REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

INSTITUT DES REGIONS ARIDES MEDENINE

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOLS

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT
PROJET TUN 69 / 001

CENTRE D'ETUDES PHYTOSOCIOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES
LOUIS EMBERGER CNRS - MONTPELLIER

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE D'OUTRE - MER

MISSION TUNISIE

RELATIONS CLIMAT - SOL - VEGETATION DANS QUELQUES FORMATIONS VEGETALES SPONTANEES DU SUD TUNISIEN

(PRODUCTION VEGETALE ET BILAN HYDRIQUE DES SOLS)

Par Ch. FLORET, Ecologue au CNRS, Expert FAO
R. PONTANIER, Pédologue à l'ORSTOM

Document technique : N° 1

Juin 1978

République Tunisienne
Ministère de l'Agrigulture
INSTITUT DES REGIONS ARIDES
MEDENINE

DIRECTION DES RESSOURCES
EN EAU ET EN SOL

Programme des Nations Unies
pour le Développement
Projet TUN 69/001

Centre d'Etudes Phytosociologiques
et Ecologiques Louis Emberger
CNRS - MONTPELLIER

Office de la Recherche Scientifique
et Technique d'Outre-Mer

MISSION EN TUNISIE

RELATIONS CLIMAT — SOL — VEGETATION DANS QUELQUES FORMATIONS VEGETALES SPONTANEES DU SUD TUNISIEN

(Production végétale et bilan hydrique des sols)

par

Ch. FLORET, écologue au CNRS, expert FAO
R. PONTANIER, pédologue à l'ORSTOM

Document technique : juin 1978

RELATIONS CLIMAT - SOL - VEGETATION DANS QUELQUES FORMATIONS VEGETALES SPONTANEES DU SUD TUNISIEN

Production végétale et bilan hydrique des sols

TABLE DES MATIERES

page

PREAMBULE 4

1. INTRODUCTION 6

1.1 But de l'étude 6

1.2 Le cadre régional 8

1.2.1 Limites de l'étude. Régions naturelles 8

1.2.2 Climat et variabilité climatique 9

1.2.3 Géomorphologie, sols, végétation 18

1.3 Localisation et représentativité des stations de mesure 22

2. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL 24

2.1 Généralités sur le dispositif et les méthodes de mesure utilisées 24

2.2 Suivi des paramètres climatiques 25

2.3 Suivi des variations saisonnières des réserves en eau des sols et détermination de l'ETR 25

2.4 Mesure de l'évolution de la phytomasse aérienne 28

3. CARACTERISTIQUES DES MILIEUX ETUDIES ET RESULTATS DE MESURE 30

3.1 Données climatiques 30

3.2 Evolution annuelle de la phytomasse aérienne et de la production végétale en fonction du bilan d'eau 34

3.2.1 Steppes des plaines sableuses (à Rhantherium suaveolens) 34

3.2.1.1 Caractéristiques des sols et de la végétation 35

3.2.1.2 Résultats des mesures concernant la steppe en bon état (RK3) 41

3.2.1.3 Résultats des mesures concernant les steppes dégradées (RK_2, RK_1) 44

3.2.1.4 Résultats des mesures concernant les jachères et les cultures (rk_2) 46

3.2.2 Steppes des zones sableuses de piedmont (RK_2 du Dissa) 47

3.2.2.1 Caractéristiques du sol et de la végétation 47

3.2.2.2 Résultats des mesures 49

3.2.3 Friche post-culturale d'un glacis limoneux (AA_1 du "Ségui" Telmam) 50

../.

page

3.2.3.1 Caractéristiques du sol et de la végétation 50
3.2.3.2 Résultats des mesures 53
3.2.4 Steppes des zones gypseuses (AZ_2) 55
3.2.4.1 Caractéristiques du sol et de la végétation 55
3.2.4.2 Résultats des mesures 57
3.2.5 Pelouse à Cynodon dactylon d'un fond alluvial (ZR) 58
3.2.5.1 Caractéristiques du sol et de la végétation 58
3.2.5.2 Résultats des mesures 60

4. LES FACTEURS DE LA PRODUCTION VEGETALE DANS LES FORMATIONS ETUDIEES 61
4.1 Influence des caractéristiques principales du climat sur la production primaire 61
4.2 Influence des caractéristiques du sol sur la production primaire 64
4.2.1 Régime hydrique des sols 64
4.2.2 Fertilité des sols 68
4.2.3 Essai de classement des sols pour la production primaire 69
4.3 Influence de l'état initial de la végétation 70
4.4 Production primaire et évapotranspiration réelle 71
4.4.1 ETR réelle annuelle et production primaire annuelle 71
4.4.2 Accroissement moyen journalier de la production primaire et ETR moyenne journalière 72

5. EFFICACITE DES FORMATIONS ETUDIEES POUR LES PRODUCTIONS PRIMAIRE ET PASTORALE 75
5.1 Rentabilité de l'eau pour la production primaire 75
5.2 Relations production primaire - production pastorale 77

6. CONCLUSIONS 82

BIBLIOGRAPHIE 89

ANNEXES 97

n° 1 - Données climatiques

n° 2 - Profils pédologiques des stations

n° 3 - Listes floristiques des stations

PREAMBULE

Cette étude, qui repose sur des recherches expérimentales conduites sur le terrain entre 1970 et 1977, a été réalisée, d'une part dans le cadre général d'un projet mis en place par la Tunisie pour l'étude et l'aménagement des parcours steppiques des régions arides (Projet PNUD/TUN 69/001, dit "Projet Parcours Sud"), avec la participation de la FAO, de l'UNESCO et du CNRS de France et, d'autre part, dans le cadre du protocole d'accord Direction des Ressources en Eaux et Sols (DRES) de Tunisie et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM).

Les études écologiques sur la végétation steppique, qui font l'objet des résultats présentés dans ce document, ont été initialement programmées, puis réalisées, dans le cadre d'une convention passée en 1969 entre le Ministère de l'Agriculture de Tunisie (chargé d'exécution : l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie, INRAT) et le Centre National de la Recherche Scientifique de France, CNRS (chargé d'exécution : Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Louis Emberger, CEPE - L.Emberger, de Montpellier).

Depuis août 1971, l'UNESCO a participé à la réalisation du programme en fournissant un poste d'expert; il faut indiquer en effet que les recherches entreprises sont compatibles avec la conception du Projet 3 du Programme de l'Homme et la Biosphère (MAB), relatif à l'impact de l'homme sur les terres à pâturage. La partie tunisienne a tenu à rattacher la convention passée avec le CNRS au "Projet Parcours Sud", projet interdisciplinaire et international dont l'objectif principal est de proposer des solutions pratiques en vue de l'aménagement et de la gestion des zones arides, dans la conception du programme EMASAR de la FAO (Gestion écologique des terres à pâturage arides et semi-arides).

Depuis le 1er janvier 1978, le "Projet Parcours Sud" des Nations Unies et le programme qui fait l'objet de la convention avec le CNRS ont été rattachés à l'Institut des Régions Arides, récemment créé et localisé à Médenine.

La Section de Pédologie de la mission ORSTOM en Tunisie, dans le cadre de son Protocole d'accord avec la DRES, à la suite d'une convention avec le CEPE, a pris en charge toutes les études concernant le sol.

* * *

Nos remerciements vont en tout premier lieu au regretté M. STA-M'RAD qui, en tant que Directeur de l'INRAT et comme ami, a apporté depuis le début du programme et jusqu'à sa mort récente, son soutien moral aux travaux entrepris.

MM. M. HAMZA, Chef de la Division des Sols, nous a accordé toute facilité pour les analyses de série des sols, et l'impression de de document.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le dévouement des techniciens des différentes équipes : MM. Y GACEM, A. KHALLADI, S.SAID, M. BEN YOUNESS, M. NEFERTI et M. KHALIFA, chef du Laboratoire des Sols de Gabès, qui ont effectué les mesures dans des conditions souvent pénibles.

M. DUPUY a réalisé à Gabès les nombreuses illustrations de ce document.

Nos collègues tunisiens du "Projet Parcours Sud", écologues et agronomes, MM. T. TELAHIGUE et D. SASSI, ainsi que N. GADDES, nous ont beaucoup aidés par leurs connaissances du Sud de leur pays. Il en a été de même des autres membres du Projet, MM. T. IONESCO, qui l'a dirigé durant 6ans, après le départ de H.N. LE HOUEROU, P. WAECHTER, qui l'a rejoint depuis deux ans et tout particulièrement E. LE FLOC'H qui, depuis le début, a été associé étroitement à nos travaux.

Nos remerciements vont également à MM. F. BRUCHER, G. GLASER et M. GODRON, respectivement représentants du Projet pour le compte de la FAO en Tunisie, de l'UNESCO et du C.N.R.S., ainsi qu'à MM. ROEDERER et COLOMBANI, Chefs de la Mission ORSTOM en Tunisie.

M. G. LONG, responsable de l'Ecothèque méditerranéenne du CNRS, qui assure la direction scientifique des travaux de la mission du CEPE-CNRS en Tunisie, ainsi que MM. DELHUMEAU, chef de la Section de Pédologie de la mission ORSTOM de Tunisie, nous ont conseillés tout au long de cette étude et ont bien voulu relire le manuscrit.

Enfin M. M. HADJEJ, Directeur de l'Institut des Régions Arides, a également accordé à nos travaux son attention et son soutien.

1. INTRODUCTION

1.1 But de l'étude

Cette étude a été entreprise principalement pour rechercher les relations existant entre la production végétale de quelques types de terrains de parcours du Sud tunisien et les facteurs écologiques du climat, du sol et liés à l'influence de l'homme.

En dehors des oasis, où se pratiquent des cultures vivrières et arboricoles en irrigué, l'utilisation du sol dans cette région des marges sahariennes était traditionnellement de type pastoral. Les pasteurs étaient essentiellement nomades. Les zones cultivées étaient réservées aux bas-fonds, aux "seguis"et aux "jessours", recevant un appoint d'eau supplémentaire par ruissellement. Depuis environ un demi-siècle, on assiste à une sédentarisation progressive de la population. En se fixant, la tendance des habitants a été de défricher de grandes surfaces de terrains de parcours pour réaliser une culture céréalière épisodique en sec. Le défrichement a d'abord pris place sur le piémont, à proximité immédiate des montagnes, zones de fixation privilégiées en raison de l'utilisation possible des eaux de ruissellement au débouché des oueds. Actuellement, en raison de l'augmentation rapide de la population et de la mécanisation des labours, de grandes surfaces d'anciennes terres à pâturage sont cultivées sur l'ensemble du territoire. Malgré l'absence complète de récolte durant les années sèches, il semble que cette nouvelle pratique soit considérée comme plus payante par les habitants que le seul élevage, du moins tant que l'érosion n'a pas fait disparaître la couche arable que retenait la végétation pérenne.

Une conséquence de ce qui vient d'être décrit est que les anciens grands troupeaux nomades sont maintenant presque tous fractionnés au voisinage des habitations ou concentrés sur des zones réduites encore non défrichées, ce qui provoque surpâturage et dégradation de la végétation. Durant les années sèches ces parcours sont insuffisants pour nourrir les troupeaux qui ont vu leurs effectifs augmenter pendant la période pluvieuse précédente. On assiste ainsi à une variation cyclique importante du nombre des animaux.

Le problème d'un réaménagement de ces régions arides est donc posé et le Gouvernement tunisien a demandé aux chercheurs de récolter les données de base à cet effet.

../.

La présente étude a eu pour objet de suivre l'évolution de la biomasse végétale aérienne ou "phytomasse" sur quelques types principaux de pâturage de la région et d'en mesurer la production (végétale) primaire; ceci pendant quelques années, afin d'effectuer les mesures sous des conditions d'années climatiques différentes. Par ailleurs, quelques terrains de parcours ont été protégés, afin d'évaluer leurs possibilités d'évolution et de régénération spontanées. De telles données sont utiles à l'aménageur qui peut ainsi équilibrer la charge en animaux avec la production réelle et prévoir les réserves fourragères nécessaires à la survie du troupeau pendant les années sèches.

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 et tenter d'évaluer l'évapotranspiration réelle et l'efficacité de l'eau pour la production végétale selon la période de l'année.

Il est évident qu'il n'a pas été possible, compte tenu des moyens disponibles, d'étudier l'ensemble des systèmes écologiques pastoraux présents dans la région.

Cependant, plutôt que de consacrer tous les efforts et les moyens sur un écosystème pour obtenir des mesures fréquentes et plus précises, nous avons préféré utiliser des dispositifs expérimentaux plus légers sur plusieurs stations. Au total 7 systèmes écologiques différents ont ainsi fait l'objet de mesures. Certaines stations ont été suivies pendant 6 ans; pour d'autres, les mesures n'ont duré que deux ou trois ans.

En plus de ces mesures sur stations permanentes, de nombreuses cartes ont été réalisées à différentes échelles. La plupart des systèmes écologiques représentés ont fait l'objet de mesures de phytomasse aérienne au moins sur les plantes pérennes. Une centaine de mesures de ce type ont permis ainsi de mieux situer les stations permanentes dans l'éventail des milieux échantillonnés, d'en évaluer la représentativité, et d'effectuer une certaine extrapolation des résultats ponctuels aux unités à cartographier. En effet, des cartes des systèmes écologiques sont ou ont été réalisées par divers auteurs dans la région (MM. FLORET, GADDES, LE FLOCH, PONTANIER, TELAHIGUE); cette somme d'observations et de mesures permet de valoriser ces cartes du point de vue de la phytomasse aérienne et de la production primaire des unités et d'arriver ainsi à l'établissement de cartes thématiques telles que les "cartes des ressources pastorales" utilisées par le "Projet Parcours Sud" pour servir de base aux aménagements pastoraux.

../.

Dans ce document il ne sera question que des résultats concernant les stations de mesure qui ont fonctionné pendant plusieurs années consécutives.

La suite de cette introduction permet de replacer ces stations dans le cadre régional.

Le chapitre 2 est consacré au dispositif expérimental et aux méthodes de mesure.

Le chapitre 3 contient les caractéristiques du sol et de la végétation des stations étudiées, ainsi que les données obtenues et les résultats qu'en sont déduits. Pour alléger un peu cette partie, déjà assez fastidieuse à lire, on a reporté en annexe le détail des mesures climatiques ainsi que la description détaillée des sols et de la végétation. Cependant la lecture de ce chapitre n'est pas indispensable pour la compréhension des suivants.

Les chapitres 4 et 5 contiennent une interprétation des résultats tendant à faire apparaître les facteurs actifs ou limitants de la production primaire dans ces régions arides, et l'efficacité des systèmes écologiques étudiés. Cette interprétation, qui essaie de déterminer l'influence de chaque facteur pris individuellement, est évidemment artificielle et conduit à de nombreuses répétitions. Pour terminer on a donné quelques indications sur les relations entre la production primaire et la production pastorale (végétale), et en conclusion, quelques principes généraux d'aménagement en relation avec la variabilité de cette production.

1.2 Le cadre régional

1.2.1 Limites de l'étude. Régions naturelles

La zone sur laquelle porte cette étude se trouve à cheval sur deux régions naturelles de la Tunisie méridionale, telles qu'elles ont été définies en 1959 par H.N. LE HOUEROU, à savoir :

- la partie septentrionale de la Djeffara
- la partie S.E. des basses plaines méridionales orientales.

La Djeffara

Il s'agit de la plaine littorale englobant les retombées septentrionales des Matmatas (région d'Oglat Merteba, El Hamma) et la région comprise entre les versants orientaux des Matmatas et la mer. Elle est limitée au Nord par l'Oued Akarit et au Sud par une ligne passant au Sud de Medenine - Ben Gardane; vers l'Est, elle se prolonge jusqu'à Tripoli.

../.

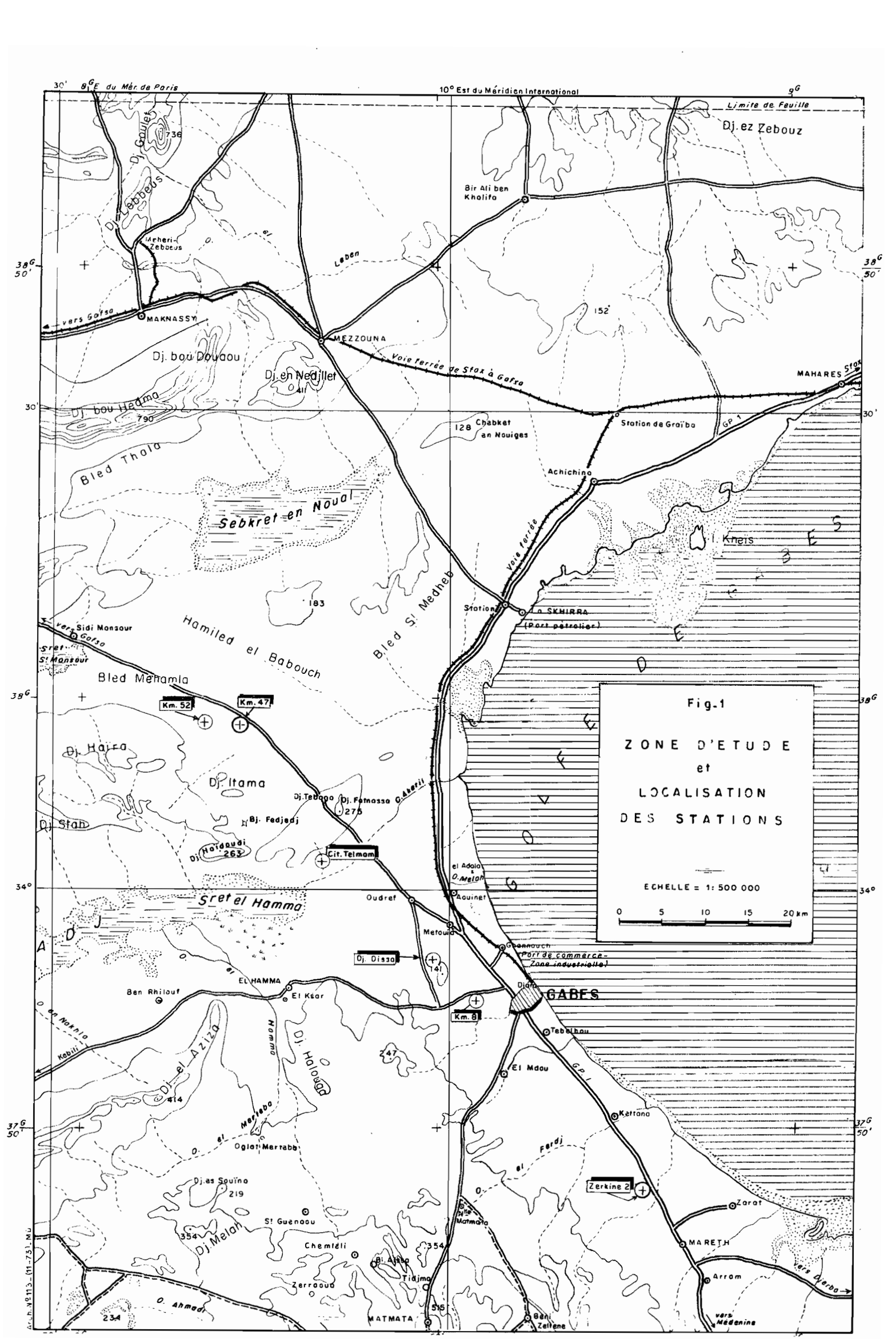


Fig.1
ZONE D'ETUDE
et
LOCALISATION
DES STATIONS
ECHELLE = 1: 500 000
0 5 10 15 20 km
10° Est du Méridien International
Limite de Feuille
GABES
MAKNASSY
MEZZOUNA
MAHARES
Station de Graïba
Achichina
Station
La SKHIRRA
(Port pétrolier)
Bir Ali ben Khalifa
Dj. ez Zebouz
Dj. Goulet
Dj. Lebbeus
Dj. bou Douaou
Dj. en Nedjilet
Dj bou Hedma
Bled Thala
Sebkret en Noual
Hamiled el Babouch
Bled St Medheb
Bled Menamla
Dj. Haira
Dj. Itama
Dj. Stah
Sret el Hamma
Dj. Fatnassa
Dj. Fedjedj
Dj. Haïdaoudi
Cit. Telmam
Oudref
Metouia
Aquinet
el Adala
Ghannouch
(Port de commerce - Zone industrielle)
Djara
Dj. Dissa
EL HAMMA
El Ksar
Ben Rhilouf
Km. 52
Km. 47
Km. 8
Tebelbou
El Mdou
Kettana
Zerkine 2
Zarat
MARETH
Arram
vers Medenine
vers Ajerba
Dj. el Aziza
Dj. Halouga
Dj. Melah
Dj. as Souïna
St Guenaou
Chemlali
Bi. Assa
Tidjma
Zerraoua
MATMATA
Beni Zelfene
Oglat Merrabb
Sebkret Matmata
Chabket en Nouiges
Voie ferrée de Stax à Gafsa
Voie ferrée
vers Gafsa
vers Sidi Mansour
Sret St Mansour
Oued el Leben
Oued en Nakhla
Oued el Ferdi
Oued Ahmadi
Oued el Melah
Oued el Merjeba
Oued el Amra
Oued el Akarit
Kebili
GP 1
Stax
Kneis
Sebkret
Oued
Dj. Tebaga
Dj. Fatnassa
Dj. Haïdaoudi
Dj. Dissa
Dj. Halouga
Dj. Melah
Dj. as Souïna
Dj. el Aziza
Dj. Stah
Dj. Haira
Dj. Itama
Dj. bou Hedma
Dj. bou Douaou
Dj. en Nedjilet
Dj. Goulet
Dj. Lebbeus
Dj. ez Zebouz
Chabket en Nouiges
Station de Graïba
Achichina
Bir Ali ben Khalifa
Zerkine 2
Zarat
MARETH
Arram
Tebelbou
El Mdou
Kettana
Djara
Ghannouch
Aquinet
el Adala
Metouia
Oudref
Cit. Telmam
Km. 52
Km. 47
Km. 8
Dj. Dissa
EL HAMMA
El Ksar
Ben Rhilouf
Oglat Merrabb
Sebkret Matmata
Chemlali
Bi. Assa
Tidjma
Zerraoua
MATMATA
Beni Zelfene
St Guenaou
Dj. as Souïna
Dj. Melah
Dj. el Aziza
Dj. Halouga
Dj. Stah
Dj. Haira
Dj. Itama
Dj. Fatnassa
Dj. Tebaga
Dj. Fedjedj
Dj. Haïdaoudi
Bled Menamla
Bled St Medheb
Hamiled el Babouch
Sebkret en Noual
Bled Thala
Dj. bou Hedma
Dj. bou Douaou
Dj. en Nedjilet
Dj. Goulet
Dj. Lebbeus
Dj. ez Zebouz
Sret St Mansour
Sret el Hamma
Kneis
Sebkret
Oued
Kebili
Stax
GP 1
vers Gafsa
vers Sidi Mansour
vers Medenine
vers Ajerba
Limite de Feuille
10° Est du Méridien International
GABES
MAKNASSY
MEZZOUNA
MAHARES
Station de Graïba
Achichina
Station
La SKHIRRA
(Port pétrolier)
Bir Ali ben Khalifa
Dj. ez Zebouz
Dj. Goulet
Dj. Lebbeus
Dj. bou Douaou
Dj. en Nedjilet
Dj bou Hedma
Bled Thala
Sebkret en Noual
Hamiled el Babouch
Bled St Medheb
Bled Menamla
Dj. Haira
Dj. Itama
Dj. Stah
Sret el Hamma
Dj. Fatnassa
Dj. Fedjedj
Dj. Haïdaoudi
Cit. Telmam
Oudref
Metouia
Aquinet
el Adala
Ghannouch
(Port de commerce - Zone industrielle)
Djara
Dj. Dissa
EL HAMMA
El Ksar
Ben Rhilouf
Km. 52
Km. 47
Km. 8
Tebelbou
El Mdou
Kettana
Zerkine 2
Zarat
MARETH
Arram
vers Medenine
vers Ajerba
Dj. el Aziza
Dj. Halouga
Dj. Melah
Dj. as Souïna
St Guenaou
Chemlali
Bi. Assa
Tidjma
Zerraoua
MATMATA
Beni Zelfene
Oglat Merrabb
Sebkret Matmata
Chabket en Nouiges
Voie ferrée de Stax à Gafsa
Voie ferrée
vers Gafsa
vers Sidi Mansour
Sret St Mansour
Oued el Leben
Oued en Nakhla
Oued el Ferdi
Oued Ahmadi
Oued el Melah
Oued el Merjeba
Oued el Amra
Oued el Akarit
Kebili
GP 1
Stax
Kneis
Sebkret
Oued
Dj. Tebaga
Dj. Fatnassa
Dj. Haïdaoudi
Dj. Dissa
Dj. Halouga
Dj. Melah
Dj. as Souïna
Dj. el Aziza
Dj. Stah
Dj. Haira
Dj. Itama
Dj. bou Hedma
Dj. bou Douaou
Dj. en Nedjilet
Dj. Goulet
Dj. Lebbeus
Dj. ez Zebouz
Chabket en Nouiges
Station de Graïba
Achichina
Bir Ali ben Khalifa
Zerkine 2
Zarat
MARETH
Arram
Tebelbou
El Mdou
Kettana
Djara
Ghannouch
Aquinet
el Adala
Metouia
Oudref
Cit. Telmam
Km. 52
Km. 47
Km. 8
Dj. Dissa
EL HAMMA
El Ksar
Ben Rhilouf
Oglat Merrabb
Sebkret Matmata
Chemlali
Bi. Assa
Tidjma
Zerraoua
MATMATA
Beni Zelfene
St Guenaou
Dj. as Souïna
Dj. Melah
Dj. el Aziza
Dj. Halouga
Dj. Stah
Dj. Haira
Dj. Itama
Dj. Fatnassa
Dj. Tebaga
Dj. Fedjedj
Dj. Haïdaoudi
Bled Menamla
Bled St Medheb
Hamiled el Babouch
Sebkret en Noual
Bled Thala
Dj. bou Hedma
Dj. bou Douaou
Dj. en Nedjilet
Dj. Goulet
Dj. Lebbeus
Dj. ez Zebouz
Sret St Mansour
Sret el Hamma
Kneis
Sebkret
Oued
Kebili
Stax
GP 1
vers Gafsa
vers Sidi Mansour
vers Medenine
vers Ajerba

On considère que les presqu'îles de Djorf et de Zarzis en font partie, ainsi que l'île de Djerba.

Elle est fortement peuplée, surtout dans les zones de Gabès - Mareth, Zarzis et Djerba, où la densité de la population rurale atteint 50 habitants au km2 et même plus, avec un taux de croissance de la population de 2,7 %; elle a de tout temps été une zone de passage importante entre la mer et les Matmatas; les vestiges des civilisations anciennes y sont abondants: capsienne, néolithique, carthaginoise, romaine, berbère, etc... La pression sur le milieu y est très forte et très ancienne. L'implantation d'industries à Gabès, la vocation touristique de la zone Djerba-Zarzis, une forte émigration de main-d'oeuvre à l'étranger et la démographie explosive, ont déséquilibré, depuis une vingtaine d'années, la gestion de l'espace rural.

Les basses plaines méridionales orientales

Il s'agit d'une région constituée de vastes plaines (steppes) s'étendant depuis Sidi Mansour jusqu'à la mer, englobant le Bled Thala, la Sebkha En Nouail; elle est limitée au Nord par l'olivette de Sfax et au Sud par les montagnes bordant le chott Fedjadj et la Djeffara.

Moins peuplée que la Djeffara (densité de la population rurale entre 7 et 30 habitants par km2), le milieu y est moins artificialisé.

Cependant ces steppes, longtemps domaine de nomadisme, subissent comme ailleurs une forte pression aggravée par l'accroissement de la population et la sédentarisation.

1.2.2 Climat et variabilité climatique

En l'absence de station météorologique de longue durée à proximité immédiate de Zougrata (Km 52, Km 47), du Telmam et de Zerkine, nous ferons référence à la station de Gabès, très proche du Km 8 et du DIS:M, pour laquelle nous disposons d'une série de 75 années complètes.

1.2.2.1 Principaux paramètres climatiques de la région

Afin d'avoir un aperçu plus complet sur le climat régional, nous donnons dans le tableau n°1 les principaux paramètres climatiques des stations météorologiques de la Tunisie aride intéressée par notre étude.

../.

Tableau n°1 -Principaux paramètres climatiques régionaux

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud
m : moyenne des minima du mois le plus froid
Q = 2000 P / $M^2 - m^2$

Stations	Température °C 1901-50			N. années	Précipitations annuelles mm			Quotient d'Emberger	Evaporation Piche mm	Nb. de jours de gelées	Nb. de jours de sirocco	ETP mm		
	M	m	$\overline{m}$		P moy	P max	P min	Q				Thornthwaite	Turc	Penman
Matmata	35,2	5,4	18,9	43	231	692	38	27,2	-	-	-	1004	-	-
Djerba	32,6	8,3	20,0	50	207	823	48	29,0	-	-	25	1042	-	1350
Zarzis	-	-	-	60	206	472	46	-	-	-	-	-	-	-
Gabès	32,7	5,9	19,3	76	187	532	39	22,2	[illegible]	1	28	996	1417	1255
Ben Gardane	35,9	3,9	19,4	50	186	377	42	19,2	-	-	-	1026	-	-
El Hamma	-	-	-	9	164	401	55	-	-	-	-	-	-	-
Gafsa	38,1	3,9	19,3	62	157	327	36	15,0	2858	12	38	1042	1408	1318
Médenine	36,8	6,2	20,5	50	135	385	40	15,6	-	-	38	1096	-	-
Tataouine	37,9	4,8	20,2	50	123	294	26	13,0	-	-	37	1085	-	-
Kébili	42,2	3,1	20,9	49	85	217	11	7,6	-	25	38	1158	-	-

On constate que nos différents sites de mesure sont :

- entre les isohyètes 150 et 200 mm, le Km 52 devant être en moyenne le plus sec (160-170 mm) et Zerkine le plus arrosé (190-200 mm);
- la variabilité de la pluviosité annuelle est très forte (entre 10 et 20),
- les hivers sont relativement doux, et les étés très chauds, surtout vers l'intérieur;
- le nombre de jours de sirocco et de gelée est plus important à l'intérieur que sur le littoral;
- d'une façon générale, le climat devient plus contrasté et l'aridité augmente avec la continentalité;
- le coefficient pluviothermique d'Emberger $Q = \frac{2000\ P}{M^2-m^2}$ est compris entre 17 (Km 52) et 22/23 (Gabès-Zerkine); la zone d'étude se trouve donc localisée dans l'étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur, avec des variantes à hivers doux sur le littoral, et à hivers tempérés dans la région du Telmam et du Km 52.

1.2.2.2 La pluviosité et sa variabilité à Gabès

Généralités sur le régime des précipitations de Gabès

Il convient de souligner l'extrême irrégularité des phénomènes pluviométriques de la zone de Gabès.

Variabilité des quantités précipitées : Avec une hauteur moyenne de 183,2 mm, le minimum observé est de 39,3 mm en 1946-47 et le maximum de 532 mm en 1975-76. Si le rapport de variabilité annuelle est voisin de 12, il peut atteindre 20 à 30 à l'échelle de la saison, et même 50 à l'échelle du mois.

Répartition : La répartition sur l'année n'est pas bien définie, on peut difficilement dégager une saison des pluies. Cependant il existe en moyenne une saison sèche allant de début mai à la fin août (pouvant se prolonger certaines années jusqu'en décembre); tous les autres mois se partagent les pluies annuelles avec une moyenne de 20 mm, exception faite pour le mois d'octobre nettement plus arrosé, 41,5 mm.

Le nombre moyen de jours de pluie se situe entre 20 et 40, mais les pluies journalières rendent aussi compte de la grande dispersion des phénomènes; il n'est pas rare d'observer en 24h 60à 70 % des précipitations annuelles et plus de 100 % de la moyenne interannuelle.

../.

Intensité : Les averses sont souvent marquées par leur violence pouvant atteindre 150 mm/h en cinq minutes, surtout en automne, provoquant des crues catastrophiques.

Répartition interannuelle des totaux annuels et saisonniers

Les différents totaux annuels et saisonniers des 75 années observées à Gabès ont fait l'objet d'ajustements graphiques; la loi de répartition qui semble le mieux tenir compte des écarts extrêmes caractéristiques de la région est la loi gausso-logarithmique.

Compte tenu de ces différents ajustements, on observera à Gabès :

Pluies annuelles

Une pluie inférieure ou égale à 100 mm : 1 année sur 5
Une pluie supérieure ou égale à 250 mm : 1 année sur 5
Une pluie comprise entre 100 et 250 mm : 3 années sur 5

Pluies automnales (sept. oct. nov.)

Une pluie inférieure ou égale à 30 mm : 1 année sur 5
Une pluie supérieure ou égale à 120 mm : 1 année sur 5
Une pluie comprise entre 30 et 120 mm : 3 années sur 5

Pluies hivernales (déc. janv. févr.)

Une pluie inférieure ou égale à 20 mm : 1 année sur 5
Une pluie supérieure ou égale à 80 mm : 1 année sur 5
Une pluie comprise entre 20 et 80 mm : 3 années sur 5

Pluies printanières (mars, avril, mai)

Une pluie inférieure ou égale à 15 mm : 1 année sur 5
Une pluie supérieure ou égale à 65 mm : 1 année sur 5
Une pluie comprise entre 15 et 65 mm : 3 années sur 5

Notons pour mémoire qu'un total annuel de précipitations à Gabès $\geqslant$ 500 mm peut être considéré comme un événement cinquantenaire, de même qu'un total annuel $\leqslant$ 50 mm.

../.

Années types à répartition saisonnière type

L'aménageur rural, s'il tient compte des hauteurs totales de pluie, est très intéressé également par la répartition des pluies au cours de l'année. Par exemple, une année moyenne donne une répartition saisonnière des plus irrégulière.

En fonction des ajustements 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 (Y) moyenne, d'un automne (A) moyen, d'un hiver (H) moyen, d'un printemps (P) moyen. Par ailleurs, on a retenu la période de 1 année sur 5 pour les événements secs (s) et les événements pluvieux (h).

Ainsi nous avons les types d'années et de saisons selon la répartition des pluies :

Ys $<$ 100 mm	100 $<$ Ym $<$ 250 mm	Yh $>$ 250 mm
As $<$ 30 mm	30 $<$ Am $<$ 120 mm	Ah $>$ 120 mm
Hs $<$ 20 mm	20 $<$ Hm $<$ 80 mm	Hh $>$ 80 mm
Ps $<$ 15mm	15 $<$ Pm $<$ 65 mm	Ph $>$ 65 mm

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

Il est pratiquement impossible sur ces combinaisons de définir une loi de répartition. Les années à répartition les plus fréquentes sont indiquées dans le tableau n°2

Tableau n°2

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

Ainsi, une fois toutes les 5,5 années on a une chance d'avoir à Gabès une pluie annuelle moyenne à répartition moyenne ($\frac{1}{0,179} = 5,5$).

../.

Début et fin de la saison des pluies

La précocité du début de la saison des pluies est une notion très importante en zone présaharienne, elle détermine la date des labours et du départ de la végétation sur les steppes après la longue sécheresse estivale; ainsi un début tardif de saison des pluies, après le ler novembre, provoque seulement une faible repousse des espèces spontanées en raison du froid.

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

Nous considérons comme début de la saison des pluies la première pluie* journalière $\geqslant$ 10 mm, tombée après le ler septembre et comme fin de saison des pluies, la dernière pluie journalière $\geqslant$ 10 mm tombée avant le 31 mai (il n'y a en effet jamais eu une pluie journalière $\geqslant$ 10 mm après le 31 mai à Gabès, sur les 43 années observées).

De l'examen des données "contribution aux totaux pluviométriques mensuels et annuels des pluies journalières du poste de Gabès" sur 43 années complètes, il ressort que :

- la fréquence observée d'apparition de la première pluie journalière $\geqslant$ 10 mm
  avant le ler décembre est de 0,790
  avant le ler novembre est de 0,628
  avant le ler octobre est de 0,326

- la fréquence observée d'apparition de la dernière pluie journalière $\geqslant$ 10 mm
  après le ler mai est de 0,24
  après le ler avril est de 0,333
  après le ler mars est de 0,571.

Une année a été considérée comme ayant un début précoce de saison des pluies, si la première pluie journalière supérieure ou égale à 10 mm est tombée avant le ler octobre, soit environ 1 année sur 3. De même une fin de saison des pluies sera dite tardive si la dernière pluie supérieure ou égale à 10 mm tombe après le ler avril, soit environ 1 année sur 3.

Notons pour mémoire que, environ 1 année sur 5, le début de la saison des pluies peut se produire après le ler décembre et que, 1 année sur 2, 3 années, la fin de la saison des pluies peut se produire avant le ler mars.

../.

* Pluie journalière : pluie tombée entre 8h à t et 8h = t + 24 heures

Successions d'années humides ou sèches

L'établissement des moyennes chevauchantes avec un pas de cinq et dix ans fait apparaître des cycles d'années favorables ou défavorables, se succédant sans périodicité définie; en outre, il ne semble pas que depuis 1885 il y ait eu une évolution quelconque de la pluviométrie. Les moyennes quinquennales peuvent varier du simple au double.

Cependant si nous définissons, avec h = hauteur des précipitations :

année sèche avec $h < 100$ mm

année moyennement sèche avec $100 < h < 150$ mm

année pluvieuse avec $h > 250$ mm

année moyennement pluvieuse avec $250 > h > 150$ mm

sur 75 années complètes d'observation à Gabès, il y a :

4 successions d'années sèches de 2 ans
3 " " moyennement sèches de 2 ans
2 " " " " " 3 "
1 " " " " " 4 "
1 " " " " " 5 "
(comprenant 2 successions de 2 années sèches)
3 " " pluvieuses de 2 ans
3 " " moyennement pluvieuses de 2 ans
2 " " " " " 3 "
(dont 1 comprenant 1 succession de 2 années pluvieuses)
1 " " moyennement pluvieuses de 5 ans
(comprenant 1 succession de 2 années pluvieuses)
1 1 1 moyennement pluvieuses de 7 ans
(comprenant 1 succession de 2 années pluvieuses)

Pluie efficace

Pour une même pluie précipitée sur l'ensemble de la région, l'efficacité dans la recharge des réserves en eau des sols n'est pas partout la même. En effet, suivant l'état de dégradation de la végétation et des sols, de la présence des croûtes et des encroûtements, des pentes, etc... de chaque milieu, une partie importante des pluies peut, soit ruisseler, soit participer à la recharge des nappes profondes (fonds d'oued, zone de piémont ou garaet).

../.

En considérant l'évaporation négligeable durant la pluie et, en l'absence de drainage vertical ou oblique, la pluie efficace s'exprime (Pe) par :

$$Pe = P \pm R \quad (R = \text{apport ou départ par ruissellement})$$

cf. § 2.3

1.2.2.3 Evapotranspiration potentielle et réelle. Déficit hydrique

Sur le tableau n°3 nous avons porté pour la station de Gabès :

- l'évaporation Piche, mesurée sous abri
- l'évapotranspiration potentielle calculée suivant la formule de Turc

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

où t = température moyenne mensuelle
Ig = radiation globale

- l'évapotranspiration potentielle calculée suivant la formule de Penman
- l'évapotranspiration potentielle mesurée sur un bac Thornthwaite planté en Pennisetum clandestinum (Kikuyu), située en bordure de l'oasis de Gabès
- le déficit hydrique théorique calculé par différence entre l'ETP (Turc) et la pluviométrie.

Tableau n°3

Gabès	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Evaporation Piche (mm)	192	158	132	133	133	132	167	141	186	189	229	229	2022
ETP (Turc) (mm)	142	102	74	56	57	74	105	127	151	169	185	175	1417
ETP (Penman)	128,2	87,5	48,4	40,3	43,0	56,2	89,2	118,5	144,2	161,1	176,5	162,0	1254
Pluie (mm)	19,1	41,5	24,4	18,0	20,7	17,5	18,3	17,5	5,0	1,6	0,4	0,6	183,6
ETP Kikuyu (mm)	129	101	76	57	63	56	97	128	164	170	203	187	1431
Déficit	122,9	60,5	49,6	36,0	36,3	56,5	86,7	109,5	146,0	167,4	184,6	174,4	1233

Pour Gabès le déficit annuel est de l'ordre de 1200 mm, mais ce déficit est sous-estimé car il prend en compte la pluie totale et non la pluie efficace, qui recharge effectivement les réserves en eau du sol. Nous pensons que sur les stations de l'intérieur (Km 52, Telmam), compte tenu d'une pluviométrie plus faible qu'à Gabès et d'une ETP plus élevée en raison d'une continentalité plus accentuée, ce déficit doit se situer aux alentours de 1300 mm.

../.

D'après ce bilan très théorique, la saison sèche dans le Sud tunisien durerait toute l'année; en fait ce n'est pas le cas, puisque pendant plusieurs mois de l'année la végétation spontanée et cultivée se développe "normalement".

Nous ne disposons d'aucun renseignement concernant l'évapotranspiration réelle des steppes du Sud tunisien; aussi durant six années de mesure, nous nous sommes particulièrement attachés aux aspects "production végétale - ETR" (cf. § 4.2 et 4.4).

1.2.2.4 Synthèse climatique régionale

Avec un déficit hydrique compris entre 1200 et 1300 mm par an (pluviosité faible et forte évaporation), la zone d'étude, qui présente une longue saison sèche et chaude de mai à octobre pouvant se prolonger jusqu'en décembre, et des pluies tombant pendant la saison froide, est caractérisée par une forte aridité.

Cette aridité globale est renforcée par les traits climatiques suivants :

- les pluies tombent souvent au plus froid de la saison froide (surtout sur les stations de l'intérieur - fin de l'automne et début de l'hiver), elles sont donc peu efficaces pour la végétation qui pousse essentiellement au printemps,
- les pluies ont souvent un caractère orageux avec de fortes intensités favorisant le ruissellement et l'érosion sur des zones déjà très dégradées, accentuant ainsi le déficit hydrique général de la région,
- la variabilité des précipitations est aussi un facteur d'accentuation de la dégradation par des successions d'années sèches, ou par des répartitions annuelles très aléatoires. Par exemple, une série d'années pluvieuses ayant permis la mise en valeur de certaines zones (céréaliculture), suivie d'une série d'années sèches, aura paradoxalement des conséquences désastreuses sur un milieu dépourvu de couvert végétal,
- la variabilité du début de la saison des pluies est aussi à prendre en compte : un début tardif de saison des pluies prolonge la sécheresse estivale et la disette, d'où surpâturage accru, si les animaux ne quittent pas la zone,
- enfin, aggravant encore le bilan hydrique, rappelons la prédominance des vents desséchants et violents de secteur SW, W et NW durant la saison de végétation; ces vents marquent d'ailleurs fortement le modelé des steppes sableuses par des accumulations de tout genre (voile, nebkhas, dune, erg; etc..).

../.

1.2.3 Géomorphologie, sols, végétation

La zone d'étude s'étend essentiellement sur un substrat mioplio-cène (à faciès sablo-argileux gypseux, plus ou moins salé), s'adossant aux retombées des monts des Matmatas dans la partie Nord de la Djeffara et aux chaînons atlasiques dans la région des basses plaines méridionales orientales, et se développant jusqu'à la mer; les reliefs sont essentiellement constitués de calcaires et de marno-calcaires du Crétacé.

Le chimisme des sols est donc marqué principalement par la dynamique des sels de calcium et de sodium ($CaSO_4$, $2H_2O$; $CaCO_3$; $Ca(HCO_3)_2$; et NaCl).

La Djeffara

Elle se présente comme un vaste ensemble de glacis, plateaux, collines et plaines, descendant en pente douce depuis les versants orientaux et septentrionaux des Matmatas, et se terminant par des plaines alluviales plus ou moins salées vers la mer.

Piémont des Matmatas

Les reliefs sont couronnés par les puissantes formations dolomitiques du Turonien formant des escarpements qui dominent la Djeffara. Les hautes vallées et les versants sont souvent ennoyés par un épandage de limons à nodules calcaires fortement érodés dans certaines zones qui présentent un relief en "badlands". A l'aval des piémonts les eaux ont façonné dans ces limons des glacis d'érosion souvent soulignés par la présence de croûtes et d'encroûtements calcaires.

L'âge de ces limons est indéterminé; cependant de nombreux auteurs pensent que leur mise en place a débuté au Villafranchien et qu'elle s'est poursuivie lors des phases pluvieuses post-villafranchiennes. Beaucoup de ces formations ont pu être colluvionnées car on explique difficilement la puissance (supérieure à 10 m parfois) de certaines d'entre-elles.

Bande côtière

La couche géologique la plus ancienne qui affleure est le Mioplioc ène, présentant parfois des faciès différents (argileux en particulier); elle est cependant essentiellement caractérisée par des formations sablo-argileuses rougeâtres à jaunâtres, riches en trames cristallines gypseuses.

../.

C'est sur celles-ci que le vaste ensemble de glacis d'érosion emboîtés et de glacis d'accumulation a été façonné. On s'accorde généralement à reconnaître 3 ou 4 niveaux correspondant aux différentes périodes pluvieuses qui se sont succédées depuis le Villafranchien.

Le Villafranchien est la plus ancienne surface observée. Il est caractérisé par la croûte saumonée à hélicidées. Le plus souvent, elle a été fracturée par les derniers mouvements atlasiques; aussi dans de nombreuses zones ne subsiste-t-il qu'à l'état de lambeaux, se présentant sous forme de buttes témoins dans le paysage.

Le Quaternaire moyen et récent est caractérisé par :

- le démantèlement de la surface villafranchienne
- la formation de croûtes et d'encroûtements calcaires récents pouvant parfois "reprendre" l'ancienne croûte villafranchienne (Tensiftien),
- l'érosion et le colluviennement dans la plaine des limons à nodules des Matmatas,
- la mise à nu du substrat gypseux, avec formation de vastes glacis à croûte et encroûtement gypseux emboîtés dans la surface villafranchienne,
- la mise en place sur le substrat miopliocène ou sur les glacis à croûtes, ou sur les produits de colluviennement des limons à nodules calcaires, de matériaux participant à la pédogenèse actuelle, ce sont essentiellement :

  • des colluvions mixtes d'origine continentale,
  • des alluvions sablo-limoneuses à limoneuses fluviatiles,
  • des dépôts éoliens à sables fins ou grossiers, calcaires,
  • des dépôts éoliens gypseux à sables lenticulaires (Gabès Nord),
  • des alluvions fluvio-marines en bordure de mer.

<u>Le domaine semi-continental des basses plaines méridionales orientales</u>

Les steppes de Zougrata, des bleds Mehamla et Sidi Mdeb, du plateau d'Hamilet el Babouch, sont constituées d'un vaste ensemble de plaines et de plateaux, ennoyant dans la partie Ouest et Nord-Ouest les derniers chaînons atlasiques et se prolongeant à l'Est et au Sud-Est par la bande côtière de la Djeffara.

A l'exception des puissants épandages des limons à nodules calcaires, nous retrouvons encore les mêmes matériaux et les mêmes niveaux.

../.

Cependant, sur ces steppes battues par les vents, le relief est plus monotone et le réseau hydrographique, sauf à proximité des djebels, est fortement enderéique : témoins l'abondance des garaet, sebkha et chott (Zougrata, Fatnassa, El Hajri, Fedjadj, Sidi Mansour, en Noual, etc..).

