

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
PARIS-GRIGNON
Chaire d'agronomie

INSTITUTO DE ECOLOGIA
DE MEXICO
ORSTOM

MEMOIRE

**COMPORTEMENT ECOPHYSIOLOGIQUE DE
DEUX VARIETES DE GRAMINEES
PERENNES DANS LA ZONE
NORD ARIDE DU MEXIQUE**

Présenté par: Francis HABERSTOCK

En vue de l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie

mention:

"SCIENCE ET TECHNIQUE DES PRODUCTIONS VEGETALES"

Ce travail a été dirigé par:

**- Jean - Pierre DELHOUME, Chercheur ORSTOM travaillant en collaboration avec
l'Institut d'Ecologie de Mexico.**

- Alain CAPILLON, Chaire d'Agronomie de l'INA-PG.

GOMEZ-PALACIO - OCTOBRE 1989

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
PARIS-GRIGNON
Chaire d'agronomie

INSTITUTO DE ECOLOGIA
DE MEXICO
ORSTOM

MEMOIRE

**COMPORTEMENT ECOPHYSIOLOGIQUE DE
DEUX VARIETES DE GRAMINEES
PERENNES DANS LA ZONE
NORD ARIDE DU MEXIQUE**

Présenté par: Francis HABERSTOCK

En vue de l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie

mention:

"SCIENCE ET TECHNIQUE DES PRODUCTIONS VEGETALES"

Ce travail a été dirigé par:

**- Jean - Pierre DELHOUME, Chercheur ORSTOM travaillant en collaboration avec
l'Institut d'Ecologie de Mexico.**

- Alain CAPILLON, Chaire d'Agronomie de l'INA-PG.

REC

09/01/90

GOMEZ-PALACIO - OCTOBRE 1989

Par DEC

RESUME

Le travail présenté est l'étude du comportement éco-physiologique de deux graminées pérennes largement représentées dans les régions arides et semi-arides du nord du Mexique.

Ces plantes sont d'un intérêt agronomique extrême puisqu'elles constituent la principale ressource fourragère dans une région où l'élevage bovin extensif représente la principale activité humaine et agricole ainsi que la principale utilisation du sol.

Nous avons étudié le comportement de ces plantes en suivant au cours d'une saison leurs potentiels hydriques, que nous avons ensuite comparé au stock d'eau du sol, d'une part, à la production de biomasse d'autre part.

Cela nous a permis de construire un modèle d'évolution du potentiel hydrique en fonction des stocks d'eau totaux, qui traduit l'adaptation de ces plantes à la sécheresse, ainsi qu'un modèle d'évolution de la croissance végétale en fonction des potentiels hydriques.

Nous avons aussi étudié l'évolution du potentiel hydrique en fonction du contenu en eau de la plante, cela permet de caractériser l'adaptation des plantes à la sécheresse.

Ces deux plantes ont la particularité d'être tolérantes à la sécheresse en résistant aux forts potentiels mais aussi de

rentrer en dormance lors des phases de sécheresse prolongée.

Par contre elles n'ont pas la même dynamique de l'eau :

Alors que "Sporobolus" apprécie les zones inondables et présente une croissance rapide,

"Hilaria" offre une croissance plus lente et longue dans les zones plus élevées.

Ainsi elles ont une répartition différente dans le paysage avec des rythmes de croissance différents qui pourrait être utilisé par les éleveurs pour valoriser et préserver le milieu au mieux à travers de l'élevage bovin extensif.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio del comportamiento eco-fisiológico de dos gramíneas perennes muy abundantes en las regiones áridas y semiáridas del norte de México. Estas plantas son de un interés agronómico importante porque constituyen el principal recurso forrajado, en una región donde el ganado extensivo representa la principal actividad humana y agrícola y también la principal utilización del suelo.

Hemos estudiado el comportamiento de estas plantas siguiendo durante una estación húmeda sus potenciales hídricos, que hemos comparado luego con la reserva de agua y con la producción de biomasa.

Eso nos ha permitido de construir un modelo de evolución del potencial hídrico relacionado con la reserva de agua total. Eso traduce la adaptación de esas plantas a la sequía. Hemos construido también un modelo de evolución del crecimiento vegetal en relación con los potenciales hídricos.

Hemos también determinado los potenciales de base y mínimo siguiendo la evolución del potencial hídrico relacionado con el contenido en agua de la planta. Permiten de caracterizar la adaptación de las plantas a la sequía.

Estas dos plantas tienen la particularidad de ser tolerantes a la sequía, resistiendo a los fuertes potenciales pero también de ser durmientes cuando la sequía persiste mucho tiempo. Pero no tienen la misma dinámica del agua :

A "Sporobolus" le gusta las zonas inundables y presenta esta especie un crecimiento rápido ; "Hilaria" tiene un crecimiento más lento y más largo en las zonas más elevadas.

