,4 (35)
	ZERKINE	18,4 (5)	89,6 (15)	22,2 (5)	0	134,2 (25)
1973	GABES SM	35,3 (8)	226,4 (11)	44,7 (13)	5,0 (1)	311,4 (33)
	Km 52	13,4 (5)	271,9 (5)	25,2 (5)	5,1 (3)	315,6 (18)
1974	TELMAM	15,4 (3)	324,6 (6)	28,8 (4)	2,4 (1)	371,2 (15)
	DISSA	17,2 (8)	197,3 (14)	40,9 (13)	4,4 (2)	259,8 (37)
	ZERKINE	132,0 (6)	257,0 (11)	65,8 (10)	6,5 (2)	451,3 (29)
1974	GABES SM	112,9 (13)	79,0 (17)	93,5 (18)	0	285,4 (48)
	Km 52	68,8 (12)	34,7 (9)	66,2 (10)	16,0 (3)	185,7 (34)
1975	TELMAM	47,4 (5)	37,7 (7)	63,6 (10)	12,3 (1)	161,0 (23)
	DISSA	63,3 (6)	43,9 (7)	77,6 (10)	14,6 (1)	199,4 (24)
	ZERKINE	45,0 (6)	123,7 (13)	52,6 (8)	0	221,3 (27)
1975	GABES SM	182,2 (14)	258,2 (23)	85,1 (20)	8,1 (6)	533,6 (63)
	Km 52	61,4 (7)	140,3 (17)	88,0 (18)	5,5 (2)	295,2 (44)
1976	TELMAM	53,9 (5)	213,8 (16)	74,4 (11)	2,4 (1)	357,2 (33)
	ZERKINE	78,0 (9)	270,9 (21)	79,5 (9)	2,6 (2)	431,0 (41)
1976	GABES SM	1,9 (8)	8,8 (5)	10,1 (6)	0	80,8 (19)
	Km 52	38,5 (6)	36,4 (7)	9,4 (2)	0	96,0 (15)
1977	TELMAM	44,1 (6)	37,4 (7)	10,3 (2)	0	91,8 (15)

A 33 - Gabès - Paramètres climatiques principaux 1971-76.

		sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil	août	année
1971	tx °C	29,0	23,9	19,6	16,1	15,8	19,0	20,6	22,0	23,5	26,5	29,9	30,1	23,0
	tn °C	22,2	16,1	10,3	7,6	7,0	8,3	11,6	12,9	15,6	21,0	22,3	23,0	14,8
1972	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,6	20,0	15,0	11,9	11,4	13,7	16,1	16,4	19,6	23,7	26,1	26,5	18,8
	Piche (mm)	225,4	143,9	241,0	82,9	128,6	242,6	221,2	161,0	261,0	71,8	198,4	224,0	2302
	Pluie (mm)	9,1	155,9	6,5	4,7	10,8	10,5	52,7	38,6	21,1	0	0,2	0	309,3
1972	tx °C	28,8	25,0	21,9	16,5	16,0	15,8	16,8	20,8	25,1	27,3	32,0	40,4	23,8
	tn °C	22,3	16,1	11,6	7,6	7,2	7,0	9,0	12,3	17,0	21,3	23,7	20,3	14,8
1973	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,7	20,5	16,7	12,0	11,6	11,4	12,9	16,5	21,1	24,3	27,8	27,1	18,9
	Piche (mm)	169,6	211,5	132,5	104,8	131,3	153,0	128,6	221,1	171,4	152,0	209,9	187,1	1971
	Pluie (mm)	13,1	15,3	3,2	35,1	21,4	26,2	22,2	6,9	1,2	0,2	0	4,1	148,9
1973	tx °C	31,5	26,8	20,2	16,4	16,8	18,2	20,4	22,1	25,9	28,1	30,0	30,4	23,9
	tn °C	20,9	17,4	11,1	8,4	7,7	7,9	11,0	13,3	17,0	20,6	21,6	21,9	14,9
1974	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	26,2	22,1	15,6	12,4	12,2	13,1	15,7	17,7	21,5	24,4	25,8	26,2	19,4
	Piche (mm)	237,1	181,3	120,2	98,6	110,2	185,7	181,0	219,7	175,6	172,9	208,0	197,0	2087
	Pluie (mm)	0,3	2,7	32,3	203,5	1,1	21,8	34,6	10,1	0	5,0	0	0	311,4
1974	tx °C	29,9	24,3	20,9	17,0	16,2	15,9	20,4	20,9	23,8	28,0	30,8	30,9	23,3
	tn °C	21,3	15,7	9,3	7,3	7,0	8,6	8,8	13,2	17,2	20,0	22,3	23,3	14,5
1975	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,6	20,0	15,1	12,2	11,7	12,3	14,6	16,8	20,5	24,0	26,5	27,1	18,9
	Piche (mm)	178	196	179	164	138	187	224	139	149	202	207	207	2170
	Pluie (mm)	72,4	39,0	1,5	2,1	17,1	59,8	71,2	15,5	6,8	0	0	0	285,4
1975	tx °C	29,2	25,3	19,9	18,8	15,0	16,3	17,3	20,3	23,3	26,7	30,1	31,3	22,8
	tn °C	22,8	17,0	11,8	10,1	7,1	7,8	9,5	12,4	17,2	20,1	23,1	23,6	15,2
1976	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	26,0	21,2	15,7	13,4	11,1	12,4	13,4	16,2	20,3	23,4	26,6	27,4	18,9
	Piche (mm)	133	165	149	109	119	112	132	124	129	149	192	215	1728
	Pluie (mm)	72,8	99,0	10,4	59,1	120,7	78,4	59,6	0,4	25,1	6,8	0	1,3	533,6
Normale Gabès	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,5	21,6	16,5	12,2	10,9	12,4	15,3	17,7	20,9	23,8	26,7	27,4	19,3
	Piche (mm)	192	158	132	133	133	132	167	141	186	189	229	229	2022
	Pluie (mm)	16,9	34,5	29,6	16,3	19,5	17,6	20,7	15,0	8,1	1,3	0,4	1,4	183,3

A 34 - Telmam - Paramètres climatiques principaux 1972-76.

		sept.	oct.	nocv.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	année
1972	tx °C		24,6	22,1	15,6	15,5	15,6	17,4	21,7	28,4	30,8	36,8	34,2	
	tn °C		12,2	10,8	5,9	4,5	4,3	5,7	9,9	15,6	19,0	23,0	22,5	
	$\frac{tx+tn}{2}$ °C		18,4	16,5	10,2	10,0	10,0	11,5	15,8	21,8	24,9	29,9	28,3	
1973	Piche (mm)	260,0	300	163	94	130	170	173	285	324	324	437	347	2995
	Pluie (mm)	12,9	22,4	3,7	55,0	8,2	19,9	31,3	3,6	0	0	0	6,7	163,7
1973	tx °C	33,3	28,9	20,5	15,2	16,3	17,1	20,1	22,9	29,5	30,4	33,5	33,3	25,1
	tn °C	20,1	16,5	9,6	6,6	5,3	5,6	9,4	10,9	15,8	19,6	20,6	21,3	13,4
1974	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	26,7	22,7	15,0	10,9	10,8	11,4	14,8	16,9	22,7	25,0	27,0	27,3	19,3
	Piche (mm)	377	301	176	123	140	223	218	262	315	263	338	298	3034
	Pluie (mm)	0	2,5	12,9	298,9	1,9	23,8	23,7	5,1	0	2,4	0	0	371,2
1974	tx °C	31,3	24,3	20,5	16,6	16,0	16,2	20,5	21,8	26,1	30,7	34,3	33,3	24,3
	tn °C	19,4	13,0	6,8	4,9	5,0	6,8	7,7	11,7	15,9	18,2	21,2	21,8	12,7
1975	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,4	18,6	13,7	10,7	11,0	11,5	14,1	16,8	21,0	24,5	27,7	27,6	18,5
	Piche (mm)	245	212	193	187	148	105	88	193,0	217	211	326	300	2425
	Pluie (mm)	28,9	16,6	2,1	0	3,5	32,2	46,3	12,4	5,0	12,3	0	0	161,0
1975	tx °C	30,7	25,9	20,2	17,7	14,5	16,3	17,5	21,5	25,7	30,4	32,8	33,7	23,9
	tn °C	20,9	15,4	8,8	7,4	4,5	5,7	7,7	11,0	15,4	18,4	21,8	21,2	13,2
1976	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,8	20,7	14,5	12,6	9,5	11,2	12,6	16,3	20,5	24,5	27,4	27,5	18,6
	Piche (mm)	196	233	233	145	130	131	158	163	181	214	296	343	2423
	Pluie (mm)	14,0	20,7	19,2	7,1	133,5	73,2	53,5	0	20,9	2,4	0	0	344,5