Actuellement, pour l'ensemble de la zone étudiée, le faciès morphologique est marqué :

- par une forte érosion hydrique en nappe ; rigoles et ravines sur les glacis et collines, mettant à nu, soit les croûtes et encroûtements calcaires ou gypseux, soit les substrats mioplioc ènes, accompagnés d'un alluvionnement substantiel dans les plaines littorales salées, dans la zone basse des oueds et dans les dépressions fermées (garaet, chott),
- par des phénomènes éoliens importants avec déflation dans certaines zones et par la création de dunes dans d'autres.

Nous signalerons en outre, dans le domaine fluvio-marin, le fort alluvionnement qui s'effectue actuellement dans le fond du Golfe de Gabès (Gourine), et la détérioration du réseau hydrographique dans la partie aval des lits.

Les sols et la végétation

Dans le territoire étudié, relativement limité en surface, et d'altitude assez uniforme (à l'exception des Matmatas et des chaînons atlasiques), le climat n'a pas un rôle prépondérant dans la différenciation des unités de végétation. La végétation réagit surtout aux conditions édaphiques : texture, porosité, nature des minéraux de la roche (calcaire, gypse), salure, bilan hydrique du sol, etc.. et à l'influence de la pression humaine et animale.

La végétation du Sud tunisien ayant été étudiée principalement par H.N. LE HOUEROU, on se reportera à cet auteur pour la description complète des unités (LE HOUEROU, 1959 et 1969).

Selon LE HOUEROU la végétation primitive pouvait être une forêt claire de Pins d'Alep et de Genévriers de Phénicie; actuellement, à l'exception de certains sommets, il n'y a plus trace de cette végétation proche du climax. La végétation est constituée aujourd'hui d'une steppe classique à base de petits chaméphytes bas (40 cm) ou d'herbacées (Alfa). La végétation et les sols se distribuent presque toujours selon la toposéquence suivante (cf. fig.n°2) :

../.

- Sur les montagnes, où l'on a des lithosols sur calcaire, et des sols rendziniformes très dégradés en altitude, l'Alfa (Stipa tenacissima) domine avec des recouvrements allant de 10 à 40 % suivant l'altitude et l'exposition. Sur les régosols marneux, l'Alfa fait place à l'Armoise blanche (Artemisia herba-alba). Sur les sommets les plus reculés des Matmatas on peut encore trouver des vestiges de Genévriers de Phénicie (Juniperus Phoenicea) et d'importants groupements de Romarin (Rosmarinus officinalis).

- Sur les hauts glacis, à lithosols présentant des croûtes et encroûtements calcaires superficiels, l'Alfa fait place à la sous-association à Gymnocarpos decander et à l'association à Artemisia herba-alba à recouvrement faible (5-15 %).

- Les sols calcomagnésimorphes à croûtes et encroûtements gypseux superficiels des hauts et moyens glacis portent en général une association à Zygophyllum album et Anarrhinum brevifolium à recouvrement faible (5 %); la présence d'un recouvrement sableux éolien permet sur ces milieux l'installation de Lygeum spartum et le développement des espèces annuelles pendant la saison humide.

- Sur les moyens et bas glacis d'accumulation, les épandages et les plateaux limoneux calcaires, caractérisés par des sols d'ablation régosoliques, des sols peu évolués ou des sols bruns steppiques plus ou moins tronqués, la végétation avant la mise en culture était constituée essentiellement d'une steppe à Artemisia herba-alba clairsemée (recouvrement 15 à 20 %). Sur les friches, l'Armoise blanche a fait place aujourd'hui à une steppe à Arthrophytum scoparium très clairsemée (5 %).

- Les plaines d'origine alluviale, éolienne ou mixte, à formations superficielles sableuses, sont le domaine des sols isohumiques plus ou moins évolués suivant leur âge et les conditions d'aridité (sols bruns steppiques, sols gris subdésertiques). Ils sont en général profonds (60 à 150 cm) et recouvrent souvent le Miopliocène gypseux, et peuvent présenter, à moyenne profondeur, des accumulations calcaires (amas, nodules et encroûtement). Ces sols très sensibles à l'érosion éolienne portaient il y a encore quelques années une steppe à Rhantherium suaveolens. La mise en culture, le surpâturage et la dégradation du sol font que cette association fait place à une association à Pituranthos tortuosus et Haplophylum vermiculare.

../.

- Dans les zones d'épandage des oueds et sur les basses plaines alluviales bien alimentées en eau, nous trouvons des sols alluviaux peu évolués non salés à l'amont, se salant vers l'aval, de texture moyenne à lourde, pouvant présenter des encroûtements gypseux de nappe. Ces sols cultivés depuis longtemps portant une végétation arbustive, localisée sur des nebkhas, à base de Ziziphus lotus (Jujubier), de Nitraria retusa (Nitraire) et, si le milieux est gypseux et salé, d'Atriplex halimus et de Lycium arabicum. Entre les nebkhas, les années de jachère, ou après les cultures, une pelouse à Cynodon dactylon (Chiendent) a tendance à envahir le sol.

- Les garaets peu salées, à sols hydromorphes minéraux, à remise en mouvement du gypse (croûte de nappe) et à submersion temporaire, ont vu depuis longtemps disparaître leurs peuplements de Tamarix avec la mise en culture. Actuellement, à la décrue, s'il n'y a pas de culture, une association à Pulicaria laciniata et à Verbena supina, ainsi qu'une pelouse à Cynodon dactylon après culture et sur les bordures, peuvent s'y développer.

- Enfin, totalement à l'aval, en bordure de mer, ou en bordure des chotts et sebkhas très salés, se développent sur des sols halomorphes, parfois à alcalis, des associations végétales à base de Chenopodiacées crassulescentes montrant de nombreux gradients dans la salure et l'hydromorphie (cf. NOVIKOFF, 1961).

1.3 Localisation et représentativité des stations de mesure

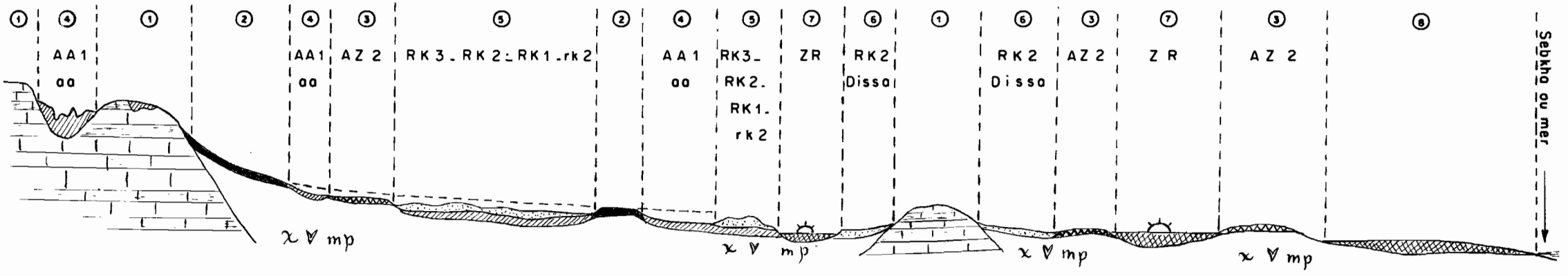
Le choix des stations de mesure et d'observation a été fait à partir des critères suivants :

- l'accès devait être facile à partir des laboratoires de Gabès, afin de pouvoir intervenir rapidement pour la mesure des bilans d'eau; Il fallait éviter une dispersion trop grande autour de Gabès dans la mesure où nous ne pouvions installer partout des postes météorologiques. La figure n°1 nous donne 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 stations devaient être représentatives des principaux milieux physiques que l'on se proposait d'étudier, afin de pouvoir généraliser les résultats à la région, c'est ainsi que (cf. fig. n°2 et tableau n°4) :

  . les sites RK_3, RK_2, rk_2 du Km 50 de la route de Gafsa, et RK_1, 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.

Fig. nº 2 — **COUPE SCHEMATIQUE MONTRANT LA DISTIBUTION DES SOLS ET DE LA VEGETATION EN DJEFFARA ET DANS LES BASSES PLAINES MERIDIONALES ORIENTALES**



L E G E N D E

Calcaires et marno-calcaires du Crétacé

x V mp Miopliocène gypseux

Croûtes et encroûtements calcaires

Croûtes et encroûtements gypseux

Limons à nodules calcaires

Alluvions mixtes sablo-limoneuses (souvent éolisées)

Alluvions fluviatiles

----- ancienne surface villafranchienne

RK 3, AA1 etc..... sigles des systèmes écologiques étudiés.

1 _ Lithosols, régosols et sols rendziniformes de montagne. Steppes à Rosmarinus officinalis. Stipa tenacissima et Artemisia herba-alba.

2 _ Lithosols et régosols sur croûte calcaire des hauts glacis. Steppe à Gymnocarpos decander et Artemisia herba-alba.

3 _ Sols calcomagnésimorphes à croûtes et encroûtements gypseux des moyens et bas glacis. Steppes à Zygophyllum album, Anarrhinum brevifolium et Lygeum spartum.

4 _ Sols d'ablation régosoliques, au bruns steppiques des épandages et des bas glacis sur limons à nodules calcaires. Steppe à Artemisia herba-alba et à Arthrophytum scoparium.

5 _ Sols gris subdésertiques, peu évolués steppiques, sierozems des plaines sablo-limoneuses. Steppe à Rhantherium suaveolens.

6 _ idem nº 5, mais en position de piémont.

7 _ Sols peu évolués alluviaux des bas-fonds. Pelouse à Cynodon dactylon, nebkhas à Ziziphus lotus et Nitraria retusa.

8 _ Sols halomorphes des bordures de sebkhas. Steppes à Halocnenum strobilaceum et Salicornia arabica

- la station HK_2 du DISSA est représentative des anciennes jachères surpâturées des piéments sableux situés au pied des collines gypseuses de la Djeffara servant de terrains de parcours aux troupeaux communaux;
- la station du Km 8 (route de Kébili) située sur des formations gypseuses (encroûtement), a dû être déplacée à l'issue de la campagne 1971-72; en effet, lors du premier choix nous avions retenu une steppe à Onenis natrix présentant un horizon sableux au-dessus de la croûte gypseuse trop important pour être représentatif des milieux gypseux de la Djeffara. Aussi, dès l'automne 1972, nous nous sommes placés sur un milieu nettement encroûté très répandu en Djeffara septentrionale et centrale et dans la partie orientale des basses plaines, et principalement localisé sur les formations gypseuses du Mioplioc ène. Notons cependant que le Km 8, bien que pâturé régulièrement, mais situé à moins de 500 mètres du périmètre de mise en défens du Bassin versant de l'oued Gabès, n'est pas aussi fortement surpâturé que certaines zones situées à proximité de Metouia, Oudref, El Hamma, Zerkine, Teboulbou, Gabès, Mareth, etc... Ces steppes sur gypse constituent en effet dans de nombreux lieux de la Djeffara, les seuls terrains de parcours pour les nombreux troupeaux communaux,
- la station de ZERKINE (28 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 milieu (ZR) caractérisé par une pelouse à Cynodon dactylon et par des formations à Ziziphus lotus localisées sur des dunes fixées (nebkhas), a été incomplètement étudié. En effet, la végétation des nebkhas, représentant environ 15 % à 20 % de la surface, mais à haut potentiel de production, n'a pu être étudiée en raison de sa structure très particulière (accessibilité), et des moyens trop importants à mettre en oeuvre,
- la station du TELMAM, représentative des jachères de la partie "moyenne" du milieu "séguí" sur le plan physique (sol et bilan d'eau), de par sa proximité de la mer doit, sur le plan de la végétation, appeler quelques réserves; en effet les séguis de Sidi Mansour, Gafsa, etc.. étant plus continentaux, présentent un climat plus contrasté, qui influe de façon sensible sur le comportement de la végétation (composition, rythme de production, etc...).

Avec ces cinq stations principales, nous ne prétendons pas avoir abordé l'ensemble des problèmes de la production pastorale des steppes de la zone aride;

../.

Tableau N° 4

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES ET LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE

BIOCLIMAT	REGION NATURELLE	SECTEUR ECOLOGIQUE	SOL ET VEGETATION (Utilisation du sol)	Sigle utilisé dans le texte et sur les cartes	"Lieu dit" de la Station	COORDONNEES (lat. Nord-long. Est) et altitudes
ETAGE BIOCLIMATIQUE MEDITERRANEEN ARIDE (sous-étage inférieur) — VARIANTE A HIVER DOUX (limite de l'hiver tempéré)	BASSES PLAINES MERIDIONALES (orientales)	PLAINES ET PLATEAUX A ACCUMULATION SABLEUSE	– Steppe à Rhantherium suaveolens – Sierozem sableux profond – voile éolien – Parcours en bon état	RK 3	Km. 52	x = 9° 41' 18" y = 34° 10' 14" altitude: 75 m
			– Steppe à Rhantherium suaveolens – Sierozem sableux profond – Parcours moyennement dégradé	RK 2		
			– Steppe à Rhantherium suaveolens, defrichée récemment – Sierozem sableux profond – Jachère d'une céréale	rk 2		
			– Steppe à Rhantherium suaveolens – Sierozem tronqué – Parcours très dégradé	RK 1	Km. 47	x = 9° 44' 30" y = 34° 10' 45" altitude : 75 m.
		ZONE DE PIEMONT A ACCUMULATION LIMONEUSE (Système "Séguis")	– Steppe à Artemisia herba-alba, anciennement défrichée – Sol peu évolué, un peu gypseux et salé, texture plus ou moins limoneuse – Jachère de longue durée.	A A 1	Citerne TELMAM	x = 9° 50' 22" y = 34° 01' 45" altitude: 58 m.
VARIANTE A HIVER DOUX	DJEFFARA	ZONE DE PIEMONT A ACCUMULATION SABLEUSE	– Steppe à Rhantherium suaveolens, anciennement défrichée – Sierozem sableux profond – Parcours sur ancienne jachère	(rk2-RK2)	Djebel DISSA	x = 9° 50' 50" y = 34° 01' 30" altitude: 61 m
		GLACIS ET COLLINES A SUBSTRAT GYPSEUX	– Steppe des zones gypseuses – Sol à encroûtement gypseux – Parcours en assez bon état	A Z 2	Km. 8	x = 10° 01' 29" y = 33° 52' 25" altitude: 56 m
		PLAINES ET VALLEES ALLUVIALES	– Pelouse à Cynodon dactylon – Sol peu évolué alluvial profond – Parcours	Z R 2	ZERKINE	x = 10° 15' 22" y = 33° 41' 18" altitude: 40 m

malgré quelques mesures de biomasse instantanée, nous n'avons pu étudier pour des raisons matérielles les steppes salées, les steppes à Armoise blanche, les steppes à Alfa (Gaddas, 1978), ainsi que la production pastorale sur chaumes des différents milieux cultivés, exception faite de quelques mesures sur rk_2.

2. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

2.1 Généralités sur le dispositif et les méthodes de mesure utilisées

Le principe des différentes mesures entreprises durant ces six années d'observations est le suivant : sur une formation végétale spontanée naturelle, exploitée sous forme de pâturage, nous caractérisons aussi préci-sément que possible le sol, la végétation, le climat, l'action de l'homme et nous suivons pendant plusieurs années, pour tenir compte de la variabilité climatique, l'évolution annuelle de la partie aérienne de la végétation (en termes quantitatifs et qualitatifs), en fonction des conditions climatiques et surtout du bilan d'eau des sols.

Le dispositif des mesures stationnelles est donc installé sur une zone de steppe représentative et homogène au point de vue physionomique (prospection pédologique et relevés de végétation) :

- une parcelle est clôturée en été (période de repos de la végétation). Tout au long de l'année de végétation (septembre à août) des coupes succes-sives y sont effectuées pour suivre l'évolution de la phytomasse aérienne et pour avoir ainsi une évaluation de la production végétale aux différentes saisons;
- à proximité de la parcelle de mesure de l'évolution de la phytomasse aérienne, d'autres mesures sont effectuées sur la végétation dont les résultats ne figurent pas dans cette publication, mais qui ont aidé à l'interprétation :
  - évolution du couvert végétal dans une mise en défens, grâce au suivi de la végétation sur des lignes permanentes sur lesquelles des lectures de points -quadrats sont effectuées 2 fois par an;
  - densité des espèces pérennes et évolution de cette densité dans une mise en défens;
  - phénologie des principales espèces au cours de l'année;
  - mesures sans répétition saisonnière de phytomasse aérienne (en période de repos de la végétation) sur de nombreuses communautés végétales de la même région, afin d'essayer de généraliser les résultats obtenus sur les stations de mesure principales.

- une ou plusieurs fosses pédologiques sont creusées à proximité afin de vérifier la distribution de l'enracinement, de déterminer la biomasse végétale souterraine (une seule fois par an), de décrire le sol de la station, d'effectuer un certain nombre d'analyses chimiques (fertilité, salure, gypse, $CaCo_3$, etc..) et surtout physiques, qui permettront d'évaluer les caractéristiques physico-hydriques du sol servant à l'établissement du bilan d'eau (densité réelle, densité apparente, porosité, courbe de pF, granulométrie, etc..). L'homogénéité du sol de la station, et surtout du "réservoir eau du sol" (en termes qualitatifs et quantitatifs) est vérifié par sondages à la tarière. L'emplacement des points de contrôle de l'humidité du sol est alors choisi (3 répétitions en général);

- 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 cm2) à 1,50 m et un pluviomètre totalisateur (100 cm2) à la surface du sol.

  Certaines stations (Telmam, Zita), sont 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 totalisateur à la surface du sol;

2.2. Suivi des paramètres climatiques

Les relevés météorologiques sont 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 sur place ou à partir des laboratoires de Gabès.

L'ensemble des résultats est dépouillé et synthétisé sous forme de données décadaires.

2.3 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 des profils hydriques effectués à la tarière à main, avec séchage des échantillons à l'étuve à 105°C et à l'étuve à vide pour les échantillons gypseux.

../.

Périodicité

A partir du début de la saison des pluies les mesures sont réalisées tous les quinze jours, jusqu'à un mois après la fin de la saison des pluies, et tous les mois durant la saison estivale. Par ailleurs, une mesure est faite immédiatement après chaque pluie importante ($P \geq 10$ mm).

Profondeur

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 représenter la rhizosphère.

Réserves en eau du sol

L'établissement des profils hydriques en humidité pondérale permet de suivre tout au cours de l'année les variations :

- de la réserve en eau totale S (mm) de chaque tranche ou de l'ensemble du sol

$$S\ (mm) = \sum_{1}^{n} hp_i\ DAi\ zi$$

- de la réserve en eau disponible Rd (mm) pour la végétation de chaque tranche ou de l'ensemble du sol

$$Rd\ (mm) = \sum_{1}^{n} (h\ p_i - h\ pF_i)\ DA_i\ z_i$$

où hp_i = humidité pondérale de la tranche considérée, $h\ pF_i$ = humidité pondérale correspondant à $pF_{4,2}$ de la tranche considérée, DA_i = densité apparente de la tranche considérée, z_i = épaisseur de la tranche considérée.

Les données sont présentées sous forme de listes et de graphiques montrant l'évolution dans le temps des réserves en eau de chaque horizon.

Bilan d'eau et ETR

L'équation du bilan hydrique d'un sol pour une période allant de t_1 à t_2 est :

$$P = R + Dv + De + ETR + \Delta S$$

où P = pluie, R = ruissellement, Dv = résultante du drainage vertical

../.

(drainage et remontées), Do = résultante du drainage oblique (départ ou appert), ETR = évapotranspiration réelle, Δ S = variation algébrique de la réserve en eau totale du sol considérée entre t_1 et t_2.

A la fin de l'année hydrologique, le sol revient à son état initial, donc Δ S = 0; par ailleurs la tranche sèche étant contrôlée toute l'année, nous avons Dw = 0, et sur des toposéquences nous avons toujours mesuré De = 0, à fortiori sur des zones planes.

Autrement dit, dans les steppes arides étudiées, l'ETR annuelle devient donc :

ETR = P − R dans les zones qui ruissellent

ETR = P + R dans les fonds qui reçoivent un appert par ruissellement

ETR = P dans les zones plates et en année moyenne.

<u>ETR moyenne journalière</u> : elle rend très bien compte de l'utilisation de l'eau par la végétation et caractérise le bilan hydrique des différentes unités. Nous définissons donc pour un sol où nous mesurons la tranche sèche :

$$\bar{m}\ \text{ETR/j (en mm/j)} = \frac{\Delta S + Pe}{\Delta t}$$

où Δ S = variation algébrique de la réserve en eau totale du sol entre t_1 et t_2

Pe = pluie efficace (P − R ou P + R entre t_1 et t_2)

Δt = intervalle de temps en jours entre t_1 et t_2 .

Grâce aux nombreux profils hydriques réalisés tout au cours de l'année, il est relativement aisé de suivre l'évolution de $\bar{m}$ ETR/j 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 du ruissellement comme c'est le cas au Dissa et au Telmam; la critique est d'ailleurs valable pour Zerkine (ER), 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 (24H au maximum), nous n'avons pas toujours eu la chance de le 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 ce cas, nous ne pensons pas avoir eu plus de 10 % d'erreur, la technique du profil hydrique, et celle de la mesure du

../.

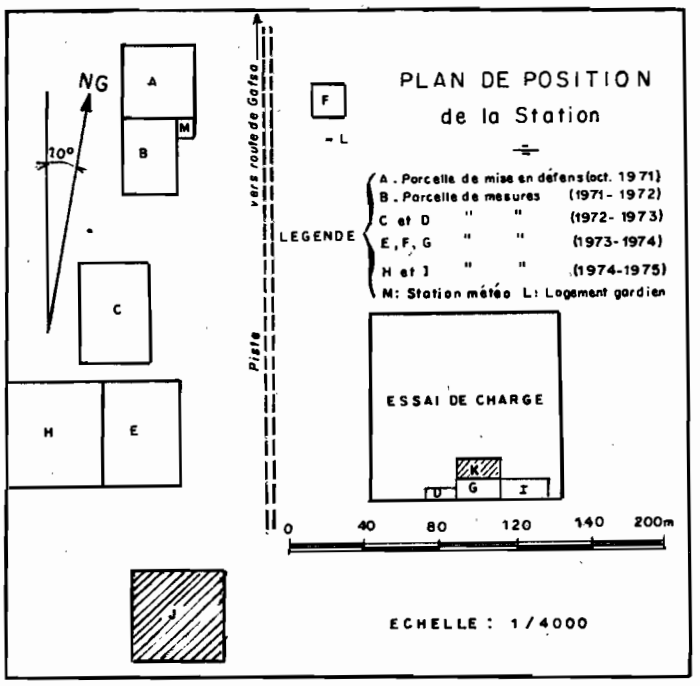
Fig. 3

1975 - 1976

STATION km. 52 — route de Gafsa

Gouvernorat de Gabès

— Steppe à Rhantherium suaveolens —



COORDONNEES

en grades: x = 8G 16' 50"; y = 37G 97' 20"

en degrés: x = 9°, 41' 18"; y = 34° 10' 14"

Altitude de la station: 75m

Date d'installation des parcelles "J" et "K": août 1975

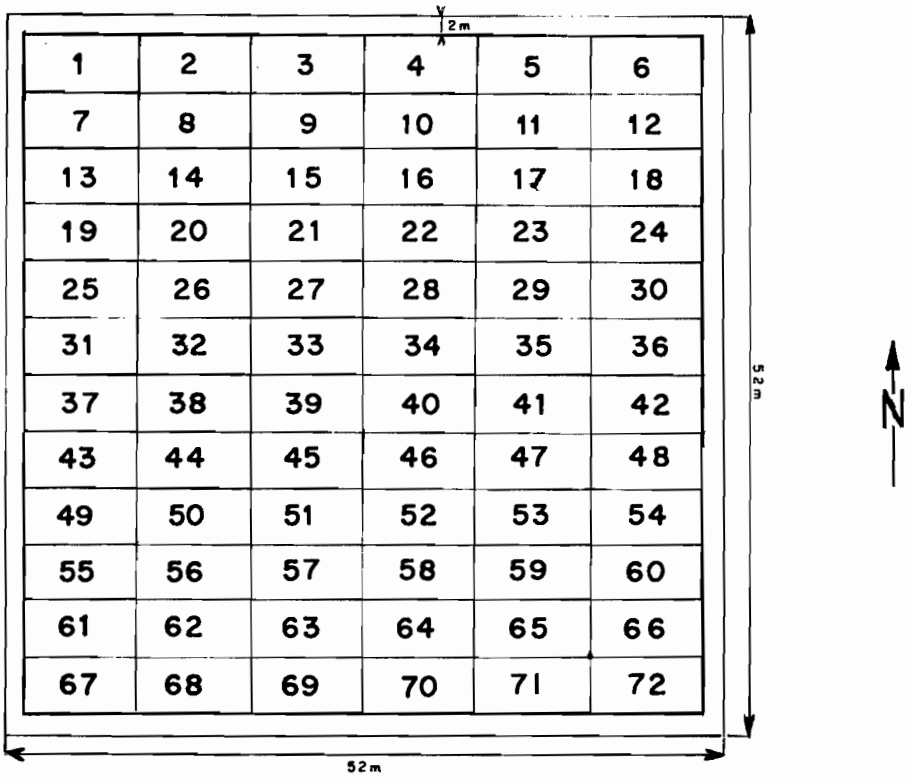
Parcelle "J"

RK 3

Echelle : 1/500

Parcelle élémentaire

8 x 4 m



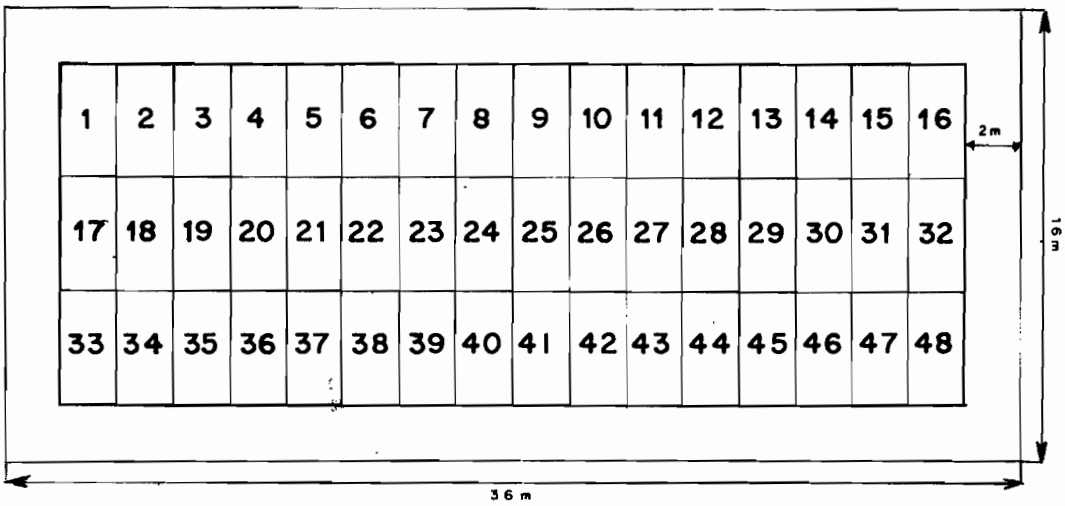
Parcelle "K"

RK 2

Echelle: 1/300

Parcelle élémentaire

4 x 2 m



(09-75)-M.L

ruissellement, confrontées pendant cinq années sur une surface de deux hectares au Telmam (cf. BOURGES, FLORET, PONTANIER, 1977) ayant donné des résultats très comparables dans l'établissement du bilan hydrique.

2.4 Mesure de l'évolution de la phytomasse aérienne

La parcelle (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; les espèces annuelles sont pesées globalement, sauf au printemps où un tri espèce par espèce est effectué. Des échantillons sont séchés à l'étuve à 75°C - 80°C, (matière sèche). Pour ces 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).

La partie consommable de la végétation fait l'objet d'analyses afin de pouvoir éventuellement exprimer les résultats en unités fourragères (UF) ou en valeur alimentaire pour les animaux (cf. Tableau n°37).

On dispose ainsi d'un certain nombre d'ensemble 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. 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.

La fig. n°3 montre l'emplacement des parcelles de mesure de 1971 à 1975 pour les types de végétation RK_3 et RK_2 au Km 52 sur la route de Gafsa. 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 zone voisine pâturée, entraîne forcément des différences interannuelles dans la quantité de biomasse 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 (pourcentage de pousses vertes de l'année par rapport au poids total de l'espèce) à la moyenne des parties ligneuses de l'espèce correspondante calculée à partir des mesures effectuées durant toute les années d'expérience. Ces calculs n'ont donc été effectués qu'à la fin de l'expérimentation. Par exemple, le pourcentage de pousses vertes de Rhantherium, mesuré en mai 1973, a été rapporté à la moyenne des parties ligneuses de Rhantherium coupées sur environ un hectare au total, au cours des 6 années de mesure.

Cette méthode de mesure de la production végétale 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 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 biomasse totale à des dates différentes.

En revanche, la mesure de la production des plantes annuelles et des petites herbacées pérennes présente moins de difficultés.

Une autre critique à faire à ce dispositif, qui doit non seulement permettre d'évaluer la production primaire, mais la production pastorale, est la suivante : pendant un an la parcelle où sont effectuées les mesures n'est pas soumise au passage 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 temporaire 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.

Par ailleurs, la mise en défens n'exclut pas les petits herbivores (rongeurs principalement). D'après quelques piégeages effectués sur la station du 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.

../.

3. CARACTERISTIQUES DES MILIEUX ETUDIES ET RESULTATS DE MESURE

Nous avons voulu, dans ce chapitre, énumérer et commenter les principaux résultats obtenus sur toutes les stations et pour toutes les années de mesure. Sa lecture intégrale, assez fastidieuse, n'est pas indispensable a la compréhension des chapitres 4 et 5, plus synthétiques.

Les mesures ont été faites du 1.9.71 au 31.8.77. Si la steppe à Rhantherium suaveolens en bon état (RK_3) 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 expérimental sur l'ensemble des stations. Néanmoins, dans la région concernée, nous pensons avoir cerné l'ensemble des principaux problèmes de la production pastorale et de ses relations avec le milieu, au cours de ces six années.

3.1 Données climatiques

L'annexe 1 nous donne 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. Les détails mensuels, saisonniers, annuels, ainsi que le nombre de jours de pluie, sont donnés dans les tableaux n°5 et 6. Le tableau n°7 donne une synthèse de la pluviosité et des caractéristiques des différentes années d'observation par rapport aux normes définies dans le § 1.2.2.

Au vu de ces données on peut dire que :

- 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 de variabilité 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 moyen à moyennement humide.

../.

Tableau n°5 - PRECIPITATIONS (EN MM) SUR LES STATIONS DE MESURE

Année	Station	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
971	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
972	ZERKINE	9,0	28,0	8,0	7,5	22,0	11,0	19,0	36,0	12,0	0	0	0	252,5
972	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
973	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	13,0	164,3
	TELMAM	12,9	22,4	3,7	55,0	8,2	19,9	31,3	3,6	0	0	0	16,7	173,7
973	GABES SM	0,3	2,7	32,3	203,5	1,1	21,8	24,6	10,1	0	5,0	0	0	211,4
	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
974	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
	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
974	Km 52	31,3	27,9	9,6	8,1	13,3	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	15,8	28,2	54,2	8,0	3,0	13,5	0	0	199,4
975	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	10,8	1,2	8,9	33,8	55,6	13,2	8,8	14,6	0	0	199,4
	TELMAM	28,9	16,6	12,1	0	3,5	32,2	46,3	12,4	5,0	12,3	0	0	161,0
	GABES SM	72,8	99,0	10,4	59,1	20,7	78,4	59,6	0,4	25,1	6,8	0	1,3	533,6
975	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	34,7	77,8	56,1	0	22,7	3,1	0	0	357,2
976	ZERKINE	6,5	60,8	10,7	55,1	39,8	76,0	63,9	0	15,5	2,6	0	0	431,0
	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
1976	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
ormale	GABES SM	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

Tableau n°6 - 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)	344,5 (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	84,3 (15)
1977	TELMAM	44,1 (6)	37,4 (7)	10,3 (2)	0	91,8 (15)
NORMALE GABES SM		81,3	53,7	43,4	3,1	183,3

Tableau n°7 - Caractéristiques de la pluviosité sur les différentes stations

Station / Année	GABES	Km 52 (Rk_3, Rk_2, rk_2)	TELMAM (AA1, aa)	DISSA (Rk_2)	ZERKINE (ZR)	Km 8 (AZ_2)	Km 47 (Rk_1)
1971-1972	Yh (Ah,Hs,Ph) hp = 309,3 DT - FT 32 j - 8 j	Ym (Am,Hs,Ph) hp = 191,4 DP - FT 23 j - 4 j			Yh (Am,Hm,Ph) hp = 252,5 DT - FT 23 j - 8 j		
1972-1973	Ym (Am,Hh,Pm) hp = 148,9 DP - FP 52 j - 5 j	Ym (Am,Hm,Pm) hp = 209,6 DT - FP 35 j - 4 j	Ym (Am,Hh,Pm) hp = 163,7 DP - FP 27 j - 4 j	Ym (Am,Hm,Pm) hp = 164,4 DP - FP 35 j - 6 j	Ym (As,Hm,Pm) hp = 134,2 DT - FP 25 j - 5 j	Ym (As,Hm,Pm) hp = 147,6 DP - FP 38 j - 6 j	
1973-1974	Yh (Am;Hh,Pm) hp = 311,4 DT - FP 33j - 5 j	Yh (As,Hh,Pm) hp = 315,6 DT - FP 18 j - 4 j	Yh (As,Hh,Pm) hp = 371,2 DT- FP 15 j - 5 j	Yh (As,Hh,Pm) hp = 259,8 DT - FP 37 j - 4 j	Yh (Ah,Hh,Pm) hp = 451,3 DT - FP 29 j - 7 j	Yh (As,Hh,Pm) hp = 266,7 DT - FP 31 j - 5 j	Yh (As,Hh,Pm) hp = 374,1 DT - FP 18 j - 4 j
1974-1975	Yh (Am,Hm,Ph) hp = 285,4 DP- FT 48j- 10 j	Ym (Am,Hm,Ph) hp = 185,7 DP - FT 34 j - 6 j	Ym (Am,Hm,Pm) hp = 161,0 DP - FT 23j - 7 j	Ym (Am,Hm,Ph) hp = 199,4 DP - FT 24 j - 9 j		Yh (Am,Hm,Ph) hp = 267,1 DP - FT 45 j - 10 j	Ym (Am,Hm,Ph) hp = 199,4 DP - FT 33 j - 6 j
1975-1976	Yh (Ah,Hh,Ph) hp = 533,6 DP- FT 63 j - I3 j	Yh (Am,Hh,Ph) hp = 295,2 DP - FT 44j - 9 j	Yh (Am,Hh,Ph) hp = 344,5 DP - FT 32 j - 11 j		Yh (Am,Hh,Ph) hp = 431,0 DT - FT 41 j - 13 j		
1976-1977	Ys (Am,Hs,Ps) hp = 80,8 DT - FP 19j - 2 j	Ys (Am,Hm,Ps) hp = 84,3 DT - FP 15 j - 2 j	Ys (Am,Hm,Ps) Hp = 91,8 DT - FP 15j - 2 j				

NB - 15j - 2j signifie 15 jours de pluie dont 2 ont une pluie supérieure à 10 mm

Le nombre de jours de pluie est très variable d'une année à l'autre et entre les stations et sans relation directe avec le volume 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 végétation. On constate de même unegrande 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 et plus longs, les printemps moins chauds, et les étés (à l'exception du Dissa) plus chauds qu'à Gabès et à sa normale.

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 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 à 5 à 15 %.

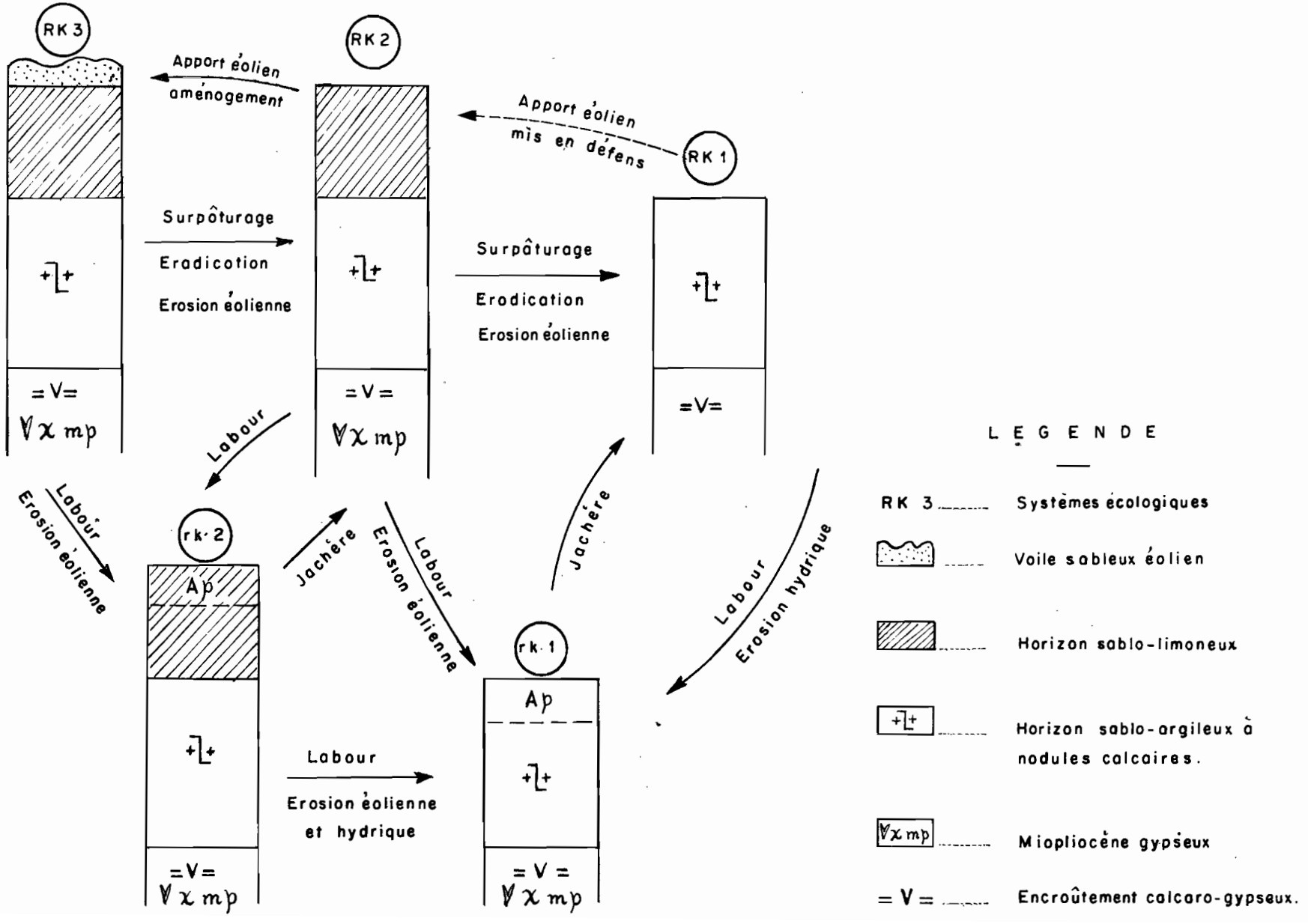
Conclusion

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.

../.

Fig. 4 — STEPPE A RHANTHERIUM SUAVEOLENS DE LA ZONE DU Km. 52

Relations entre les différents systèmes écologiques



3.2 Evolution annuelle de la phytomasse aérienne et de la production végétale en fonction du bilan d'eau

3.2.1 Steppes des plaines sableuses (à Rhantherium suaveolens)

Nous avons principalement étudié la steppe à Rhantherium suaveolens en bon état sur sol isohumique profond. 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 unités étudiées sont au nombre de 5 et définies de la façon suivante :

- RK_3 Groupement à Rhantherium suaveolens et Artemisia campestris en bon état
  Sol : sierozem sableux sur limon à nodules calcaires avec voile éolien
  Utilisation du sol : parcours
- RK_2 Groupement à Rhantherium suaveolens et Artemisia campestris à un stade de dégradation moyen
  Sol : sierozem sableux sur limon à nodules calcaires, sans voile éolien. Présence d'une pellicule de battance.
  Utilisation : parcours; peut-être anciennement cultivé.
- RK_1 Groupement à Rhantherium suaveolens et Artemisia campestris en mauvais état
  Sol : sierozem tronqué, ou sol d'ablation sur limon à nodules calcaires
  Pellicule de battance généralisée.
  Utilisation : parcours, anciennement cultivé.
- rk_2 Groupement à Pituranthos tortuosus et Haplophyllum vermiculare
  Sol : sierozem sableux sur limon à nodules calcaires.
  Utilisation : culture ; défrichement récent de RK_3 et RK_2
- rk_1 Groupement à Pituranthos tortuosus et Haplophyllum vermiculare
  Sol : limon à nodules calcaires remontés en surface par labour, sur sierozem tronqué, ou sol d'ablation labouré
  Utilisation : culture, labour de RK_1.

Toutes ces unités appartiennent donc à la séquence à Rhantherium suaveolens. Les quatre dernières unités sont toutes héritées de RK_3, par dégradation de la végétation et des sols; les relations entre ces différentes unités sont définies par la figure n°4.

../.

3.2.1.1 Caractéristiques des sols et de la végétation

a) Le sol et la végétation de la steppe en bon état (RK_3)

Le sol présente les caractéristiques suivantes (cf. Annexe n°2 - $PZRK_3$) :

- une formation éolienne superficielle vive (voile sableux et micronebkhas)
- un horizon sablo-limoneux très perméable d'origine d'apport mixte, d'une épaisseur de 40 à 50 cm. Il présente des gradients de matière organique et de CaCo3 inversés; l'enracinement y est important (pérennes et annuelles),
- un horizon de 60 à 80 cm environ (d'épaisseur), sablo-argileux, mieux structuré où le calcaire s'est accumulé sous forme de nodules calcaires indurés. Les racines des plantes pérennes exploitent encore cet horizon,
- un "encroûtement" calcaro-gypseux se développant sur le Mioplioc ène à partir de 100 à 130 cm environ, impénétrable aux racines.

Tableau n°8

Caractéristiques physiques du sol type des steppes en bon état des zones sableuses (RK_3)

Horizon	épaisseur (cm)	Texture	Structure	Porosité d'ensemble	Humidité à (%) pF 2,7	pF 4,2	DA densité apparente sèche
superficiel	40-50	SL	polyédrique fine émoussée, peu développée	excellente	11,2	4,2	1,47
matériau à nodules calcaires	60-80	SA	polyédrique moyenne, moyennement développée	moyenne	17,5	5,5	1,40

La grande porosité de l'horizon superficiel permet la pénétration de la quasi-totalité des eaux de pluie, évitant ainsi toute perte par ruissellement. Si la pluie est importante, cela permet à établir des réserves dans le matériau à nodules calcaires, l'horizon supérieur sableux faisant alors effet "mulch"; l'évaporation est alors très diminuée par rapport aux sols d'ablation.

Malgré son faciès isohumique, ce sol est très pauvre en matière organique (0,5 - 0,7 % de m.o. entre 0 et 20cm); une capacité d'échange très faible (CE ## 5 à 7 meq) saturée principalement par le calcium et un pH voisin de 8,0 sur l'ensemble du profil , caractérisent très bien ces formations sableuses et sablo-argileuses non décalcarifiées du Centre Sud-tunisien.

../.

La teneur en azote total est très faible 0,5 - 0,6 ‰, ainsi que celle en P_2O_5 assimilable 0,02 à 0,03 ‰. Par contre K_2O échangeable est moyennement abondant 0,15‰ (pour 1,5 - 2‰ de K_2O total). En conclusion, si les caractères physico-hydriques de ce sol lui confère un bilan hydrique très favorable, son niveau de fertilité, extrêmement bas, le déprécie de façon notable.

La végétation de HK3 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 de pluie favorable par un abondant développement des annuelles (jusqu'à 49 % mesuré en 1973).

Tableau n° 9

Proportions relatives des principales espèces annuelles exprimées en % par rapport à la matière sèche totale de la phytomasse aérienne sur pied

Espèces	% début avril (moyenne de 4 années)
Medicago ssp. (surtout truncatula)	32,3
Picris coronopifolia	14,6
Anacyclus cyrtolepidioides	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

On retrouve dans la liste floristique en annexe n°3 (70 espèces environ) la plus grande partie du groupe des espèces psammophiles 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. Les plantes indicatrices des croûtes et les gypsophiles (sauf Lygeum spartum) sont également absentes.

../.

La densité à l'hectare des touffes d'espèces pérennes vivantes est de 30 725 touffes, soit environ 3 touffes par m2. Les densités 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 à l'ha.

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, correspond environ à 45 % de la phytomasse totale exprimée en matière sèche, soit 1 320 kg MS/ha. La phytomasse végétale 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.

b) Le sol et la végétation des faciès de dégradation RK_2 et RK_1

Comme il apparaît sur la fig. n°4, nous avons distingué deux faciès de dégradation dans ces steppes sableuses, moyennement dégradées (RK_2) et très dégradées (RK_1).

- Le sol de RK_2 est voisin du sol de la steppe en bon état, il en diffère cependant :
- par l'absence du voile éolien sableux, en raison d'une végétation très dégradée qui ne peut le fixer,
- par la présence d'une pellicule de battance, favorisant le ruissellement lors des fortes pluies,
- par un ancien horizon de labour, peu prononcé.

../.

Tableau n° 10

Caractéristiques physiques du sol type des steppes moyennement dégradées des zones sableuses (RK_2)

Horizon	Epaisseur cm	Texture	Humidité à (%) pF 2,7	Humidité à (%) pF 4,2	Densité apparente	Observations
ancien horizon de labour	10 - 15	BL	10,8	4,0	1,50	pellicule de battance
sableux limoneux	30 - 35	SL	11,8	4,2	1,47	très poreux
à nodules calcaires	60 - 80	SA	17,5	5,5	1,42	bien structuré

Ce sol est donc un faciès de dégradation du sol de RK_3 qui, en raison d'une mise en culture assez ancienne, et par suite de l'éradication d'une grande partie des espèces pérennes, a perdu l'ensemble du voile éolien et peut-être une partie de l'horizon sablo-limoneux. La "blessure" faite sur cette steppe n'a jamais pu se cicatriser, si bien qu'aujourd'hui nous nous trouvons en présence d'un sol battant, absorbant moyennement les pluies, évaporant plus vite en l'absence de voile éolien, donc d'un milieu nettement moins favorable que RK_3. Le niveau de fertilité est équivalent à celui de RK_3.

La végétation de cette steppe est beaucoup plus claire que celle de la steppe originelle. Le recouvrement des espèces pérennes est de l'ordre de 6 % (au lieu de 25 % environ dans le 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 3 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 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 croûtes ou aux zones caillouteuses. Il semble que ces espèces soient également liées aux pellicules de battance qui se développent 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.

../.

- Le sol de la steppe très dégradée (RK_1) est hérité des précédents par troncature de l'horizon sableux limoneux de surface. Il s'agit d'un sol d'érosion (régosolique), très battant, pratiquement sans végétation, 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 pluies diluviennes.