Eso explica su repartición y los ritmos de crecimiento diferentes.

Este punto podría ser usado por los ganaderos para valorizar a lo mejor el medio a través del ganado.

ABSTRACT

The presented work is a study of an eco-physiological behaviour of two perennial gramineae widely represented into the arid and semi-arid areas of northern Mexico.

These plants have an important agronomical interest because they form the principal forage resource in one area where the extensive bovine raising represent the principal human and agricultural activity just as the principal using of the ground.

We have study the behaviour of these plants in following, during one season, their water potential which we then compared, for one part to a stock of groundwater, the other part to a biomass production.

This permitted us to make an evolution model of the water potential in fonction fo the stock of total water, which show the adaptation of these plants to the dryness, next an evolution model of the vegetal development in fonction to the water potential.

We have also study the evolution of the water potential in fonction to the contents of the water in the plant to characterize the adaptation of the plants to a dryness.

These two plants have the particularity to be tolerant to the dryness, hardy to strong potentials, but also to enter in sleep at the time of prolonged dryness.

On the other hand these plants doesn't have the same dynamic of water.

While the "Sporobolus" appreciate the areas liable to flooding and present a fast growing, "Hilaria" have a slower and larger growing in more elevated areas.

This different spatial spreading with different growing rythm could be used by the breeders to valorize, on the best way, the middle accross the extensive bovine raising.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont été sollicitées ou qui ont contribué à ce travail :

- Monsieur J.P. DELHOUME, chercheur ORSTOM, responsable de l'antenne ORSTOM à GOMEZ-PALACIO.

- Monsieur G. HALFFTER, directeur de l'Institut d'Ecologie de Mexico.

- Monsieur J. ASSELINE, chercheur ORSTOM.

- Monsieur J.L. JANEAU, chercheur ORSTOM.

- Monsieur G.BESNARD, docteur en physiologie végétale de l'université de GRENOBLE.

- Monsieur J.L.GONZALEZ BARRIOS, étudiant en thèse à l'ORSTOM.

Ainsi que tous les étudiants de l'Institut d'Ecologie et le personnel de l'Institut d'Ecologie, de l'Ejido "La Flor" et du laboratoire du désert.

Enfin la PRONAPA (a) et P.S.O (b) pour leur assistance informatique.

(a) PRONAPA : Programa Nacional de investigacion Para el Aprovechamiento del Agua (GOMEZ-PALACIO).

(b) P.S.O. : Plateformes et Structures Océaniques (RUEIL-MALMAISON).

ABBREVIATIONS UTILISEES

(Annexe 1)	= voir annexe 1
(fig. 1)	= voir figure 1
Tabl. 1	= Tableau 1
(1)	= référence bibliographique numéro 1
(cf.)	= confère
p. 1	= page 1
n°	= numéro
chap.	= chapitre
mm	= millimètre
cm	= centimètre
m	= mètre
m ²	= mètre carré
cm ³ /100cm ³	= centimètre cube par 100 centimètres cubes (de sol)
g	= gramme
h	= heure
°	= degré
'	= minute
°c	= degré celsius
Ha	= Hectare
t/Ha	= tonne par Hectare
MPa	= Mega Pascal
Cal/cm ² /jour	= Calorie par centimètre carré et par jour

SOMMAIRE

	PAGE
I. INTRODUCTION	1
II. OBJECTIFS	2
III. LE MILIEUX D'ETUDE	3
1) Milieu physique	
2) Milieu climatique	
IV. LES STATIONS D'ETUDE	6
1) Station Mogote	
2) Station Hilaria 1	
3) Station Hilaria 2	
4) Station Sporobolus 1	
5) Station Sporobolus2	
V. MATERIEL ET METHODES	8
A) PLUVIOMETRIE, HUMIDITE VOLUMIQUE DU SOL	8
B) POTENTIELS HYDRIQUES, BOMBE DE SCHOLANDER	8
1) Introduction	8
2) Théorie	9
3) Méthode	10
a) Appareil	
b) Procédure	
c) Précautions	
4) Potentiel de base et potentiel minimum	12
5) Courbes "Pression - Volume"	12
6) Conclusion	16
C) MESURE DE LA BIOMASSE AERIENNE	16
1) Le poids	
2) Surfaces et formes d'échantillonnage	
3) Technique pour déterminer le rendement	
4) Recouvrement et couverture	

VI. RESULTATS17
1) Pluviométrie17
2) Potentiels hydriques des plantes	18
a) Evolution saisonnière	18
b) Evolution des potentiels lors des phases de dessèchement	22
c) Evolution comparée des potrtiels de base et minimum	25
3) Observations morphologiques	25
4) Conclusion n°1	27
5) Humidité du sol et stock d'eau	28
6) Comparaison des hauteurs de pluie et des stock d'eau	32
7) Comparaison du stock d'eau du sol et du potentiel de base de la plante	38
8) Conclusion n°2	40
9) Comparaison du potentiel de base et de la matière sèche produite	41
10) Conclusion n°3	42
11) Courbes "Pression - Volume"	45
12) Conclusion n°4	48
VII. CONCLUSION GENERALE	49

I. INTRODUCTION

Les régions arides et semi-arides, dont la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 500 mm d'eau, constituent 55% du territoire mexicain, le désert de Chihuahua représentant 13 % de ce dernier.