A 35 - Dissa - Paramètres climatiques principaux 1972-75.

		sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	année
1972 1973	tx °C		26,9	25,1	17,5	15,9	16,4	17,9	23,0	27,1	30,5	35,8	34,1	
	tn °C		13,1	9,4	5,1	4,7	4,7	6,7	9,0	14,7	20,0	21,3	20,8	
	$\frac{tx+tn}{2}$ °C		20,0	17,6	11,8	10,8	10,8	13,1	16,7	23,7	25,2	30,0	28,7	
	Piche (mm)			135,2	116,1	136,9	172,6	189,5	272,0	305,8	312,0	396,2	346,4	
	Pluie (mm)	21,3	16,2	1,6	41,4	14,6	22,6	36,4	9,2	0	0	0	3,0	164,3
1973 1974	tx °C	33,5	28,9	23,4	15,8	16,8	18,7	19,2	29,8	28,5	30,1	32,6	33,6	25,9
	tn °C	19,6	15,9	10,9	5,0	5,2	4,5	7,7	12,6	15,2	18,7	19,3	18,6	12,7
	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	26,6	22,4	17,2	10,4	11,0	11,6	13,4	18,2	21,8	24,4	26,5	26,8	19,1
	Piche (mm)	306,4	262,1	115,7	111,7	138,7	204,8	187,8	254,8	255,4	232,8	252,9	273,5	2596
	Pluie (mm)	0	3,4	13,8	169,0	1,2	27,1	35,6	5,3	0	4,4	0	0	259,8
1974 1975	tx °C	31,0	25,0	20,7	17,0	16,1	15,1	21,8	22,6	25,9	30,5	36,0	33,4	24,6
	tn °C	16,6	12,2	7,9	4,8	4,6	5,6	6,3	9,7	14,4	17,6	21,5	19,6	11,7
	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	23,8	18,8	14,4	10,8	10,3	10,5	14,0	16,1	20,1	24,0	30,0	26,5	18,3
	Piche (mm)	217,3	192,5	170,5	132,4	106,2	90,5	227,3	224,5	189,6	238,7	255,5	232,0	2277
	Pluie (mm)	38,5	24,0	0,8	1,2	8,9	33,8	55,6	13,2	8,8	14,6	0	0	199,4

A 36 - Km 52 - Paramètres climatiques principaux 1971-77.

		sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	année
	tx °C			18,0	15,9	13,3	19,0	22,3	21,7	24,7	30,4	34,4	33,5	
1971	tn °C			4,3	4,5	3,0	4,8	8,0	9,5	13,0	18,9	18,2	18,8	
1972	$\frac{tx+tn}{2}$ °C			11,1	10,2	8,1	11,9	15,1	15,6	18,8	24,6	26,3	26,1	
	Piche(mm)									246,0	298,8	316,6	305,2	
	Pluie(mm)	(45,0)	0	9,0	8,0	6,5	5,5	23,7	71,2	15,5	0	7,0	0	191,4
	tx °C	30,8	25,0	21,4	15,9	13,9	14,5	15,9	20,4	28,8	31,3	37,8	35,7	24,3
1972	tn °C	18,6	13,2	7,9	4,8	3,5	4,6	5,0	7,7	12,8	18,2	19,7	20,3	11,4
1973	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	24,7	19,2	14,6	10,3	8,7	9,5	10,4	14,0	20,6	24,7	28,7	28,0	17,8
	Piche(mm)	209,7	173,5	113,3	100,3	121,3	138,5	140,0	180,2	258,7	266,9	356,1	272,6	2331,1
	Pluie(mm)	7,0	70,7	4,6	39,2	12,7	12,6	41,6	5,0	0	0	0	16,2	209,6
	tx °C	34,0	29,7	21,5	16,4	18,2	18,8	19,3	23,6	30,6	31,2	34,8	34,6	26,6
1973	tn °C	18,7	15,8	10,2	6,8	6,4	6,8	7,5	11,1	14,2	17,4	19,0	20,0	12,8
1974	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	26,3	22,7	15,8	11,6	12,3	12,8	13,4	17,3	22,4	24,3	26,9	27,3	19,4
	Piche(mm)	284,3	241,8	135,9	89,2	127,5	195,1	165,4	206,9	269,3	227,0	299,1	282,1	2523,6
	Pluie(mm)	0	1,6	11,8	251,9	3,5	16,5	20,2	5,0	0	3,1	2,0	0	314,6
	tx °C	31,6	24,2	19,6	16,6	15,6	16,3	20,5	22,7	27,1	31,9	36,6	34,8	24,7
1974	tn °C	18,6	12,2	5,8	4,1	3,9	5,5	6,6	10,4	14,2	16,1	20,1	21,0	11,5
1975	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,1	18,2	12,7	10,3	9,7	10,9	13,5	16,5	20,6	24,0	27,9	27,9	18,1
	Piche(mm)	209,9	180,9	166,2	111,2	96,9	93,3	205,8	168,9	264,8	301,1	338,9	295,4	2421,3
	Pluie(mm)	31,3	27,9	9,6	9,1	3,3	22,3	54,5	8,2	3,5	13,0	3,0	0	185,7
	tx °C	31,7	25,8	20,0	16,7	13,8	17,1	18,9	22,7	25,1	29,3	34,7	34,0	24,0
1975	tn °C	20,1	13,5	8,2	5,9	4,1	7,0	8,5	10,5	14,4	17,3	20,2	19,2	12,4
1976	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	25,9	19,6	14,1	11,3	8,9	12,0	13,7	16,6	19,7	23,4	26,9	26,6	18,2
	Piche(mm)	181	231	147	115	115	130	134	147	182	250	287	324	224
	Pluie(mm)	31,2	8,0	22,2	16,5	66,7	57,1	56,7	0	31,3	5,5	0	0	295,2
	tx °C	30,7	27,4	18,4	17,6	16,5	21,3	23,1	24,7	27,1	30,2	34,7	34,3	25,5
1976	tn °C	18,5	15,0	7,5	6,3	6,4	7,8	8,9	10,1	14,5	17,2	20,7	20,2	12,7
1977	$\frac{tx+tn}{2}$ °C	24,6	21,2	12,9	11,9	11,4	14,5	16,0	17,4	20,8	23,7	27,7	27,2	19,1
	Piche(mm)	214	247	139	192	126	181	247	245	264	269	302	320	2740
	Pluie(mm)	0	15,7	22,8	1,1	17,8	17,5	0	3,3	6,1	0	0	0	84,3

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 : 4è trim. 1982
I.S.B.N. :2-7099-060-0