Morphologiquement, il est caractérisé par :

- un horizon à nodules calcaires de 50 à 80 cm d'épaisseur, très battant en surface, au sein duquel on distingue parfois entre 10 et 15 cm la présence d'une ancienne semelle de labour;
- la présence d'un encroûtement calcaro-gypseux classique dans la région se développant sur le matériau sablo-argileux du Mioplioc ène;
- un enracinement peu dense s'arrêtant brusquement au-dessus de l'encroûtement calcaro-gypseux.

Tableau n°11

Caractéristiques physico-hydriques du sol type des steppes très dégradées des zones sableuses (RK_1)

Horizon	Epaisseur	Texture	Humidité à (%)		Densité apparente	Observations
			pF 2,7	pF 4,2		
Ancien labour Ap	10	SL à LS	14,3	4,8	1,48	très battant en surface. Porosité moyenne
à nodules calcaires	40 - 70	SL	17,5	5,8	1,46	peu poreux

En ce qui concerne la fertilité, nous avons encore ici un niveau sensiblement identique à celui de RK_3 ou de RK_2.

- 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 toutes 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 serratuloides 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, présent également, est peut-être hérité de l'ancienne culture.

La phytomasse aérienne des pérennes n'est que de 200 kg de MS/ha environ à la fin de l'été, soit à 8 fois moins que celle de la steppe en bon état.

6) Les sols et la végétation des jachères et des cultures (rk_2, rk_1)

On retrouve dans les jachères et cultures des sols semblables à ceux décrits précédemment.

Dans les zones de défrichement récent on note les différences suivantes avec les sols du type RK_3 ou RK_2 :

- présence d'un horizon de labour très poreux et très favorable à l'infiltration des eaux de pluie,
- épaisseur souvent réduite de l'horizon sablo-limoneux après érosion éolienne
- absence de micronebkhas, de voile éolien en surface, et de pellicule de battance . Cependant il faut signaler qu'un ou deux ans après le labour cette pellicule recommence à se former (un simple glaçage au début).

On appellera une telle unité rk_2 dans la suite du texte.

Correspondant aux steppes très dégradées (RK_1), le sol cultivé (rk_1) présente comme seule différence un horizon de labour, dans le limon à nodules calcaires, ce qui lui confère une bien meilleure porosité et facilité d'infiltration.

La végétation est principalement composée d'espèces annuelles telles que Cutandia dichotoma, Matthiola longipetala ssp. kralichii, 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, se développe progressivement.

../.

3.2.1.2 Résultats des mesures concernant la steppe en bon état (RK_3)

Les données de la production et du bilan d'eau des sols de cette steppe sableuse en bon état figurent sur le tableau n°12 et sur les figures n°5 à 10. La fig. n°11 montre également la comparaison entre les 6 années de mesure.

Tableau n°12 - Production d'une steppe à Rhantherium suaveolens en bon état (RK_3)
(Steppe des plaines sableuses à Rhantherium)

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M.* (mm)	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	Plantago albicans	Autres pérennes	total
1971-72	191,4	191,4	115,9	87	48	883	1018
1972-73	209,6	224,3	59,2	532	97	531	1160
1973-74	315,6	293,5	41,7	108	85	869	1062
1974-75	185,7	185,7	88,5	284	215	512	1011
1975-76	295,2	295,2	145,1	154	261	1130	1545
1976-77	84,3	84,3	26,9	4	111	107	222

* F.M.A.M. Février , Mars, Avril, Mai

1971-72 : Les pluies d'automne, précoces, ont été importantes et une abondante flore d'annuelles s'est développée, qui a presque totalement disparu du fait de la sécheresse de l'hiver. Les réserves en eau disponible pour la végétation ont en effet été pratiquement nulles de novembre à avril. Les pluies printanières ont été trop tardives pour provoquer une croissance importante des nouvelles annuelles (87 kg/ha au total). Toute l'eau disponible a donc été utilisée par les pérennes, en particulier par le Rhantherium suaveolens. Il est vraisemblable que les 883 kg/ha de production des pérennes ont été dépassés; cette production mesurée correspond en effet à une coupe au 13 juin et il n'a pas été possible d'effectuer une nouvelle coupe en juillet, après disparition de toute l'eau disponible dans le sol. La phytomasse aérienne de Plantago albicans était très faible à l'automne sur la station (10 kg/ha); pour cette raison, et sans doute aussi à cause de la sécheresse hivernale, sa production est restée très faible (48 kg/ha).

../.

Fig. 5 _ STEPPE A RHANTHERIUM SUAVEOLENS _ en bon état : RK 3

Résultats: 1971 – 1972

EVOLUTION DE LA BIOMASSE DE LA PARTIE AERIENNE DE LA VEGETATION

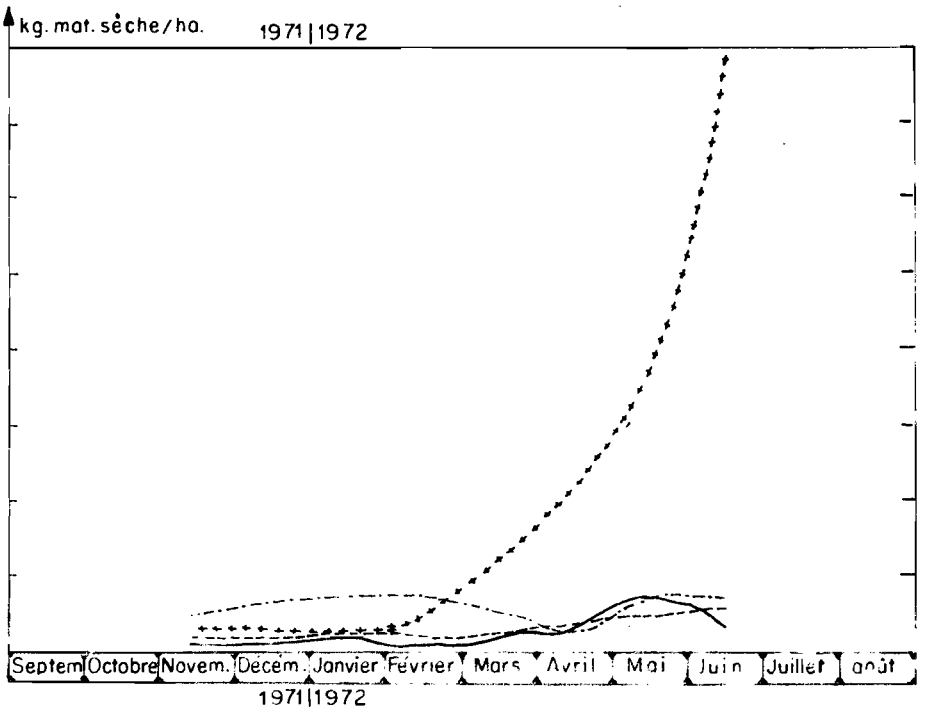
+++++ Pousses de Rhantherium suaveolens

_ _ _ _ _ _ Plantago albicans

_ . _ . _ . _ Pousses des autres plantes pérennes

_____ Plantes annuelles

Biomasse moyenne de la partie ligneuse : 1542 kg.



EVOLUTION DES RESERVES EN EAU

_____ Rd Réserve d'eau disponible pour la végétation _ (0 - 110 cm)

_ . _ . _ . _ Réserve d'eau totale (0 - 110 cm)

_ _ _ _ _ Réserve d'eau de l'horizon sableux (0 - 40 cm)

SF Réserve d'eau à pf 4,2 de l'horizon sableux. (0 - 40 cm)

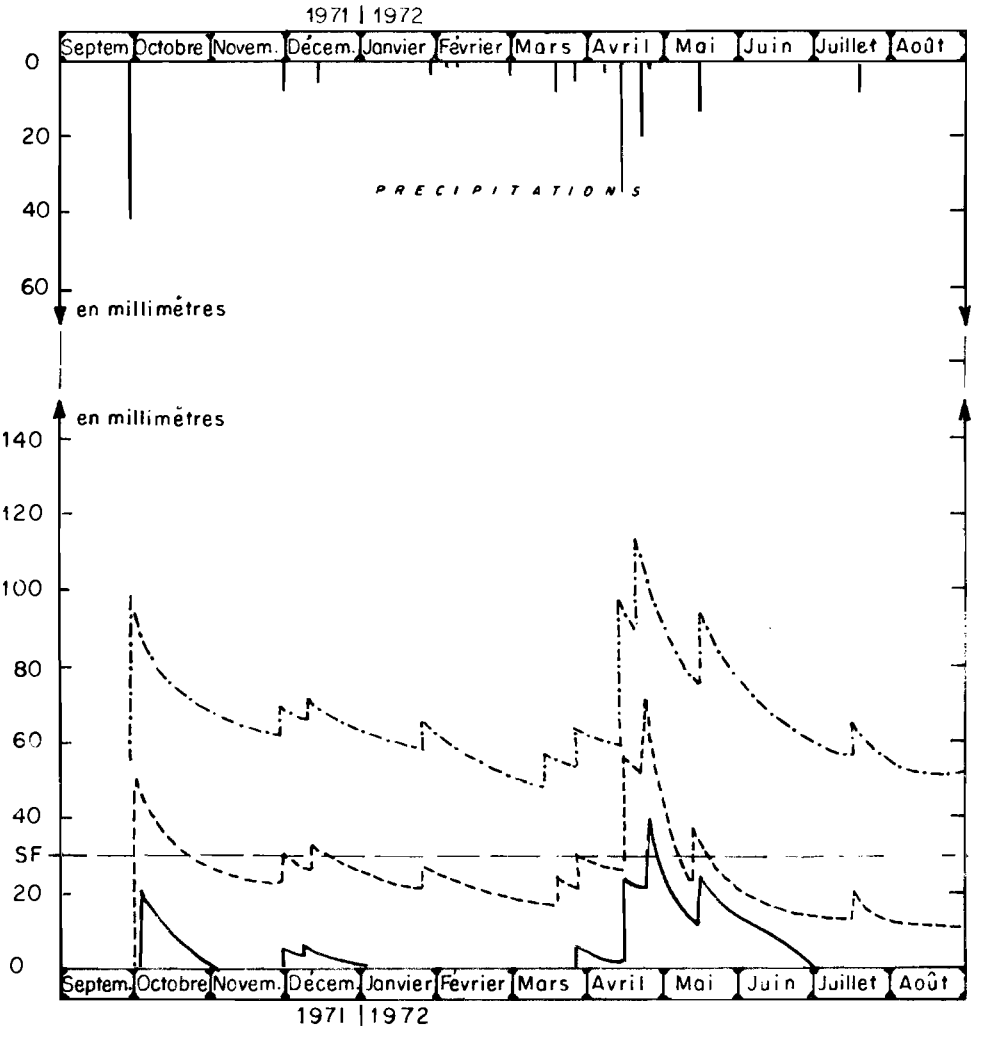


Fig. 6 _ **STEPPE A RHANTERIUM SUAVEOLENS_** en bon état : **RK3**

Résultats : 1972 - 1973

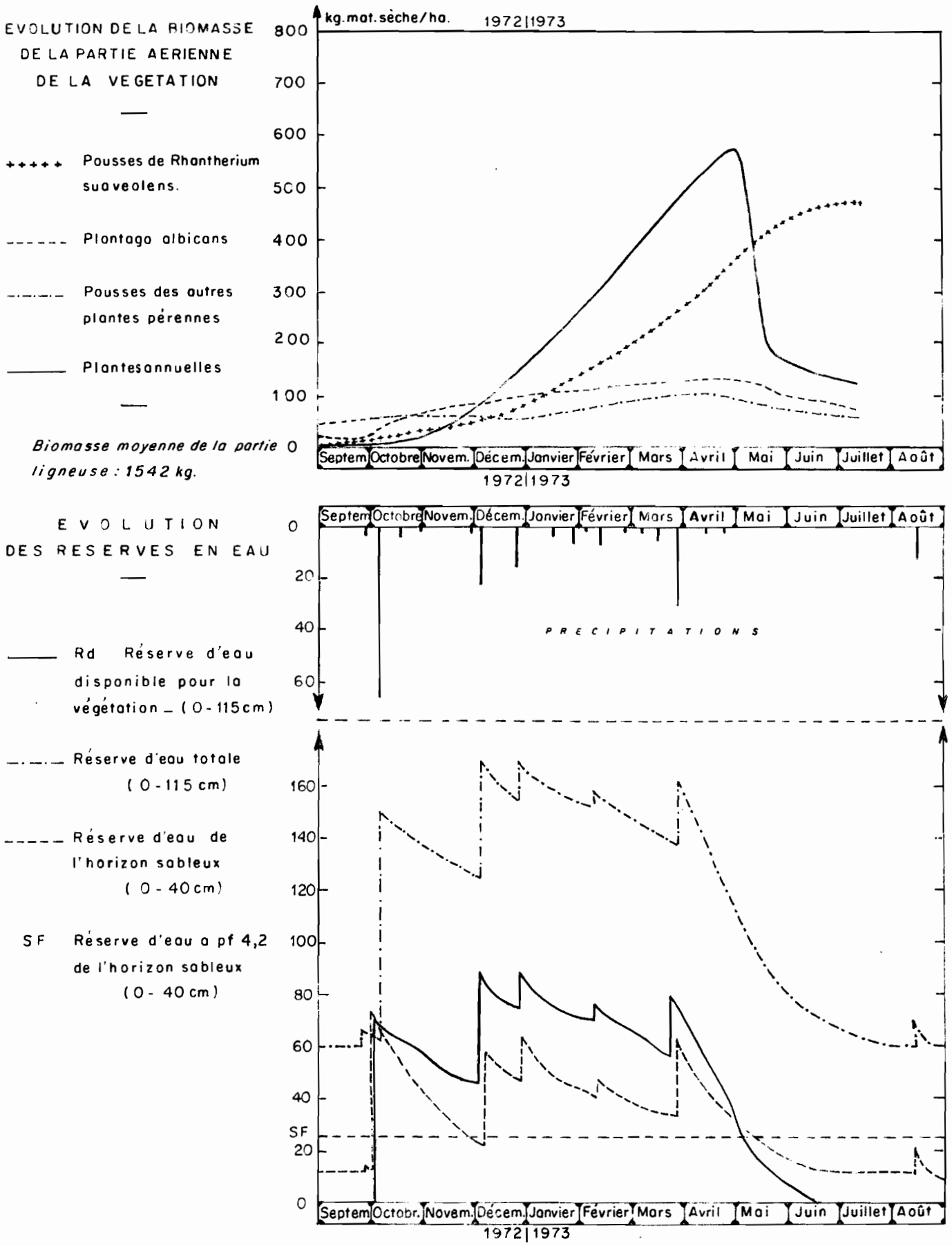


Fig. 7 _ **STEPPE A RHANTHERIUM SUAVEOLENS** _ en bon état : **RK 3**

Résultats : 1973 - 1974

EVOLUTION DE LA BIOMASSE DE LA PARTIE AERIENNE DE LA VEGETATION

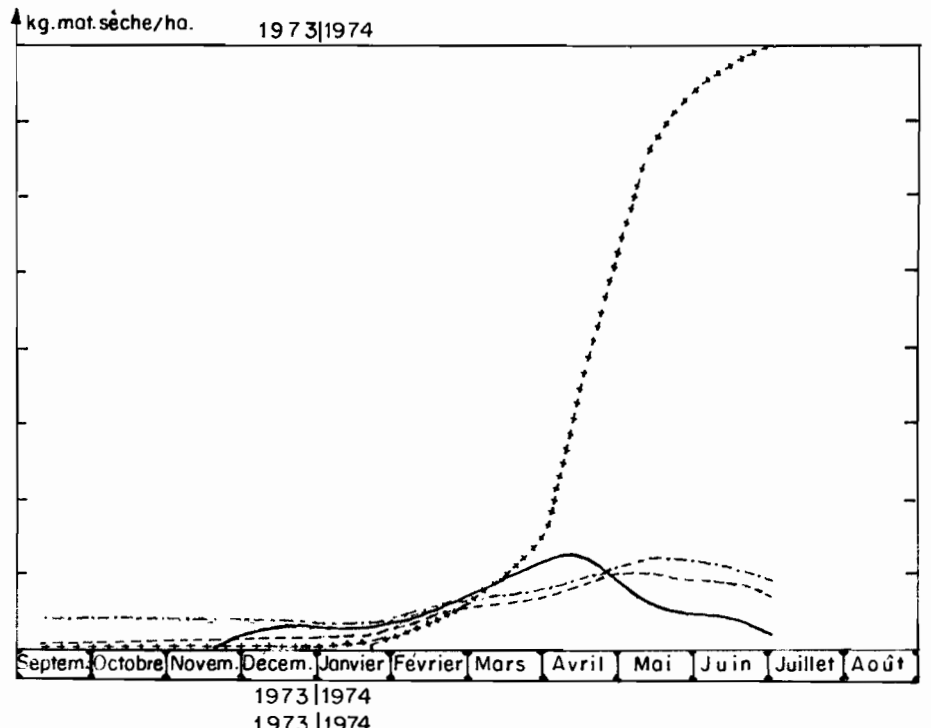
+++++ Pousses de Rhantherium suaveolens

----- Plantago albicans

-.-.-.- Pousses des autres plantes pérennes

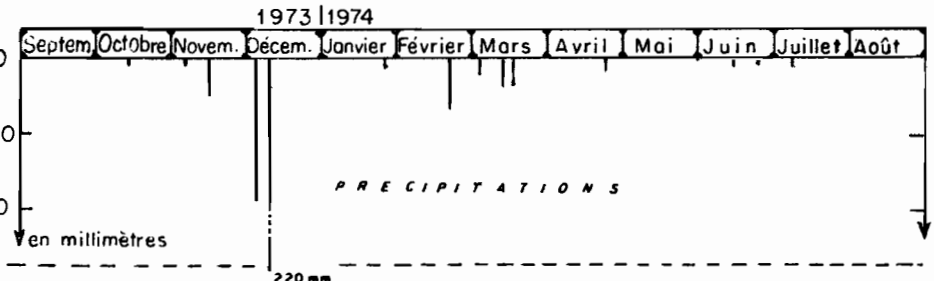
——— Plantes annuelles

Biomasse moyenne de la partie ligneuse : 1542 kg.



1973 | 1974

EVOLUTION DES RESERVES EN EAU

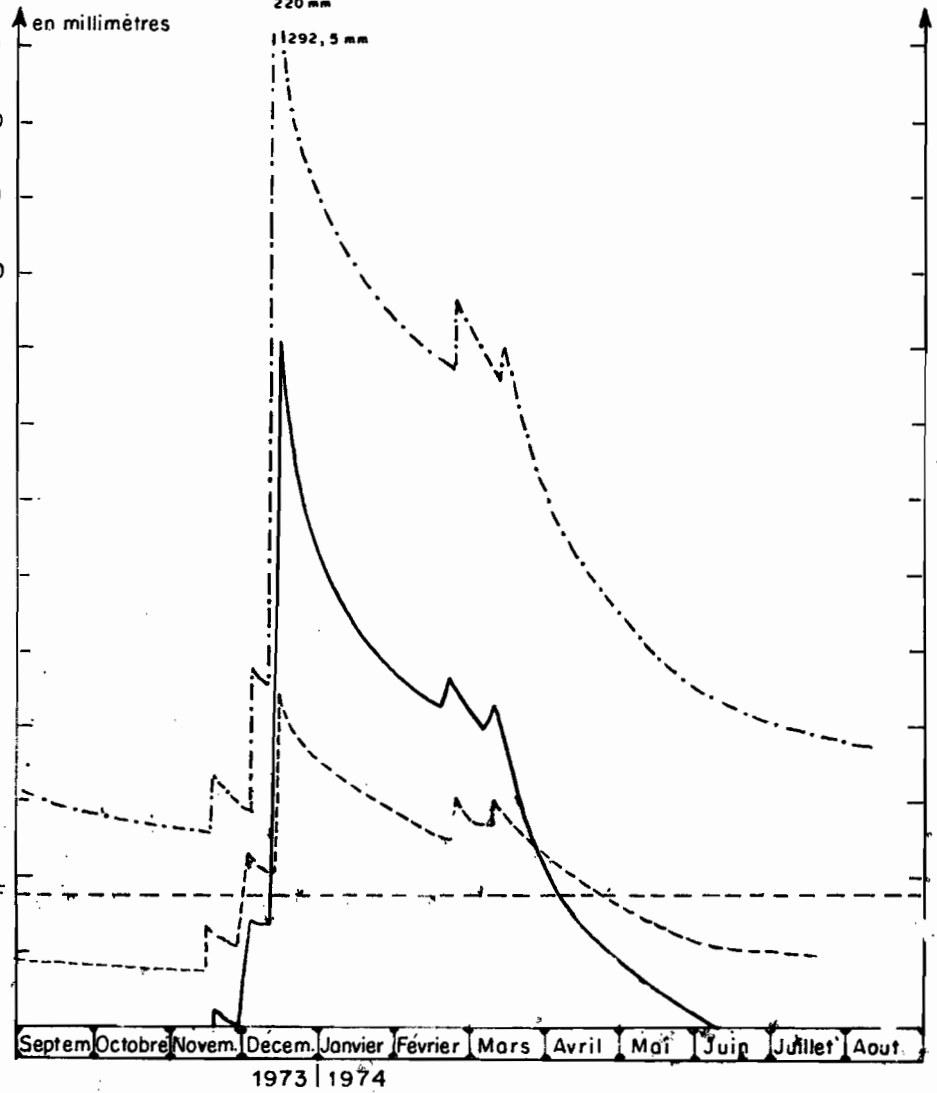


——— Rd Réserve d'eau disponible pour la végétation _ (0 - 130 cm)

-.-.-.- Réserve d'eau totale (0 - 130 cm)

----- Réserve d'eau de l'horizon sableux (0 - 50 cm)

SF Réserve d'eau à pf 4,2 de l'horizon sableux. (0 - 50 cm)



1973 | 1974

Fig. 8 _ **STEPPE A RHANTHERIUM SUAVEOLENS_** en bon état : **RK 3**

Résultats : 1974 - 1975

EVOLUTION DE LA BIOMASSE DE LA PARTIE AERIENNE DE LA VEGETATION

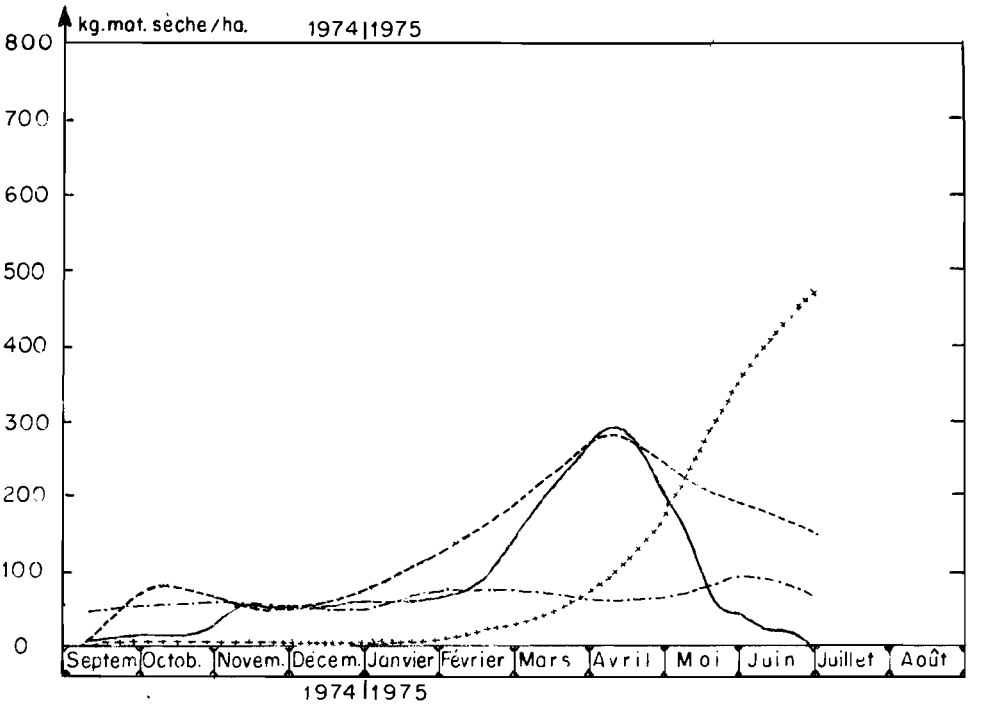
+ + + + + Pousses de Rhantherium suaveolens

_ _ _ _ _ _ Plantago albicans

_ . _ . _ . _ Pousses des autres plantes pérennes

_____ Plantes annuelles

Biomasse moyenne de la partie ligneuse : 1542 kg.



EVOLUTION DES RESERVES EN EAU

_____ Rd Réserve d'eau disponible pour la végétation (0 - 130 cm)

_ . _ . _ . _ Réserve d'eau totale (0 - 130 cm)

_ _ _ _ _ Réserve d'eau de l'horizon sableux (0 - 50 cm)

SF Réserve d'eau à pf 4,2 de l'horizon sableux (0 - 50 cm)

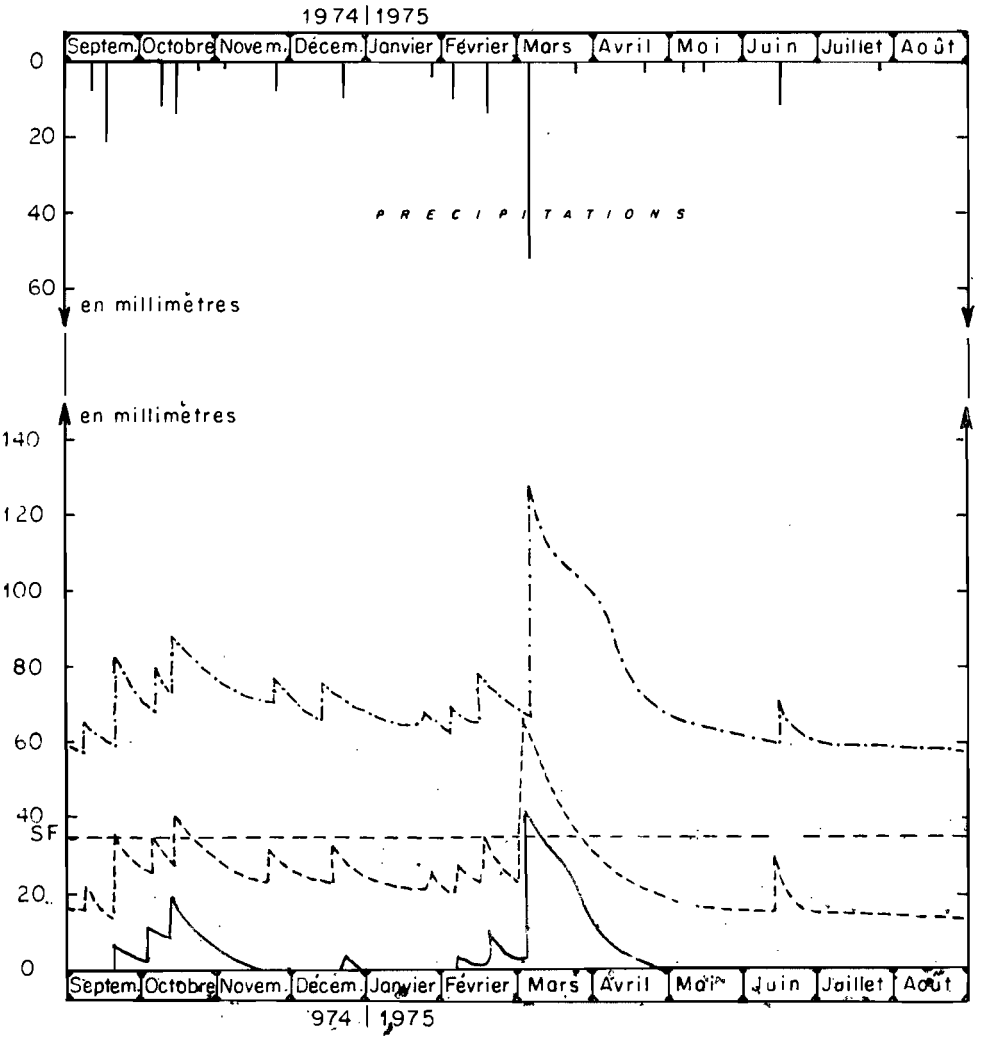


Fig.9 _ **STEPPE A RHANTHERIUM SUAVEOLENS**_en bon état **RK3**

Résultats 1975-1976

EVOLUTION DE LA BIOMASSE DE LA PARTIE AERIENNE DE LA VEGETATION

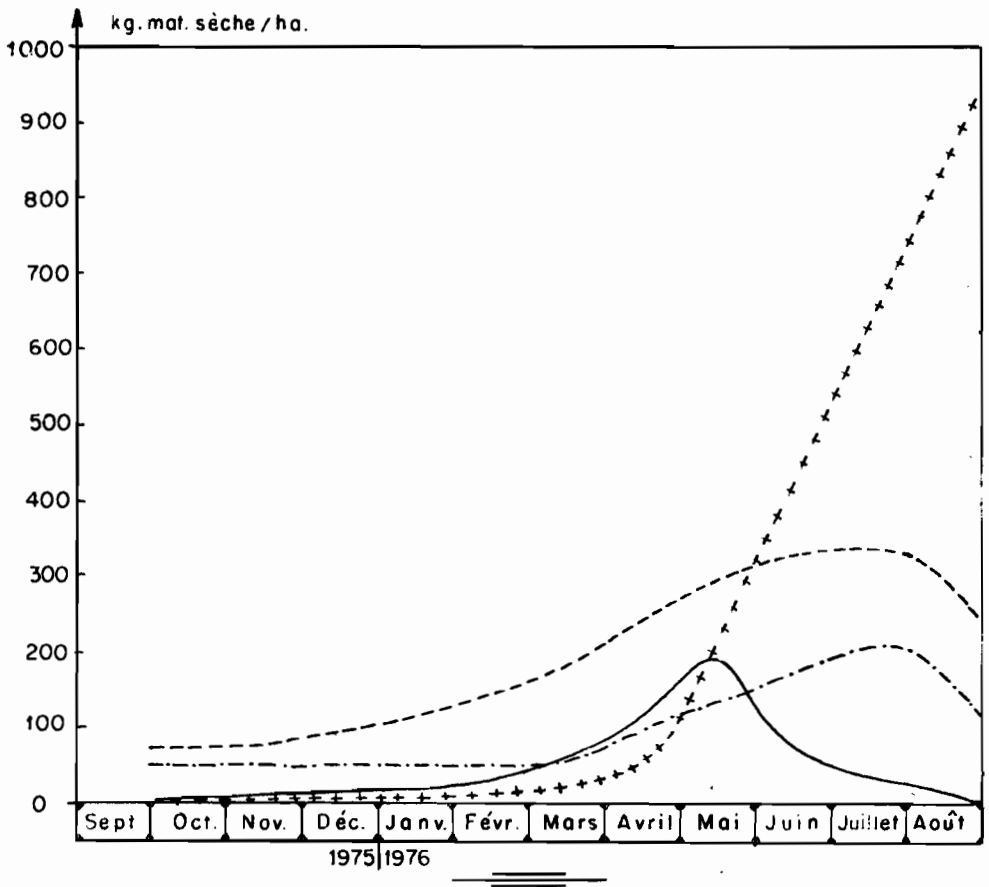
+++++ Pousses de Rhantherium suaveolens

------ Plantago albicans

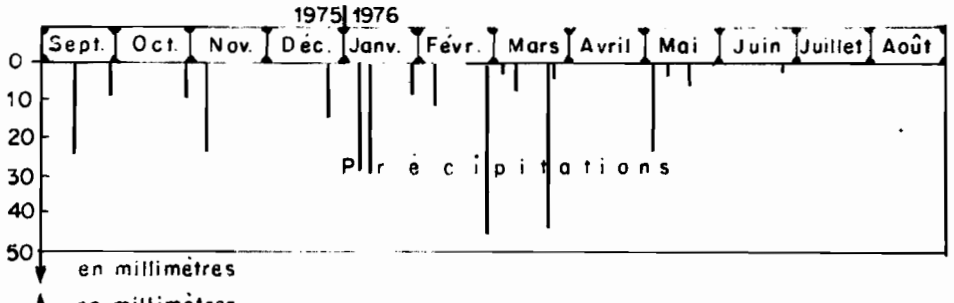
-.-.-.- Pousses des autres plantes pérennes

——— Plantes annuelles

Biomasse moyenne de la partie ligneuse: 1522 kg.



EVOLUTION DES RESERVES EN EAU

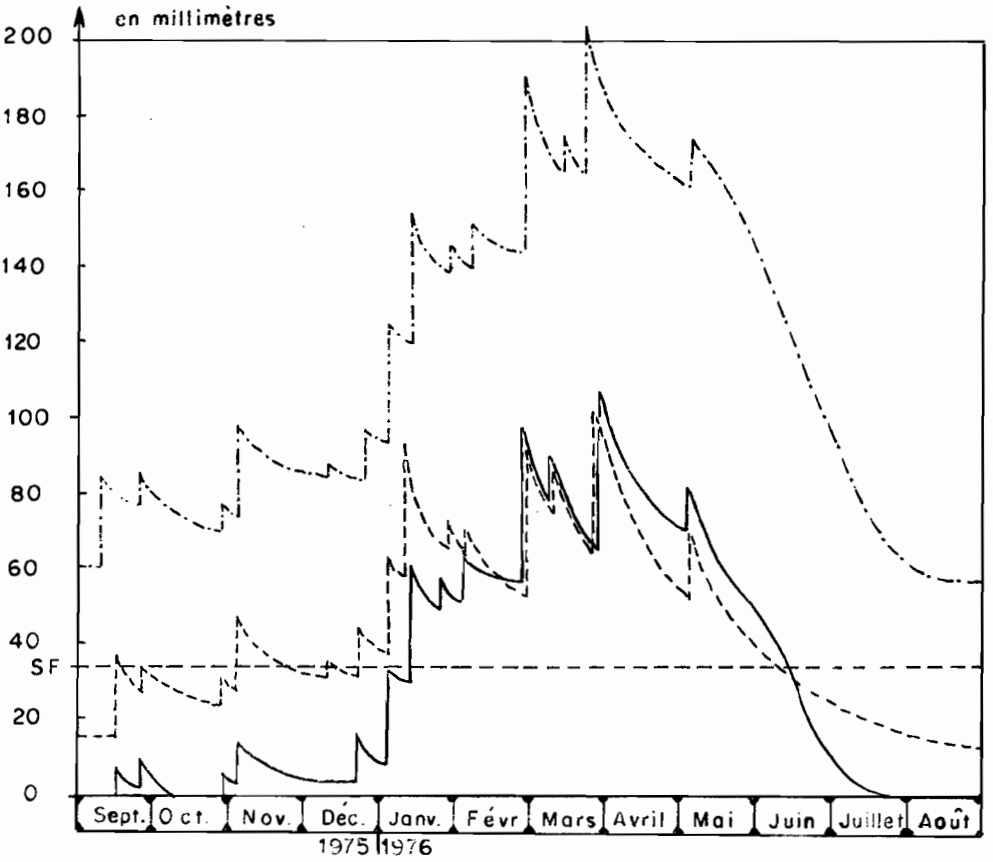


——— Rd Réserve d'eau disponible pour la végétation (0-130 cm)

-.-.-.- Réserve d'eau totale (0-130 cm)

----- Réserve d'eau de l'horizon sableux (0-50 cm)

SF Réserve d'eau à pf 4,2 de l'horizon sableux (0-50 cm)



1972-73 : C'est une année avec de fortes pluies automnales (quoique peu précoces), suivies de pluies régulièrement réparties jusque fin mars. Le profil montre un bon régime hydrique avec de l'eau disponible dans l'horizon sableux de surface (0 - 40 cm) de début octobre à fin avril. Ces conditions ont été particulièrement favorables au développement des annuelles qui ont eu une pousse exceptionnelle (531 kg/ha). Rhantherium suaveolens a commencé à pousser en hiver, ce qui ne s'est pas produit durant les autres années de mesure; pourtant la production totale des pérennes est restée faible (531 kg) bien que l'on note la présence d'eau disponible dans le profil jusqu'à la mi-juin. Cette faible pousse à la fin du printemps peut s'expliquer, soit par la concurrence exceptionnelle des annuelles, soit par la prolifération de Cochenilles sur le Rhantherium, soit encore en remarquant que le Rhantherium fait une bonne production une année sur deux. Au total, avec 1160 kg/ha, cette année vient en deuxième position après l'année exceptionnelle 1975-76.

1973-74 : Cette année est marquée par une très forte sécheresse automnale suivie d'une pluie de 250 mm en 2 jours début décembre. Les pluies de printemps ont été faibles. L'eau est disponible dans le sol de la mi-novembre au début de juin, mais la couche de 0 à 20 cm du sol a été peu alimentée en eau en raison de cette mauvaise répartition des pluies. Dans ces conditions, les annuelles n'ont pas germé en automne et se sont très mal développées par la suite (108 kg/ha). Le Plantain n'a pas eu non plus une bonne production (85 kg/ha). En revanche, la pousse de Rhantherium a été très importante fin février jusqu'à fin juin, avec une croissance très forte en mars-avril. Début mai, la quantité de pousses de Rhantherium est beaucoup plus forte qu'à la même date les autres années, les horizons profonds du sol étant bien plus pauvres en eau disponible et la concurrence des autres espèces étant faible. Au total, les pérennes ont produit 869 kg/ha.

1974-75 : Les pluies d'automne abondantes et précoces ont provoqué la germination des annuelles qui, malgré un déficit hivernal en eau, ont survécu et ont eu une pousse (284 kg/ha) de printemps importante, grâce à des pluies abondantes en février et mars. Plantago albicans a eu aussi une forte production printanière après avoir régulièrement poussé en automne et en hiver. Rhantherium (et les autres pérennes) ont eu une production relativement médiocre (512 kg/ha), ce qui est normal pour cette plante qui a sa plus forte croissance à la fin du printemps et en début d'été, à une période où il ne restait plus d'eau disponible dans le sol.

../.

1975-76 : C'est une année pluviométrique exceptionnelle avec 295 mm; 40 jours de pluies bien répartis de septembre jusqu'à fin mai. Cependant les annuelles n'ont pas eu une pousse très importante, peut-être gênées par une sécheresse relative de l'horizon de surface à l'automne et par un mois d'avril sec. Le Plantain en revanche a eu une très forte production (261 kg/ha). Ce fut également une année exceptionnelle pour les autres espèces pérennes (1130 kg/ha) avec essentiellement Rhantherium suaveolens. Les 31,3 mm de pluie en mai furent en effet très favorables aux pérennes qui ont eu de l'eau disponible dans le sol jusqu'à la mi-juillet.

1976-77 : Année de très forte sécheresse avec 84,3 mm de pluie seulement, la production végétale a été faible (222 kg/ha). Il n' y a pratiquement pas eu d'annuelles et les plantes pérennes ligneuses n'ont fait que 107 kg/ha de pousses, le sol étant sec depuis la fin février, époque où normalement leur croissance commence. Seul le Plantain a tiré parti des averses hivernales grâce à une phytomasse initiale relativement importante en début d'automne (11 kg/ha de pousses).

Pour résumer, on peut faire remarquer :

- que 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 1150 kg de matière sèche par ha;

- que les deux années, qui ont eu des précipitations exceptionnelles, voisines de 300 mm, ont eu 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 pluies régulièrement réparties ont permis une production de 1550 kg/ha;

- que l'année sèche (76-77) correspond évidemment à une très faible production (222 kg MS/ha);

- que le Plantain a vu sa phytomasse initiale croître progressivement de 10 kg en septembre 71 à 170 kg en septembre 76 au cours des 5 premières années d'observation où la pluviosité a été supérieure à la moyenne;

- que le Rhantherium n'a fait de pousses importantes qu'une année sur deux durant ces six années de mesure; d'autre part, il semble qu'il puisse commencer sa croissance très tôt s'il y a beaucoup d'eau dans l'ensemble du sol en hiver (exemple de 1972-73);

../.

Fig. 10 - **STEPPE A RHANTERIUM SUAVEOLENS** - en bon état : **RK 3**

Résultats : 1976 - 1977

EVOLUTION DE LA BIOMASSE DE LA PARTIE AERIENNE DE LA VEGETATION

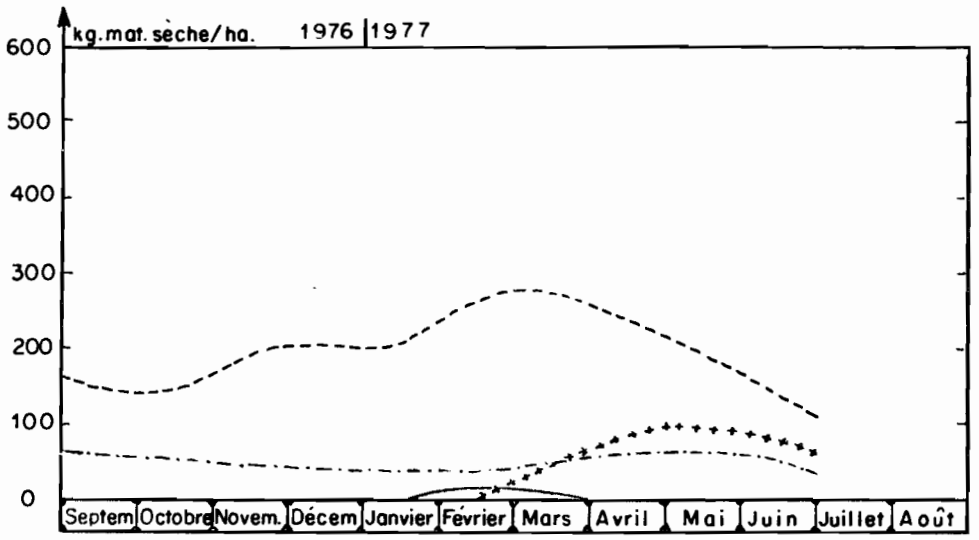
+++++ Pousses de Rhantherium suaveolens

----- Plantago albicans

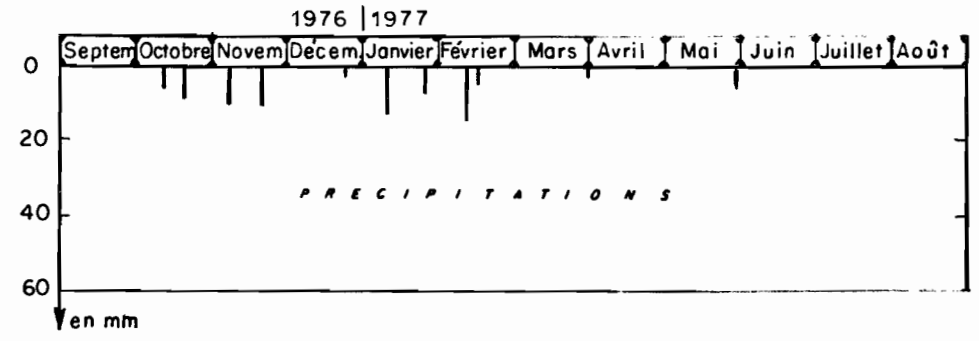
-.-.-.- Pousses des autres plantes pérennes

——— Plantes annuelles

Biomasse moyenne de la partie ligneuse :



EVOLUTION DES RESERVES EN EAU



——— Rd : Réserve d'eau disponible pour la végétation (0-115 cm)

-.-.-.- Réserve d'eau totale (0-115 cm)

----- Réserve d'eau de l'horizon sableux (0-40 cm)

SF Réserve d'eau à pf 4,2 de l'horizon sableux (0-40 cm)

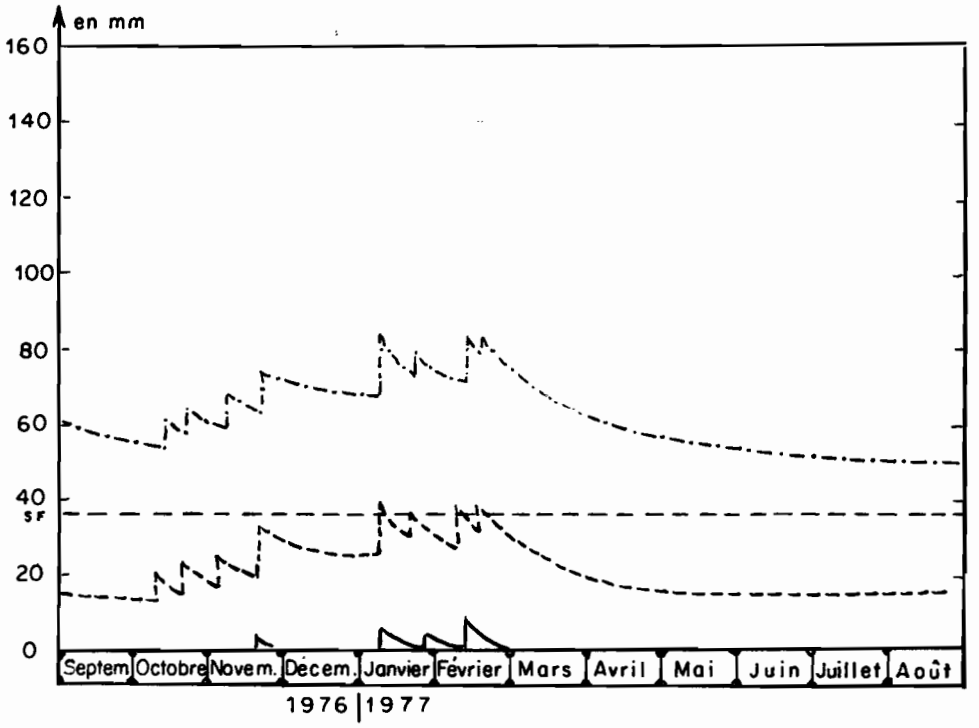
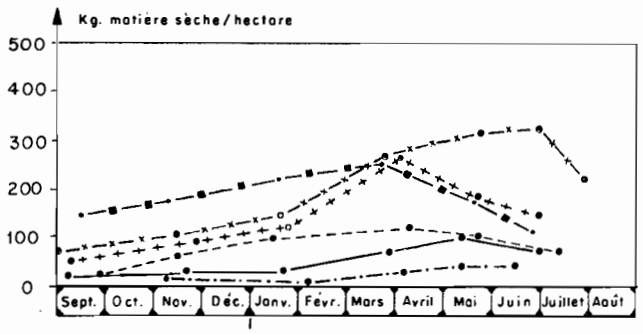


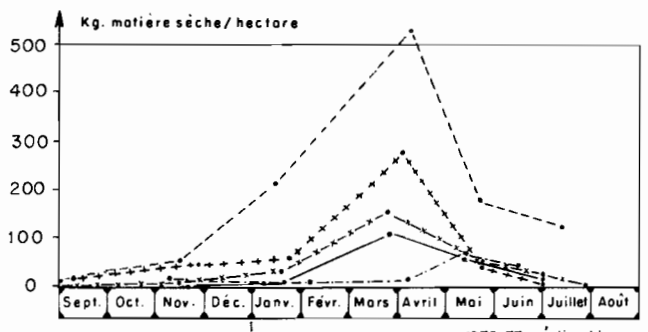
Fig. 11 _ **COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE**

Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation

Steppe des zones sableuses de plaine, en bon état (R K 3 - Zougrata)

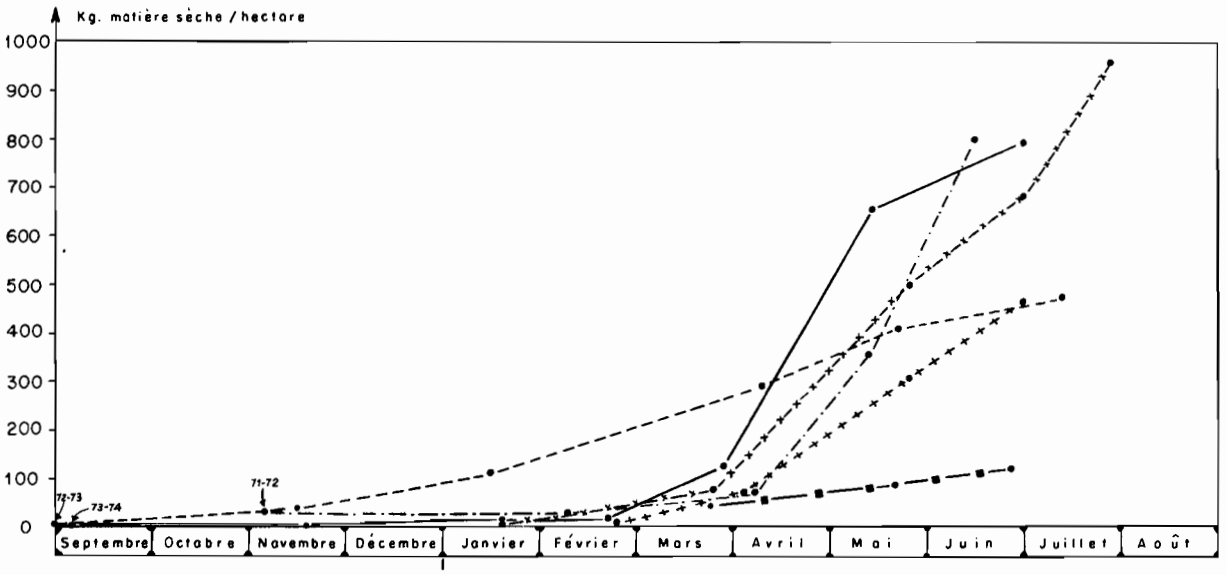


Plantago albicans

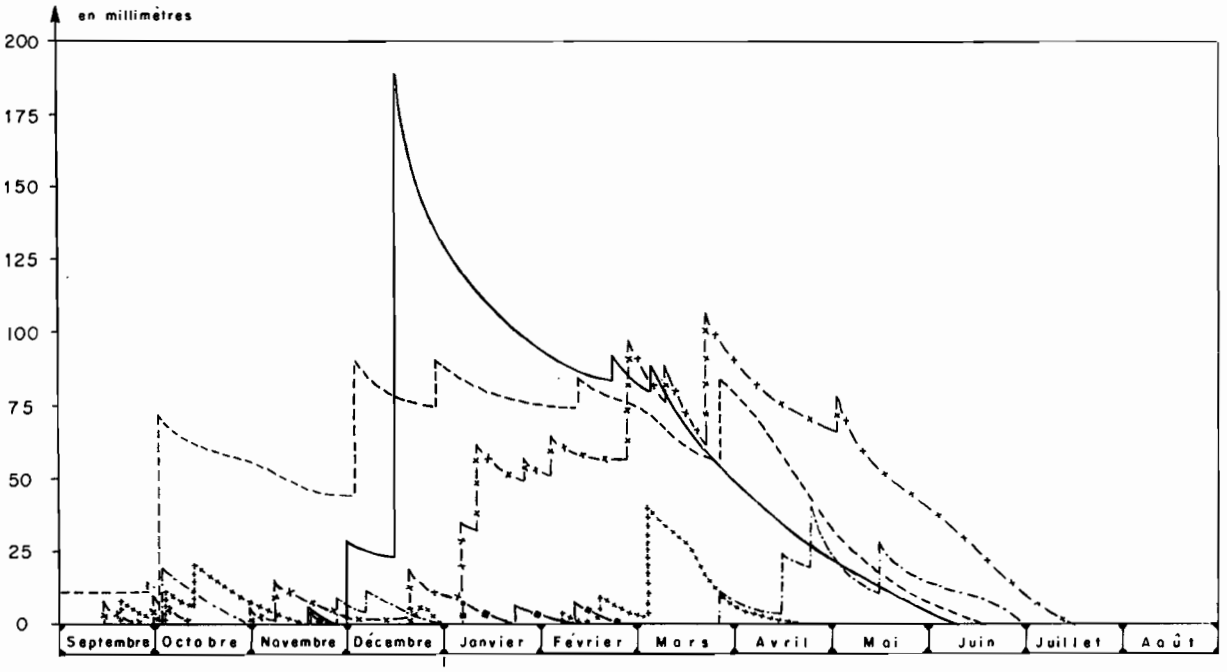


Plantes annuelles

en 1976-77 : négligeable



Pousses de Rhantherium suaveolens



Réserve d'eau disponible pour la végétation *(dans la totalité du sol exploitable)*

LEGENDE

1971 - 72
1972 - 73
1973 - 74
1974 - 75
1975 - 76
1976 - 77

- que la quantité de litière passe par un maximum en mai, juin, juillet, août (de 70 à 150 kg MS/ha selon les années; cette variation étant surtout due aux annuelles). Elle diminue rapidement à la fin de l'été (de 30 à 80 kg MS/ha en automne et hiver selon les années) ;

- que l'eau n'est pas le seul facteur limitant de la production, des pluies importantes ne provoquant pas toujours une production en rapport.