Ces régions se situent principalement dans le nord du Mexique et ont pour vocation le pâturage extensif de bovins.

Les pluies, essentiellement localisées en été, ne peuvent être totalement utilisées par les plantes du fait de la forte insolation durant cette époque provoquant d'importantes pertes par évaporation.

De plus, la constitution d'une réserve hydrique disponible et utilisable par la plante est problématique du fait de l'importance des sols à texture argileuse dans ces régions du nord du Mexique. En effet, cette texture s'oppose à l'infiltration de l'eau en profondeur et ces sols ne peuvent donc emmagasiner qu'une faible proportion de l'eau reçue (4).

Un programme de recherche a été entrepris en 1982 conjointement par l'Institut d'Ecologie du Mexique et l'ORSTOM (FRANCE). Il a été réalisé dans le sud du désert de Chihuahua au niveau de la Réserve de la Biosphère de Mapimi qui se trouve en limite des états de DURANGO, COAHUILA et CHIHUAHUA (fig. 1).

Les différents travaux réalisés dans le cadre de ce projet "Mapimi" se répartissent selon trois thèmes de recherche :

- Dynamique et disponibilité de l'eau du sol au niveau stationnel.
- Redistribution de l'eau dans le paysage, ruissellement, érosion.
- Comportement écophysiological de la végétation face aux contraintes d'aridité.

Le présent travail fait suite à une première étude réalisée en 1988 par G. Besnard (38) sur l'aspect écophysiological du programme général ci-dessus. Il concerne les mêmes stations que celles utilisées par G. Besnard et porte uniquement sur deux espèces végétales "Hilaria mutica" (Buckl) Benth et "Sporobolus airoides" (Torr) Torr, car ces deux graminées pérennes représentent les plus importantes ressources fourragères pour les bovins.

II. OBJECTIFS

Ces zones arides mexicaines sont d'un intérêt socio-économique majeur pour le pays car elles représentent environ les deux tiers du territoire potentiellement utilisable.

L'activité agricole primordiale est l'élevage extensif bovin qui exploite les ressources végétales naturelles renouvelables. La charge animale varie par tête de bétail de 12 à 25 Ha (1). Le nord du Mexique est la principale région productrice de viande bovine du pays.

Pourtant ce milieu est fragile écologiquement. Il subit malgré tout une intensification de l'activité agricole. L'exploitation des ressources naturelles renouvelables étant souvent irrationnelle peut provoquer des dégradations irréversibles du milieu et compromettre la reproductibilité de cet agro-système.

Il est donc primordial de comprendre le fonctionnement de ce système écologique afin de le protéger et de le valoriser.

A cette fin une caractérisation du comportement écophysologique des deux principales espèces végétales d'intérêt fourrager de la zone étudiée a été entreprise.

En 1988, G. Besnard (38) a suivi l'évolution au cours de l'été des potentiels hydriques des plantes en rapport avec la pluviométrie et spécialement au cours de la phase de dessèchement, l'évolution des teneurs en eau du sol et l'évolution comparée des stocks d'eau et des précipitations. Egalement des comparaisons entre les stocks d'eau du sol et le potentiel de base (mesuré le matin à l'aube) de la plante ont été effectuées. Il a de plus établi des courbes "pression - volume" pour étudier la résistance des deux espèces étudiées à la sécheresse et leur adaptation à celle-ci.

Nos objectifs dans la présente étude sont les suivants :

1) Etudier l'évolution saisonnière du potentiel hydrique et plus spécialement durant la phase de dessèchement des plantes, dans chaque station.

2) Déterminer les stocks d'eau nécessaires à la croissance après une période de dessèchement. Ceci n'est possible que si le début de croissance n'est précédé que de petites pluies. Connaissant le rythme de dessiccation et la quantité d'eau nécessaire à la croissance, ces deux points devraient permettre, ultérieurement, de mieux gérer les parcours des troupeaux au cours de l'année.

3) Mesurer les teneurs en eau du sol, en relation avec les précipitations et confirmer le modèle d'évolution du potentiel de la plante en fonction du stock d'eau du sol établi antérieurement par G. Besnard (38). Cette relation permettra de caractériser l'adaptation des plantes au milieu aride et leur aptitude à utiliser l'eau du sol.

4) Déterminer les valeurs limites minima du potentiel hydrique de base de la plante, permettant la croissance par des coupes de biomasse.