3.2.1.3 Résultat des mesures concernant les steppes dégradées (RK_2 - RK_1)

Les données concernant la production du faciès de dégradation RK_2 de la steppe à Rhantherium de plaine sont rassemblées dans le tableau n°12 et sur la figure n°13.

Tableau n°12 - Production d'une steppe à Rhantherium suaveolens en état de dégradation moyen (RK_2) (Steppe des plaines sableuses)

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie P,H,A,V	Production végétale kg MS/ha/an			
				Espèces annuelles	Plantago albicans	Autres pérennes	Total
1972-73	209,6	199,1	159,2	120	250	489	859
1973-74	315,6	189,4	41,7	44	108	537	689
1974-75	185,7	176,4	88,5	7	50	406	463

1972-73 : C'est une bonne année pour les annuelles car les 50 premiers cm du sol sont bien alimentés en eau d'octobre jusqu'au début avril. Les espèces pérennes à enracinement relativement superficiel ont également profité de ces bonnes conditions; c'est le cas de Plantago albicans et d'Artyrolobium uniflorum En revanche, dans cette steppe dégradée, Rhantherium n'a assuré que 30 % de la production. Il faut noter que la phytomasse aérienne sur pied de RK_2 au moment de la pleine production n'est que le tiers de celle de la steppe en bon état; la production totale de RK_2 représente cependant 78 % de celle de RK_1. Grâce à la forte quantité d'annuelles, la litière a atteint 60 kg MS/ha (mai), alors qu'elle est en moyenne de 30 kg MS/ha durant le reste de l'année.

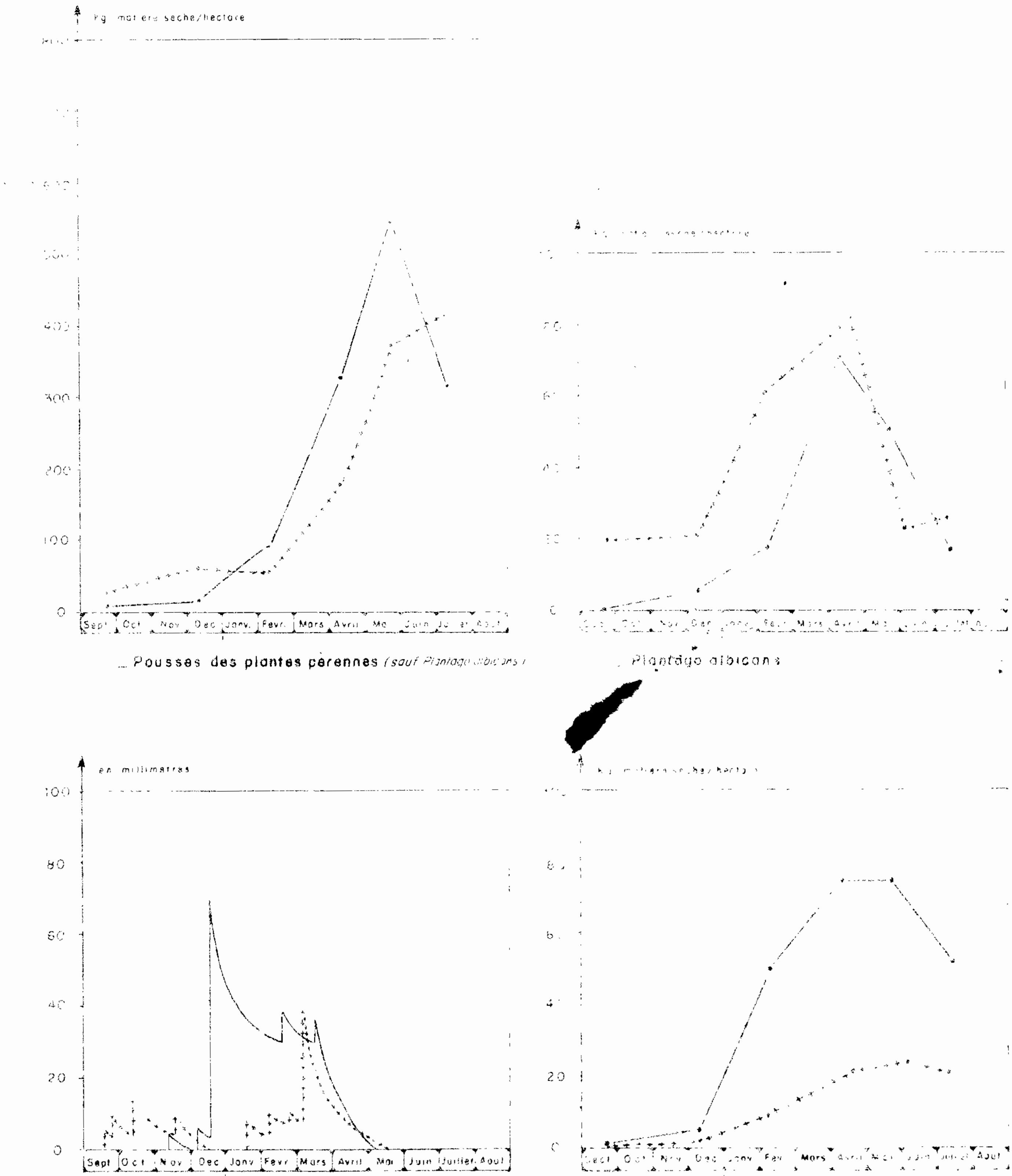
1973-74 : Les pluies ont commencé tardivement et la germination automnale des annuelles n'a pu avoir lieu, d'où une faible production. Sur ce sol, le ruissellement a été très important en décembre et l'efficacité de la pluie n'est

../.

Fig. ... _COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE

Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation

Steppe des zones sablieuses de plaine, en mauvais état. (R.K. - Zaouraia)



_ Pousses des plantes pérennes (sauf Plantago albicans)

_ Plantago albicans

Réserve en eau disponible pour la végétation (ent... et 70 cm)

_ Plantes annuelles

LEGENDE

———— 1973 - 74

+ + + + + + + 1974 - 75

que de 60 %, ce qui explique une faible production au total malgré une année très "pluvieuse". Les pérennes à enracinement profond, comme Rhantherium, ont eu une bonne pousse, car le limon à nodules a constitué des réserves importantes en eau disponible jusque fin juin.

1974-75 : Les disponibilités en eau du sol durant cette année sont surtout effectives dans les 50 premiers cm, ce qui aurait dû profiter aux annuelles. Malheureusement, le sol a atteint un degré de sécheresse correspondant au point de flétrissement pendant plusieurs mois en hiver et les annuelles ayant germé en automne n'ont pas survécu (7 kg MS/ha). Les plantes pérennes ont eu une croissance seulement moyenne. Il faut noter que la production d'Argyrolobium uniflorum, peu concurrencé par un Rhantherium clairsemé, est très supérieure à la production de la même plante dans la steppe en bon état.

Les données concernant la production du faciès de dégradation RK_1 de la steppe à Rhantherium de plaine sont indiquées dans le tableau n° 14 et sur la figure n°13.

Tableau n°14 - Production d'une steppe à Rhantherium suaveolens en mauvais état (RK_1)

(Steppe des plaines sableuses)

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F,M,A,M	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	Plantago albicans	Autres pérennes	total
1973-74	374,1	153,4	42,7	75	71	540	686
1974-75	199,4	183,4	93,4	24	62	412	498

Il s'agit d'un faciès de dégradation avec encore une bonne densité de pérennes, mais très surpâturé. 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 exlus).

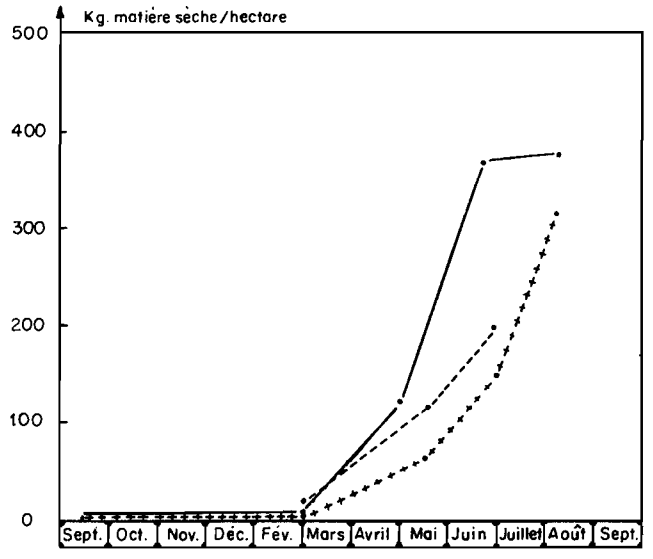
Ainsi on peut être amené à sous-estimer à première vue la production de ces steppes très claires qui, avant érosion complète du sol, ont encore des plantes à racines puissantes pour reconstituer une végétation si l'année est favorable. Il faut noter cependant les faibles productions des annuelles et du plantain qui ont des difficultés à germer sur ces limons battants. A signaler également le fort ruissellement en 1973-74 (41 % de pluie efficace seulement). La litière représente de 20 à 25 kg MS/ha et varie peu au cours de l'année.

../.

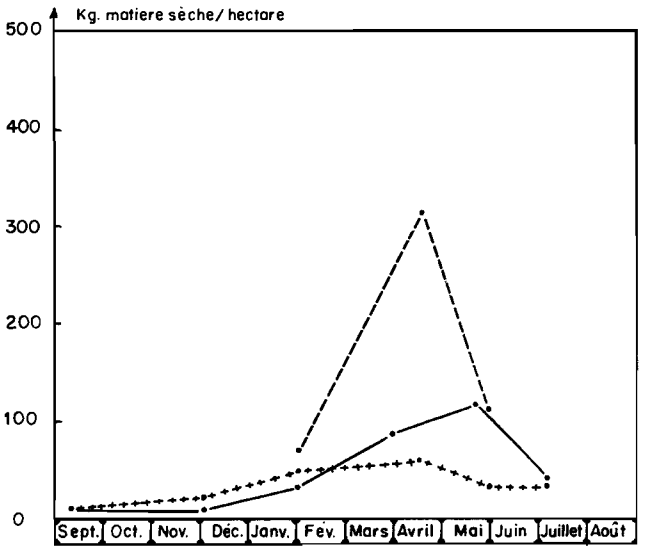
Fig.12 – **COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE**

Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation

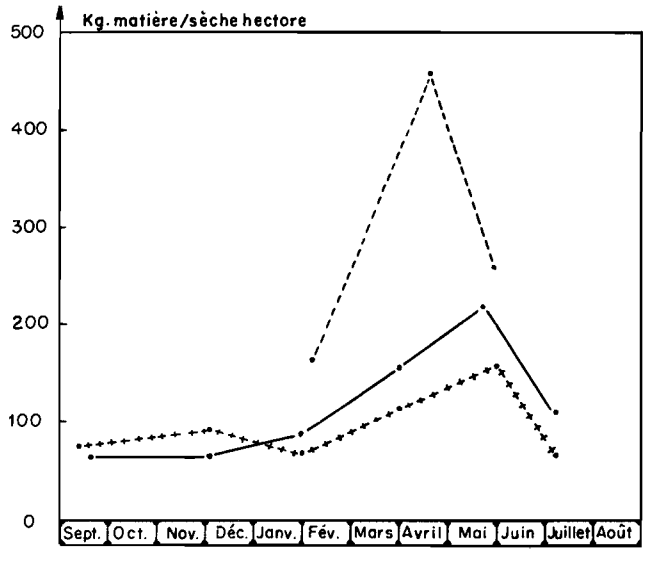
Steppe des zones sableuses de plaine, en état de dégradation moyen (RK 2 - Zougrata)



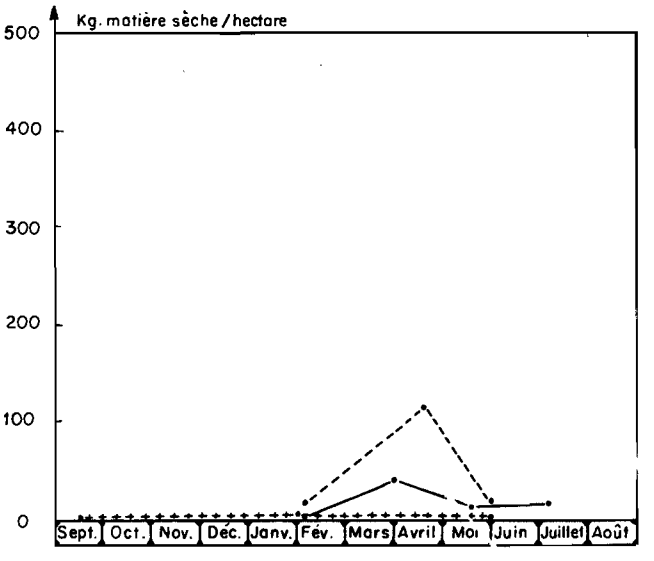
Pousses de Rhantherium suaveolens



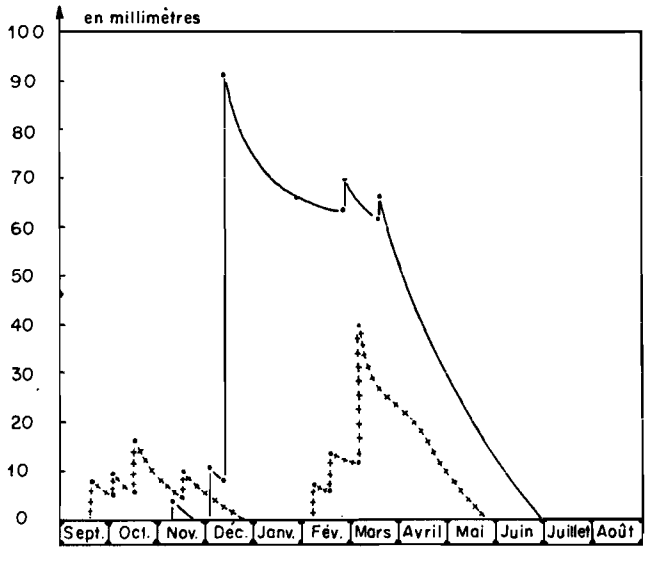
Plantago albicans



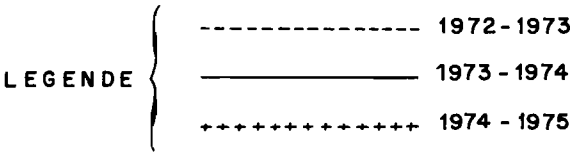
Pousses des autres plantes pérennes



Plantes annuelles



Réserve en eau disponible pour la végétation
(entre 0 et 110 centimètres)



Au total, pour les deux années d'observation, la production est voisine de celle dufaciès de dégradation RK_2 dont les chiffres figurent au tableau n°13 et qui présente cependant une biomasse initiale presque 4 fois supérieure à celle du RK_1.

3.2.1.4 Résultats des mesures concernant les jachères et les cultures (rk_2)

1971-72 : En 1971 les pluies d'automne (52 mm) ont provoqué de nombreux labours de défrichement de la steppe en bon état (RK_3). Les céréales semées ont levé, mais la sécheresse hivernale et les vents de sable ont fait que le rendement en grains a été nul.

1972-73 : La steppe à Rhantherium a été défrichée au tracteur et à la charrue à disques à l'automne 1972. Le rendement de la récolte de 1973 s'est élevé à 11,6 qx/ha d'orge. Il n'a pas été fait de mesure d'annuelles immédiatement après la récolte, mais la parcelle a été mise en défens à partir du mois d'août 1973 et suivie pendant 2 saisons de végétation.

Les données concernant une friche post-culturale étudiée pendant 2 années sont indiquées sur le tableau n°15 et sur la fig. n°14.

Tableau n°15 - Production d'une jachère de deux ans (rk2), après défrichement d'une steppe sableuse en bon état

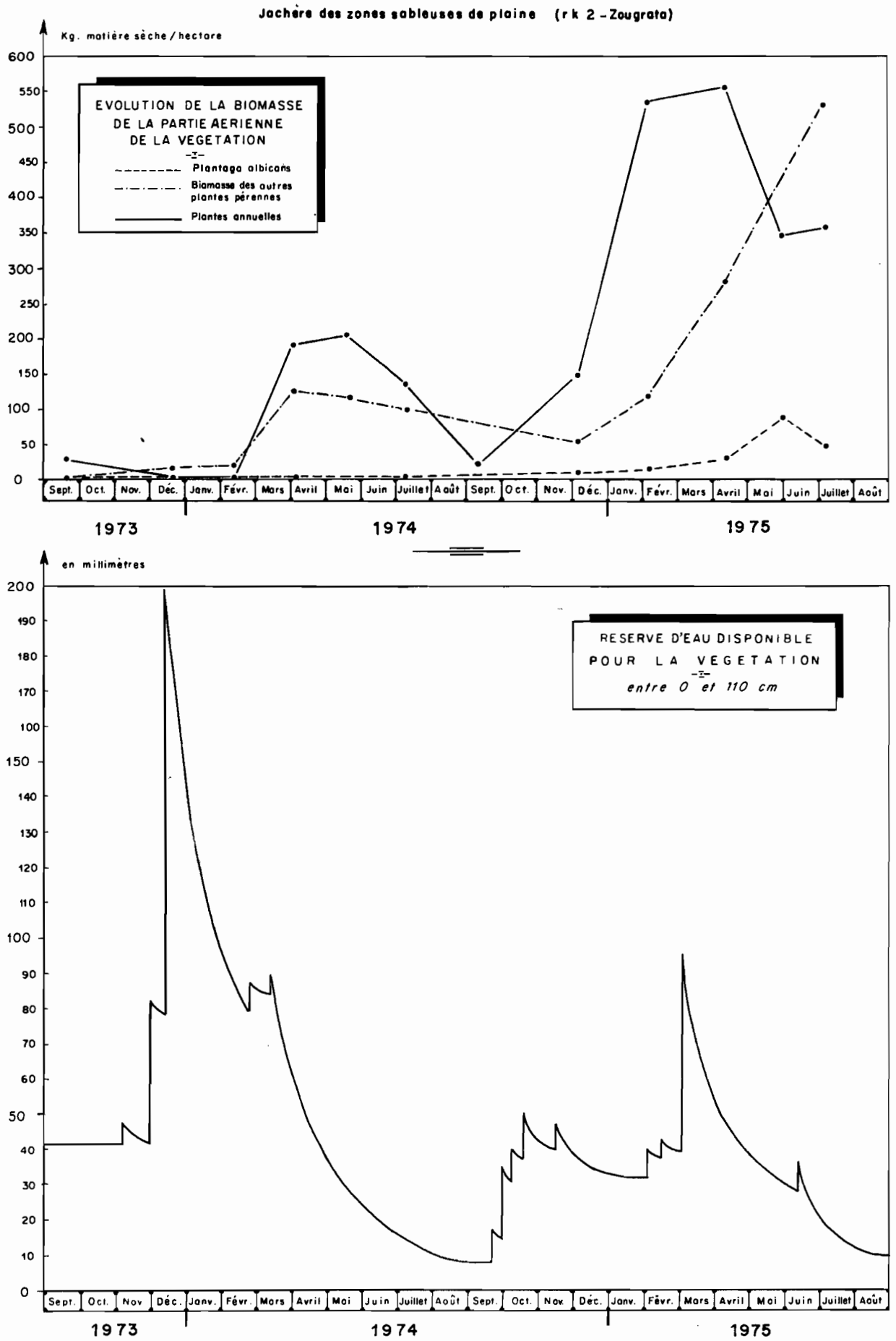
Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	F,M,A,M (mm)	Production de l'orge		Production végétale naturelle kg MS/ha/an			
				graines qx/ha	chaumes restants MS/ha	Espèces annuelles	Plantago albicans	Autres péren.	Total
1972-73	209,6	209,6	59,2	11,6					
1973-74	315,6	190,6	41,7		240	211	5	107	323
1974-75	185,7	185,7	78,5		80	558	36	476	1070

La production des annuelles durant l'année qui a suivi la céréale a atteint 211 kg/ha, et les pérennes incomplètement détruites par le labour ont commencé à rejeter des souches donnant 107 kg/ha). 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.

../.

Fig. 14 _ **COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE**

Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation



La seconde année a été très favorable pour les annuelles de cette jachère produisant 558 kg/ha contre 284 kg/ha seulement dans la steppe non labourée. Les pérennes (autres que le Plantain, qui a mal récupéré) ont continué à se reconstituer : 476 kg/ha de pousses contre 512 kg dans la steppe non labourée.

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 %
Argyrolobium uniflorum	13,6
Pituranthos tortuosus	12,5
Plantago albicans	8,2
Arthrophytum schmittianum	4,3
Cynodon dactylon	P.M.
	100,0

Au bout de deux ans de jachère, le Chiendent ne s'est pas encore installé.

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 annuelles sont constituées pour moitié par Cutandia dichotoma, peu appétée par les animaux, alors que dans RK3 le pourcentage des Graminées dans les annuelles est inférieur à 10 %;
- le sol se ferme progressivement 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 disparition de la matière organique accumulée et exportation des éléments minéraux par la culture. D'autre part, l'érosion éolienne, sur ces sols sableux non fixés par la végétation pérenne, diminue progressivement l'importance du profil utile et les possibilités de réserves en eau.

3.2.2 Steppes des zones sableuses de piémont (RK_2 - DISSA)

3.2.2.1 Caractéristiques du sol et de la végétation d'une steppe en état de dégradation moyen

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 colluvionnés à partir des calcaires, des croûtes calcaires, ou des croûtes gypseuses situées au-dessus, sont à l'origine de sierozems sur colluvions sableuses grossières souvent caillouteuses. 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 les cultures. 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; cette association végétale est utilisée actuellement comme pâturage.

Cette station est donc à rapprocher, du point de vue de la séquence de végétation, du sol, et de l'utilisation du sol, au RK2 de Mougrata (groupement à Rhantherium suaveolens et Artemisia campestris) en état de dégradation moyen.

Le sol de la station présente les caractéristiques suivantes :

- un horizon sableux assez grossier (surtout dans les 15 premiers cm) d'origine colluviale, d'une épaisseur de 50 cm présentant un ancien horizon de labour. A la surface du sol on note une pellicule de battance presque généralisée, sauf au voisinage des plus grosses touffes de végétation où il peut y avoir une légère accumulation sableuse éolienne; bon enracinement des espèces annuelles et pérennes dans cet horizon;
- un horizon sablo-limoneux à sablo-argileux, à accumulation calcaire,, sous forme diffuse, d'une épaisseur de 30- 40 cm. Enracinement moyen des espèces pérennes;
- un encroûtement gypseux blanc de 25 à 40 cm, impénétrable aux racines, et reposant sur le Mioplioc ène.

Tableau n° 16

Caractéristiques physiques du sol type des steppes des zones sableuses de piemont (Dj. DISSA)

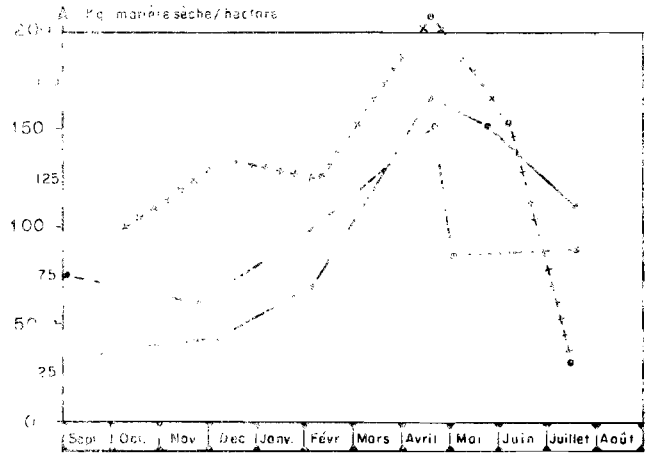
Horizon	Epaisseur (cm)	Texture	Structure	Porosité d'ensemble	Humidité à (%) pF2,7	Humidité à (%) pF4,2	Densité apparente
Supérieur Ap ancien	15	S	fragment. peu nette	excell.	10,4	3,3	1,45
non labouré	35	S à SL	"	"	10,7	3,4	1,42
Accumulation calcaire	30-40	SL à SA	massive	bonne	12,8	4,2	1,40
Encroûtement gypseux	25-40		continue	mauvaise			1,25

Malgré son caractère isohumique, ce sol est pauvre en matière organique (0,2 % à 0,4 %). Il présente un pH supérieur à 8, un gradient de calcaire inversé avec celui de la matière organique. Sa capacité d'échange est extrêmement faible (de 3 à 5 meq. suivant l'horizon), saturée principalement

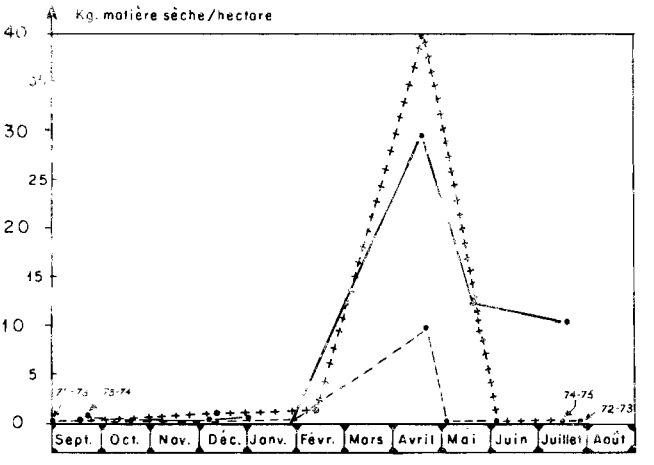
Fig 15 _ **COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE**

Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation

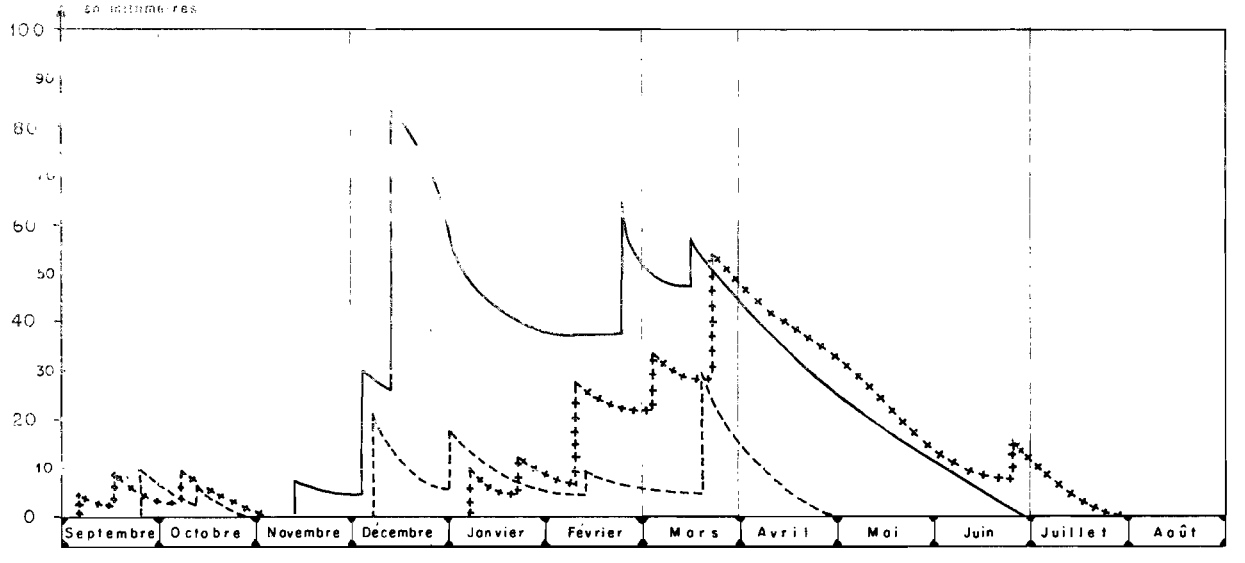
Steppe des zones sableuses de piémont (Disso _ RK 2)



_ Peuplage albicans



_ Plantes annuelles



_ Réserve d'eau disponible pour la végétation *(entre 0 et 70 cm.)*

LEGENDE
_____ 1973 - 74
_ _ _ _ _ _ _ _ 1972 - 73
+ + + + + + 1974 - 75

par le calcium et le magnésium. Les teneurs en azote total (0,2 à 0,3 ‰) en P_2O_5 assimilable (0,01 à 0,015 ‰) et en K_2O échangeable (0,08 ‰) traduisent le niveau de fertilité extrêmement bas du sol.

La végétation a la physionomie d'une steppe basse très claire. Le recouvrement des pérennes varie de 12 à 50 % selon les années. La plus grande part de ce recouvrement et de ces fluctuations revient à Plantago albicans, qui se développe bien en année favorable. 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 représente plus que 1 à 2 % de la surface du sol.

Les 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 biomasse des annuelles au printemps n'a jamais dépassé 40 kg de MS/ha au cours des 3 années d'observation.

Des mesures complètes de phytomasse racinaire n'ont pas été effectuées. A titre indicatif, des mesures portant sur les proportions de racines ont été faites à l'automne sur les deux principales espèces :

Racines de Plantago albicans : 47 % du poids sec total de la plante
Racines d'Echiochilon fruticosum : 34 % du poids sec total de la plante.

3.2.2.2 Résultats des mesures concernant les steppes de zones sableuses de piémont en état de dégradation moyen (RK_2 du Dj. DISSA)

Les données sont indiquées dans le tableau n°16 et sur la fig. n°13.

Tableau n°16 -Production d'une steppe des zones sableuses de piémont, en état de dégradation moyen (RK_2 du Dj.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 pérennes	Total
1972-73	164,4	164,4	68,2	10	76	201	287
1973-74	259,8	200,0	68,0	29	130	256	415
1974-75	199,4	199,4	111,4	40	122	136	298

En 1972-73 et en 1974-75, les pluies d'automne ont provoqué la germination des annuelles, mais en raison de la faiblesse du stock d'eau et surtout de la courte période pendant laquelle ce stock a été disponible, ces annuelles ne se sont pas développées et ont disparu. De toutes les façons la production d'annuelles doit rester 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 dégradation de la steppe à Rhantherium est très faible, du fait du faible 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 dessèche très vite en surface et l'eau n'est réellement "utile" que si les pluies sont suffisantes pour pénétrer assez profondément dans le sol.

3.2.3 Friche post-culturale d'un glacis limoneux (AA_1 du "segui" Telmam)

3.2.3.1 Caractéristiques du sol et de la végétation

La station étudiée est liée à un système géomorphologique que l'on trouve fréquemment en Tunisie méridionale; "les séguis". Ce système est défini par un ensemble constitué de chaînes de montagnes au relief escarpé servant de "château d'eau" à des glacis aux pentes relativement faibles, et à des plaines alluviales situées à l'aval.

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.

Le sol de la station situé sur le moyen glacis présente les caractéristiques suivantes (cf. annexe n°2 $PCOT_1$ AA_1) :

- en surface une pellicule de battance généralisée de 1 à 2 mm, homogène, qui se "craquelle" par endroit à la saison sèche;
- de 0 à 50 cm un horizon brun, de texture équilibrée, présentant de 0 à 10 cm un ancien horizon de labour enrichi en sable par les remaniements successifs; la structure y est peu développée;
- de 50 à 110 cm un horizon brun sombre, très différent du précédent. La texture y est limono-argileuse. Il présente quelques fentes en saison sèche.

../.

Des pseudomyceliums et des amas gypseux blancs y sont abondants. La structure est là aussi peu développée;

- au-delà de 110 cm, nous trouvons un matériau détritique à graviers et éléments gypseux, légèrement cimenté, précédant le Miopliocène gypseux.

Tableau n° 18

Caractéristiques physiques du sol des glacis du type "Séguis" (Telmam)

Horizon	Texture	Profondeur (cm)	Humidité à (%) pF 2,7	Humidité à (%) pF 4,2	DA	Porosité (%)	Enracinement (mm)
Ap	LS	0-10	18,1	6,3	1,49	48	maximum
superficiel	TE	10-50	21,0	8,1	1,50	44	moyen
à amas gypseux	LA	50-110	24,5	8,3	1,54	40	très faible

Du point de vue chimique, l'originalité de ces sols calcaires, pauvres en matière organique, est un caractère d'halomorphie peu accentué en surface (C $\leq$ 3 mmhos/cm), augmentant au niveau de l'horizon limono-argileux (C $\leq$ 10 mmhos/cm), accompagné d'une tendance à l'alcalinisation, qui se traduit lors des pluies par une dispersion des argiles en surface, accentuant ainsi le caractère battant, donc le ruissellement.

Si le pH est, sur tout le profil, supérieur à 8, nous devons noter le brusque accroissement du taux de gypse dans l'horizon à texture limono-argileuse (LA) dû aux reprécipitations de $CaSO_4$, $2H_2O$ sous forme d'amas.

Bien que supérieur à celui des steppes sur sable, le niveau de fertilité de ces sols est encore bas

Azote total : 0,7 à 0,9 ‰
P_2O_5 assimilable : 0,11 à 0,15 ‰
K_2O échangeable : 0,33 à 0,38 %
Capacité d'échange (saturée) : 10 à 11 maq/100 g de terre

Le défaut majeur est donc le manque d'azote.

La végétation de ces glacis à texture lourde était une steppe d'Armoise blanche dont il ne subsiste plus que des lambeaux après le défrichement pour la 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 glaucophyllum, 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°3.

Le recouvrement des pérennes de la friche étudiée ne dépasse pas 4 % de la surface du sol comme l'indique le tableau n°19.

Tableau n°19

Recouvrement de la végétation pérenne au Ségui Telmam

Espèces	Recouvrement %
Arthrophytum scoparium	2,1
Moricandia arvensis ssp. suffruticosa	1,6
Linaria aegyptiaca	0,1
Traganum nudatum	P.M.
Lygeum spartum	P.M.
Anabasis articulata	P.M.
Peganum harmala	P.M.
Suaeda mollis	P.M.
Total	3,8

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 intensivement cultivées, c'est Moricandia et Diplotaxis harra qui dominent très largement, l'Arthrophytum étant éliminé par les labours fréquents.

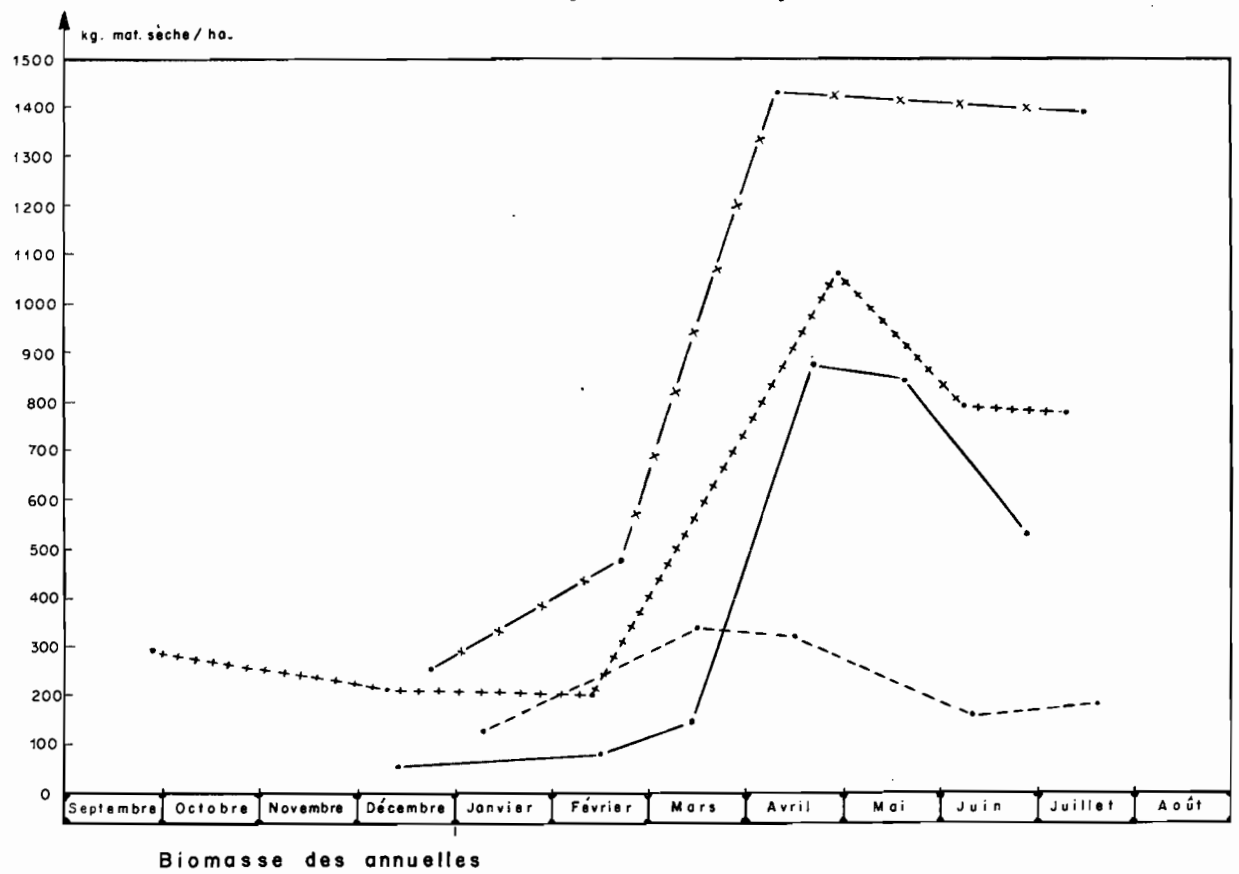
Le recouvrement des espèces annuelles est évidemment très variable selon la saison et l'année. Il est souvent faible en automne et en hiver. La somme des fréquences spécifiques des annuelles a atteint 75 % en mars 1973. Les annuelles sont très variées et les plus importantes du point de vue du recouvrement sont Plantago ovata, Stipa retorta, Schismus barbatus ssp. calycinus, Nastursiopsis coronopifolia, Malva aegyptiaca, Diplotaxis harra, etc..

../.

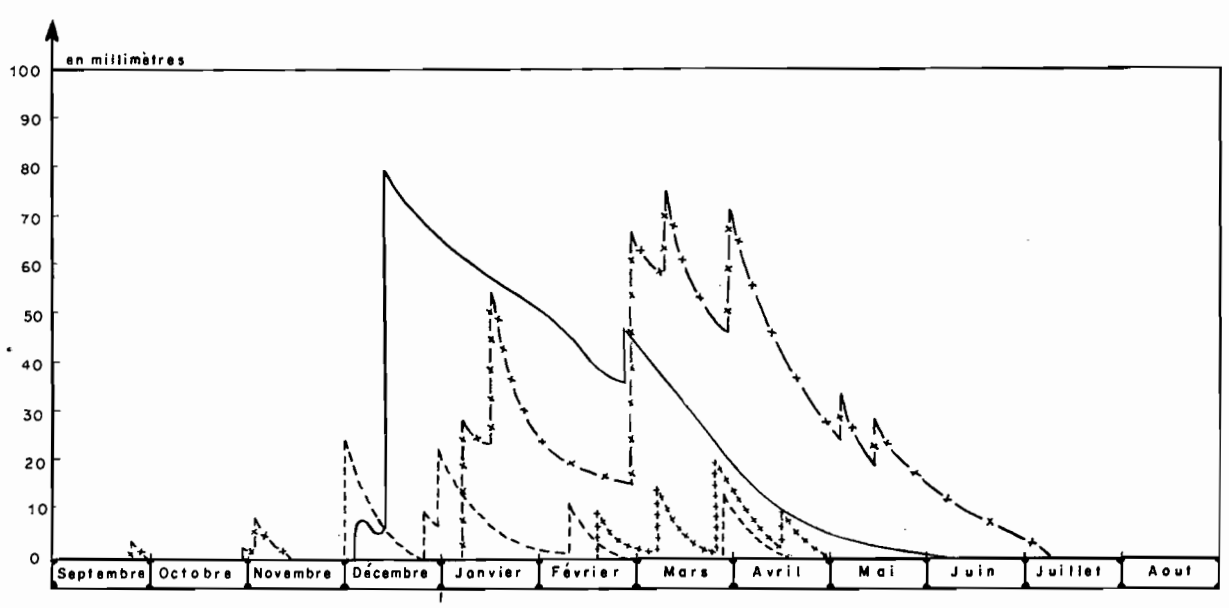
Fig. 16 - **COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE**

Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation

Friche post-culturale d'un glacis limoneux ("Ségui Telmam" - AA 1)



Biomasse des annuelles



Réserve en eau disponible pour la végétation (0 - 110 cm)

LEGENDE

------ 1972 - 73

++++++ 1974 - 75

——— 1973 - 74

—x—x—x— 1975 - 76

La phytomasse de la partie aérienne des espèces pérennes, très faible par rapport aux steppes non cultivées, se répartit comme suit : (tableau n°20) :

Tableau n° 20

Phytomasse de la partie aérienne des plantes pérennes

(Ségui Telmam)
(kg de MS/ha au 10.12.72)

Espèces	Biomasse
Arthrophytum scoparium	105
Moricandia arvensis ssp. suffruticosa	18
Peganum harmala	8
Anabasis articulata	3
Salsola tetrandra	4
Lygeum spartum	2
Total	140

Les phytomasses des racines des deux principales espèces pérennes sont les suivantes :

- racines d'Arthrophytum scoparium : 20 % du poids sec total de la plante, soit 21 kg MS/ha
- racines de Moricandia arvensis ssp. suffruticosa : 30 % du poids sec total de la plante, soit 6 kg MS/ha, ce qui paraît très faible.

Comme on le voit au § 3.2.3.2, la biomasse des annuelles est très variable; elle a pu atteindre 1679 kg/ha au printemps 1976.

3.2.3.2 Résultats des mesures

La jachère post-culturale étudiée 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.

Les données des 4 années de mesure sont indiquées dans le tableau n°21 et la fig. n°16.

Tableau n°21 -Production d'une friche post-culturale sur glacis limoneux ("Ségui Telmam")

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F,M,A,M (mm)	Production végétale totale des annuelles (kg MS/ha)
1972-73	163,7	144,3	55,0	360
1973-74	371,2	257,3	52,5	1051
1974-75	161,0	142,7	102,6	1039
1975-76	357,2	299,7	126,7	1679

Il apparaît que les pluies printanières sont déterminantes pour la production des annuelles : 102,6 mm bien répartis au printemps de la campagne 1974-75 (année à 161 mm seulement) sont proportionnellement plus favorables que 52,5 mm au printemps de la campagne 1973-74 (année à 371 mm).

La faible production de 1972-73 s'explique par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'absence de réserve en eau disponible dans les 50 premiers cm du profil au printemps.

A noter que l'on trouve déjà une production de 450 kg/ha fin février 76, du fait du bon approvisionnement en eau du sol durant l'hiver 75-76.

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 :

1972-73 (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, on a effectué quelques mesures de la production de céréales au voisinage de la parcelle :

Tableau n° 22 - Rendements des céréales en 1972-73

Céréales	Poids de grains kg/ha
Orge	330
Blé tendre	340
Blé dur	130

Tableau n° 23 - Rendements des céréales en 1973-74 (Ségui Telmam)

Céréales	Poids de grains kg/ha	Poids de tiges kg MS/ha	Poids de racines kg MS/ha
Orge	821	660	200
Blé dur	788	700	225

Tableau n°24 -Rendements des céréales en 1975-76

Céréale	Poids de grains kg/ha
Orge	1120

../.

3.2.4 Steppe des zones gypseuses (AZ_2)

3.2.4.1 Caractéristiques du sol et de la végétation

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, on trouve une association végétale à Anarrhinum brevifelium 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 ce type de sol et de végétation qui est étudié ici (station du "km 8"). (cf. annexe n°2 PFBVAZ2)

Tableau n°25

Caractéristiques du sol de steppe des zones gypseuses (AZ_2)

Caractères Horizon	cm	Texture	% gypse	% $CaCO_3$	Humidité à (%) hpF 2,7	Humidité à (%) hpF 4,2	dA	Enracinement
Recouvrement sableux non gypseux	0-10/25	SL battant	0,5	10,5	13,6	4,7	1,43	(75 %) chevelu - annuelles
Encroûtement gypseux blanc "tuffeux"	10/25-40		60,0	3,0	15,4	5,8	1,14	faible (8-10 %) grosses racines
Encroûtement gypseux rosé	40-110		40,0 à 25,0	7,0	14,4	5,6	1,24	faible (15%) grosses racines et moyennes
M originel mp	>110	SA	12,0	13,6			1,51	très faible < 1 %

Ce tableau appelle quelques remarques :

- le recouvrement sablo-limoneux (SL) est peu épais sur cette station (10 à 25 cm d'épaisseur); localement l'encroûtement gypseux est superficiel (0-5 cm);
- la pellicule de battance y est très bien développée; malgré la topographie presque plane de la parcelle, lors des pluies de forte intensité; il y a pertes d'eau par ruissellement;
- l'enracinement est maximum dans l'horizon superficiel; il est essentiellement constitué par le chevelu des espèces pérennes et même de quelques grosses racines traçantes. Cet horizon est le seul qui permette le développement des annuelles. D'une manière générale, les racines ont du mal à pénétrer dans l'encroûtement gypseux où nous trouvons seulement quelques gros pivots en mauvais état entre 10 et 40 cm et quelques racines fines et moyennes entre 40 et 110 cm. Au-delà, dans le Miopliocène gypseux, l'enracinement est pratiquement inexistant;

../.

- malgré la proximité de l'encroûtement gypseux, le recouvrement sableux ne contient pratiquement pas de gypse; il est moyennement calcaire et légèrement salé. Un taux très faible de matière organique (environ 0,4 %), une capacité d'échange voisine de 5 meq % de terre, saturée principalement par le calcium et le magnésium, un pH voisin de 8,5, sont caractéristiques de cette formation sableuse.

Assez bien pourvusen potasse, ces sols offrent de graves carences en azote et phosphore.

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 % et au printemps; si la pluviométrie est favorable, le recouvrement des annuelles peut atteindre 15 %.

Tableau n° 26

Recouvrement des plantes pérennes (station du Km 8)

Espèces	Rec. % (hiver 1971)
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	8,1

Les annuelles les plus abondantes sont Hedysarum spinosissimum, Koeleria pubescens ssp. salzmannii, Cutandia dichotoma, Daucus syrticus, etc.

Le groupe écologique des gypsophiles et celui des croûtes et sols superficiels sont bien représentés parmi les espèces pérennes présentes, cependant que les annuelles sont principalement des psammophiles.

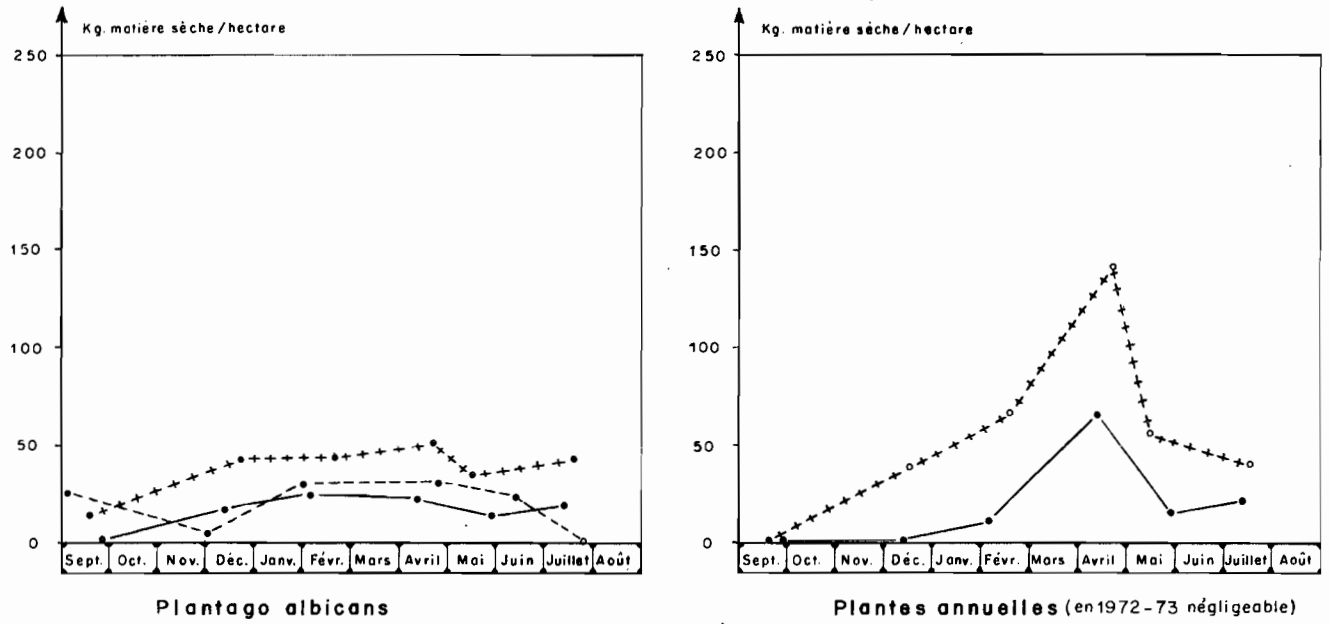
La phytomasse aérienne totale sur pied (plantes pérennes) au début de l'automne, avant les premières pousses et après parcours par les animaux, est de 927 kg de MS/ha (moyenne de 3 ans). La proportion de racines par rapport à la phytomasse totale s'établit à 37,5 %, soit 556 kg; la phytomasse végétale totale vivante s'établissant à 1483 kg. La proportion de

../.

Fig. 17 - **COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE**

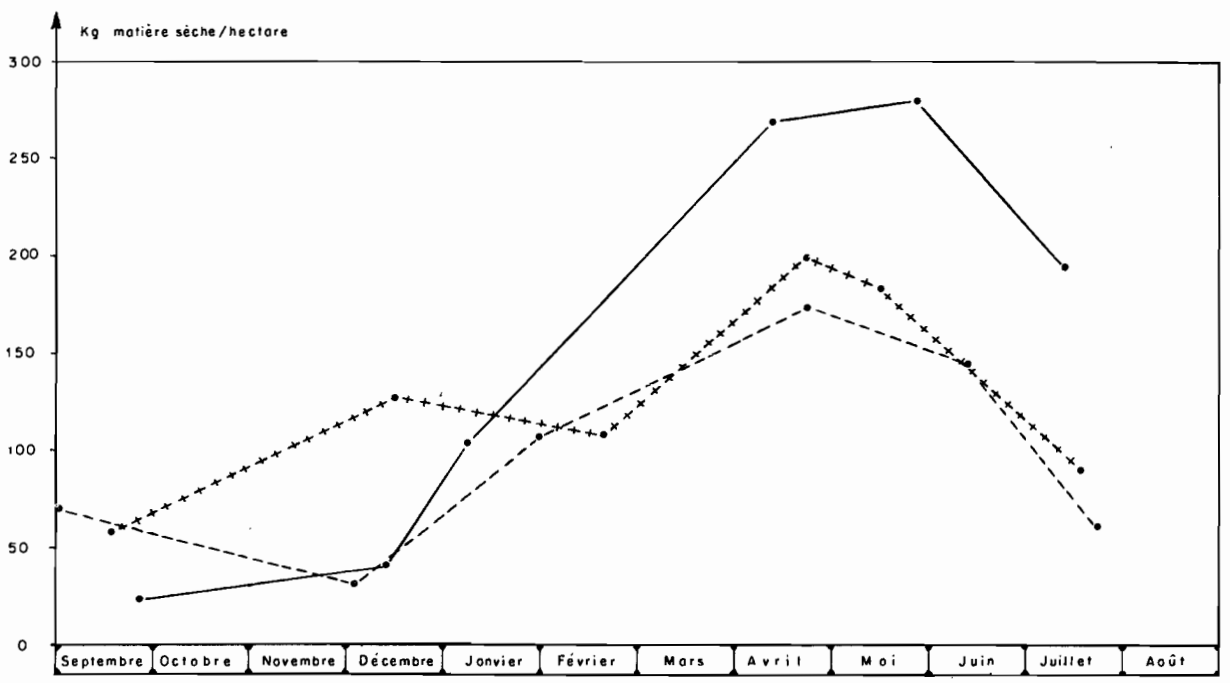
Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation

Steppe des zones gypseuses (AZ 2 - Km 8)

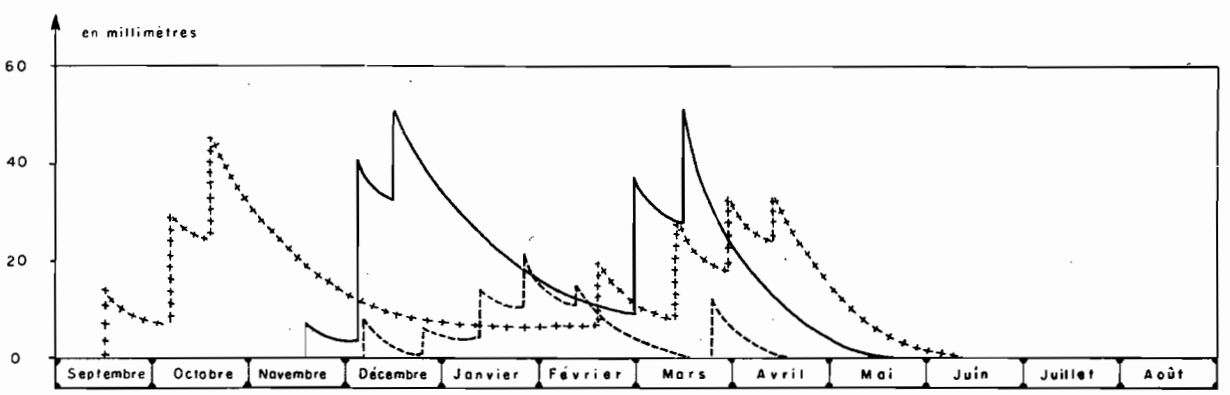


Plantago albicans

Plantes annuelles (en 1972 - 73 négligeable)



Pousses des autres plantes pérennes



Réserve en eau disponible pour la végétation *(entre 0 et 70 cm.)*

LEGENDE { _ _ _ _ _ _ _ 1972 - 73 ——— 1973 - 74 + + + + + + 1974 - 75

racines des plantes annuelles est en moyenne de 29 % de la phytomasse totale de ces espèces. Ces faibles proportions de racine (et cette phytomasse relativement faible) peuvent s'expliquer par la compacité de l'encroûtement gypseux dans lequel les racines ont du mal à se développer.

Cette phytomasse provient pour plus de 65 % de Helianthemum lippii var. intricatum et Gymnocarpos decander.

3.2.4.2 Résultats des mesures

Les données 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 n°27 et la fig. n°17.

Tableau n° 27 -Production d'une steppe des zones gypseuses (AZ_2)

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F,M,A,M (mm)	Production végétale (kg/MS/ha/an)			
				Espèces annuelles	Plantago albicans	Autres pérennes	Total
1972-73	147,6	100,4	62,7	2	23	104	129
1973-74	266,7	162,7	73,1	78	24	256	358
1974-75	267,1	160,3	125,5	143	38	139	320

D'une façon générale, il faut noter les forts coefficients de ruissellement (40% en moyenne) qui réduisent l'importance des précipitations.

La production de 1972-73 est faible, 129 kg/ha au total, en raison de la faible pluviosité (100 mm de pluie efficace seulement).

Pour une même hauteur de pluie (160 mm de pluie efficace environ), les productions sont voisines durant les deux années suivantes. Cependant, dans un cas (1973-74) ce sont les pérennes qui ont beaucoup produit, alors que l'année suivante (1974-75), la production des annuelles dépasse celle des pérennes. 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 pérennes.

Plantago albicans n'a qu'une faible production sur ces sols à encroûtement gypseux de surface. Les pérennes les plus productives sont dans l'ordre : Gymnocarpos decander, Helianthemum lippii var. intricatum, Thymelaea microphylla, Atractylis serratuloïdes, etc..

La litière représente 50 kg MS/ha en moyenne avec un maximum en mai qui peut atteindre 100 à 120kg.

../.

Notons enfin la faible productivité de ce type de milieu, qui, malgré des années aux précipitations très supérieures à la moyenne, n'a jamais dépassé 35$ kg de MS/ha de production.

3.2.5 Pelouse d'un fond alluvial

3.2.5.1 Caractéristiques du sol et de la végétation

Les fonds alluviaux du Sud tunisien ont tous été cultivés à une date plus ou moins récente. La végétation que l'on y trouve est donc héritée de la culture. La station de Zerkine a été installée sur une friche de quelques années (3 ou 4 ans), régulièrement pâturée par les animaux.

Les caractéristiques du sol de la station sont rassemblées dans le tableau n°28 et dans l'annexe n°2 PZ - ZR.

Tableau n°28

Caractéristiques du sol de la pelouse d'un fond alluvial (ZR)

Horizon	Profondeur (cm)	Texture	Structure	Porosité d'ensemble	Humidité à(%) pF 2,7	Humidité à(%) pF 4,2	Densité apparente
(Ap) labour	0 - 20	LS (SF et STF)	polyédrique fine, peu nette	excellente	19,0	5,5	1,42
horizon intermédiaire	20 - 80	LS (SF et STF)	polyédrique grossière, peu nette	excellente	20,5	6,0	1,42
Horizon à pseudo-mycelium	80 -110	LS (SF et STF)	polyédrique grossière peu nette	excellente	18,6	5,5	1,41
Encroûtement gypseux	>110	se développe sur le matériau miopliocène (pas d'enracinement)					

Malgré l'absence d'une bonne structure, ce profil présente une bonne porosité d'ensemble jusqu'à l'encroûtement gypseux en raison de la texture sablo-limoneuse à limono-sableuse (sables fins et très fins); il est facilement pénétré par les racines. Cet enracinement est surtout très important dans l'horizon de labour.

Ce sol calcaire, pauvre en matière organique (0,5 à 0,7 %) entre 0 et 40 cm a une certaine salure en profondeur (à partir de 50 cm : C = 8 mmhos/cm) salure exprimée essentiellement par la présence de chlorures puis de sulfates.

../.

Le niveau de fertilité de ces sols alluviaux est comparable à celui des sols de Ségui.

Capacité d'échange : 9 à 11 meq/100 g

Azote total : 0,8 à 0,9 ‰

P_2O_5 assimilable : 0,06 à 0,07 ‰

K_2O échangeable : 0,2 ‰

La végétation (cf. annexe n°3) 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 pérennes (recouvrement voisin de 2 %) sont également des espèces post-culturales, telles que Artemisia campestris, Pituranthos tortuosus.

Parmi les annuelles, les Graminées sont les plus abondantes (surtout Koeleria pubescens ssp. salzmannii et Cutandia dichotoma). Le tableau n° 29 donne les proportions des principaux groupes d'annuelles.

Tableau n° 29

Proportion (en poids sec) des principales annuelles ou catégories d'annuelles (pelouse de Zerkine)

Espèces	Pourcentage au 16 mars
Graminées	45 %
Légumineuses	1
Anthemis pedunculata	23
Filago germanica	9
Crepis radicata	5
Diverses	17
	100

Le 2 mai le pourcentage de graminées atteignait 89 %. La faible quantité de légumineuses est un fait à noter.

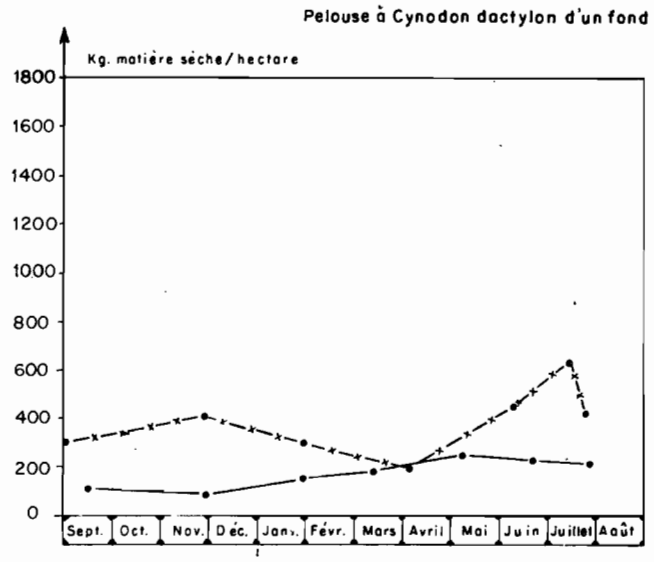
En raison de la faible proportion de plantes ligneuses, la phytomasse végétale sur pied de cette pelouse est fonction du degré de pâturage qu'elle a subi. Au plus bas, elle reste de l'ordre de 200 kg de MS/ha, au plus haut (après une mise en défens d'un an), elle a dépassé 2 tonnes. Une mesure de phytomasse souterraine sur tranchée a donné l'équivalent de 646 kg de MS/ha, principalement composés de rhizomes de Chiendent.

../.

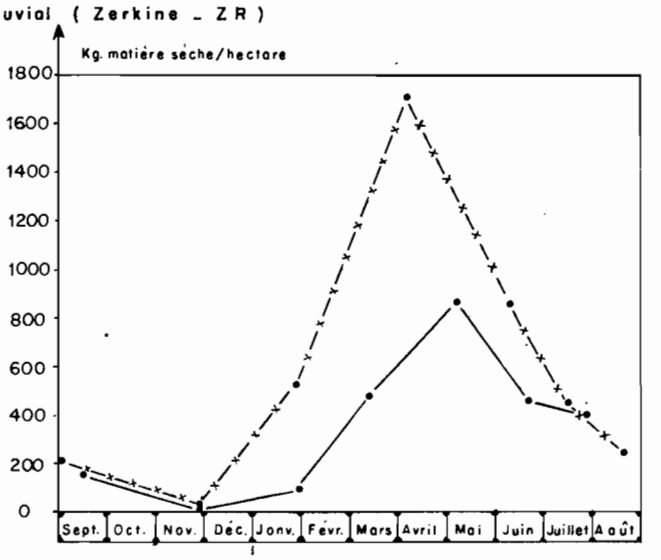
Fig. 18 - **COMPARAISONS ENTRE LES ANNEES DE MESURE**

Biomasse végétale aérienne et réserve en eau disponible pour la végétation

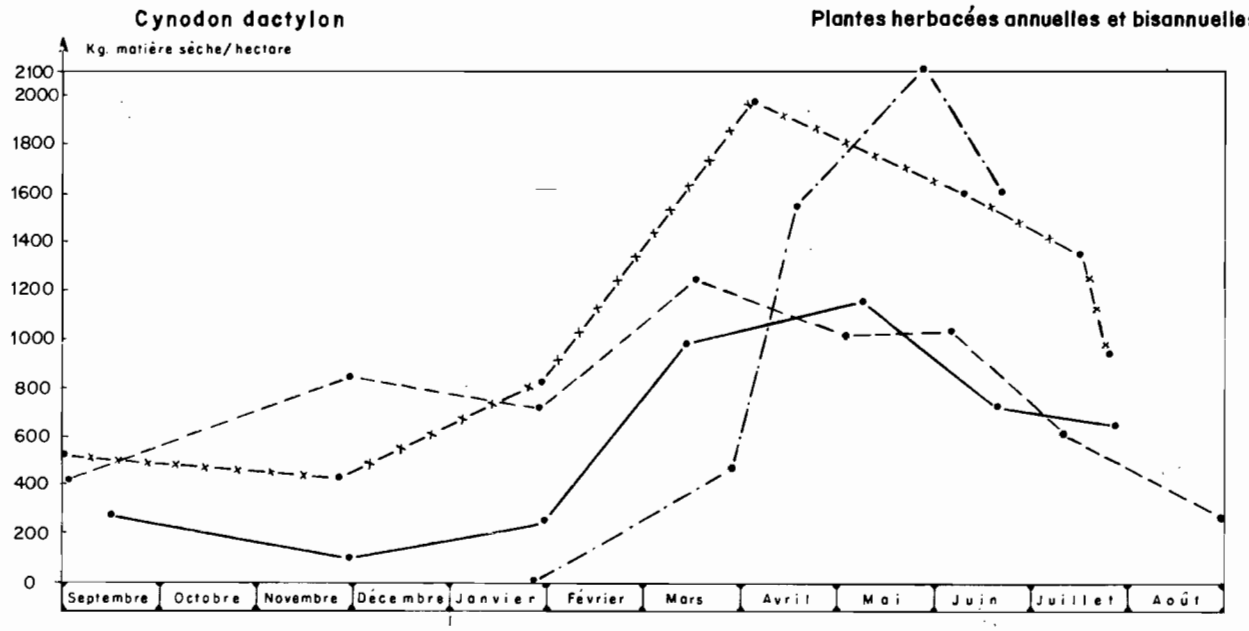
Pelouse à Cynodon dactylon d'un fond alluvial (Zerkine - ZR)



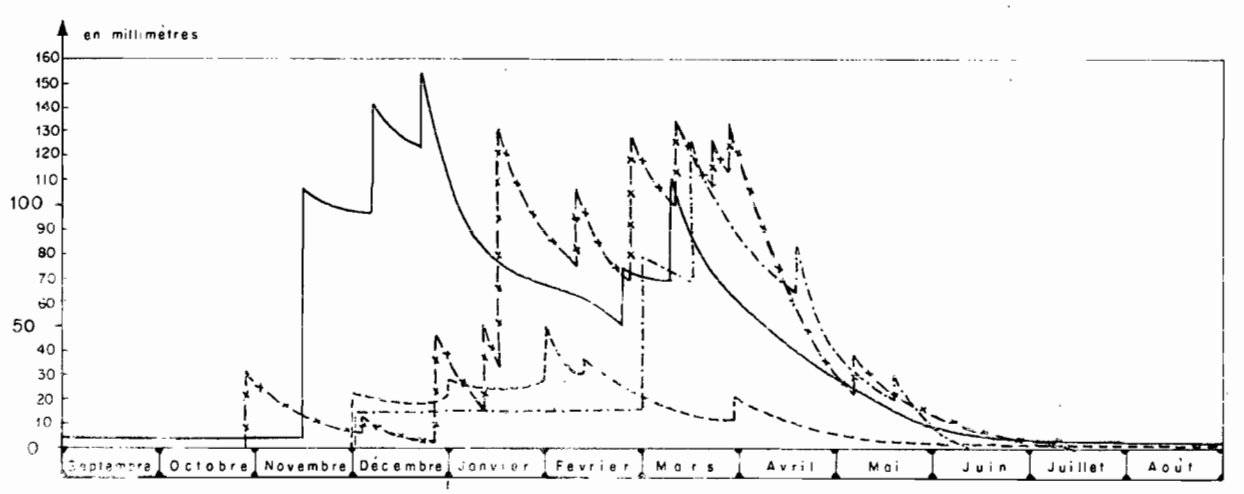
Cynodon dactylon



Plantes herbacées annuelles et bisannuelles



Plantes herbacées totales



Réserve d'eau disponible pour la végétation *(entre 0 et 110 cm)*

LEGENDE

1971 - 72

1972 - 73

1973 - 74

1975 - 76

3.2.5.2 Résultats des mesures

Les données de base sont indiquées dans le tableau n° 30 et sur la fig. n° 18. L'année 1974-75 manque, les parcelles de mesure ayant été pâturées par un troupeau.

Tableau n ° 30 - Production d'une pelouse de fond alluvial (ZR)

Année	Pluie totale (mm)	Pluie efficace (mm)	Pluie F.M.A.M.	Production végétale (kg MS/ha/an)			
				Herbacées annuelles et bisannuelles	Cynodon dactylon	Autres herbacées pérennes	Total *
1971-72	252,5	282,8	178,0				2100
1972-73	134,2	161,0	46,3		480		960
1973-74	451,3	293,3	76,3	784	161	22	967
1974-75	Mesures interrompues (parcelles pâturées accidentellement)						
1975-76	431,0	517,3	155,4	1672	339	243	2254

* plantes ligneuses exclues (la phytomasse totale des plantes ligneuses varie selon les années de 50 à 150 kg)

La saison 1971-72 est très bonne avec des pluies supérieures à la moyenne et très abondantes au printemps jusqu'au mois de mai, ce qui est favorable aux annuelles et au Chiendent.

1972-73 est l'année la plus sèche de la période d'observation, avec un printemps relativement sec et une fin précoce de la saison des pluies. Ceci correspond effectivement à la plus faible production observée.

En 1973-74 la production est également faible malgré une année à très fortes précipitations au total. Mais, d'une part, ces pluies ont ruisselé (pluie efficace 65 %) 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. Cette faible production du Chiendent est d'ailleurs difficilement explicable, compte tenu des réserves en eau du sol encore disponibles au printemps.

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. En effet, avec 283 mm en 1971-72, la production était déjà de 2100 kg de MS/ha et ces deux années ont eu également de fortes pluies printanières. D'autres facteurs limitants que l'eau se manifestent sans doute alors. En année sèche le Chiendent utilise mieux l'eau que les 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 Fig. n°18 pour l'année 1975-76).

4. LES FACTEURS DE LA PRODUCTION VEGETALE DANS LES FORMATIONS ETUDIEES DU SUD TUNISIEN

Dans cette région aride, il semblait évident que la production de la végétation spontanée du Sud tunisien 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 d'abord 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.

A l'examen des premiers résultats, nous nous sommes aperçus que la variation des précipitations était insuffisante pour expliquer certaines anomalies de la production végétale. La pluviosité, tout en restant un facteur limitant prépondérant sous ces climats arides, ne permet pas, au-delà d'un certain seuil, d'augmenter de façon très nette la production de la végétation spontanée. Cette remarque peut être illustrée par le graphique de la figure n° 31 où l'on constate que le mm de pluie tombée est plus "rentable" dans la steppe à Rhantherium suaveolens pour une pluviosité annuelle voisine de 200 mm que pour une de 300 mm.

D'autre part, certains facteurs agissant sur la production n'ont pu être contrôlés totalement. Il s'agit principalement des consommateurs de la production, que ce soient les maladies cryptogamiques ou les attaques d'insectes et de rongeurs, ou encore l'influence du troupeau.

Dans les paragraphes qui suivent nous ne prétendons pas avoir mis en évidence, pour chaque système écologique, tous les facteurs de la production végétale. Nous pensons cependant avoir abordé l'essentiel de l'influence du climat et du sol.

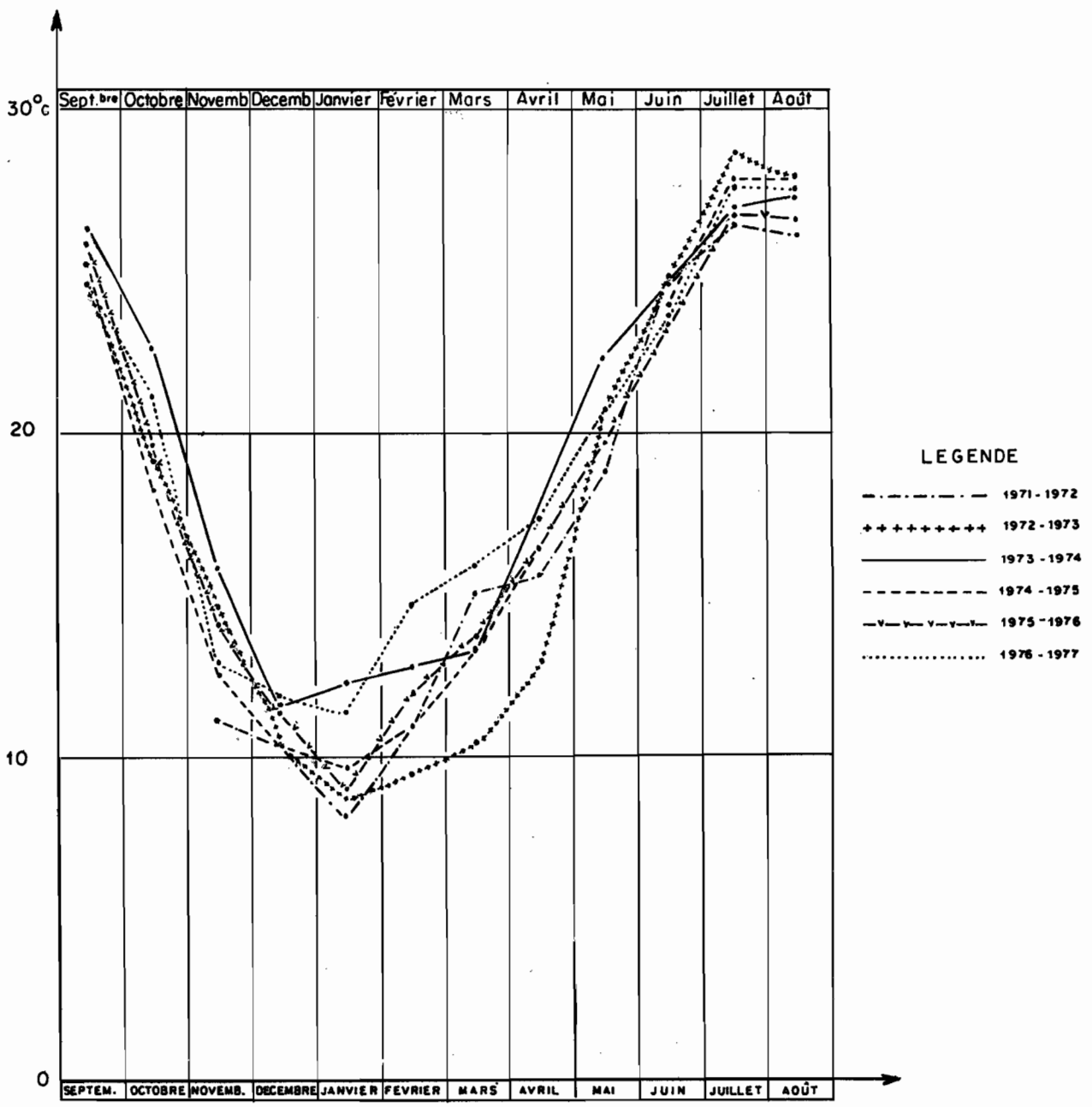
4.1 Influence des caractéristiques principales du climat sur la production primaire

Intéressés principalement par les variations intersaisonnières et interannuelles 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 sont certainement

../.

Figure n°19 _ TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE_°C

(Station km 52 - RK 3)



faibles (peu de nuages), d'autre part les températures hivernales, si elles ont une influence importante sur la germination, ne sont pas telles qu'elles puissent arrêter toute la journée la photosynthèse. Par exemple, sur la fig. n°19, qui reprend les moyennes mensuelles de température pour la station la plus continentale (RK_3, Km 52), il apparaît que la moyenne du mois le plus froid (janvier) varie selon les années entre 8 et 12°C (en 6 années de mesure on n'a relevé que quelques jours de faible gelée). Sur ce graphique, l'année 1972-1973 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 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.

D'autre part, les températures moyennes mensuelles en automne, printemps et été, ne présentent que de faibles variations interannuelles. C'est pourquoi nous pouvons étudier les données des mesures de la production primaire uniquement en fonction des précipitations, le facteur "température" étant intégré par la prise en considération des dates d'occurrence de celles-ci.

Il ne nous a pas été possible non plus, 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 realtive 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 1). Il apparaît que cette donnée permet d'expliquer un certain nombre d'anomalies dans les relations pluie-production primaire (cf. § 4.4.1) concernant l'ETR et la production primaire .

Le tableau n° 31 résume les résultats de la production végétale aérienne annuelle (espèces annuelles et pérennes) en regard des caractéristiques de la pluviosité de l'année, telles qu'elles sont définies au paragraphe 1.2.2. On peut faire les remarques suivantes qui résument également les commentaires du § 3.2 :

1) une saison des pluies précoce (pluies à l'automne) 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)

../.

Tableau n°31 _ PRODUCTION VEGETALE AERIENNE ET CARACTERISTIQUES DE LA PLUVIOSITE

PARCELLES / CALENDRIER	R K 3	R K 2	R K 1	r k 2	RK 2 (Dissa)	Z R	A Z 2	A A 1
1971 - 1972	P = 931 A = 87 Hp = 191,4 mm Ym = (Am, Hs, Ph) DP-FT (23j — 4j)					T = 2100 Hp = 252,5 mm Yh (Am, Hm, Ph) DT-FT (23j - 8j)		
1972 - 1973	P = 628 A = 532 Hp = 209,6 mm Ym = (Am, Hm, Pm) DT-FP (35j - 4j)	P = 739 A = 120 HP = 209, 6 mm Ym = (Am, Hm, Pm) DT- FP (35j - 4j)			P = 277 A = 10 Hp = 164, 4 mm Ym (Am, Hm, Pm) DP-FP (35j - 4j)	T = 960 HP = 134, 2 mm Ym (As, Hm, Pm) DT-FP (25j - 5j)	P = 127 A = 2 Hp = 147,6 mm Ym (As, Hm, Pm) DP - FP (52j - 6j)	A = 360 Hp = 163,7 mm Ym (Am, Hh, Pm) DP- FP (27j - 4j)
1973 - 1974	P = 954 A = 108 Hp = 315,6 mm Yh (As, Hh, Pm) DT-FP (18j - 4j)	P = 645 A = 44 Hp = 315,6 mm Yh (As, Hh, Pm) DT - FP (18j - 4j)	P = 611 A = 75 Hp = 374, 1 mm Yh = (As, Hh, Pm) DT - FP (18j - 4j)	P = 112 A = 211 Hp = 315,6 mm Yh = (As, Hh, Pm) DT - FP (18j - 4j)	P = 386 A = 29 Hp = 259,8 mm Yh = (As, Hh, Pm) DT-FP (37j - 4j)	T = 967 Hp = 451,3 mm Yh = (Ah, Hh, Pm) DT-FP (29j - 7j)	P = 280 A = 78 Hp = 266,7 mm Yh = (As, Hh, Pm) DT - FP (31j - 5j)	A = 1051 Hp = 371, 2 mm Yh (As, Hh, Pm) DT - FP (15j - 5j)
1974 - 1975	P = 727 A = 284 Hp = 185, 7 mm Ym (Am, Hm, Ph) DP - FT (34j - 6j)	P = 456 A = 7 Hp = 185, 7 mm Ym (Am, Hm, Ph) DP - FT (34j - 6j)	P = 474 A = 24 Hp = 199, 4 mm Ym (Am, Hm, Ph) DP - FT (35j - 6j)	P = 510 A = 558 Hp = 185, 7 mm Ym (Am, Hm, Ph) DP-FT (34j - 6j)	P = 258 A = 40 Hp = 199, 4 mm Ym (Am, Hm, Ph) DP-FT (36j - 9j)		P = 177 A = 143 Hp = 267, 1 mm Yh (Am, Hm, Ph) DP-FT (45j - 10j)	A = 1039 Hp = 161,0 mm Ym (Am, Hm, Pm) DP-FT (23j - 7j)
1975 - 1976	P = 1391 A = 154 HP = 295, 2 mm Yh (Am, Hh, Ph) DP - FT (44j - 9j)					T = 2254 Hp = 431,0 mm Yh (Am, Hh, Ph) DT - FT (41j - 13j)		A = 1679 Hp = 357,2 mm Yh (Am, Hh, Ph) DP - FT (33j - 10j)
1976 - 1977	P = 218 A = 4 Hp = 84, 3 mm Ys (Am, Hm, Ps) DT - FP (15j - 2j)							

PRODUCTION VEGETALE (kg ms/ha)
- T = totale
- A = des annuelles
- P = des pérennes

CARACTERISTIQUES DE LA PLUVIOSITE
- 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

DT, FT = début et fin tardifs de la saison des pluies

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 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. Bien que nous n'ayions pas effectué d'études systématiques sur la germination, il semble que la plupart des espèces pérennes (Plantain, Rhantherium) ne germent bien que si les pluies sont précoces, les plantules pouvant ainsi bénéficier de températures automnales suffisantes pour se développer;

2) les pluies du début de printemps (en particulier 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 ne profite qu'aux plantes pérennes;

3) un nombre élevé de jours de pluie est particulièrement important pour les annuelles, qui ont besoin d'eau dans les horizons de surface du sol. En 1973-1974, par exemple, année à très forte pluviométrie (315,6 mm) sur la station du Km 52 (RK_3), la production des annuelles est restée faible (108 kg/ha) car cette eau abondante a été stockée en profondeur dans le sol (horizon sablo-limoneux) et le nombre de jours de pluie (18 j. seulement) n'a pas permis une humectation suffisamment durable de l'horizon superficiel (sableux). En revanche, cette 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;

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 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 est rapidement sec;

5) l'intensité de la pluie a également une grande influence sur la production. De fortes intensités ont :

- un effet plutôt favorable sur les milieux recevant une quantité d'eau supplémentaire par ruissellement (type ZR);
- un effet négligeable dans le cas des sols sableux profonds et des cultures en zones sableuses (type RK_3);
- un effet très défavorable sur la majorité des milieux où par suite du ruissellement une forte quantité d'eau est évacuée par les oueds (on a noté jusqu'à 59 % de ruissellement en 1973-74 sur RK_1).

../.

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 (régime hydrique des sols; évapotranspiration; rentabilité de l'eau). Une remarque évidente concerne la relation entre la variabilité des pluies et la variabilité de la production : sur une même station on a mesuré une production de 1545 kg MS/ha en année pluvieuse et seulement 218 kg MS/ha l'année sèche suivante. Cependant, la répartition des pluies dans l'année est, comme on l'a vu, déterminante pour la production; une bonne disppnibilité en eau pour les plantes en mars-avril, par exemple, conduira à une bonne production même si les autres saisons sont relativement sèches.

Le problème est compliqué par les successions d'années sèches ou pluvieuses qui agissent sur l'état initial de la végétation au 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 suivante.

4.2 Influence des caractéristiques du sol sur la production primaire

Le sol est le support du végétal, il lui assure son alimentation en eau et certains éléments nécessaires à la photosynthèse. A l'exception des milieux gypseux où la couche de terre exploitable par les racines est très réduite (10 à 20 cm), l'ensemble des stations étudiées présente des profondeurs de sol suffisantes pour un enracinement normal des plantes. Aussi, est-ce par l'ensemble des composantes physiques qui conditionnent le régime hydrique d'un sol, et par la notion de "niveau de fertilité" que nous avons cherché à expliquer les différences importantes, observées dans la production des stations étudiées et, par là même, de dégager un certain nombre de caractères édaphiques qui semblent limiter cette production végétale.

4.2.1 Régime hydrique des sols

En zone aride l'eau est rare, il faut l'économiser; aussi un sol sera d'autant plus favorable qu'il sera capable d'absorber la totalité des précipitations, et d'en restituer la plus grande partie au végétal; le problème est donc posé en termes quantitatif et qualitatif (disponibilité de l'eau pour la plante).

Sur le tableau n°32 nous avons indiqué les principales caractéristiques physico-hydriques moyennes des sols des stations

../.

Tableau n°32 - CARACTERISTIQUES PHYSICO-HYDRIQUES MOYENNES DES SOLS DES STATIONS

STATION	Topographie Pente %	Aspect de la surface du sol	Profondeur[1] utile à la végétation cm	Texture moyenne du sol	Densité apparente moyenne	Humidité moyenne % à pF 2,7	Humidité moyenne % à pF 4,2	Réserve moyenne en eau utile à la végétation (mm)	Déficit[2] moyen en début de saison des pluies des 50 premiers cm (mm)	Efficacité moyenne de la pluie %	Remarques concernant le bilan hydrique des sols
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 self mulching
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 self mulching
RK_1	plane	pellicule battance généralisée	60 - 80	SA	1,46	17,5	5,8	100-120	25-30	65-95	Humectation diff. 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 self mulching
rk_1	plane	"ouvert" mais battant	60-80	SA	1,46	17,5	5,8	100-120	25-30	70-85	Porosité moyenne
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
aa	1,0	"ouvert" mais battant	90-110	TE et LA	1,52	22,0	7,8	195-230	35-40	80-100	Infiltration moyenne 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 (pente) Bon self mulching
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, self mulching moyen
AZ_2	1,5	moyennement battant	15-30	SL	1,43	13,6	4,7	20-40	~~XXXX~~	60-80	Poreux, mais capacité d'absorption insuffis.

Recharge des réserves en eau du sol. Réserve utile. Efficacité de la pluie

A la fin de la saison sèche les premières pluies présentant souvent un caractère orageux avec des intensités de pointe pouvant dépasser 60 mm/h. Aussi les sols battants, présentant même de légères pentes, perdent de l'eau par ruissellement. Ce défaut est d'autant plus important que le sol est riche en éléments fins (AA_1) et que la pente est forte (RK_2 DISSA); sur les steppes sableuses il tend à disparaître surtout si un voile éolien est présent à la surface du sol (RK_3).

Dans le courant de la saison pluvieuse d'autres facteurs interviennent si le sol exploitable est peu profond (AZ_2), le "réservoir" sol arrive très vite à saturation et déborde; si le sol, même profond, a un faible pouvoir de rétention (RK_2 DISSA), sa capacité de stockage est rapidement dépassée et l'eau se perd par drainage et ruissellement.

Nous voyons donc que cette notion de capacité de stockage, sous un climat où très souvent 80 à 90 % de pluviosité annuelle tombe en 4 ou 5 épisodes est très importante. C'est pourquoi nous avons cherché à la relier à la réserve utile à la végétation (Ru).

Cette réserve utile est essentiellement liée à la profondeur, à la densité apparente, à la capacité au champ et au point de flétrissement; la figure n°20 donne sa distribution pour les sols des principales stations; on constate qu'elle peut varier de 20 mm (AZ_2) à 230 mm (AA_1).

Si l'on ne peut pas intervenir facilement sur la capacité de stockage d'un sol, on peut cependant améliorer l'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau en améliorant l'infiltration, soit en brisant la pellicule de battance et en augmentant la porosité de surface par labour (rk_1 et aa_1), soit en favorisant le dépôt de sable éolien (RK_2 redevenant RK_3).

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que l'efficacité de la pluie est aussi très liée aux caractéristiques des averses , et que, même sur des milieux tels que RK_3 et ZR, réputés pouvoir absorber la totalité de la pluviosité annuelle, en 1973-1974, l'efficacité a été inférieure à 100 % en raison des averses torrentielles de décembre (cf. tableau n°33).

Etat de l'eau dans le sol, disponibilité pour le végétal

Nous avons admis que les plantes ne peuvent plus s'alimenter en eau lorsque le sol est au point de flétrissement (pF 4,2); cela est vrai pour les annuelles. Cependant il semble que certaines espèces de la steppe peuvent extraire l'eau du sol au-delà de 16 atmosphères et photosynthétiser. Néanmoins, d'une façon générale, ona pu constater que dès que le sol atteint le point de flétrissement, la photosynthèse est pratiquement nulle sur la majorité des espèces.

../.