5) Observer les stades phénologiques (épiaison, fructification et dissémination). Ces observations seront rapportées aux potentiels (point 1).

6) Etablir des courbes "pression - volume" $1/\Psi = f(V)$. Celles-ci caractérisent la dépendance du potentiel de la plante vis-à-vis de son contenu en eau, mais en plus elles caractérisent l'adaptation des plantes au milieu sec.

III. LE MILIEU D'ETUDE

1) Milieu physique

Les stations expérimentales sont localisées dans la réserve de la Biosphère de Mapimi, dans une région appelée "Bolson de Mapimi", dans le sud du désert de Chihuahua (7) (fig. 1).

Cette réserve, d'une superficie de 160 000 ha, est localisée entre les latitudes 26°29' et 26°52' nord et entre les longitudes 103°32' et 103°58' ouest, à la limite des états de CHIHUAHUA, DURANGO et COAHUILA.

Son altitude moyenne se situe entre 1100 et 1500 m.

Le paysage, relativement monotone, est constitué principalement (60 % de la réserve) par des glacis, en pente douce (moins de 8 %) et par des plaines à pente très faible (moins de 1 %). De petits reliefs et collines viennent rompre cette monotonie.

Au nord de la réserve se trouvent des formations dunaires fixées par la végétation.. L'est de la réserve est plus accidenté avec des reliefs atteignant 1600 m.

La réserve appartient à deux bassins hydrologiques endoréiques dont le niveau de base est occupé par une dépression salée ou laguna.

Les zones basses sont principalement constituées par des formations quaternaires. Les reliefs, eux, sont constitués de roches de nature et d'âge variés (massif calcaire du Crétacé, collines de conglomérat tertiaire, reliefs volcaniques du tertiaire).

Les sols sont du type Yermosol ou Xerosol dans les zones basses, avec présence d'horizons enrichis en sels, gypse ou calcaire, Lithosol ou Regosol dans les reliefs et les piémonts, Solontchak dans les zones les plus basses (1 bis) (3).

La végétation correspond au "matorral désertique microphylle" (5) ou "matorral xérophile" (6), matorral désignant la présence d'une végétation arbustive basse avec une strate herbacée clairsemée. La végétation s'adapte aux conditions de sécheresse en se distribuant spécialement de manière contractée à l'échelle décamétrique, mais aussi à l'échelle métrique sous forme de touffes isolées alternant avec des zones de sol nu (39) (4).

2) Milieu climatique

(d'après (2) complété par les données des dernières années).

Les radiations solaires ne sont que rarement inférieures à 300 cal/cm²/jour, elles sont même supérieures à 400 de mars à octobre et supérieures à 490 en avril, mai et juin. Les radiations solaires ne constituent donc pas un facteur limitant pour la croissance.

La température annuelle moyenne sous abri est de 20,8°C (au laboratoire du désert au centre de la réserve) avec une forte variation saisonnière : les hivers sont froids (moyenne des minima de janvier : 3,9°C) et les étés sont chauds (moyenne des maxima de juin : 36,1°C).

La moyenne des précipitations est de 293 mm à Ceballos (1956-1985), la station météorologique la plus proche de la réserve. Au laboratoire du désert (1979-1988), elle est de 285 mm. La variabilité interannuelle des précipitations est très importante, ainsi que la variabilité spatiale même à courte distance. L'essentiel des précipitations se produit en été, les pluies de juin à septembre représentent 67 % du total annuel (191 mm). Les années à pluviométrie très supérieure à la moyenne sont liées à l'abondance des cyclones touchant