Tableau n°33 - COEFFICIENT D'EFFICACITE DE LA PLUIE DANS LA RECHARCHE DES RESERVES EN EAU DU SOL (K_e en %) POUR LES DIFFERENTES STATIONS

MILIEUX	STEPPE DES MILIEUX SABLEUX							STEPPE DES GLACIS LIMONEUX		STEPPE DES ZONES GYPSEUSES	PELOUSE DES FONDS ALLUVIAUX
Station / Année	RK_3 Km 52	RK2 Km 52	rk2 Km 52 (jachère)	rk2 Km 52 (labour)	RK_1 Km 47	rk_1 Km 47 (labour)	RK_2 DISSA	AA_1 Telmam (jachère)	aa Telmam (labour)	AZ_2 Km 8	ZR Zerkine
1971-1972	100										112
1972-1973	107						100	88		68	120
1973-1974	93	60	70	85	41	60	77	68	81	61	75
1974-1975	100	95	100	100	92	100	100	88	100	60	110
1975-1976	100	-	100	100			90	87	100		120
1976-1977	100	-	100	100				95	100		

$$K_e = \frac{\text{Pluie efficace}}{\text{Pluie totale}}$$

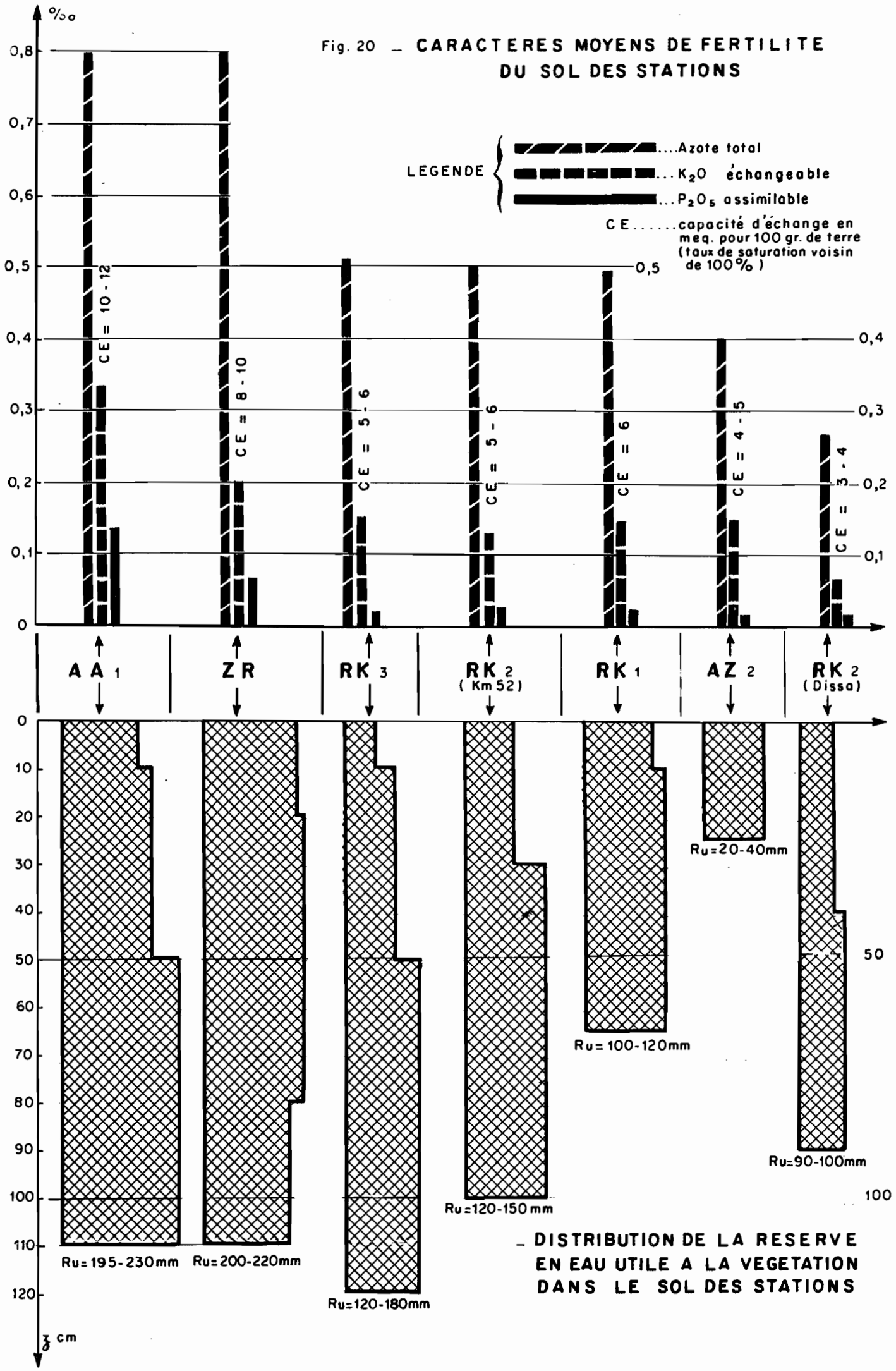


Fig. 20 _ CARACTERES MOYENS DE FERTILITE DU SOL DES STATIONS

_ DISTRIBUTION DE LA RESERVE EN EAU UTILE A LA VEGETATION DANS LE SOL DES STATIONS

Etat des réserves au début et à la fin de la saison des pluies

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_1) 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). L'explication que l'on peut donner est la suivante :

A la fin de la saison sèche, l'état hydrique des sols de l'ensemble des stations est sensiblement le même (cf. fig. n°21); par contre, le déficit hydrique pour l'alimentation en eau du végétal est très différent suivant les stations. 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.

Nous voyons donc qu'avec une pluie efficace, de 15 à 20 mm sur RK_3 la végétation peut redémarrer, alors qu'il faut 40 à 45 mm sur AA_1, et 25 à 30 mm sur RK_1, pour avoir le même effet. Encore faut-il que cette pluie du début de l'automne tombe en une seule fois.

De même, 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 à la végétation bien inférieure à celle des milieux sableux. On peut dire qu'en moyenne, pour un sol humecté jusqu'à 1 mètre, ce sont 50 à 60 mm supplémentaires qui sont nécessaires sur AA_1 pour maintenir le sol au même potentiel matriciel que celui de RK_3, sur l'ensemble de l'année. Ceci représente le tiers de la moyenne interannuelle des précipitations!

En conclusion nous dirons que pour une même pluie :

sur les milieux sableux sans pellicule de battance généralisée, l'eau est totalement infiltrée et est facilement utilisable par le végétal, alors que sur les milieux limoneux une partie de l'eau est perdue par ruissellement et est plus difficilement utilisable par la végétation; ceci explique en partie la grande attraction des steppes sableuses pour la céréaliculture qui valorise mieux les pluies en année moyenne ou déficitaire;

Economie de l'eau, perte par évaporation, en fonction du type de sol

Sur le graphique de la fig. n°22, nous avons porté pour deux milieux différents (RK_3 et AA_1), les évolutions annuelles de la pluie efficace mensuelle (ΣPm) cumulée et de l'évaporation mensuelle cumulée (ΣEm) sur sol nu, durant l'année 1975-76.

../.

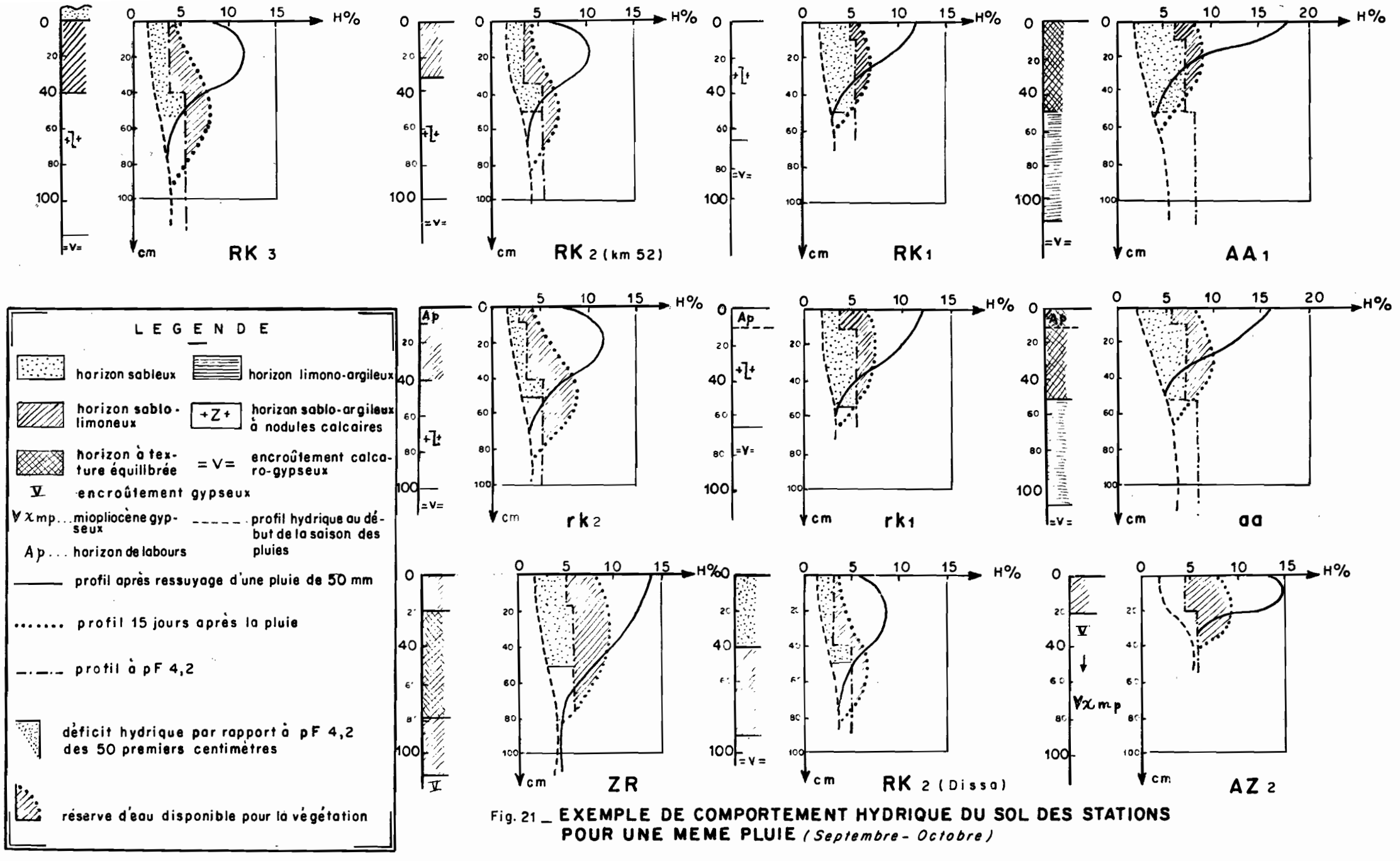
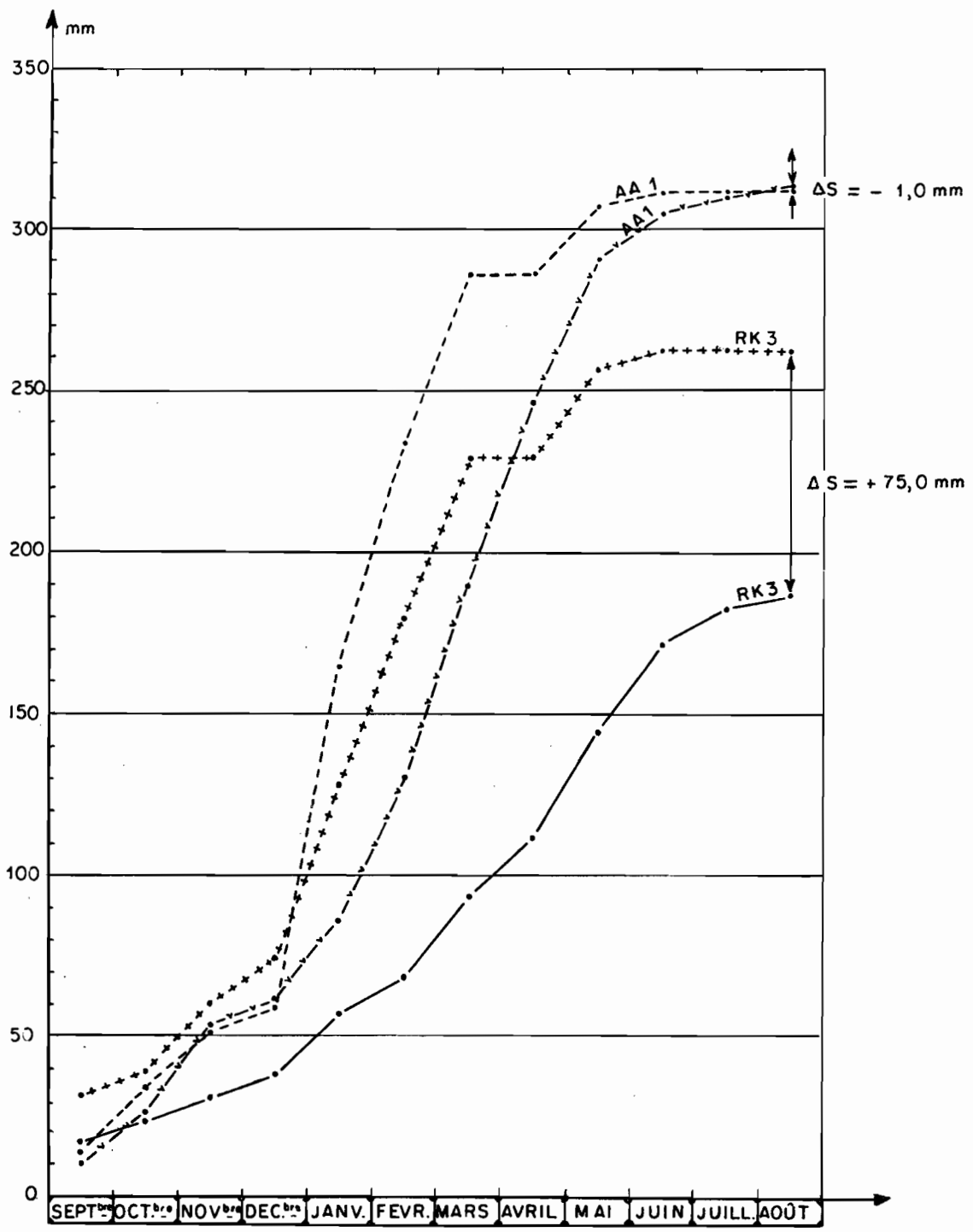


Fig. 21 _ **EXEMPLE DE COMPORTEMENT HYDRIQUE DU SOL DES STATIONS POUR UNE MEME PLUIE** *(Septembre - Octobre)*

Figure n° 22 _ EVAPORATION COMPAREE, SUR SOL NU, D'UN MILIEU SABLEUX (RK 3) ET D'UN MILIEU LIMONEUX (AA 1)

(Saison 1975-1976)



LEGENDE

+ + + + + + + Pluie efficace mensuelle cumulée — RK 3

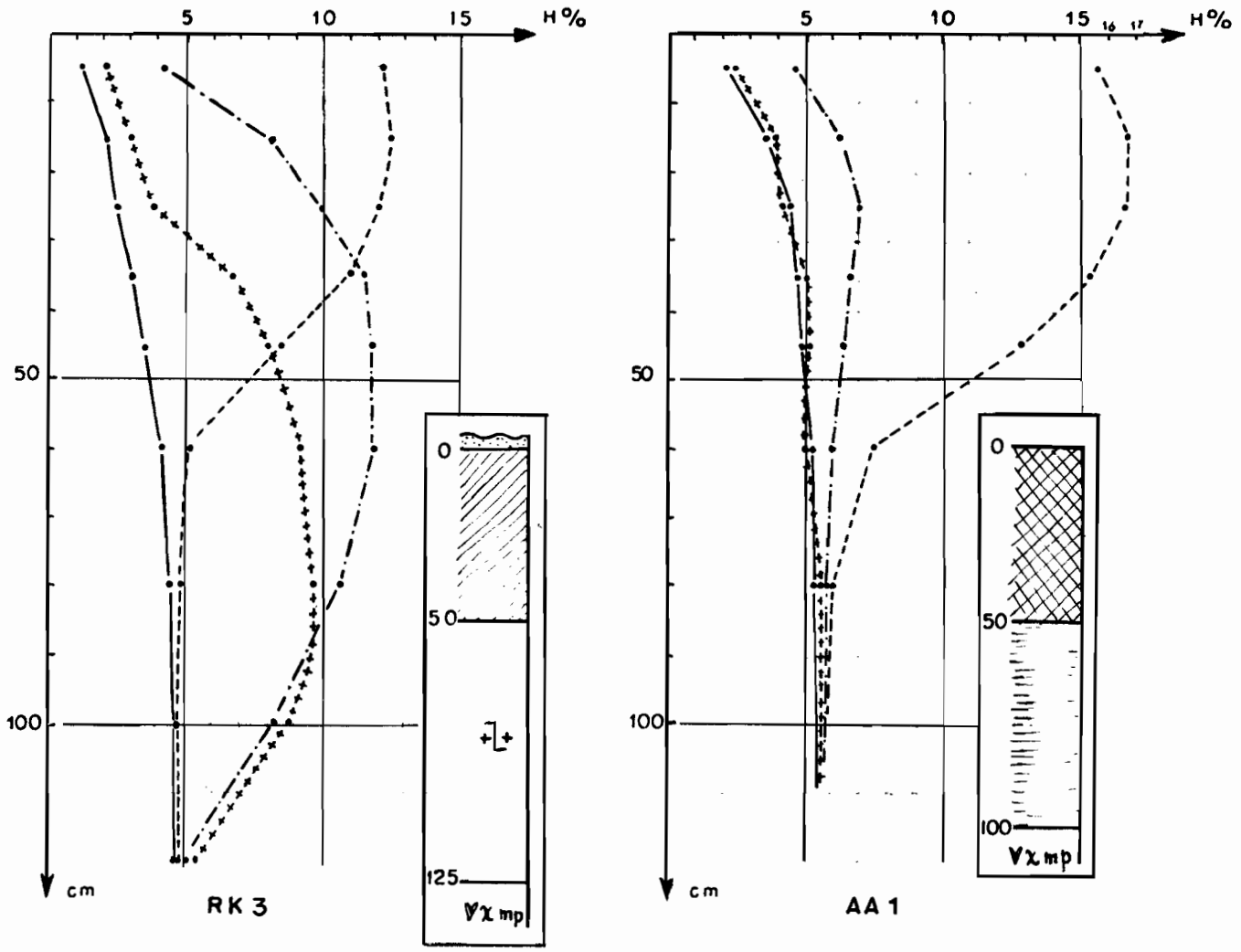
——————— Evaporation mensuelle cumulée — RK 3

- - - - - - - - - Pluie efficace mensuelle cumulée — AA 1

—v—v—v—v— Evaporation mensuelle cumulée — AA 1

Figure n°23 - EVOLUTION COMPAREE DU PROFIL HYDRIQUE SUR SOL NU D'UN MILIEU SABLEUX (RK3) ET D'UN MILIEU LIMONEUX (AA1)

1975-1976



LEGENDE

1-9-75

16-1-76

29-4-76

7-8-76

Voile éolien sableux

Matériau sablo-limoneux

Matériau sablo-argileux à nodules calcaires

Matériau à texture équilibrée

Matériau limono-argileux

Miopliocène gypseux

On constate que :

- malgré une hauteur d'eau de pluie infiltrée supérieure, la totalité (310mm) est évaporée sur AA_1 dès le 15 juillet, alors que RK_3, à la fin du mois d'août, a seulement évaporé 180 mm sur les 260 mm infiltrés;
- l'évaporation moyenne journalière entre le 15 janvier et le 15 mai est de 1,62 mm/j sur AA_1 contre 0,74 mm/j sur RK_3, soit plus du double et ceci pour des réserves en eau très comparables au 15 janvier.
  Sur la fig. n°23 nous avons porté les principaux états du profil hydrique au cours de la même année, qui nous permet d'expliquer les différences entre les deux milieux :
  - RK_3 s'humecte profondément et constitue des réserves importantes en profondeur à la fin du printemps, ceci étant dû à la forte porosité des 50 premiers centimètres. Une partie de cette eau se conserve tout au cours de l'été, le voile éolien et la partie supérieure de l'horizon sablo-limoneux constituant un écran efficace contre l'évaporation ("mulch").
  - AA_1 s'humecte difficilement (pellicule de battance, mauvaise porosité d'ensemble) au-delà de 70 cm et ne peut constituer des réserves d'eau en profondeur; celle-ci est très vite reprise par l'évaporation, en raison d'une forte capillarité due principalement à la texture limoneuse.

Ces différentes remarques mettent donc en évidence les défauts majeurs des sols limoneux du Sud tunisien, faible humectation et fort pouvoir évaporant, et les énormes avantages des sols sableux sur le plan de l'économie de l'eau.

Economie de l'eau en fonction de l'utilisation du sol

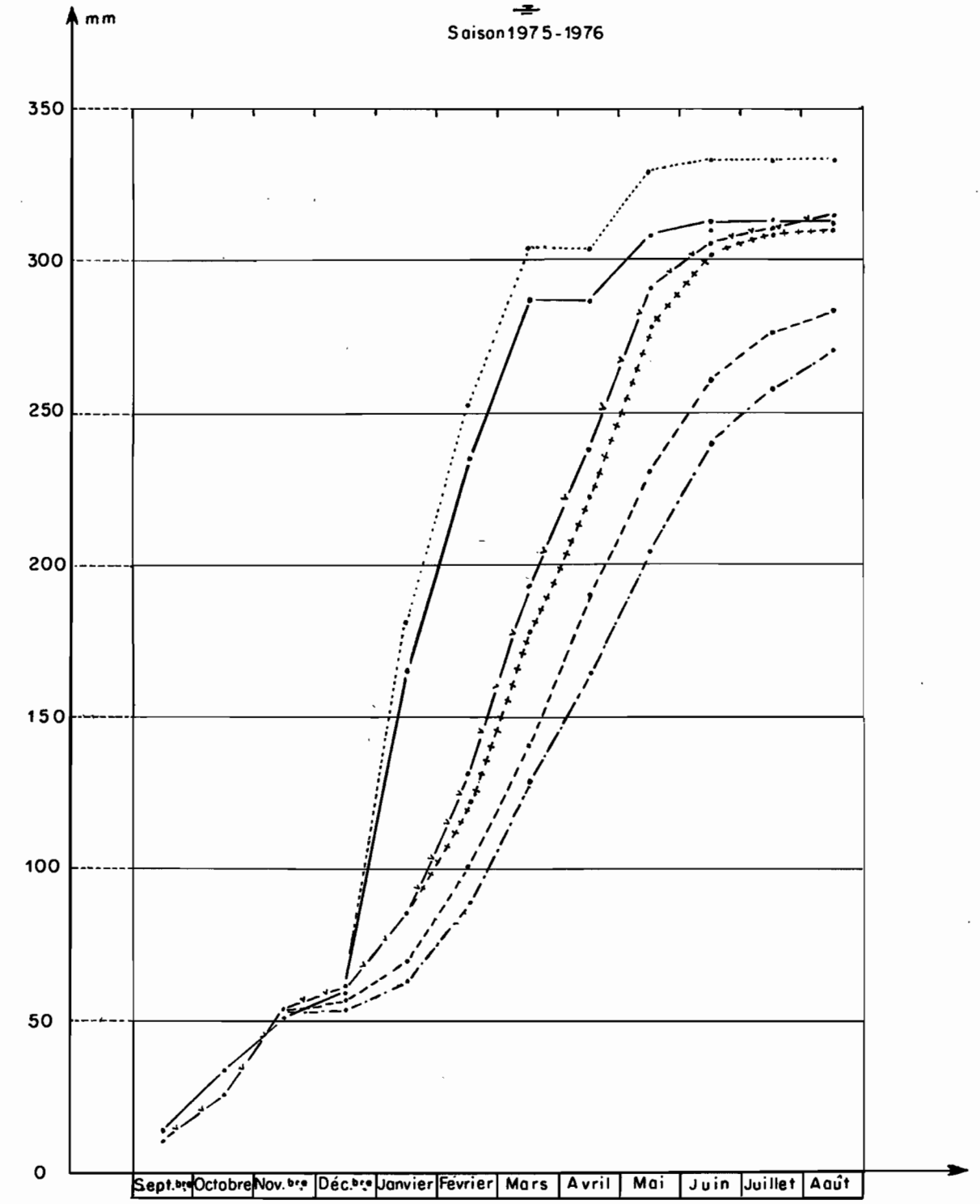
Pour deux stations (sols sableux et sols limoneux), pour l'année la plus arrosée (1975-1976)et pour trois traitements du sol* : sol nu (désherbé et stérilisé), parcours (RK_3 - AA_1) et sol emblavé en céréales (rk_2 - aa_1), nous avons suivi au cours de l'année l'évolution des réserves hydriques; nous en avons déduit,pour chaque milieu :

- l'évolution de la pluie efficace mensuelle sur chaque traitement
- l'évolution de l'évaporation mensuelle du sol nu
- l'évolution de l'évaporation du sol de la jachère travaillée (aa)
- l'évolution de l'ETR mensuelle du traitement maintenu en parcours (production totale 1545 kg MS/ha sur RK_3 et 1679 kg MS/ha sur AA_1)
- l'évolution de l'ETR mensuelle de la culture de céréales (8 qx/ha pour rk_2 et 11 qx/ha pour aa) dont nous avons porté les évolutions comparées sur les fig. n° 24 et n° 25.

* (plus une jachère travaillée sur aa)

../.

Figure n° 24 — COMPARAISON DE L'EVAPORATION ET DE L'ETR SUR UN MILIEU LIMONEUX EN FONCTION DE L'UTILISATION DU SOL

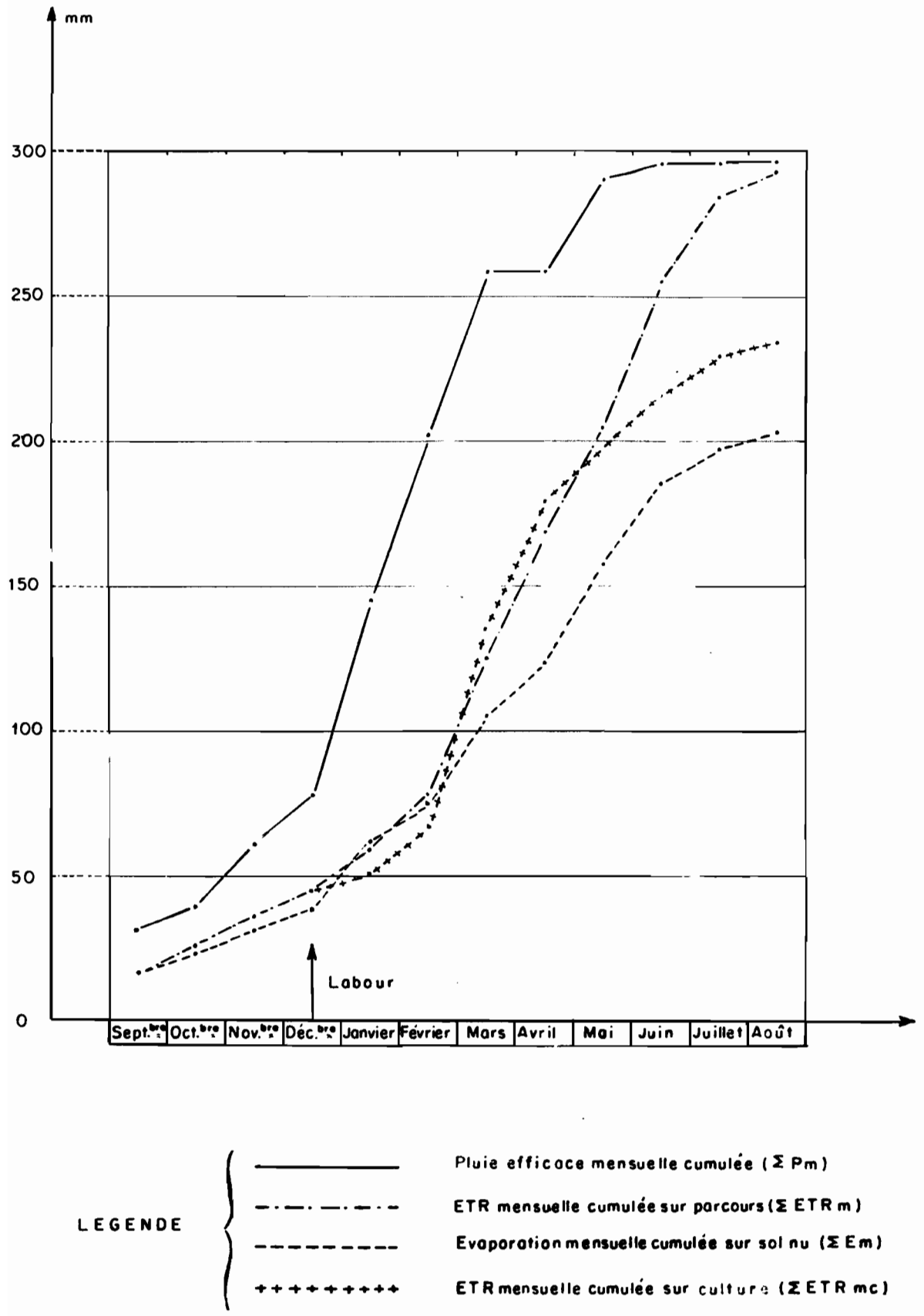


LEGENDE

- pluie efficace mensuelle cumulée (parcours, sol nu)
- " " " (culture - jachère)
- évaporation " " (sol nu)
- " " " (jachère)
- ETR mensuelle cumulée (parcours)
- " " " (culture)

Figure n° 25 — COMPARAISON DE L'EVAPORATION ET DE L'ETR SUR UN MILIEU SABLEUX EN FONCTION DE L'UTILISATION DU SOL

Saison 1975-1976



Ayant déjà comparé ultérieurement l'évaporation sur sol nu deux deux milieux, il ressort que :

- sur les steppes sableuses, l'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau reste identique sur les trois traitements. Par contre, il apparaît que le terrain de parcours, compte tenu de sa production, utilise mal l'eau. 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 le fait est encore plus marquant, non seulement la culture de céréales 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 pastorale 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. Notons que la jachère travaillée n'économise que 15 mm par rapport à la mise en culture, mais 60 mm par rapport au sol nu non travaillé.

En conclusion nous voyons l'intérêt des pratiques culturales et de la céréaliculture sur l'économie de l'eau du sol et ceci même sur les milieux sableux qui présentent cependant un bon self mulching, et le manque d'intérêt d'une jachère travaillée (60 mm d'économisés) surtout si les pluies de l'année suivante sont tardives, sur les milieux limoneux. Néanmoins, si la culture des céréales utilise mieux l'eau, il ne faut pas perdre de vue qu'elle n'est souvent qu'épisodique (aléas climatiques) et qu'elle entraîne une dégradation catastrophique sur les sols sableux.

4.2.2 Fertilité des sols

Sur le tableau n°34 et la fig. n°20 nous donnons les principales caractéristiques chimiques ainsi que le niveau moyen de fertilité des sols des stations.

D'une façon générale, on constate que :

- l'ensemble des sols ne présente aucun défaut d'acidité, aucune carence en Ca ou Mg, ni de défaut majeur de salure (à l'exception des horizons profonds des sols de séguis AA_1 et des bas-fonds alluviaux ZR);
- par contre si tous les sols sont assez riches en potasse, les réserves en P_2O_5, azote total et matière organique sont faibles à moyennes suivant les cas;

../.

Tableau n°34 - 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 ‰ échant.	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	faible
	20-50	0,4	0,6	0,016	0,14	5,0	8,1	1,6	22,0	0,5	
	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	faible
	20-50	0,4	0,3	0,015	0,13	5,0	8,0	1,6	21,0	traces	
	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	faible
	20-50	0,4	0,5	0,030	0,14	6,0	8,0	1,5	21,0	0,2	
	50-70	0,4	0,6	0,015	0,16	6,0	8,1	1,6	29,0	0,4	
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	moyen
	20-50	0,6	0,9	0,118	0,28	11,0	8,2	5,8	16,2	8,0	
	50-70	0,4	0,7	0,125	0,33	10,5	8,1	12,0	14,0	17,5	
aa (labour)	0-20	0,7	0,7	0,110	0,32	11,0	8,2	4,1	15,5	0,4	moyen
	20-50	0,6	0,8	0,153	0,30	10,5	8,5	5,0	14,2	7,8	
	50-70	0,4	0,9	0,125	0,37	11,0	8,3	11,2	13,0	19,0	
ZR	0-25	0,7	0,9	0,066	0,20	9,0	8,1	1,5	10,0	1,0	moyen
	25-50	0,5	0,8	0,059	0,22	10,0	8,3	2,3	12,0	0,7	
	50-70	0,5	0,8	0,065	0,20	11,5	7,9	6,2	12,5	1,0	
RK_2 DISSA	0-25	0,4	0,3	0,012	0,08	3,5	8,3	1,2	11,5	1,0	très faible
	25-50	0,3	0,2	0,014	0,09	4,5	8,2	1,0	15,0	0,8	
	50-70	0,2	0,2	0,010	0,07	5,0	8,2	2,5	20,0	1,0	
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	

- le niveau de fertilité est très différent d'une station à une autre : le taux de phosphore assimilable est 10 fois plus élevé sur les sols de séguí du Telmam que sur les piemonts sableux du Dissa; les teneurs en azote total varient de 1 à 3 et la capacité d'échange de 1 à 2, etc... Aussi nous avons estimé que :

  AA_1 et ZR ont une fertilité moyenne
  RK_3, RK_2 et RK_1 ont une fertilité faible
  RK_2 (Dissa) et AZ_1 ont une fertilité très faible.

Dans l'ensemble le niveau de fertilité est bas et pose de nombreux problèmes à l'aménageur désireux d'accroître la production végétale.

4.2.3 Essai de classement des sols pour la production primaire

Deux critères sont pris en considération :

- le comportement hydrique
- le niveau moyen de fertilité.

Les sols qui présentent le meilleur comportement hydrique vis-à-vis d'un régime pluviométrique déjà peu favorable (forte intensité, répartition aléatoire, etc..) sont donc ceux qui :

- offrent une infiltration rapide (absence de pellicule de battance généralisée, de pente, présence d'un horizon superficiel sableux à sablo-limoneux);
- ont une profondeur suffisante,
- peuvent stocker l'eau en profondeur pour les périodes déficitaires (rôle "tampon" de l'horizon à nodules calcaires dans le régime hydrique);
- offrent un écran contre l'évaporation (voile sableux, horizon de surface sablo-limoneux) .

Nous citerons donc dans un ordre d'apritude "hydrique" décroissante : 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 croûte 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, RK2, 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 humectés (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 milieux les moins productifs. Notons l'excellent niveau de AA_1 (sols de séguis) lors des années très arrosées.

4.3 Influence de l'état initial de la végétation

Nous avons peu de données sur l'influence de l'état initial de la végétation sur la production, sauf dans les steppes des zones sableuses où les mesures ont porté sur plusieurs stades de dégradation (RK_3, RK_2, RK_1) d'une même séquence de végétation. Le tableau n°35 donne la phytomasse aérienne moyenne initiale au début de l'automne pour ces trois stations ainsi que la production moyenne obtenue.

Tableau n°35 - Comparaison des productions des stations RK_3, RK_2, RK_1 (moyenne de deux années de mesure)

	Phytomasse aérienne à l'état initial (B) (début automne)	Production des plantes pérennes (p)	Production totale (T) (annuelles +pérennes)	$\frac{p}{T}$ x100	$\frac{T}{B}$ x100
Steppe à Rhantherium en bon état (RK_3)	1615	840	1036	79 %	64 %
Steppe à Rhantherium en état moyen (RK_2)	750	496	576	86 %	77 %
Steppe à Rhantherium en mauvais état (RK_1)	200	542	591	92 %	295 %

Il ressort de ce tableau que la production totale (T) est loin d'être proportionnelle à l'état initial de la végétation (B). Par exemple la station très surpâturée (RK_1), grâce à la mise en défens, voit

../.

une reconstitution rapide et une production très forte relativement à la phytomasse initiale ($\frac{T}{B}$ = 295 %). Cependant la steppe en bon état (RK3) est de loin celle qui produit le plus; la part des annuelles dans la production y est la plus forte par rapport aux autres stations ($\frac{P}{T}$ = 79 %).

Ces résultats soulignent l'intérêt d'une mise en défens, surtout de courte durée, dans les steppes des zones sableuses.

4.4 Production primaire et évapotranspiration réelle

4.4.1 ETR annuelle et production primaire annuelle

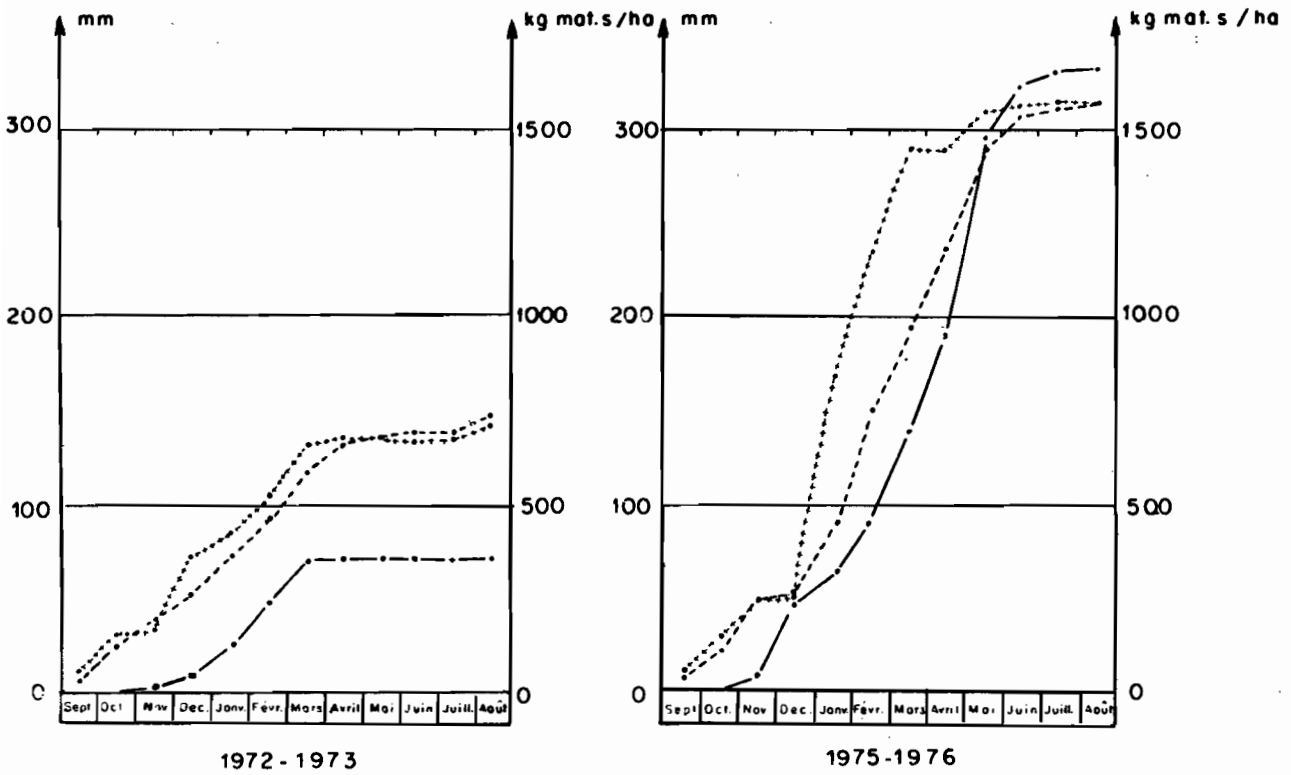
Sur les fig. n° 26 et 27, nous avons porté pour 3 années types (pluvieuse, moyenne et sèche) et pour 2 stations différentes (sol sableux RK_3 et sol limoneux AA_1), les courbes cumulées de la pluie efficace mensuelle ($\sum P$), de l'ETR mensuelle ($\sum ETR$) et de la production mensuelle de la végétation aérienne spontanée ($\sum V$). De ces graphiques, qui donnent une appréciation globale des relations pluies-ETR-production végétale, on peut dire que :

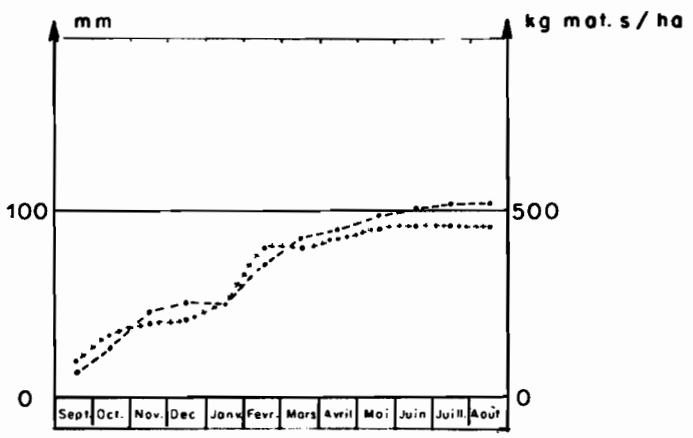
- quelle que soit la pluviosité de l'année, on constate que la totalité des pluies infiltrées est évapotranspirée. Ceci est vérifié sur l'ensemble des autres stations, à l'exception des fonds alluviaux (ZR);
- sur les milieux sableux et à l'exoeption des années pluvieuses, la totalité des pluies est évapotranspirée à la fin du printemps (entre le 1er et le 15 mai);
- la production en automne et en hiver est proportionnellement plus faible par rapport à l'ETR qu'au printemps, ce qui revient à dire que l'eau est mieux utilisée au printemps par la végétation;
- la différence entre $\sum P$ et $\sum ETR$ exprimant l'état des réserves en eau du sol est toujours plus importante sur les milieux sableux que sur les milieux limoneux;
- en année sèche ($P < 100$ mm) sur AA_1, la pluie est immédiatement évaporée sans production végétale, alors que sur RK_3, l'eau peut rester quelques temps dans le sol et permet pendant une courte période une certaine pousse de la végétation.

Bien que l'eau soit le principal facteur limitant, il ne nous a pas été possible de définir des liaisons directes significatives entre les différentes caractéristiques de la pluviosité et la production primaire annuelle.

../.

Figure 26 _ EVOLUTIONS COMPAREES DE LA PRODUCTION PRIMAIRE, DE LA PLUIE ET DE L'ETR, SUR UN MILIEU LIMONEUX (AA1)

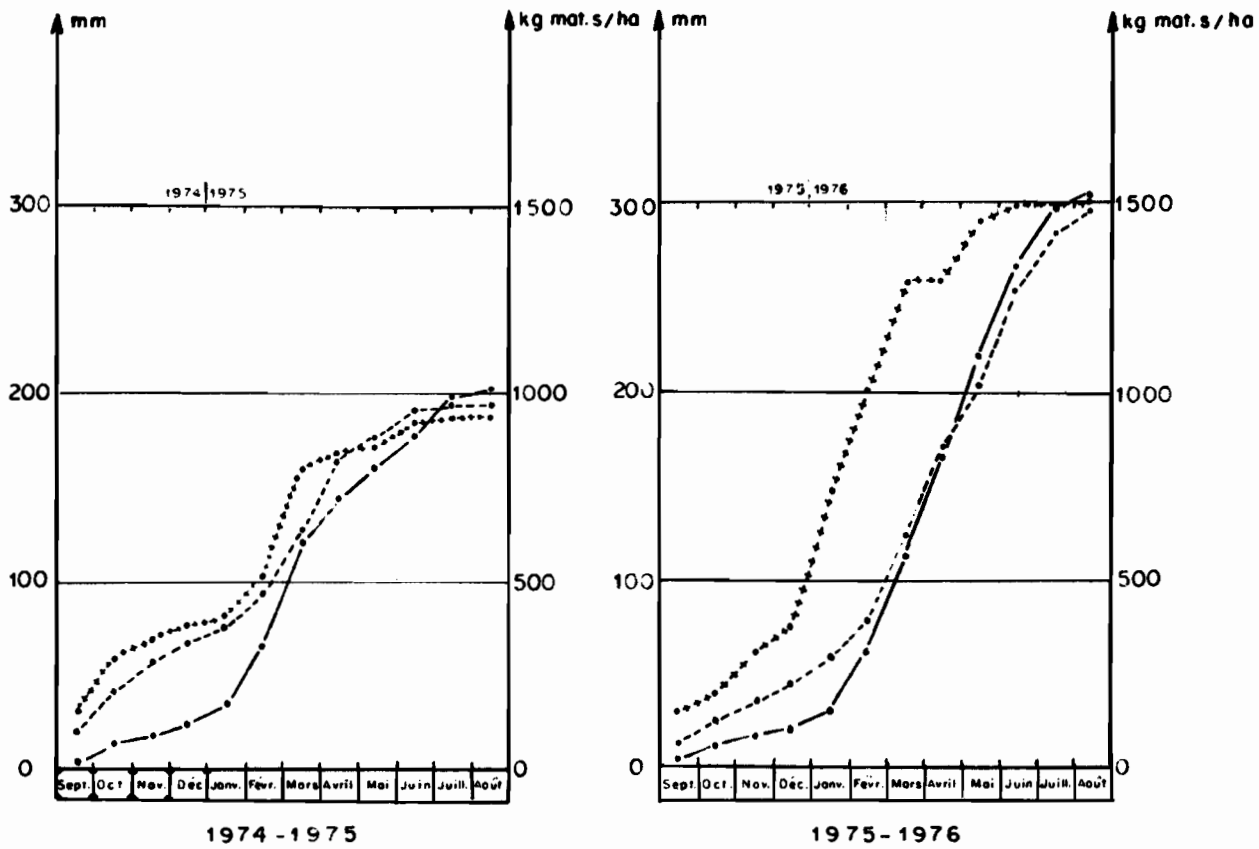


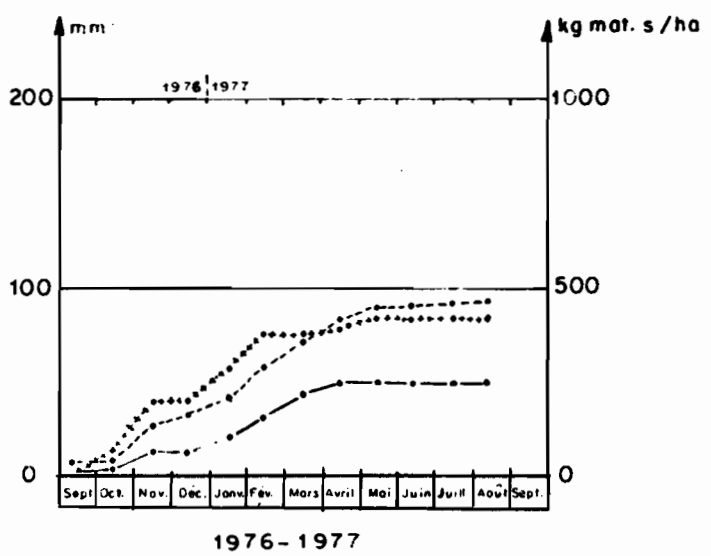


(étant négligeable, la production de la végétation n'a pas été mesurée.)

LEGENDE
- Production primaire
- ETR
- Pluie

Figure n° 27 - EVOLUTIONS COMPAREES DE LA PRODUCTION PRIMAIRE, DE LA PLUIE ET DE L'ETR, SUR UN MILIEU SABLEUX (RK 3)





LEGENDE

——— Production primaire

– – – – – – ETR

+ + + + + + + Pluie

Par contre sur le graphique de la fig. n°28, où nous avons porté la production primaire annuelle aérienne (V), en fonction du rapport

$$\frac{\text{ETR annuelle (en mm)}}{\text{Evaporation Piche annuelle (en mm)}} = \frac{ETR}{Eo}$$

pour les stations où nous disposions d'un évaporimètre Piche, nous définissons la droite de régression :

$$V \text{ (en kg MS/ha)} = 14878 \frac{ETR}{Eo} - 368 \qquad (r = 0,90)$$

Le rapport $\frac{ETR}{Eo}$ permet d'intégrer la pluie efficace, puisque 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. Les variations de ce rapport appellent les remarques suivantes :

- en année pluvieuse (pluie et ETR élevées), la production est 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.

4.4.2 Accroissement moyen journalier de la production primaire et ETR moyenne journalière

4.4.2.1 Accroissements moyens journaliers de la production primaire

Les accroissements moyens journaliers de la partie aérienne de la végétation (ΔV) figurent sur le tableau n°36, pour différentes saisons. 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). On a vu que les sols limoneux sont relativement riches en éléments nutritifs; d'autre part, la saison de végétation (exclusivement des annuelles) 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: 20kg de MS/ha/j entre le 25 mars et le

../.

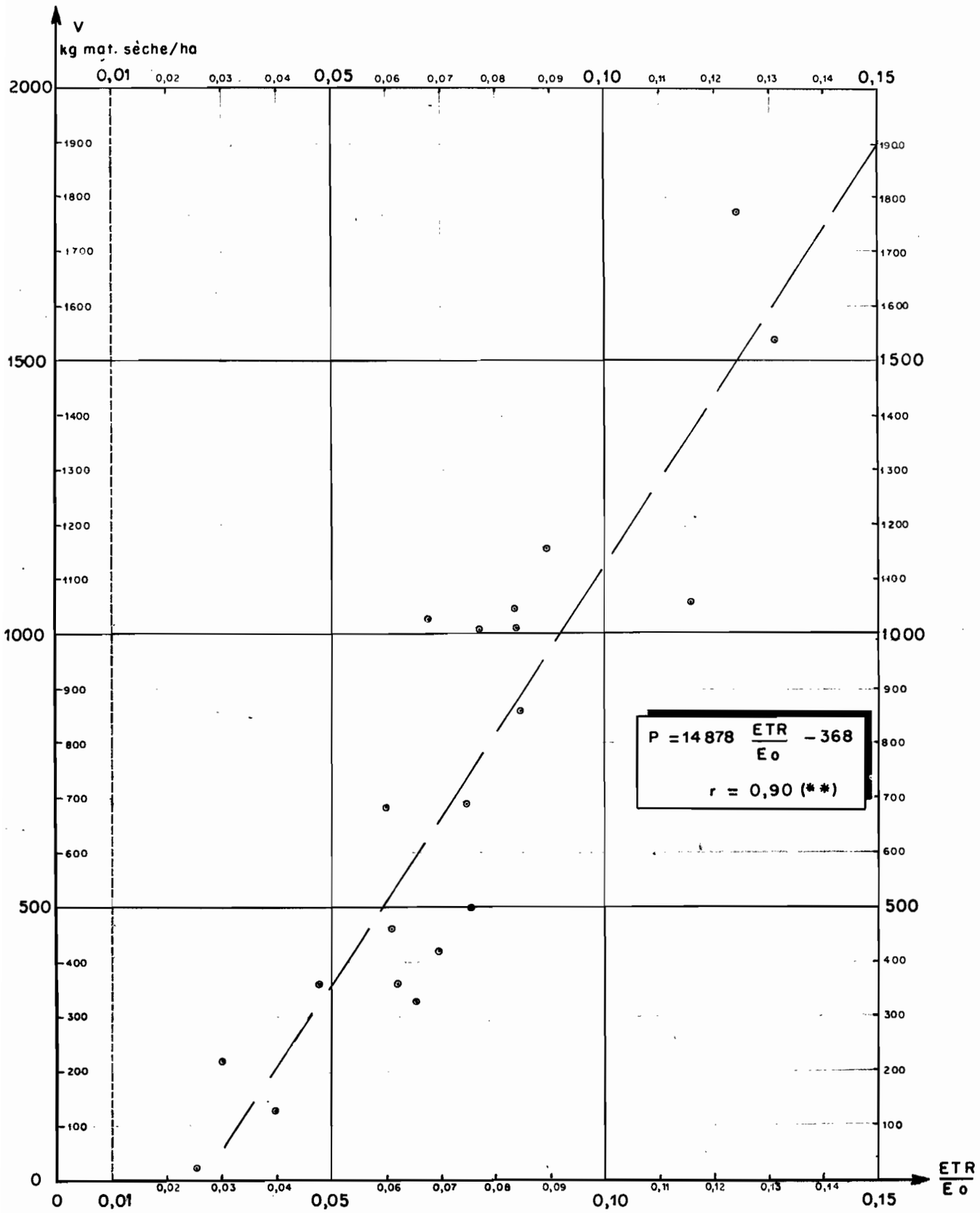
Tableau n°36 - Quelques exemples d'accroissement moyen journalier de la production primaire et de l'ETR moyenne journalière

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
	sept. oct. mi-nov.	0,3									
1971-1972	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				
	sept. oct. mi-nov.	1,6		4,4			0,42		0,63		
1972-1973	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				
	sept. oct. mi-nov.	0			0,4		0,16			0,48	
1973-1974	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			
	sept. oct. mi-nov.	1,1			1,5		0,70			0,66	
1974-1975	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			
	sept. oct. mi-nov.	0,7					0,43				
1975-1976	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				
	sept. oct. mi-nov.	0,5					0,29				
1976-1977	mi-nov. déc. mi-janv.	0,8					0,30				
	mi-janv. févr. mars	1,6					0,54				
	avril - mai - juin	0,4					0,25				

Figure 28

RELATION ENTRE

LA PRODUCTION PRIMAIRE ANNUELLE ET $\frac{\text{ETR annuelle}}{\text{Piche annuelle}}$



22 avril 1974). On est cependant loin des 160-180 kg MS/ha/j mesurés par VAN KEULEN (1975) en Israël sur des stations assez comparables (mais avec fertilisation).

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 à 44 kg MS/ha/j entre le 28 mars et le 17 avril 1972.

Les steppes sableuses comportant de nombreuses pérennes (HK_3) ont leurs 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.

Le maximum de croissance hivernale observée (HK_3 en 1972-73) est de 4,9 kg MS/ha/j, ce qui n'est pas négligeable.

Par ailleurs, comme on l'a déjà remarqué, les pertes de matière sèche sur pied, par chute du matériel végétal sec après la période de croissance, peuvent être très importantes en raison des vents de sable souvent violents. Les taux les plus forts s'observent pour les stations où les annuelles dominent dans la production : on note par exemple 6,4 kg de perte de matière sèche sur pied/ha/j sur la station ZR entre le 5 avril et le 15 juillet 1976.

4.4.2.2 Variations saisonnières de l'ETR moyenne journalière

L'ETR moyenne journalière ($\overline{m}$ ETR) est très variable au cours de l'année et suivant les stations; nous avons pu enregistrer les maxima suivants sur les stations ci-après :

ZR (1ère décade avril 1974) $\overline{m}$ ETR = 2,54 mm/j alors qu'il était tombé 433,1 mm

AA_1 (3ème décade mars 1974) $\overline{m}$ ETR = 2,13 mm/j alors qu'il était tombé 360,0 mm

AZ_2 (3ème décade mars 1974) $\overline{m}$ ETR = 2,00 mm/j alors qu'il était tombé 255,4 mm

HK_3 (3ème décade mars 1974) $\overline{m}$ ETR = 1,92 mm/j alors qu'il était tombé 305,3 mm

../.

A l'inverse, en juillet et août, sur toutes les stations, $\bar{m}$ ETR est proche de zéro. Nous dirons qu'en général pour un <u>état des réserves en eau du sol à peu près identique</u> :

- sur les milieux sableux $\bar{m}$ ETR est deux fois plus importante en avril - mai juin qu'en hiver, et 1,5 fois plus importante qu'à la fin de l'automne;
- sur les milieux limoneux $\bar{m}$ ETR est 3 fois plus importante en avril - mai - juin qu'en hiver et 2 fois plus importante qu'à la fin de l'automne.

Nous voyons donc que si nous voulons comparer le pouvoir évapotranspirant de chaque unité, et qui plus est de chaque période de l'année pour des milieux ne présentant pas le même état de réserve hydrique, nous sommes amenés à pondérer les valeurs de $\bar{m}$ ETR par un coefficient K faisant intervenir l'état hydrique du sol; en plus sachant que lorsque l'état hydrique S du sol tend vers une valeur critique S_0 (état de dessèchement permanent), $\bar{m}$ ETR tend vers zéro, on peut exprimer K de la façon suivante :

$$K = \bar{m}\,ETR \cdot \frac{1}{St_i - S_0} = \frac{(P-R) - \Delta S}{\Delta t} \quad \frac{1}{St_i - S_0}$$

où $P - R$ = pluie efficace (en l'absence de drainage)

ΔS = variation des réserves en eau du sol entre t_i et t_{i+1}

St_i = réserve en eau du sol à t_i

Δt = nombre de jours entre t_i et t_{i+1}

S_0 = réserve en eau du sol du profil hydrique au dessèchement permanent

$\bar{m}$ ETR = ETR moyenne journalière entre t_i et t_{i+1}

A titre d'exemple sur le graphique de la fig. n° 29, nous avons porté l'évolution annuelle du K moyen (sur 4 années connues) de deux milieux représentatifs RK_3 et AA_1. Il varie de 0,004 à 0,011 sur RK_3 alors que sur AA_1 l'amplitude est plus importante de 0,005 à 0,020; ceci traduit un pouvoir évapotranspirant du milieu pratiquement deux fois plus fort 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 grossièrement l'ETR de la période qui suit, pour un milieu donné . $\bar{m}$ ETR = K $(St_i - S_0)$.

../.

Figure 29 - EVOLUTION ANNUELLE DU COEFFICIENT 'K' MOYEN SUR UN MILIEU SABLEUX (RK 3) ET UN MILIEU LIMONEUX (AA1)

Période de 1972 à 1976

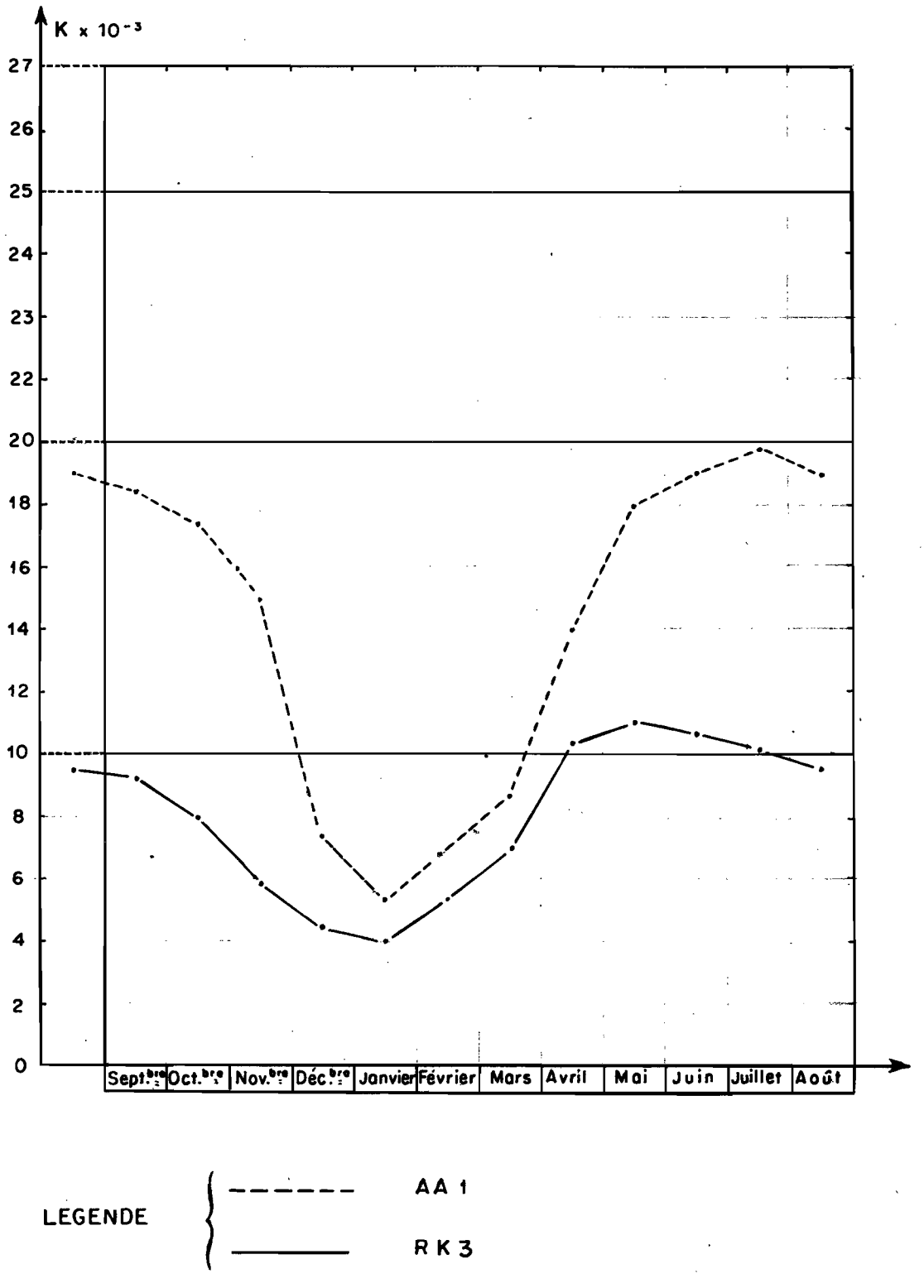
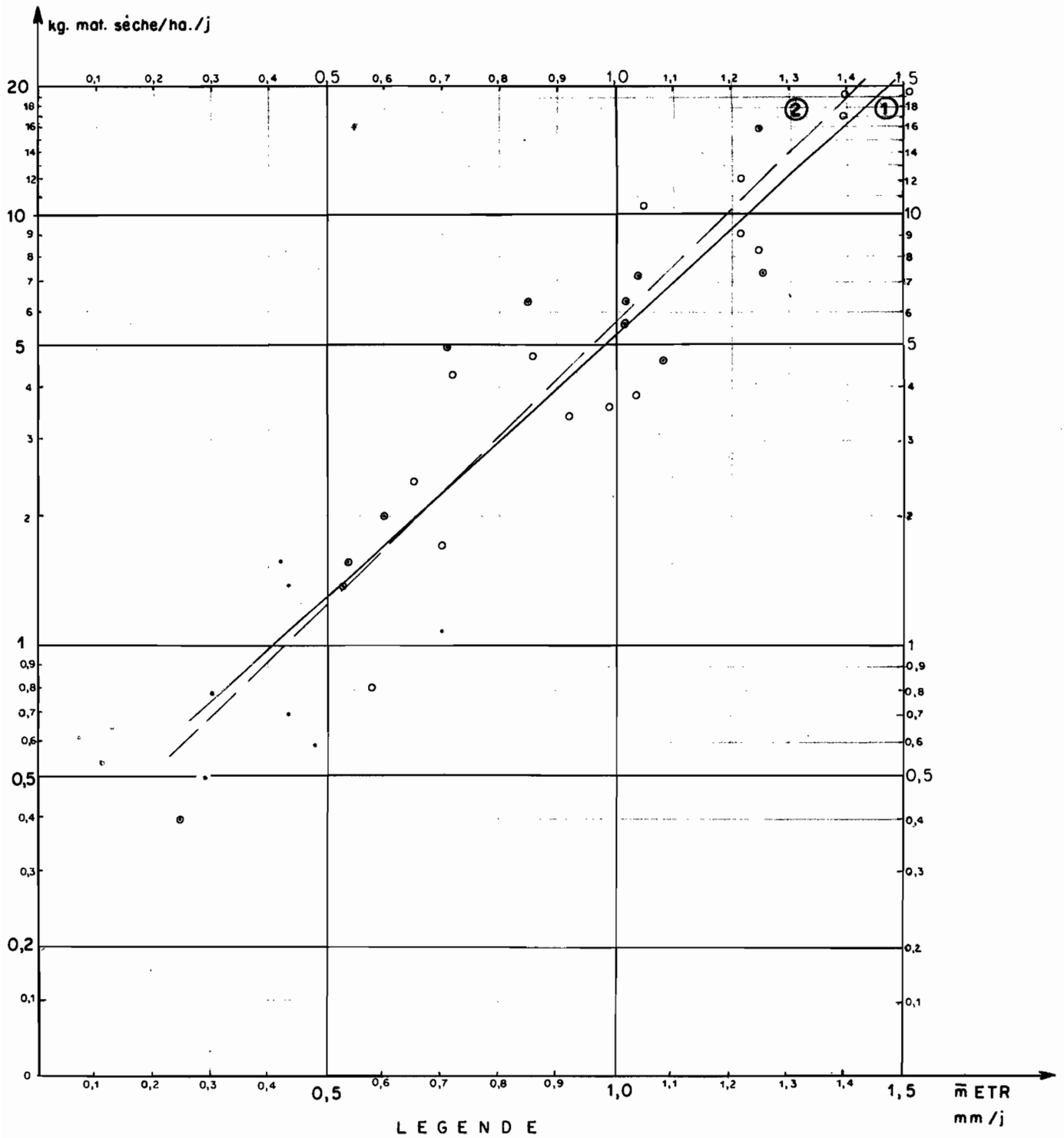


Figure n° 30 - **RELATION ENTRE L'ACCROISSEMENT MOYEN JOURNALIER DE LA PRODUCTION PRIMAIRE ET L'ETR MOYENNE JOURNALIERE**

1 – sur les principales stations (du 15 janvier au 1er juin 1976)

2 – sur RK 3 durant toute l'année



4.4.2.3 Relations entre l'accroissement moyen journalier de la production primaire et l'ETR moyenne journalière

Constatant que les accroissements de la végétation étaient proportionnels à l'ETR, nous avons été amenés à chercher les relations existant entre l'accroissement moyen journalier de la production primaire (ΔV) et l'ETR moyenne journalière ($\bar{m}$ ETR) correspondant à la même période. La régression entre ΔV et $\bar{m}$ ETR pour RK_3, durant six années, et pour toutes les périodes de l'année, à l'exception de la saison sèche (21 couples de valeurs) peut s'exprimer par la relation suivante (cf. fig. 30):

$$\log \Delta V = 1,29\ \bar{m}\ ETR - 0,55 \text{ avec } r = 0,92^{(**)}$$

alors que la régression pour les mêmes variables sur l'ensemble des stations principales citées dans le tableau n°36 et pour la période allant de la fin de l'hiver à la fin du printemps (27 couples de valeurs) se présentent sous la forme :

$$\log \Delta V = 1,21\ \bar{m}\ ETR - 0,49 \text{ avec } r = 0,93^{(**)}$$

On constate que la corrélation est plus forte pour les données de printemps sur l'ensemble des stations que sur RK_3 durant toute l'année; ceci s'explique principalement par le fait que durant les années d'observation sur RK_3, l'eau a été en général très mal utilisée par la végétation à l'automne.

5. EFFICACITE DES FORMATIONS ETUDIEES POUR LA PRODUCTION PRIMAIRE ET PASTORALE

5.1 Rentabilité de l'eau pour la production primaire

Nous avons essayé dans ce qui suit de dégager le critère de rentabilité de l'eau pour la production végétale ainsi que celui d'efficacité des systèmes écologiques vis-à-vis des précipitations. Pour pouvoir comparer les principales stations entre elles, nous avons utilisé la notion du rendement du mm d'eau, exprimé en kg de matière sèche/ha/mm, dénommée aussi "rentabilité du mm d'eau".

Dans ce paragraphe, l'eau est considérée globalement, sans tenir compte de son état dans le sol, il s'agit, soit de la totalité des pluies, soit de l'eau infiltrée (pluie efficace).

La fig. n°31 nous donne la rentabilité moyenne du mm d'eau de chaque station durant les années de mesure; elle appelle les remarques suivantes :

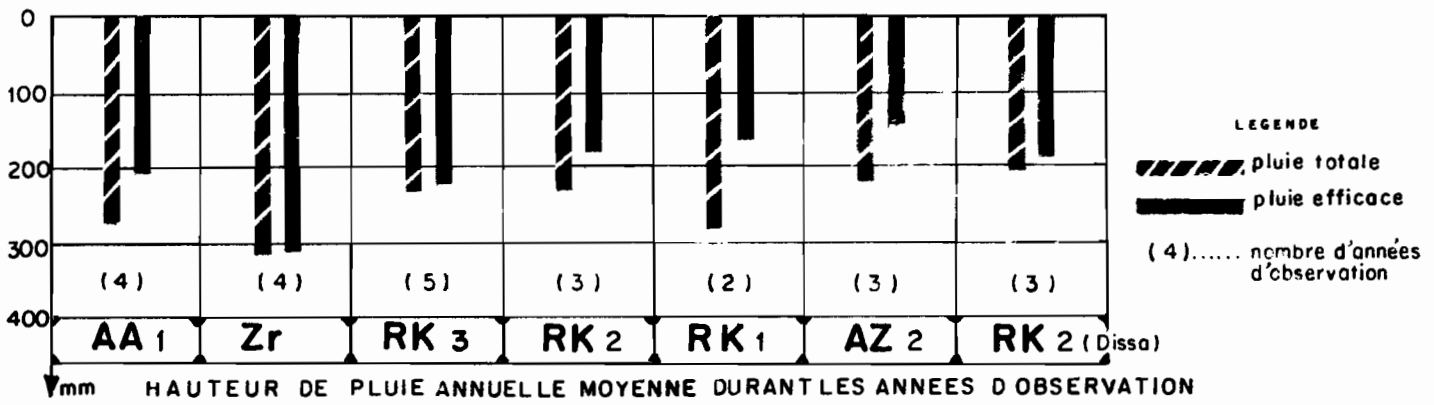
- les milieux à fort potentiel édaphique (AA_1, ZR, RK_3), sont ceux qui présentent la meilleure utilisation de l'eau vis-à-vis de la production primaire;

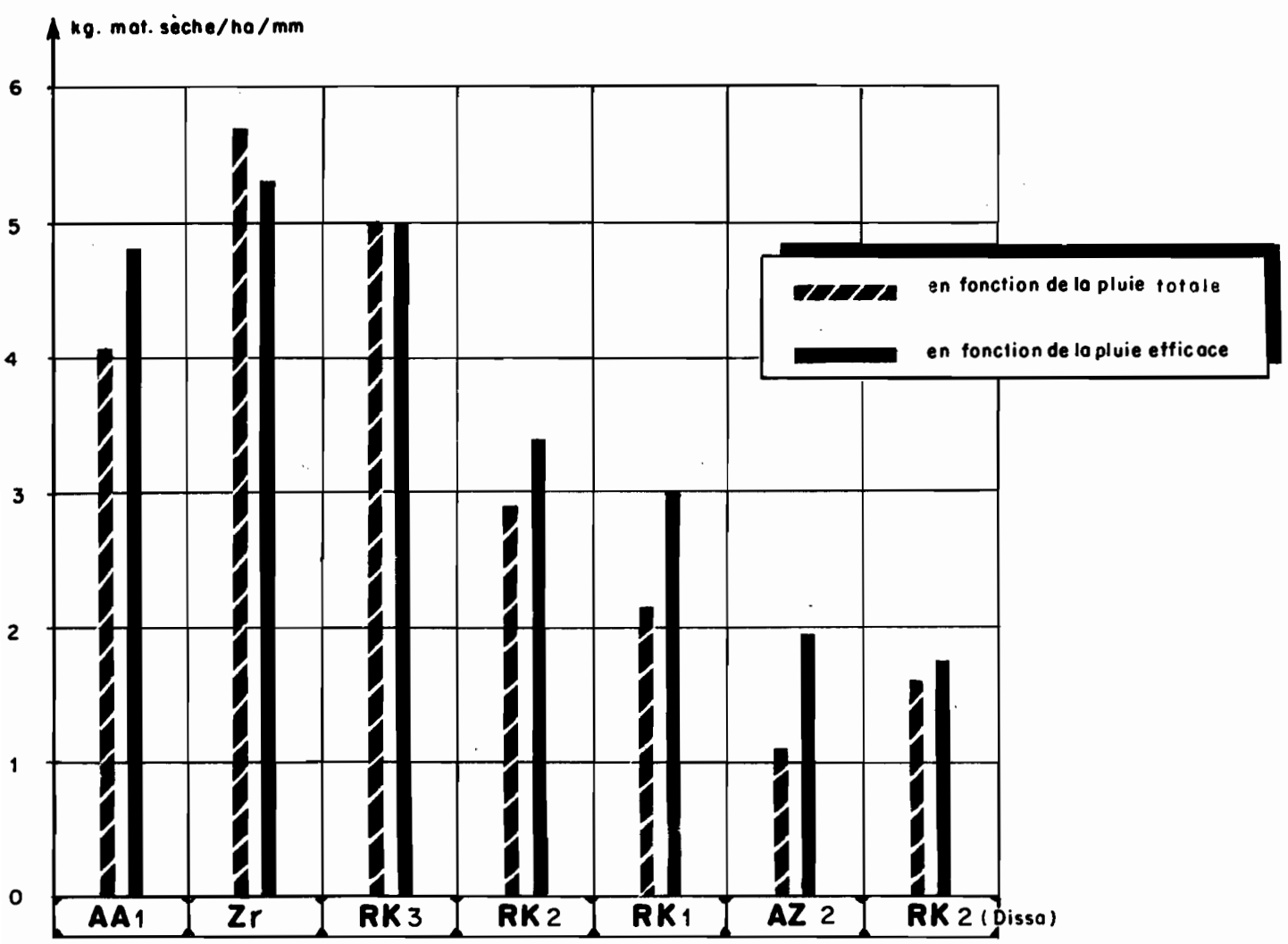
../.

Fig. 31

RENTABILITE MOYENNE COMPAREE DU MILLIMETRE D'EAU DE PLUIE POUR LA PRODUCTION VEGETALE AERIENNE DES DIFFERENTES STATIONS ETUDIEES

(Moyennes pour la période de 1971 à 1976)





— L E G E N D E —

AA 1- Friche post-culturale des glacis limoneux

RK 3_Steppe en bon état des zones sableuses de plaine

RK 2_Steppe moyennement dégradée des " "

RK 1_Steppe très dégradée des zones sableuses de plaine

Z r _ Pelouse d'un fond alluvial

AZ 2 . Steppe des zones gypseuses

RK 2 (Dissa) _ Steppe moyennement dégradée des zones sableuses de piedmont

- 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 sables pauvres des piéments (RK_2 - 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, 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.

La fig. n°32 nous 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 :

- d'une façon générale, la rentabilité du mm d'eau de pluie augmente avec la pluviosité jusqu'à une valeur limite de celle-ci, puis décroît pour les années très arrosées. Cet optimum correspond pour les formations sableuses et gypseuses à 200 - 250 mm, chiffre légèrement supérieur à la moyenne interannuelle de la région, et à 300 à 350 mm pour les formations limoneuses (séguis et fonds alluviaux);
- si l'on raisonne en pluie efficace, on s'aperçoit que si sur RK_3, Zr, AZ_2 et RK_2 (Dissa) la rentabilité du mm d'eau présente un maximum entre 200 et 280 mm d'eau infiltrée, sur AA_1 il ne semble pas que nous ayons atteint au cours de nos années de mesure l'optimum; le problème reste ouvert : que serait la rentabilité du mm d'eau sur ce milieu pour une année ayant infiltré 500 mm d'eau, par exemple.

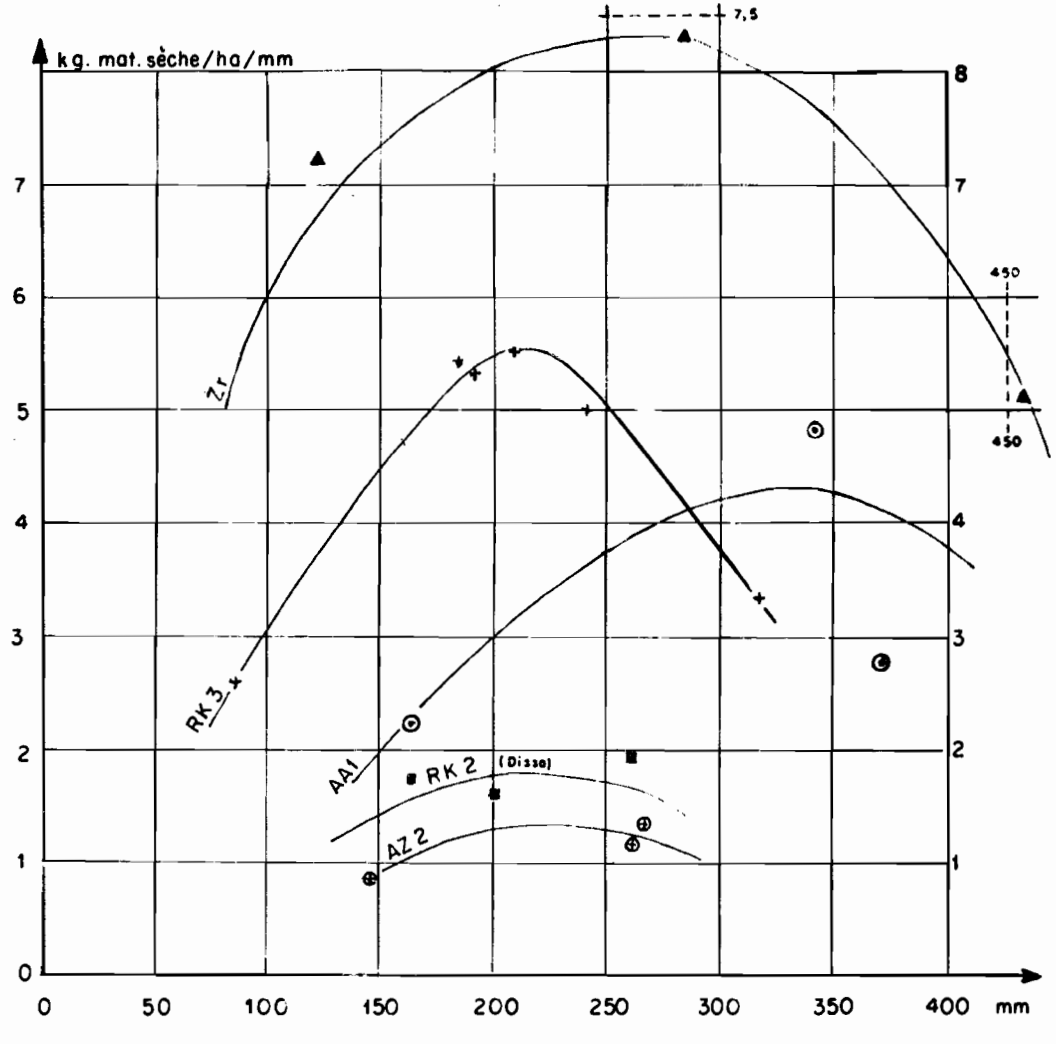
En conclusion nous pouvons dire que l'efficacité des systèmes écologiques étudiés semble, à l'exception de AA_1, être maximale pour des années à pluviosité légèrement supérieure à la moyenne. Au-delà, la quantité d'eau supplémentaire, tout en augmentant la production, est sous-utilisée, ceci étant dû essentiellement à un niveau trophique très bas et peut-être à des espèces végétales peu adaptées à produire dans des conditions plus humides.

../.

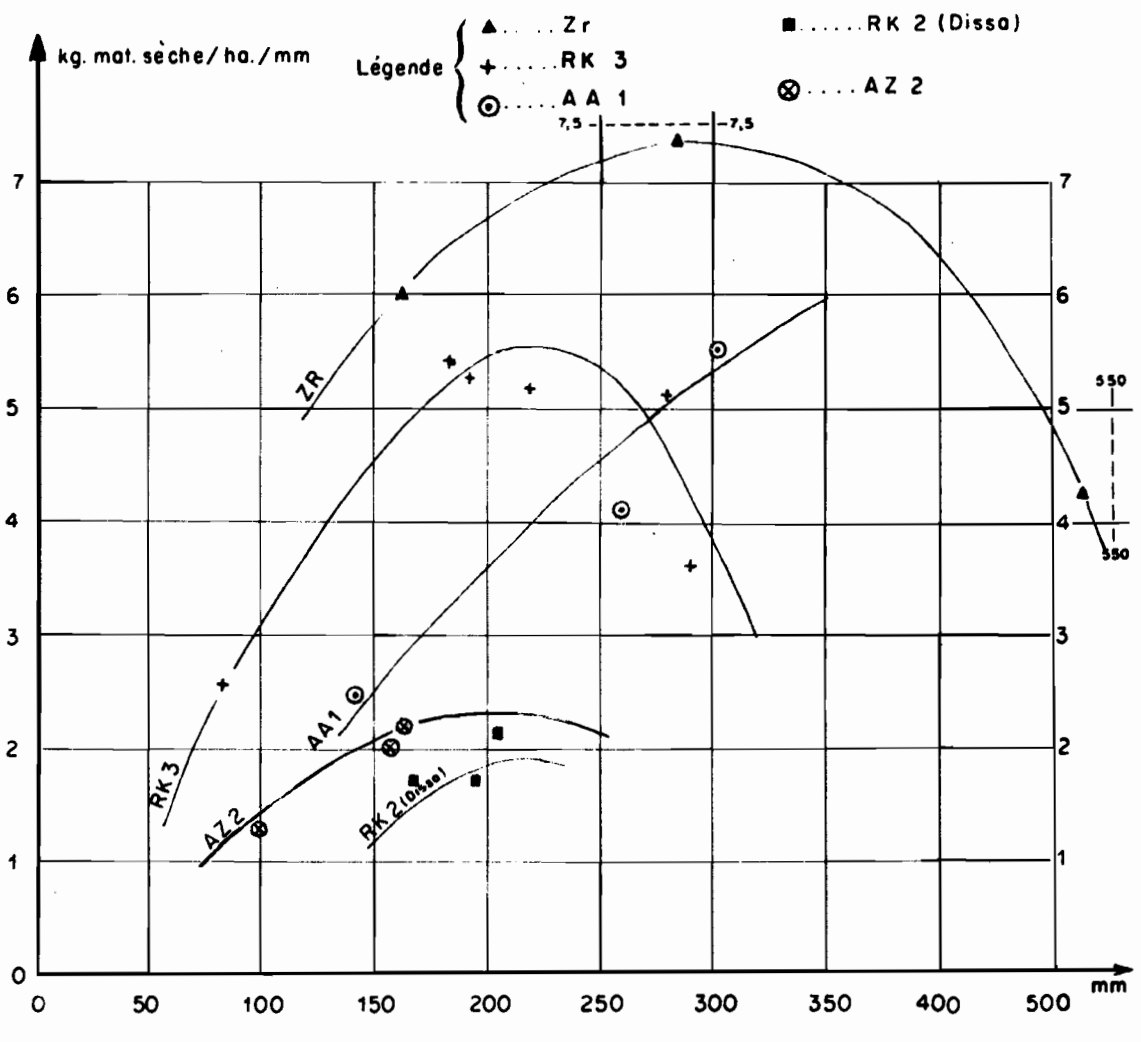
Fig. 32

EFFICACITE COMPAREE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES VIS-A-VIS DES PRECIPITATIONS

— Production végétale aérienne annuelle par mm de pluie pour une hauteur de pluie annuelle donnée



— PLUIE PRECIPITEE



— PLUIE EFFICACE

5.2 Relations production primaire - production pastorale

Si l'on examine la production primaire sous l'angle de son utilisation par les animaux domestiques, les remarques générales suivantes peuvent être faites :

- la vitesse de production est maximum en général au début du printemps pour les annuelles et une partie des 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;

- 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;

- 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 disponibilité en végétation pastorale à l'automne, époque de l'agnelage, donc 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;

- les températures hivernales n'empêchent pas toute croissance de la végétation. S'il a plu et les animaux consomment en général les jeunes annuelles et les premières pousses des pérennes pendant cette période;

- 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. Ney-Meir (1975) considère que 500 kg MS/ha d'annuelles est le niveau 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 ssp. tragacanthoides, par exemple) et de certaines chaméphytes en touffes (Rhantherium suaveolens).

../.

Tableau n°37

EVOLUTION SAISONNIERE DU POURCENTAGE DE MATIERE SECHE
POUR QUELQUES ESPECES DU SUD TUNISIEN

ESPECES	Partie de la plante	Sept. Oct. Nov. %	Déc. Janv. Févr. %	Mars Avril Mai %	Juin Juillet Août %
Anabasis oropodiorum	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	44,1	39,2	41,9	65,0
	Bois	65,8	56,0	62,8	69,7
Arthrophytum schmittianum	Partie verte	53,0	56,8	50,9	55,1
	Bois	77,2	73,6	77,3	79,2
Arthrophytum scoparium	Total	72,0	69	71,0	-
Astragalus armatus ssp. tragacantheïdes	Partie verte	44,8	45,8	48,7	60,9
	Bois	71,7	71,5	72,0	73,9
Atractylis serratuloïdes	Partie verte	-	46,4	43,0	64,2
	Bois	73	69,0	71,3	73,0
Cyneden dactylon	Total	69,1	49,2	62,0	73,5
Echiochilon fruticosum	Partie verte	54,1	46,3	47,2	75
	Bois	64,5	64,3	67,5	80,0
Echium pycnanthum ssp. humile	Total	44,3	40,0	39,2	69,0
Gymnocarpos decander	Partie verte	66,3	38,0	45,7	61,6
	Bois	73,6	67 ,5	72,0	75,7
Helianthemum kahiricum	Partie verte	62,5	51,0	53,5	69,0
	Bois	80,9	71,0	73,6	79,9
Helianthemum lippii var. intricatum	Partie verte	67,6	47,6	61,9	67,0
	Bois	76,5	72,3	80,6	78,1
Helianthemum lippii var. sessiliflorum	Partie verte	55,2	48,9	53,4	70,5
	Bois	69,0	65,0	68,2	77,3
Linaria aegyptiaca	Total	63,3	59,9	54,4	72,6
Lygeum spartum	Partie verte	60,3	56,2	55,9	62,5
	Bois	89,0	86,5	87,3	89,1
Marrubium deserti	Partie verte	49,6	43,7	52,3	62,0
	Bois	74,8	79,2	76,7	77,5
Ononis natrix ssp.falcata	Partie verte	-	42,0	51,0	64,0
	Bois	-	68,0	78,0	86,0

../.

Tableau n°37 (suite)

ESPECES	Partie de la plante	Sept. Oct. Nov. %	Déc. Janv. Févr. %	Mars Avril Mai %	Juin Juillet Août %
Pituranthos chloranthus ssp. cossenianus	Partie verte	53,3	49,0	46,2	58,0
	Bois	73,3	62,0	69,0	74,2
Pituranthos tortuosus	Partie verte	49,7	51,3	47,6	53,7
	Bois	74,3	75,9	75,6	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 raetam	Total	-	57,1	57,0	-
Rhantherium suaveolens	Partie verte	36,3	44,5	44,9	57,8
	Bois	71,4	70,9	73,2	76,9
Salsola vermiculata var. brevifolia	Partie verte	59,6	42,9	54,3	65,9
	Bois	83,0	74,0	75,8	78,6
Stipa lagascae	Partie verte	66,2	59,4	60,2	74,8
	Partie sèche	79,2	81,3	81,2	87,8
Teucrium polium	Partie verte	49,3	41,2	47,1	55,7
	Bois	72,5	68,0	72,5	72,9
Thymelaea microphylla	Partie verte	60,0	40,3	41,6	55,6
	Bois	71,0	61,0	69,3	63,5
Zygophyllum album	Total	42,0	33,2	32,5	-
Plantes annuelles		39,6	43,3	46,5	73,8

Nous n'avons pas effectué de mesures sur cette accessibilité par les animaux; cependant dans différents travaux d'application, nous avons estimé que 2/3 de la production totale des plantes pérennes était facilement accessible par les animaux dans les formations étudiées (ovins et caprins, les camélidés pouvant consommer la plupart des plantes des steppes en totalité jusqu'au collet). 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;

../.

- le problème des plantes refusées par les animaux, et qui participent à la production totale, mais non pas 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).

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. Le tableau n°37 donne l'évolution saisonnière du pourcentage de matière sèche pour quelques-unes des principales espèces pastorales des stations étudiées.

La valeur nutritive du kg de matière sèche est variable selon les espèces. Une autre publication traitera de cette question, mais à titre indicatif le tableau n°38 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).

Parmi les stations étudiées, ce sont les steppes des zones sableuses en bon état (RK_3) et les pelouses à Cynodon dactylon (ZR) 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 encore plus évident si l'on considère la facilité d'utilisation de cette production pastorale. En effet, ce sont dans ces deux formations que l'étalement de la production dans l'année est le meilleur, 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 concentrée au début du printemps et il faudrait une forte concentration en animaux pendant ce temps court pour en tirer parti en totalité.

Bien que ces chiffres n'aient pas une grande signification, le tableau n°39 donne une approximation de ce que devrait être la charge d'équilibre à l'ha pour une année à précipitations moyennes, ainsi que la production secondaire qui lui correspondrait.

../.

Tableau n° 38 - Valeur nutritive de quelques plantes pastorales des formations étudiées

Espèces (feuilles et pousses vertes)	Matière sèche (MS)	% de matière sèche											UF/Kg MS
		Matière minérale	Matière cellulosique	Matière azotée	Matière grasse	Extractif non azoté	P	Ca	K	Na	Matière azotée digestible g/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. (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 tortuosus	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

Tableau n°39 - Charge d'équilibre et production secondaire des types de végétation étudiés

(pour une année moyenne)

Type de végétation	Charge d'équilibre Surface nécessaire pour 1 meuton	Production secondaire kg poids vif/ha/an (meuton)
HK_3	1,5 ha	6,1
HK_2 - HK_1	3,0 ha	3,0
HK_2 - 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

6. CONCLUSIONS

Pluviosité durant les années d'observation

Pendant la période étudiée (1.9.71 au 31.8.77), malgré la saison 1976-77, voisine de 100 mm et la saison 1972-73, proche de la normale, les précipitations ont été très nettement supérieures à la normale sur l'ensemble des stations étudiées, comme en témoigne le tableau n°40.

Tableau n°40 - Précipitations moyennes annuelles et saisonnières sur les stations principales étudiées (1971-1977)

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Année
Gabès	99,2	113,7	67,7	284,1
Km 52	53,1	95,5	57,6	213,6
Zerkine*	63,7	140,3	70,9	275,5
Telmam*	41,6	120,8	54,5	223,9
Dissa	53,7	105,3	60,5	229,5
Normale à Gabès 1887-1972	81,3	53,7	43,8	183,3

* saison 71-72 incomplète -corrélée avec les autres stations

../.

Par ailleurs, il apparaît que les précipitations automnales (à l'exception de Gabès) ont été en moyenne plus faibles, celles d'hiver nettement plus fortes et celles de printemps légèrement supérieures à la normale de Gabès.

Si l'on se réfère à la longue série d'observation (1887-1972), on constate qu'à la station météorologique de Gabès :

- 1971-72 est une année pluvieuse de fréquence de retour proche de 1 année sur 9
- 1972-73 " " " moyennement sèche très proche de la médiane
- 1973-74 " " " pluvieuse de fréquence de retour proche de 1 année sur 9
- 1974-75 " " " " " " " " " " 1 " " 8
- 1975-76 " " " " " " " " " " 1 " " 60
- 1976-77 " " " moyennement sèche de fréquence de retour proche de 1 année sur 3.

Nous noterons durant cette période la succession de trois années consécutives pluvieuses ($P > 250$ mm), qui n'avait jamais été observée auparavant depuis 1887, et en particulier le maximum enregistré : 533,6 mm en 1975-76.

Production primaire mesurée

Les années d'observation ont donc été principalement ou "moyennement pluvieuses" ($150 < P < 250$ mm) ou "pluvieuses" ($P > 250$ mm). Pour cette gamme de précipitations, la production primaire des types de végétation étudiés a été la suivante :

Steppe sableuse de plaine en bon état (HK_3) : de 1000 à 1550 kg MS/ha/an
Steppe sableuse de plaine dégradée ($HK_2 - HK_1$) : de 450 à 850 kg MS/ha/an
Steppe sableuse de piémont dégradée (HK_2 - DISSA) : de 300 à 400 kg MS/ha/an
Friche post-culturale d'un glacis limoneux (AA_1) : de 350 à 1700 kg MS/ha/an
Steppe des zones gypseuses (AZ_2) : de 150 à 350 kg MS/ha/an
Pelouse des fonds alluviaux (ZR) : 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 chiffres supérieurs de cette gamme de production ne puissent être souvent dépassés.

Il y a eu aussi une année "sèche" ($P < 100$ mm) au cours de la période d'observation . La production de HK_3 a alors été de 250 kg et celle de AA_1 à peu près nulle (les autre stations n'ont pas fait l'objet d'observations).

../.

Il serait intéressant d'essayer de rapprocher ces chiffres de production primaire d'autres mesures de productions de types de végétation semblables, dans différentes régions à climat méditerranéen aride inférieur. Mais ces mesures sont rares et difficiles à comparer avec les nôtres.

LE HOUEROU, CLAUDIN 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 (moyenne sur 1½ an). LEBLOIS et VAN DAMME, 1971, dans la région de Messad (150-200 mm) en Algérie mesurent des productions de 200 à 600 kg, après 2 ans de mise en défens et une saison pluvieuse. RODIN, VINOGRADOV et al. (1970), dans la région de Media (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 en Algérie ont eu lieu dans des régions beaucoup plus froides que la nôtre, et il n'est pas étonnant que les productions y semblent en moyenne inférieures.

THALEN (1975) en Irak note qu'en bonne année et dans une région à 100 mm de pluie moyenne annuelle, tombant essentiellement au printemps, une steppe à Rhantherium epappesum, 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 HK_3 et HK_2.

TADMOR, NEAL et BENJAMIN (1972), mesurent en Israël (Migda 150-250 mm) des productions de pâturages naturels à base d'annuelles, semble-t-il assez voisines de celles de la station AA_1, allant de 0,9 à 3,6 T/ha. Ces chiffres sont supérieurs à ceux obtenus pour AA1 , 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.

Les facteurs de la production primaire

Les précipitations

Si, dans l'ensemble, on peut affirmer qu'une bonne production est liée à une année pluviométrique favorable, les six années d'observation ont permis cependant de préciser ce critère un peu simpliste.

- L'observation de la distribution de la pluie au cours de l'année (qui permet 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. Par contre les années, même à forte pluviométrie (type 73-74), mais avec 70 % du total en un seul

../.

épisode, n'est pas un effet supérieur à celui d'une année normale sur les systèmes pasteraux. 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.

- Pour ce qui est du nombre de jours de pluie et des hauteurs journalières, il apparaît qu'en année très pluvieuse 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 pluie est plutôt néfaste à la production, les pluies de faible importance étant très vite évaporées. Dans tous les cas, la première pluie doit être abondante afin de combler le déficit hydrique de la couche superficielles du sol, pour permettre les germinations et un redémarrage de la végétation pérenne. Au début de l'automne et à la fin du printemps, des pluies journalières inférieures à 10 mm et espacées 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.

- A hauteur de pluie égale, à la même période, la précipitation n'a pas la même valeur suivant les types de parcours; son efficacité dans la recharge des réserves en eau du sol dépend essentiellement de son intensité et du type de milieu sur lequel elle tombe : ainsi un sol sableux pourra absorber la totalité d'une pluie même à forte intensité, alors qu'une zone limoneuse battante, à faible recouvrement de végétation, et de surcroît en pente, sera très favorable au ruissellement, même pour des pluies présentant des intensités limitées.

En définitive, l'année pluviométrique idéale (cf. tableau n° 41) serait évidemment une année pluvieuse ($P \geq 250$ mm) à précipitations de faible intensité ($I < 5$ mm.h), avec un début de saison des pluies précoce : avant le 1er octobre (la première pluie étant d'au moins 50 mm), suivi pendant la fin de l'automne et 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. Des pluies importantes après le 1er mai, d'ailleurs peu probables, présentent déjà beaucoup moins d'intérêt, car très vite reprises par l'évaporation.

Donc, compte tenu de la température, c'est en définitive une pointe des précipitations au début de l'automne et une au cours du printemps, qui semble le mieux convenir à la production des steppes du Sud tunisien.

../.

Tableau n°41 - Type de répartition idéale des précipitations mensuelles pour une année humide

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ANNEE
P mm	60	35	20	15	15	20	40	40	5	0	0	0	250
Nombre jours pluie	2	3	3	2	2	2	3	3	1	0	0	0	21

Le sol

Le sol, par ses caractères physico-chimiques, intervient de façon déterminante dans la composition floristique et la production de la végétation :

- par son aptitude à emmagasiner l'eau (profondeur, porosité, structure, texture, état de la surface, pente, etc...)
- par sa facilité à la restituer au végétal sous forme d'eau disponible étalée au cours de la saison de végétation
- par son aptitude à l'économiser (limitation des pertes par évaporation ou par drainage) par un horizon de stockage en profondeur, le sol joue un rôle tampon prépondérant en climat aride.

En ce qui concerne les problèmes d'économie et disponibilité de l'eau, les sols de la steppe sableuse (RK_3) sont sans aucun doute ceux qui valorisent le mieux une pluviosité faible, alors que les sols limoneux (AA_1), ou peu profonds (AZ_2) sont les plus défavorables.