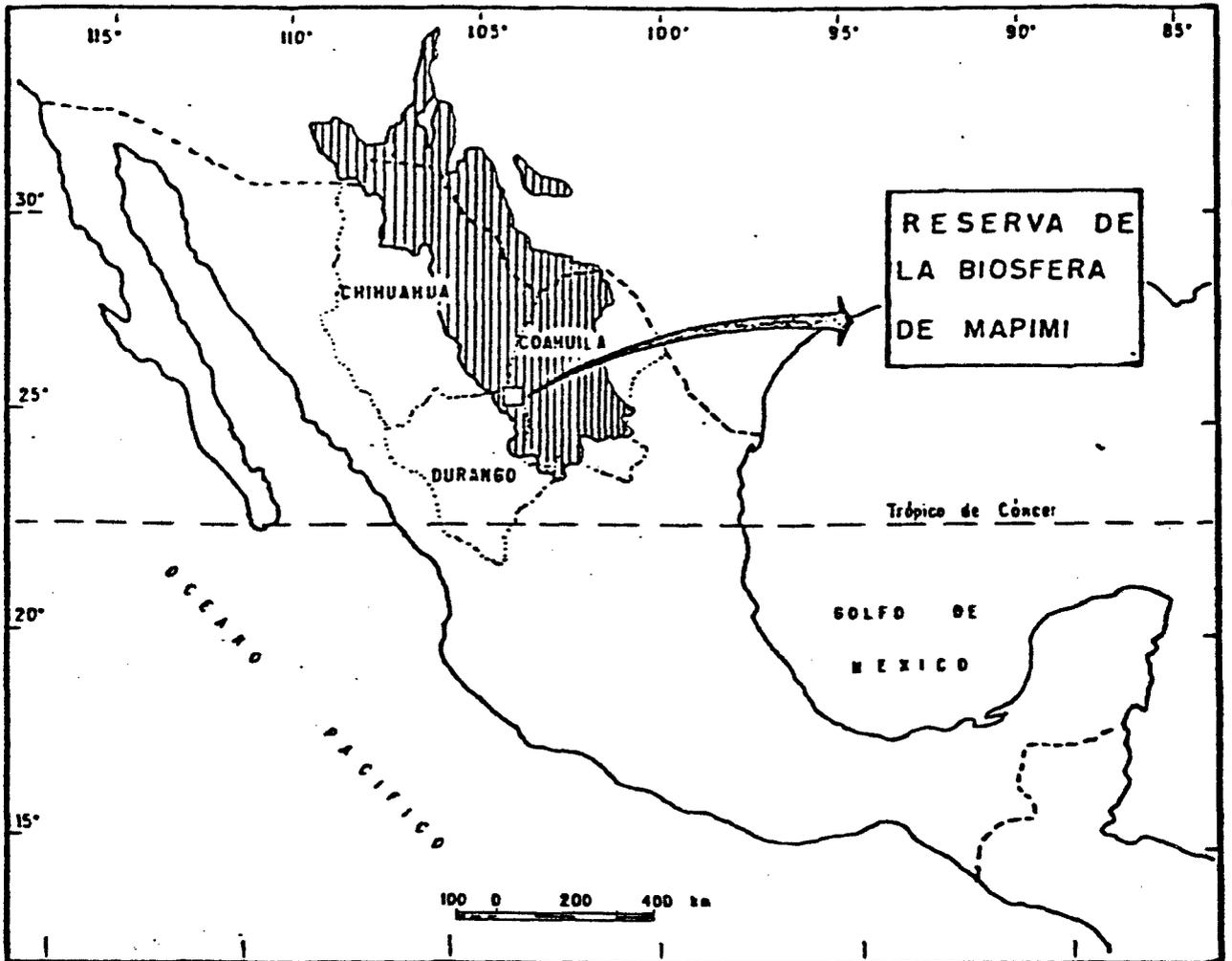


Fig. 1 : Localisation de la Réserve de la Biosphère de Mapimi, à l'intérieur du Désert de Chihuahua (Selon SCHMIDT, 1979) (7)

les côtes nord du Mexique (cyclones dûs aux fortes dépressions tropicales du golfe du Mexique et du Pacifique). Les averses ont un caractère orageux, avec une forte intensité, mais en général, elles sont de courte durée et très localisées

L'évaporation moyenne annuelle (mesurée en bac d'évaporation) est de 2805 mm au laboratoire du désert, soit 10 fois les précipitations annuelles. Pendant les mois de mai et juin, l'évaporation moyenne est de 348 mm. C'est pourquoi il n'est pas possible de définir pour la zone d'étude, une période humide, c'est-à-dire une période durant laquelle les précipitations sont égales ou supérieures à l'évapotranspiration. Il est seulement possible de définir une période estivale de végétation où généralement les séquences humides, de courte durée, sont les plus fréquentes.

Pour caractériser d'une manière assez complète, mais concise le climat de la région, on peut le décrire comme "Un climat tropical aride, continental, de moyenne altitude, à pluies d'été et à hivers frais".

IV. LES STATIONS D'ETUDE

Les deux espèces, "*Hilaria mutica*" et "*Sporobolus airoides*" sont étudiées dans cinq stations, les mêmes que celles utilisées en 1988. Quatre correspondent à des zones de pâturage avec un très faible recouvrement arbustif (2 stations pour chaque espèce). Les graminées y forment des touffes de 20 à 60 cm de diamètre, alternant avec des zones dénudées en dépression par rapport aux touffes. Ces stations sont en défens. La cinquième station correspond à une zone de végétation contractée ou brousse tigrée, appelée localement "mogote", dans laquelle est étudiée "*Hilaria mutica*".

1) Station "Mogote"

Le "Mogote" est une alternance plus ou moins régulière et ordonnée d'arcs de végétation dense et de zones de sol nu (2).

Les bandes végétales ont une largeur de 20 à 60 m sur 150 à 300 m de longueur et leur grand axe est toujours perpendiculaire à la ligne de plus grande pente (voisine de 1 %). Les zones de sol nu les séparant ont une largeur de 40 à 150 m.

Dans la zone pionnière, en amont de Mogote, ne se trouvent que des herbacées, dans laquelle "*Hilaria*" est présente.