Dans tous les cas, il apparaît plus ou moins nettement que la production végétale est en relation avec le niveau des disponibilités en eau du sol pour la végétation. C'est ainsi qu'un essai de modélisation concernant les prévisions de la production en fonction de l'eau du sol, sur RK_3, a été tenté et fera l'objet d'une autre publication (FLORET, PONTANIER, RAMBALL, 1978).

Les différences de niveau de fertilité entre les stations mettent en évidence le facteur limitant sol dans certains cas. L'eau n'est donc pas le seul facteur limitant de la production dans les zones à faible précipitation. Au cours de ces années d'observation, nous avons pu constater, en particulier sur les milieux sableux, que l'efficacité du millimètre d'eau en ce qui concerne la production diminuait au-delà d'un certain seuil de pluviosité annuelle (200 à 250 mm), ce qui correspond très certainement à un niveau trophique du sol trop bas.

../.

Des essais de fertilisation entrepris sur ces steppes depuis 1976 par M. WAECHTER (1978) le confirment : les carences en phosphore sont très importantes, ainsi que celles en azote. Les milieux limoneux (AA_1) et à un degré moindre les fonds alluviaux (ZR), dont le niveau de fertilité est plus élevé, rentabilisent mieux le mm d'eau quand la pluie est excédentaire.

Donc, pour ce qui est des sols et de la production pastorale, les milieux les plus favorables sont dans tous les cas les fonds alluviaux relativement fertiles, recevant, même en année moyenne, des apports d'eau supplémentaires par ruissellement et assurant ainsi, quelle que soit l'année, une production importante.

En année pluvieuse, les sols limoneux des séguis sont aussi très intéressants, du fait de leur fertilité; quant aux steppes sur sable, malgré l'intérêt qu'elles présentent grâce à un bilan hydrique presque parfait, leur production primaire reste limitée en raison d'un niveau trophique très bas du sol.

Production primaire et aménagement

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 (plantes 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 au nor) 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.

Dans ces conditions, 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 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 céréales 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 et 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 la culture 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 souligné dans de nombreuses publications (LE HOUEROU, 1973; FLORET, LE FLOC'H et PONTANIER, 1976), l'érosion éolienne des zones sableuses défrichées dans cette région est un phénomène très important; il a conduit à la stérilisation de grande surface.

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 font l'objet d'une autre publication (FLORET, LE FLOC'H, PONTANIER, 1978).

BIBLIOGRAPHIE

AYYAD, M., 1977 - Systems analysis of mediterranean desert ecosystems of northern Egypt. Progress reports n° 1, 2, 3. University of Alexandria Egypt.

BOURGES, J., FLORET, Ch. et PONTANIER, R., 1973
- Etude d'une toposéquence type du Sud tunisien. Djebel Dissa. Les sols, bilan hydrique, érosion, végétation (résultats de la saison 1972-1973). Direction des Ressources en Eau et en Sol de Tunisie. Division des sols. Etude spéciale n°89,43 p. ronéo, annexes.

BOURGES, J., FLORET, Ch. et 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). Direction des Ressources en Eau et en Sol de Tunisie. Division des Sols. Etude spéciale n° 93. 56 p. ronéo. Annexes.

BOURGES, J., FLORET, Ch. et PONTANIER, R., 1977
- Etude d'un milieu représentatif du Sud tunisien (type "Segui") Citerne TELMAM (résultats pour les saisons 1972-73 et 1973-74). Direction des Ressources en Eau et en Sol de Tunisie. Division des Sols. Etude spéciale (en cours de publication).

BUSTARRET, J. et alter, 1964
- L'eau et la production végétale INRA Versailles, 455 p.

BUSTARRET, J. et alter, 1970
- Techniques d'étude des facteurs de la biosphère - INRA Versailles, 543 p.

CLAUDE, J., PONTANIER, R., FRITSCH, J.M., 1971
- Présentation des résultats des premières mesures sur la citerne de ruissellement n° 11 - Piste de la TRAPSA -DRES Tunis 23 p. ronéo. Carte et annexe.

COLOMBANI, J., 1973
- Etude des contributions respectives au total annuel de pluie des averses journalières de différentes classes. ORSTOM-DRES Tunisie.

COMBEAU, A., 1971
- Techniques de laboratoire utilisées en laboratoire de physique des sols du SCC - ORSTOM - BONDY et au laboratoire de physique des sols du CRUESI - Tunis.

../.

EL HAMROUNI, A., SARSON, M., 1974
- Valeur alimentaire de certaines plantes spontanées ou introduites en Tunisie. Institut Nat. Rech. Forest. Tunisie. Note de recherche n°2.

FLORET, Ch., 1971
- Recherches phyto-écologiques entreprises par le C.N.R.S. sur le biome "Zone Aride" en Tunisie, Document CEPE, n°57, Montpellier, 26 p.

FLORET, Ch., 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. Revue : "Options méditerranéennes" n° 26, p. 51 - 59.

FLORET, Ch., LE FLOC'H, E., PONTANIER, R., 1976
- Carte de la sensibilité à la désertisation en Tunisie centrale et méridionale (Processus de dégradation en cours des sols et de la végétation) Echelle 1/100 000. in Sols de Tunisie n°8 pp. 4 - 68. 1 carte couleur ht.

FLORET, Ch., 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 des zones arides, steppiques et subdésertiques de la région présaharienne. Séminaire sur les processus d'élaboration des données brutes sur les herbages et les terrains de parcours. Cent. Etudes Phyto-Ecol. Montpellier, 10 p. ronéo.

FLORET, Ch., LE FLOC'H, E., PONTANIER, R., 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 a 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. Tunisie 3-12 avril 1975. Inst. Nat. Agron. Tunisie 41 p. ronéo, English abstract 14 p.

FLORET, Ch., LE FLOC'H, R., PONTANIER, R. et ROMANE, F., 1978
- Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement des parcours des régions arides. Application à la région de Zougrata. Document technique Inst. Rég. Arid. Medenine et Dir. Ress. Eau et Sol, Tunis. (en cours)

../.

FLORET, Ch., LE FLOC'H, E., 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. Tunisie et Cent. Etudes Phyto-Ecol. Montpellier. Doc. CEPE n°71, 45 p. 6 cartes noir, 4 cartes couleur. English abstract, 12 p. ronéo,2 cartes.

FLORET, Ch. et PONTANIER, R., 1973
- Etude de trois formations végétales naturelles du Sud tunisien. Production, bilan hydrique des sols (Premiers résultats : saison 1971-1972). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, Projet Parcours Sud, 55 p. ronéo et annexes.

FLORET, Ch. et PONTANIER, R., 1974
- Etude de trois formations végétales naturelles du Sud tunisien. Production, bilan hydrique des sols (Résultats : saison 1972-1973). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie. Projet Parcours Sud, 36 p. ronéo.

FLORET, Ch. et PONTANIER, R., 1974
- Etude de trois formations végétales naturelles du Sud tunisien. Production, bilan hydrique des sols. (Résultats : saison 1973-1974). Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, Projet Parcours Sud, 44 p. ronéo et annexes.

GADDES, N., 1978
- Etude des relations végétation - milieu et effet biologique de la mise en défens, notamment sur l'alfa (Stipa tenacissima) dans le B.V. de l'Oued Gabès. Thèse de doctorat spécialité (écologie) USTL. Montpellier.

GINTZBURGER, G., BAYOUMI, M., 1977
- Survey of the présent situation and production of the Libyan rangelands. Agricultural Research Center of Libya, 50 p.

GODRON ET, al, 1968
- Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Principes et transcription sur cartes perforées. Editions CNRS Paris 291 p.

GODRON, M., 1973
- Quelques réflexions sur les "modèles écologiques" applicables à l'aménagement du territoire p. 75-85 in Analyse socio-économique de l'environnement - Problèmes et méthode. Mouton -Paris 248 p.

../.

GOODALL, D.W., 1969

-Simulating the grazing situation. Biomathematics. I. ed. F. Heinmets - Marcel Dekker New-York, pp. 211-236.

HADJEJ, M.S., 1975

-Résultats préliminaires des essais de mesure de la production secondaire d'un parcours. 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, Tunisie) 7 p. ronéo.

HADJEJ, M.S., 1975

-Résultats du contrôle de performance effectué en 1974-75 dans les périmètres d'améliorations pastorales. 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, Tunisie), 9 p. ronéo.

HENIN, S., 1969

-Le profil cultural - 2ème édition, Paris Massen 322 p.

HILLEL, D., 1974

-L'eau et le sol. Principes et processus physiques VANDER 10B 3000 LOUVAIN.

ICNESCO, 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, Tunisie), 46 p. ronéo. 1 carte.

LAMOTTE, M. et BOURLIERE, F., 1967

-Problèmes de productivité biologique. Lib. Massen, Paris, 243 p.

LEBLOIS, A., VAN DAMM, 1971

-Progress report. Restricted. Plant Prod. Div. Mimeo, FAO, Rome

LE FLOC'H, E., 1973

-Etude des parcours du Sud tunisien, 1 carte phyto-écologique de Oglat Merteba et Mareth. Ann.Inst. Nat.Rech. Agron. Tunisie Vol. 46, fasc. 5, 92 p. 2 cartes au 1/100 000 et tableaux en annexes.

../.

LE HOUEROU, H.N., 1959

- Recherches phyto-sociologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Inst. Rech.Sahar. Univ. Alger - Mém. h.s. 510 p. 54 tabl. 4 cartes et fasc. 1 pochette.

LE HOUEROU, H.N., 1969

- La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Lybie). Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tun. Vol. 42, 5, 620 p. avec tabl. 2 cartes couleur h.t.

LE HOUEROU, H.N., 1972

- An assessment of the primary and secondary production of the arid grazing lands ecosystems of North Africa. International symposium USSR on Ecophysiological foundation of ecosystems productivity in arid zone. pp. 168-172.

LE HOUEROU, H.N., CLAUDIN, J., HAYWOOD, M., DONADIEU, J., 1975

- Etude phyto-écologique du Hodna, in Etudes des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Algérie, AGS : DP/ALG/66/509, Rapport technique n°3, vol. 1, FAO. Rome, 154 p.

LIETH, H., BOX, E., 1972

- Evapotranspiration and primary productivity. Publication in Climatology, Vol 25 (2), pp. 37-46, Centerton/Elmer, New Jersey.

LIETH, H., WHITTAKER, R.H.,

- Primary productivity of the biosphère. Ecological Studies, n°14, p.339 Springer-Verlag.

LONG, G., 1974

- Le diagnostic phyto-écologique et l'aménagement du territoire, 2 tomes, Masson édit. Paris.

METEOROLOGIE NATIONALE DE TUNISIE, 1962

- Statistiques moyennes et normales pour la période de 1901 à 1960, Tunis.

MINER, C. and HUGUES, R.Z. , 1968

- Methods for the measurement of the primary production of grassland. In International Biological Program Handbook, Vol 6, pp. 1-82 Philadelphia, Pennsylvania : Davis.

../.

MUTIN, P., 1969

- Etude des mouvements de l'eau dans un sol argileux (bassin versant représentatif du Mielan). Bull. BRGM Section III n°4, 1969. Les mouvements d'eau dans les sols non saturés.

NOVIKOFF, G., 1965

- Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile de Tunisie. Thèse Docteur -Es-Sciences, Faculté des Sciences de Montpellier.

NOVIKOFF, G., WAGNER, F., SKOURI, HADJEJ, M., 1973 to 1976

- Systems analysis of the presaharan ecosystem of Southern Tunisia. Tunisian presaharan project. Progress reports n° 1, 2, 3, 4, 5 US/IBP Desert Biome and UNESCO/MAB 3. Utah state University ,Logan UTAH 84322.

NOY-MEIR, I., 1973

- Desert Ecosystems : environment and producers. Annual review of ecology and systematics. Vol. 4, 1973, pp. 25-51.

NOY-MEIR, I., 1975

- Primary and secondary production in sedentary and nomadic grazing systems on the semi-arid region : analysis and modelling. Department of Botany, Hebrew University. Final report Project 7/E-3.

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.

PONTANIER, R., 1972

- Etude pédologique d'El Hamma Nord - DRES, Tunis n°460 - 2 cartes couleur.

RODIN, L., VINOGRADOV, B. et al. 1970

- Etudes géobotaniques des pâturages du secteur Ouest du département de Medea (Algérie) 124 p. et cartes. Nauka, Léningrad.

RODIN, L., 1976

- The primary productivity of desert communities in Northern Africa and Asia. Int. 3. Geogr. Congress, Precongress symposium, Ashkhabad, USSR.

../.

QUEZEL, P. et SANTA, S. (1962-63)
- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridonales Paris CNRS - Tome 1 , 565 p, Tome 2, 605 p.

RAMBAL, S., ROMANE, F., AGUILAR, J., MARTIN, 1977
- Modélisation de la production de biomasse végétale de la steppe Sud tunisienne par une méthode globale d'estimation des paramètres et par filtrage non linéaire. Centre d'Etudes Phytosociol. et Ecol. CNRS Montpellier et Lab. automatiq. et d'analyse des systèmes. CNRS Toulouse, 13 p. ronéo.

RAMBAL, S., 1977
- Modélisation de l'utilisation de l'eau et de la production végétale d'une steppe à Rhantherium suaveolens (Desf) de la zone aride Sud tunisienne. Université des Sciences et Techniques Languedoc-Roussillon, D.E.A. écologie Montpellier, 34 p.

SEBILLOTTE, M. et al, 1972
- Etude pour l'aménagement des terrains de parcours du Maroc oriental. 4 vol. ronéo, 1120 p.

TADMOR, N.H., EVENARI, M., SHANAN, L., 1972
- Primary production of pasture plants as function of water use. International symposium USSR on Ecophysiological foundation of ecosystems productivity in arid zone, pp. 151-156.

TADMOR, N.H., EYAL, E., BENJAMIN, R., 1972
- Primary and secondary production of arid grassland. International symposium USSR in Ecophysiological foundation of ecosystems productivity in arid zone, pp. 173-177

THALEN, DCP. , 1974
- An appraisal of Rhantherium epapposum (Oliv) vegetations. Institute for applied Research on Natural Resources of Iraq, Technical Bulletin 54, 46 p. Bagdad .

UNESCO, 1965 - Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. Proc. Copenhagen Symposium.

UNESCO, PNUD, PNUE, Tunisie, 1977
- Monographie sur la désertification. Région d'Oglat Merteba, Tunisie Conférence des Nations Unies sur la désertification. Nairobi 1977. Doc. A/CONF 74/12 143 p. 10 fig. 1 carte couleur. Editions française et anglaise.

../.

VAN KEULEN, H., 1975

- Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Center for agricultural publishing and documentation, Wageningen, 176 p.

WAECHTER, P., 1978

- Essais d'orientation sur les possibilités d'accroître la production végétale et d'améliorer les conditions d'intégration des systèmes culturaux et d'élevage. Inst. Rég. Aride Tunisie et C.N.R.S., France, 41 p. Ronéo , 13 pl. h.t.

WALLACH, D., 1975

- The effect of environmental factors on the growth of a natural pasture. Agricultural meteorology, 15 pp 231-244.

Annexe n° 1

RESULTATS CLIMATIQUES

DISSA – Paramètres climatiques principaux 1972–1975

		sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	année
	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	
1972 1973	$\frac{tx+tn}{2}$ °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
	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
1973 1974	$\frac{tx+tn}{2}$ °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	127,1	35,6	5,3	0	4,4	0	0	259,8
	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
1974 1975	$\frac{tx+tn}{2}$ °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	190,5	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

Km 52 – Paramètres climatiques principaux 1971-1977

		sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	année
1971 1972	tx °C			18,0	15,9	13,3	19,0	22,3	21,7	24,7	30,4	34,4	33,5	
	tn °C			4,3	4,5	3,0	4,8	8,0	9,5	13,0	18,9	18,2	18,8	
	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
1972 1973	tx °C	30,8	25,0	21,4	15,9	13,9	14,5	15,9	20,4	28,5	31,3	37,8	35,7	24,3
	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
	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	170,7	4,6	39,2	12,7	12,6	41,6	5,0	0	0	0	16,2	209,6
1973 1974	tx °C	34,0	29,7	21,5	16,4	18,2	18,8	19,3	23,6	30,6	31,8	34,8	34,6	26,0
	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
	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	2523,3
	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
1974 1975	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
	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
	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	196,9	193,3	205,8	168,9	264,8	301,1	338,9	295,4	2421,4
	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
1975 1976	tx °C	31,7	25,8	20,0	16,7	13,8	17,1	18,9	22,7	25,1	29,3	33,7	34,0	24,0
	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
	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	166,7	57,1	56,7	0	31,3	5,5	0	0	295,4
1976 1977	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
	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
	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	184,3

GABES – Paramètres climatiques principaux 1971–1976

			sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	année
1971 1972	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
	$\frac{tx + tn}{2}$	°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	171,8	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 1973	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
	$\frac{tx + tn}{2}$	°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	122,1	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 1974	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
	$\frac{tx + tn}{2}$	°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 1975	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
	$\frac{tx + tn}{2}$	°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 1976	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
	$\frac{tx + tn}{2}$	°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	10,4	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

TELMAM - Paramètres climatiques principaux 1972 - 1976

		Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
	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	
1972 1973	$\frac{tx+tn}{2}$ °C		18,4	16,5	10,2	10,0	10,0	11,5	15,8	21,8	24,9	29,9	28,3	
	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
	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
1973 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	123,8	123,7	5,1	0	2,4	0	0	371,2
	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	16,9	18,2	21,2	21,8	12,7
1974 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,
	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
1975 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	33,5	73,2	53,5	0	20,9	2,4	0	0	344,

Annexe n° 2

PROFILS PEDOLOGIQUES DES STATIONS

(descriptions et analyses)

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	Sols isohumiques
SOUS-CLASSE	Sols à complexe saturés.Pédoclimat frais pendant la saison humide
GROUPE	Sierozems
SOUS-GROUPE	typiques
Famille	Polygéniques
Série	Avec voile éolien

PROFIL

PZ RK3

Mission/Dossier : Modèle Zougrata Gabès

Observateur : Pontanier

Date d'observation : 28.2.74

LOCALISATION

Lieu : Station Km 52 – Parcelle biomasse 73-74

Coordonnées : de Latitude / de Longitude / m d'Altitude

Document carto. :

Mission I.G.N. :

Photo aérienne :

Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride

Pluviométrie moyenne annuelle : 175 mm

Température moyenne annuelle : 19,3°C

Saison lors de l'observation : fin hiver

Station : Gabès

Période de référence : 1901–1951

SITE

Géomorphologique : Plaine sableuse

Topographique : plane

Drainage : bon

Erosion : éolienne

Pente en % : 0

MATÉRIAU ORIGINEL

Nature lithologique : mixte – apport sableux et matériau SA à nodules calcaires

Type et degré d'altération :

Étage stratigraphique :

Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes en bon état

Composition floristique par strate : Rh. suaveolens RK3

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 nebkhas

Edifices biologiques :

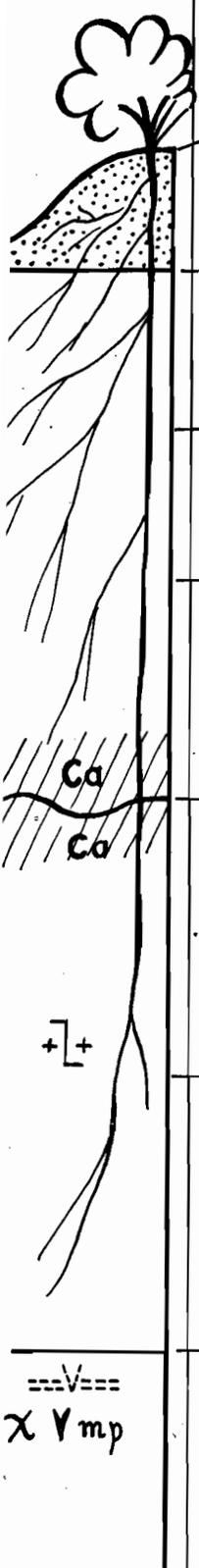
Dépôts ou résidus grossiers : voile éolien

Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		**PROFIL** PZ RK3



Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
	-5 à -20	* Frais 10YR 6/6 humide jaune brunâtre.Sans taches. A m.o. non direct. décelable.Faible efferveso.général.Eléments 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.
1070	voile éolien 0	
144 SP	10	* Frais 10YR 5/8 brun jaunâtre.Sans taches. A m.o.directement décelable.Efferveso.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 faible 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.Nids,galeries. Activité moyenne.Transition directe et irrégulière.
403 SP	30	
224 SP	50	* Frais 10YR 6/6 humide.Jaune brunâtre.Sans taches. A m.o. non direct.décel. Vive effervescence général.irrégulièrement répartie.Eléments carbonatés diffus et en amas.Sans autres éléments. Sans éléments grossiers.Texture SA à SF calcaire. Structure fragmentaire nette généralisée polyédrique moyenne et grossière.Volume des vides faible entre les agrégats. Meuble.Pas de fentes.Agrégats à pores nombreux tubulaires fins sans orientationndominante.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.
SP 387	80	
SP 358	125	* Frais 7,5 YR 7/8 jaune rougeâtre.Sans taches.Apparemment nan organique.Vive effervescence généralisée et irrégul. répartie.Eléments carbonatés et gypseux,diffus et en pseudo mycelum 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.
SP 240		

Matière organique totale 10^{-2}

-20-0	0-10	10-30	30-50	50-80	80-124
0,14	0,48	0,44	0,42	0,46	0,36

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL

P8 203

	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	-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 total		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		12,5	ARC
	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	LMC
	Sable fin	50 à 200 µ	65	84,0	71,0	67,5		48,0		49,0	SBF
	Sable grossier		69	7,0	5,0	5,5		4,0		4,0	SBG
			73	1	1	1	1	1	1	1	1 CARTI
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	8,3	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			MGE
	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	traces	0,5	traces	traces	traces	traces	20,0	PAO
	~~Phosphore ass. citrique~~ Gypse 10-2		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	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		5,0			3,0	1,5	5,0	MGS
	Potassium	K +	61								KS
	Sodium	Na +	65		3,2			3,3	2,4	1,7	NAS
extrait un dixième, Conductivité L 1/10 en m-mho/cm	Saturation de la pâte		69		28,4	30,4		32,4	35,2	36,0	L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	4 CARTE

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS PEU EVOLUES
SOUS-CLASSE	NON CLIMATIQUES
GROUPE	SOLS D'APPORTS
SOUS-GROUPE	Salés à caractère d'alcalisation
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 : 18.5.1972

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. :

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 - 1971

SITE

Géomorphologique : Glacis d'accumulation

Topographique : plane

Drainage : mauvais

Erosion : en nappe

Pente en % : 1 à 2

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Alluvions et colluvions à texture lourde

Type et degré d'altération :

Étage stratigraphique :

Impuretés ou remaniements :

VEGETATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes (< 10 % couverture)

Composition floristique par strate :

Arthrophytum schmittianum, Erodium glaucophyllum, Artemisia herba-alba
Diplotoxis arg., 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

Édifices biologiques :

Dépôts ou résidus grossiers :

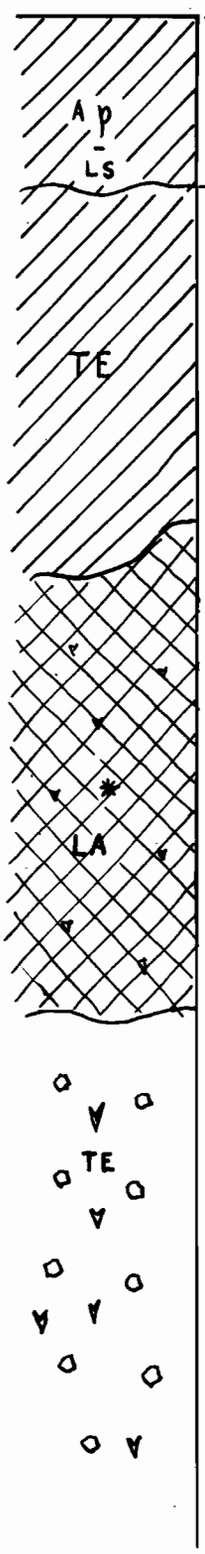
Affleurements rocheux :

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



Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
	0	
688	Horizon de labour	*Frais - 10YR 7/4 sans taches. 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 5 cm. 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 - 2,9 mmhos/cm. Transition nette et régulière.
	15	
528		
	30	
216		*Frais 10YR 6/4 sans taches. A m.o. non direct. décelable. moins de 1% de m.o. Effervesc. généralisée. Eléments carbonatés et gypseux diffus. Sans autres éléments. Texture équilibrée à sable fin. Structure fragment. polyédrique 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 distincte et irrégulière.
	50 - 55	
794		
	100-105	* Frais 7,5 YR 5/6 sans taches. 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, 37% 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.
207		
	130	*Frais 10YR 8/4, sans taches, 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
199		

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL
PCOT 1 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 total		49	15,7	16,1	16,1	14,1	12,5	14,1		CDC
	Argile		53	10,0	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~~ m.org. %		13	0,29	0,32	0,28	0,18	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	8,10	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
	gypse 10-2 ~~Phosphore ass. citrique~~		17	0,44	0,52	8,04	17,8	30,2	32,2		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	CARTE
	pF 2,5		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	11	2,11	9,11					IS
	Perméabilité		29	1,4	2,9	2,9					PMB
Sels solubles, extrait pâte saturée en mé	Conductivité L en m-mho/cm		33	2,9	5,0	5,5	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			59,5		NAS
extrait un dixième	Conductivité L 1/10 en m-mho/cm		69	31,2	36,0	40,0	42,4		33,0		L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTERISATION PEDOLOGIQUE

CLASSE	SOLS PEU EVOLUES
SOUS-CLASSE	NON CLIMATIQUES
GROUPE	D'APPORT
SOUS-GROUPE	SALES EN PROFONDEUR
Famille	SUR ALLUVIONS ET COLLUVIONS
Série	SUR ENCROUTEMENT GYPSEUX

PROFIL

PZ ZR

Mission/Dossier : CEPE-ORSTOM-Zerkine TUNISIE

Observateur : Roger POUMAYER

Date d'observation : 17.2.1972

LOCALISATION

Lieu : Zerkine - Parcelle B

Coordonnées : 37G 41 de Latitude N
8G 80 de Longitude E
25 m d'Altitude

Document carto. : Carte I/50.000 Mareth

Mission I.G.N. :

Photo aérienne :

Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride

Pluviométrie moyenne annuelle : 175 mm

Température moyenne annuelle : 20°C

Saison lors de l'observation : hiver

Station : Gabès

Période de référence : 1901 - 1951

SITE

Géomorphologique : Fond entouré de collines à encroûtement gypseux

Topographique :

Drainage : bon

Erosion : faible

Pente en % : > 1 %

MATERIAU ORIGINEL

Nature lithologique : Alluvions sablo-limoneuses

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 : -

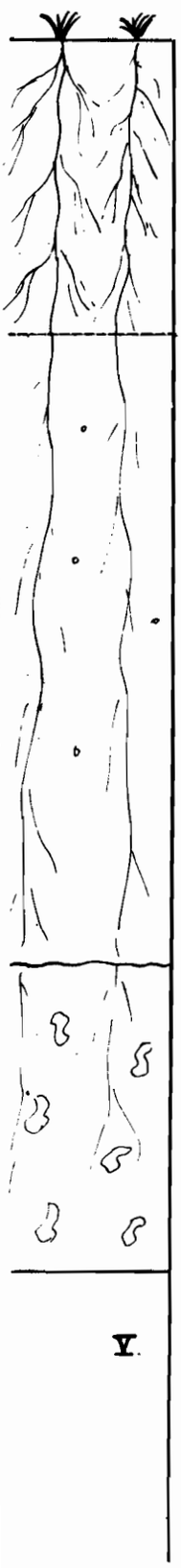
Dépôts ou résidus grossiers : -

Affleurements rocheux : -

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série		**PROFIL** PZ ZR



Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
	0	Pellicule de battance en surface
SP 550	Ap 19	*Frais 7,5 YR 7/6. Brun rougeâtre. Sans tâche. A débris organiques et décel. 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 fine. 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 pH8,1 -1,5 mmhos. Transition nette et régulière.
S_{2H}	50	*Frais 7,5 YR 7/6. Brun rougeâtre. Sans tâche. A m.o. non direct. décel. moins de 1PC. 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 nulle- pH 8,25 - 1,5 conductivité-Transition graduelle et ondulée.
SP 175	82	*Frais-7,5YR 8/6 humide. Brun rougeâtre-Quelques tâches peu étendues 7,5YR 8/2 sans relation visible Arrondies Heterog. dans les dimensions. Peu contrastées. m.o. non direct. decel. moins de 1 pc. Effervescence généralisée. Elements carbonatés diffus et en pseudomycelium. Elements 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 nulle 7 pH7,95. 8,0 mmhos. Transition très nette et régulière.
2652	110	
SP 489		*Frais 10YR 8/2 humide. Blanc sale. Sans taches. 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. Très peu poreux. Consistance rigide, fortement cimenté, non plastique, non collant, non friable, non fragile. Croûte sulfatée et carbonatée. Pas de racines. Activité nulle.

pH 8,1 4,75 mmhos

Matière organique totale	0-19	19-50	50-88	88-106	106
10- 2	0,62	0,37	0,43	0,41	

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	I9	50	82	II0				PMI
	Profondeur maximale		41	I9	50	88	I06					PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45									REF
	Carbonate de calcium		49	I0,0	II,7	I2,I	I5,0	2,8				CDC
	Argile		53	5,5	7,0	I0,0	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	2I,0	23,0	I9,0	I3,0					LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	67,0	62,0	63,0	67,0					SBF
	Sable grossier		69	traces	traces	traces	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									AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,1	8,25	7,9	7,95	8,1				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 10^{-2}	~~Phosphore ass. citrique~~		17	1,02	0,73	0,94	I,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	II,0	76,0	59,5	I9,5				CL
	Sulfates	$SO4^{--}$	41	I4,2			I4,0					SO4
	Carbonates	$CO3^{--}$	45									CO3
	Bicarbonates	$HCO3^-$	49	2,6	1,6		2,3					HCO
	Calcium	Ca ++	53	I3,5	II,0		37,5					CAS
	Magnésium	Mg ++	57	2,5	3,0		I3,5					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	29,6	32,4	36,0	35,2	25,6				L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	4	CARTE

DOSSIER DE CARACTÉRISATION PÉDOLOGIQUE

CLASSE	Sols calcomagnésimorphes
SOUS-CLASSE	Gypseux
GROUPE	à encroûtement gypseux
SOUS-GROUPE	
Famille	sur matériau miopliocène gypseux
Série	type Djeffara (BV Gabès)

PROFIL [illegible] AZ 2

Mission/Dossier : km [illegible] Tunisie [illegible]

Observateur : [illegible]

Date d'observation : 2.I2.7I

LOCALISATION

Lieu : Bassin versant Oued Gabès

Coordonnées : 37G 65 de Latitude "
8G 52 de Longitude E
52 m d'Altitude

Document carto. : Environs de Gabès I/50.000

Mission I.G.N. :

Photo aérienne :

Photographie :

CLIMAT

Type : Méditerranéen aride

Pluviométrie moyenne annuelle : [illegible]

Température moyenne annuelle : [illegible]

Saison lors de l'observation : hiver

Station : Gabès

Période de référence : I90I- I95I

SITE

Geomorphologique : Plateau à encroûtement gypseux

Topographique : Position haute

Drainage : excellent

Erosion : éolienne

Pente en % : < 1 %

MATÉRIAU ORIGINEL

Nature lithologique : sable argileux à trame cristalline gypseuse

Type et degré d'altération :

Etage stratigraphique : miopliocène

Impuretés ou remaniements :

VÉGÉTATION

Aspect physionomique : Steppe à chaméphytes gypsophiles

Composition floristique par strate :

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 : réticulation de l'encroûtement par endroit

Edifices biologiques :

Dépôts ou résidus grossiers :

Affleurements rocheux :

EXTENSION ET RELATION AVEC LES SOLS VOISINS

Peut être recouvert par un apport sableux fin peu gypseux

DESCRIPTION DU PROFIL

GROUPE SOUS-GROUPE Famille Série	

PROFIL PFBV AZ_2

Croquis du profil

Prélèvements numéro du sac	Profondeur en cm et nomenclature des horizons	
	0	
	10	*Frais 7,5 YR 7/6 brun clair.Amatière organ. direct.décel. moins de 1PC. Effervescence. Elém.carbonatés diffus.Texture sablo-limoneuse à sables fins. Struct.polyédrique subangul. moyenne peu développée. Friable.Poreux.Nombreuses racines. tuçantes.Transition très nette et ondulée.
	38	*Frais. 10YR 8/2.Frais blanc sale. A mat.organ. non direct. décelable. Moins de 1PC.Faible effervescence.Eléments carbonatés diffus.Eléments gypseux en encroût.plâtreux.Sans éléments grossiers.Texture "limono-gypseuse".Struct.massive à éclats émoussés.Fentes de 1cm de large,distantes de 20cm. Peu Poreux.Matériau à consist.rigide.Peu friable.Qq.racines très rares.Pas de chevelu.Activité très faible.Transition distincte et ondulée.
	60	*Frais 10YR 8/3. Frais blanc sale.Moins de 1PC m.c.Faible effervesc. Eléments gypseux en encroût.et cristaux lenticulaires.Sans éléments grossiers.Texture "limono-gypseuse". Struct.massive à éclats anguleux.Pas de fentes.Très peu poreux.Matériau à consist.rigide. Induré.Non friable.Très peu de racines.Pas de chevelu.Activité très faible.Transit. graduelle et ondulée.
	90	*Frais 10YR 7/4 Frais beige clair.Non organ.Faible effervesc. Eléments gypseux en "roses",lentilles, macrocristaux lithiques.Sans éléments grossiers.Texture sablo-limoneuse. Structure fragment.peu nette,polyédrique moyenne.Boulant. Poreux.Très rares racines.Activité très faible.Transition graduelle et ondulée.
	110	*Frais 10YR 7/4.Frais blanc sale à beige. Non organ.Faible effervesc.Encroûtement calcaro-gypseux à trame cristalline gypseux.Eléments gypseux en amas et macrocristaux lithiques. Texture sablo-limoneuse.Struct.massive à éclats anguleux. Consistance rigide.Induré.Non friable.Pas de racines.Transition graduelle et ondulée.
	130	*Frais 10YR 7/6.Frais beige clair.Faible effervescence.Non organique.Eléments gypseux diffus et en cristaux lithiques. Pas d'éléments grossiers. Texture sableuse.Structure massive à éclats anguleux.Peu poreux.Consistance rigide. Induré.Pas de racine.Activité nulle.

Matière organique totale 10^{-2}	0-10	20-38	38-60	60-90
	0,6	0,3	0,1	0,1

Annexe n° 3

LISTES FLORISTIQUES DES STATIONS

(la nomenclature est conforme à la flore de l'Algérie de P.QUEZEL et S. SANTA)

FICHE ANALYTIQUE

PROFIL
PFBV AZ_2

	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	38	60	90	110	130	PMI
	Profondeur maximale		41	10	38	60	90	110	130		PMA
Granulométrie en 10^{-2}	Refus		45								REF
	Carbonate de calcium		49	10,5	5,2	6,8	8,8	15,0	12,0	10,0	CDC
	Argile		53	10,5						7,0	ARG
	Limon fin	2 à 20 µ	57	13,0						4,0	LMF
	Limon grossier	20 à 50 µ	61	9,0						5,0	LMG
	Sable fin	50 à 200 µ	65	66,0						84,0	SBF
	Sable grossier		69	0						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								AF
Acidité	pH eau 1/2,5		37	8,3	8,4	8,5	8,3	8,2	8,3	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		17	0,5	64,3	48,0	28,9	25,0	12,0	9,8	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 2,7		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	2,0	3,5	3,2	3,0	4,0	4,2	4,6	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								L 10
			73	4	4	4	4	4	4	4	4 CARTE

Liste floristique Station "KM 52"

(liste non exhaustive)

Ajuga iva var. pseudo-iva	L. Schreb.
Anacyclus cyrtolepidioïdes	Pomel
Argyrolobium uniflorum	(Desc.) Jaub. et Spach.
Aristida ciliata	Desf.
Artemisia campestris	L.
Arthrophytum schmittianum	(Pomel) M. et W.
Asphodelus tenuifoliosus	Cav.
Astragalus armatus ssp. tragacanthoïdes	(Desf.) M.
Astragalus cruciatus	Link
Astragalus caprinus ssp. lanigerus	(Desf.) M.
Atractylis serratuloïdes	Sieb.
Calendula aegyptiaca	Desf.
Carduus getulus	Pomel
Centaurea dimorpha	Viv.
Centaurea cf. furfuracea	Coss. et Kral.
Chrysanthemum coronarium	L.
Cutandia diehotoma	(Forsk.) Trab.
Daucus syrticus	Murbeck
Diplotaxis harra	(Forsk.) Boiss.
Echiochilon grutieosum	Desf.
Echium pycnanthum ssp. humile	(Desf.) Jah. et M.
Emex spinosus	(L.) Campdera
Enarthrocarpus clavatus	Del.
Erodium triangulare ssp. laciniatum	(Cav.) M.
Fagonia glutinosa	Del.
Filago germanica	L.
Hedysarum spinosissimum	L.
Hippocrepis bicontorta	Lois.
Helianthemum lippii var. sessiliflorum	(Desf.)
Ifloga spicata	(Forsk.) Sch.-Bip.
Koeleria pubescens ssp. salzmannii	(B. et R.) Trab.
Koelpinia linearis	Pallas
Launaea resedifolia ssp. eu-resedifolia	M.
Linaria aegyptiaca	(L.) Dum. Cors.
Linaria laxiflora	Desf.

Lithospermum apulum	(L.) Vahl.
Lobularia lybica	(Viv.) Webb.
Lygeum spartum	L.
Malva parviflora	L.
Marrubium deserti	De Noé
Matthiola longipetala ssp. kralikii	(Pomel) M.
Medicago laciniata	(L.) All.
Medicago minima	Grufb.
Medicago truncatula	Gaertn.
Muricaria prostrata	(Desf.) Desv.
Nonnea vesicaria	(L.) Rchb.
Paronychia arabica	(L.) DC.
Plantago albicans	L.
Plantago coronopus	L.
Picris coronopifolia	Desf.
Pituranthos tortuosus	D.C.
Polygonum equisetiforme	S. et Sm.
Reichardia tingitana	(L.) Roth.
Rhantherium suaveolens	Desf.
Reseda decursiva	Forsk.
Salsola vermiculata var. brevifolia	
Salvia verbenaca ssp. clandestina	(L.) Pugsl.
Schismus barbatus ssp. calycinus	
Senecio gallicus ssp. coronopifolius	(L.) Desf. M.
Stipa lagascae	R. et S.
Stipa retorta	Cav.
Teucrium polium s.l.	L.
Thesium humile	L.

Liste floristique de la station de la Citerne Telmam (AA_1)

Adonis dentata	Del.
Ajuga iva ssp. pseudo-iva	(L.) Schreb.
Anabasis oropediorum	M.
Anacyclus cyrtolepidioïdes	Pomel
Anagallis arvensis	L.
Anagallis monelli	L.
Anthemis pedunculata	Desf.
Artemisia campestris	L.
Artemisia herba-alba	Asso
Arthrophytum scoparium	(Pomel) Iljin
Asphodelus tenuifolius	Cav.
Asteriscus pygmaeus	Coss. et Kral.
Astragalus cruciatus	Link
Astragalus gyzensis	Del.
Astragalus tenuifoliosus	M.
Atractylis cancellata	L.
Atractylis flava	Desf.
Atractylis serratuloïdes	Sieb.
Brachypodium distachyum	(L.) P.B.
Calendula aegyptiaca	Desf.
Calendula algeriensis	B. et R.
Carduus gaetulus	Pomel
Carthamus lanatus	L.
Centaurea furfuracea	Coss. et Kral.
Chrysanthemum coronarium	L.
Convolvulus althaeoïbs	L.
Coronilla scorpioïdes	Koch
Cutandia dichotoma	(Forsk.) Trab.
Cynodon dactylon	(L.) Pers.
Dipcadi serotinum	(L.) Medik
Diplotaxis erucoïdes	(L.) DC.
Diplotaxis harra	(Forsk.) Boiss.
Dipletaxis simplex	(Viv.) Spreng.
Echium pycnanthum ssp. humile	(Desf.) Jah. et M.
Enarthrocarpus clavatus	Del.
Erodium glaucophyllum	L'Herit.
Erodium hirtum	Desf.

Erodium triangulare ssp. laciniatum	(Cav.) M.
Euphorbia retusa	Forsk.
Filago germanica	L.
Fumaria parviflora	Lamk
Glaucium corniculatum	Curtis
Hedysarum carnosum	Desf.
Hedysarum spinosissimum ssp. eu-spinosissimum	Briq.
Helianthemum kahiricum	Del.
Herniaria fontanesii	Batt. non Gay
Hippocrepis bicontorta	Lois.
Hordeum murinum	L.
Ifloga spicata	(Forsk.) Sch.-Bip.
Koeleria pubescens ssp. salzmannii	(B. et R.) Trab.
Launaea angustifolia	(Desf.) Muschler
Launaea nudicaulis	(L.) Hook.f.
Launaea resedifolia	O.K.
Linaria aegyptiaca	(L.) Dum. Cors.
Linaria laxiflora	Desf.
Lithospermum apulum	(L.) Vahl
Lygeum spartum	L.
Malva aegyptiaca	L.
Maresia nana	(DC.) Batt.
Marrubium deserti	De Noé
Matricaria aurea	(L.) Sch.- Bip.
Matthiola longipetala ssp. kralikii	(Pomel) M.
Medicago truncatula	Gaertn.
Mesembryanthemum cristallinum	L.
Moricandia arvensis ssp. suffruticosa	(Desf.) M.
Nasturtiopsis coronopifolia	(Desf.) Boiss.
Peganum harmala	L.
Picris coronopifolia	Desf.
Plantago albicans	L.
Plantago ovata	Forsk.
Polygonum equisetiforme	S. et Sm.
Pteranthus dichotomus	Forsk.

Reichardia tingitana	(L.) Roth
Reseda decursiva	Forsk.
Salsola tetrandra	Forsk.
Salsola vermiculata var. villosa	L.
Salvia aegyptiaca	L.
Scabiosa atropurpurea ssp. maritima	(L.) Fiori et Paoli
Scandix pecten-veneris	L.
Schismus barbatus ssp. calycinus	(L.) M. et W.
Scorzonera undulata	Vahl.
Spergularia sp.	
Stipa retorta	Cav.
Suaeda mollis	(Desf.) Del.
Thesium humile	L.
Thymelaea hirsuta	Endl.
Traganum nudatum	Del.
Trigonella anguina	Del.
Trigonella stellata	Forsk.
Vicia monantha ssp. cinerea	(M.B.) M.
Volutaria lippii	(L.) Cass.

Liste floristique Station "KK 8"

(liste non exhaustive)

Anacyclus cyrtolepidioïdes	Pomel
Anarrhinum brevifolium	Cosson et Kralick
Argyrolobium uniflorum	(Desc.)Jaub. et Spach.
Artemisia campestris	L.
Astragalus armatus ssp. tragacanthoïdes	(Desfontaines) Maire
Astragalus cruciatus	Link
Astragalus tenuifoliosus	M.
Atractylis serratuloïdes	Sieb
Coris monspeliensis	Murbeck
Cutandia dichotoma	(Forsk.) Trab.
Daucus syrticus	Murbeck
Echiochilon fruticosum	Desf.
Erodium glaucophyllum	(L.) L'Héritier
Filago germanica	L.
Gymnocarpos decander	Forsk.
Hedysarum spinosissimum	L.
Helianthemum crassifolium	Persoon
Helianthemum kahiricum	Delile
Helianthemum lippii var. intricatum	Murbeck
Helianthemum lippii var. sessiliflorum	(Desf.)
Hippocrepis bicontorta	Lois.
Koeleria pubescens ssp. salzmannii	(B. et R.) Trab.
Linaria aegyptiaca	(L.) Dum. Cors.
Lygeum spartum var. genuinum	Maire et Weiller
Marrubium deserti	de Noé
Medicago truncatula	Gaertn.
Ononis natrix ssp. falcata	(Viviani) Murbeck
Paronychia arabica	(L.) DC.
Pituranthos chloranths ssp. cossonianus	M.
Pituranthos tortuosus	D.C.
Plantago albicans	L.
Polygonum equisetiforme	S. et Sm.

Rhantherium suaveolens	Desf.
Salvia verbenaca ssp. clandestina	(L.) Pugsl
Schismus barbatus ssp. calycinus	(L.) M. et W.
Stipa lagascae	Roemer et Schultz
Teucrium polium s.l.	L.
Thymelaea microphylla	Coss. et Dur.
Zygophyllum album	L.

Liste floristique Station "ZERKINE"

(liste non exhaustive)

Adonis dentata	Del.
Ajuga iva ssp. pseudo-iva	(L.) Schreb.
Allium roseum	L.
Anacyclus cyrtolepidioïdes	Pomel
Anagallis arvensis	L.
Argyrolobium uniflorum	(Desc.) Jaub. et Spach.
Artemisia campestris	L.
Astragalus caprinus ssp. lanigerus	(Desf.) W.
Astragalus cruciatus	Link
Astragalus tenuifoliosus	W.
Brachypodium distachyum	(L.) P.B.
Brassica tournefortii	Gouan.
Bromus rubens	L.
Bupleurum semicompositum	L.
Calendula aegyptiaca	Desf.
Carduus getulus	Pomel
Chrysanthemum coronarium	L.
Coronilla scorpioïdes	Koch
Cutandia dichotoma	(Forsk.) Trab.
Cynodon dactylon	(L.) Pers.
Diplotaxis virgata	DC.
Erodium glaucophyllum	L'HERIT.
Erodium triangulare ssp. laciniatum	(Cav.) W.
Euphorbia exigua	L.
Filago germanica	L.
Hedypnois cretica	(L.) Willd.
Hedysarum spinosissimum	L.
Herniaria fontanesii	Batt. non Gay
Hippocrepis bicontorta	Lois.
Hordeum murinum	L.
Koeleria pubescens ssp. salzmannii	(B. et R.) Trab.
Launaea resedifolia	O.K.
Linaria aegyptiaca	(L.) Dum. Cors.
Linaria laxiflora	Desf.
Linaria tenuis	Sprencel

Lithospermum apulum	(L.) Vahl
Lobularia lybica	(Viv.) Webb.
Lotus creticus ssp. cytisoïdes	(L.) Asch.
Malva parviflora	L.
Matthiola longipetala ssp. kralikii	(Pomel) M.
Medicago cf minima	Grufb.
Medicago truncatula	Gaertn.
Paronychia arabica	(L.) DC.
Phalaris minor	L.
Picris coronopifolia	Desf.
Pituranthos tortuosus	D.C.
Plantago albicans	L.
Plantago coronopus	L.
Plantago ovata	Forsk.
Polygonum equisetiforme	S. et Sm.
Reseda decursiva	Forsk.
Salvia verbenaca ssp. clandestina	(L.) Pugsl.
Schismus barbatus ssp. calycinus	(L.) M. et W.
Stipa retorta	Cav.
Vicia lutea	L.
Viciamonantha ssp. cinerea	(Marschall-Bieberstein)Maire
Volutaria lippii	(L.) Cass.
Ziziphus lotus	LAMARCK