L'arc de végétation proprement dit commence par un front arbustif ("*Flourensia cernua*") dominant une strate herbacée dense à "*Hilaria mutica*". Puis la strate arbustive se diversifie ("*Prosopis glandulosa*", "*Aloysia lycioides*", "*Lippia graveolens*"), dominant toujours une strate à "*Hilaria mutica*". Dans la zone aval du Mogote, les arbustes disparaissent progressivement pour ne laisser que "*Hilaria*", avec un recouvrement bien plus faible que dans le corps du "Mogote", où il était de 50 à 60 %.

"*Hilaria*" est étudié dans la partie amont de l'arc de végétation. Des mesures sont aussi réalisées dans la zone pionnière, pour comparaison.

Le sol peut être classé comme un Xérosol modal, sur alluvions fines et moyennes reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone (Annexe 1) (3).

2) Station Hilaria 1

C'est un pâturage où l'espèce "*Hilaria mutica*" constitue plus de 90 % du couvert végétal. Cette strate herbacée, où l'on note la présence de quelques cactacées du genre "*Opuntia*", est dominée par une strate arbustive très peu dense, "*Prosopis glandulosa*" étant l'espèce la plus fréquente.

Le taux de recouvrement de la végétation est de 30 à 40 %. La pente est inférieure à 1 %.

Le sol est un Yermosol gypseux, sur alluvions argileuses, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone. La texture du sol est argileuse dès la surface (Annexe 2) (3).

3) Station Hilaria 2

C'est un pâturage à "*Hilaria mutica*", à recouvrement global pouvant atteindre 40 %, avec une strate arbustive peu dense ("*Suaeda nigrescens*"). La pente est inférieure à 0,5 %.

Le sol est un vertisol chromique, à phase sodique et faciès gypseux, sur un matériau d'apport alluvial de texture fine. Il présente une accumulation de sels solubles, qui devient importante à moyenne profondeur. Il s'agit essentiellement de chlorure de sodium (Annexe 3) (DELHOUME, communication personnelle).

4) Station Sporobolus 1

C'est un pâturage à "Sporobolus airoïdes", à recouvrement global pouvant atteindre 40 %, avec une strate arbustive peu dense ("Prosopis glandulosa"). La pente est inférieure à 0,5 %.

Le sol est un vertisol chromique sur alluvions à texture fine (Annexe 4) (3).

5) Station Sporobolus 2

C'est un pâturage presque exclusivement constitué par "Sporobolus airoïdes", avec quelques cactacées. Le recouvrement peut atteindre 30 %, la pente est inférieure à 0,5 %.

Le sol est un solontchak modal, à phase sodique et faciès gypseux, sur matériau d'apport alluvial de texture fine. La texture est fine sur tout le profil, et le sol présente une importante accumulation de sels solubles dès la surface, constituée essentiellement de chlorure de sodium (Annexe 5) (DELHOUME, communication personnelle).

V. MATERIEL ET METHODES

A) PLUVIOMETRIE, HUMIDITE VOLUMIQUE DU SOL

Dans chaque station les précipitations sont relevées après chaque pluie grâce à des pluviomètres totalisateurs.

De plus l'humidité du sol est suivie, en fonction du temps et des profondeurs à l'aide d'un humidimètre type sonde Solo 25 (Nardeux). L'étalonnage du site de mesure a été effectué chimiquement au C.E.N. de Cadarache (FRANCE) (Annexe 6).

B) POTENTIELS HYDRIQUES, BOMBE DE SCHOLANDER

1) Introduction

Les plantes doivent se procurer l'eau indispensable à leur vie dans le sol et la retenir dans leurs tissus face à la forte demande évaporatrice de l'atmosphère (23) : la plus grande partie de l'eau passant dans la plante part dans l'atmosphère (9).

Deux grandeurs rendent compte du statut hydrique de la plante : le contenu en eau (ou contenu relatif) et le potentiel hydrique (26). Car c'est la disponibilité de l'eau du sol (9) et son état énergétique (26 & 21) qui importent.

C'est cette notion de potentiel qui est plus généralement utilisée, l'eau allant toujours des potentiels les plus élevés (les moins négatifs) aux potentiels les plus faibles (les plus négatifs) :

$$\Psi_{\text{sol}} > \Psi_{\text{racine}} > \Psi_{\text{feuille}} > \Psi_{\text{atmosphère}}$$

(9 & 36).

Si la nuit gains et pertes en eau s'équilibrent (demande évaporative faible et fermeture des stomates), par contre le jour les pertes excèdent les gains : ainsi la plante se trouve souvent en situation de stress hydrique. Ce sont ces contraintes physiologiques qui déterminent l'adaptation des plantes et leur distribution dans la nature (23).

Historique

Dixon et Joly (1894) développèrent leur théorie de la cohésion, expliquant l'aptitude des arbres à pomper l'eau à des hauteurs bien supérieures que celles obtenues par des pompes à vide. Mais ils ne purent la tester car la méthodologie de leur époque ne le leur permettait pas (15).

Scholander, Hammel et leurs collègues (1965) présentèrent une chambre à pression, la chambre de Scholander, très proche de l'appareil de Dixon (25).

Le principe était de faire la mesure de la pression hydrostatique (négative), Ψ_s , présente dans les vaisseaux, en observant à quelle pression extérieure (positive), P, la sève commençait à sortir de la tige : c'est-à-dire pour quelle pression, P, extérieure, la pression intérieure s'annulait-elle (23, 24 & 25).

Ils mirent ensuite en évidence le rapport entre les données de la chambre et les capacités d'adaptation de la plante (23 & 25).

2) Théorie

Le potentiel hydrique total (ou de sève), Ψ_s , est en fait la différence de potentiel entre la plante et le sol (36). Il existe de nombreuses formulations de ce dernier. Elles diffèrent selon les chercheurs ayant étudié les potentiels hydriques dans la plante, ces derniers employant des noms et des notations différentes, parfois contradictoires, pour les mêmes grandeurs.

Nous avons choisi de présenter l'écriture la plus complète afin de montrer les différents facteurs susceptibles d'agir sur le potentiel Ψ_s :

$$\Psi_s = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_{\Pi} + \Psi_{\tau}$$

(d'après 23)

où

Ψ_g est le potentiel de gravitation ($-pgh$) : nous le négligerons, dans notre étude, qui concerne deux graminées, car il est de l'ordre de 0,1 MPa/m. Seuls les chercheurs étudiant les grands arbres en tiennent compte (9 & 25)

Ψ_p est le potentiel de Turgescence : il correspond au potentiel de Friction-Résistance.

Ψ_{Π} est le potentiel osmotique,

Ψ_{τ} le potentiel matriciel : Boyer (13) associe ce dernier à l'eau absorbée aux colloïdes et aux tensions de surfaces au niveau des parois. Mais Tyree & Hammel (34) le considère comme partie intégrante du potentiel de turgescence. Il est faible.

En revanche tous les auteurs, n'étudiant pas les grands arbres, utilisent l'écriture simplifiée, que nous utiliserons par la suite, du potentiel total :

$$\Psi_s = \Psi_p + \Psi_{\Pi} \quad (\text{Dans la vacuole})$$

où Ψ_s et Ψ_{Π} sont négatifs et Ψ_p est positif (12, 26, 29, 32 & 36).

En fait la bombe de Scholander ne mesure pas les potentiels osmotiques (12 & 25). Il a été montré, récemment, que la bombe à pression est analogue aux appareils utilisés en physique du sol : c'est-à-dire qu'elle mesure le potentiel matriciel (Ψ_{τ}) de l'apoplasme (ou paroi cellulaire) (15 & 22).

Or le potentiel hydrique total, Ψ_s , d'une cellule à l'équilibre est le même dans la paroi comme dans la vacuole (26) :

$$\Psi_s = \Psi_{\Pi} + \Psi_p = \Psi_{\Pi} + \Psi_{\tau}$$

vacuole paroi

Comme le potentiel osmotique de la paroi, Ψ_{Π} , est négligeable et le système en équilibre, la mesure P de la chambre constitue une bonne estimation du potentiel hydrique total Ψ_s (26 & 27).

Donc à l'origine :

$$\Psi_s \text{ original} = \Psi_p + \Psi_{\Pi}$$

une fois la pression appliquée :

$$\Psi_s = \Psi_p + \Psi_{\Pi} + P$$

à l'équilibre :

$$\Psi_s = 0 = \Psi_p + \Psi_{\Pi} + P^*$$

d'où :

$$P^* = - \Psi_p - \Psi_{\Pi} = - \Psi_s \text{ original} \quad (36).$$

Ce que l'on mesure c'est le potentiel de l'eau dans la cellule moins le potentiel de l'eau pure (qui est nul) (21 & 23).

3) Méthode

a) Appareil (fig. 2 à partir de (23, 24, 25, 26 & 27))

Une bouteille d'azote comprimée (gaz inerte) est la source de pression (A) que l'on règle grâce à une soupape de pression (B) et un manomètre (C). (D) est la soupape régulant la pression à l'intérieur de la chambre (G), (E) est une soupape à trois positions : Ouvert-Fermé-Purge. (F) est le manomètre indiquant la pression dans la chambre (G).

La chambre à pression (fig. 3 à partir de (23 & 25)) se compose d'un cylindre métallique (H) pouvant supporter 10 MPa de pression interne. En pratique il n'est guère possible d'aller au delà de 7 MPa car à cette pression les joints maintenant l'échantillon (I) se détériorent rapidement provoquant des fuites de gaz. Un bouchon de caoutchouc (J) perforé en son centre laisse passer le bout de la tige qu'il maintient et se place au milieu du couvercle (K) à baïonnette. Le gaz pénètre par (L).

b) Procédure (14, 23, 25 & 27)

Les mesures sont effectuées sur des tiges feuillées entières, coupées au dessus du collet et bien développées. La tige (I) est placée dans le bouchon (J) en ne la laissant dépasser que de quelques millimètres à l'extérieur. Le bouchon (J) est placé dans le couvercle (K) et serré hermétiquement. Le couvercle (K) est lui même placé sur le cylindre (H) et fermé hermétiquement. La pression est graduellement appliquée (0,3 MPa/s) dans la chambre. Quand la sève apparaît "en bouillonnant" à la coupure, (E) est fermé. La pression alors présente dans la chambre se lit sur (C). La purge s'effectue grâce à (E) après avoir fermé (D)

c) Précautions (23)

Il ne faut couper la tige qu'une seule fois et avec la lame d'un couteau : une recoupe restaure une certaine turgescence des feuilles (25).

La longueur de tige dépassant à l'extérieur doit être minimum (27).

Le temps entre excision et mesure doit être minimum du fait de l'accroissement de la transpiration (10 & 25).

Pour mesurer $P = - \Psi_s$ il faut être à l'équilibre (11,12,16,19,25 & 27). Il faut donc augmenter la pression dans la chambre de façon lente et constante (0,3 MPa/s).

Pour éviter l'évaporation dans la chambre pendant les mesures un papier filtre humidifié est placé le long de la paroi de la chambre (26).

La reconnaissance du point d'équilibre $P = - \Psi_s$ n'est pas toujours évidente. Il peut apparaître, avant ce point, des bulles de gaz transportant avec elles des produits du xylème (18 & 20). Pour faciliter la lecture il faut essuyer la coupure avec un papier filtre (25 & 26).

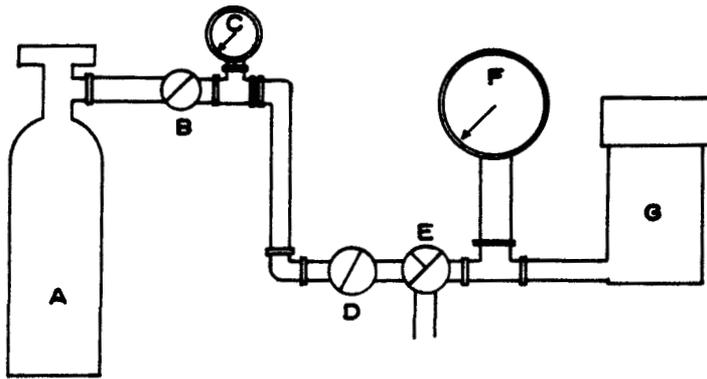


Fig. 2
SCHEMA DE LA
CHAMBRE A
PRESSION

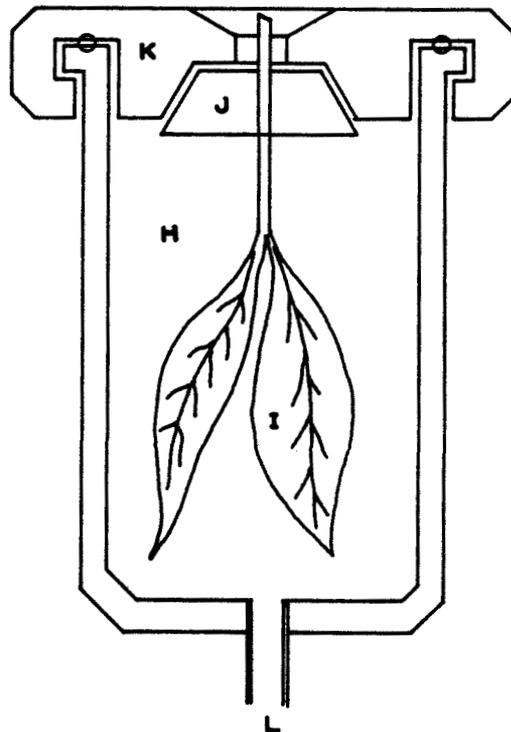


Fig. 3
DETAIL DE LA CHAMBRE
A PRESSION

4) Potentiel de base et potentiel minimum (23)

Ce sont les deux mesures réalisées aux champs (5 à 10 répétitions par mesure).

Le potentiel de base est mesuré au lever du soleil (1h30 avant et 1 h après) : Il est uniquement fonction de l'humidité du sol (demande évaporative faible et fermeture des stomates la nuit). Il y a donc une rééquilibration avec le sol la nuit (dépendant de l'aptitude du sol à fournir de l'eau à la plante) (17).

Le potentiel peut donc s'écrire :

$$P = BP + DP$$

où BP est le potentiel de base et DP la dépression de potentiel qui dépend de l'évaporation le jour.

Au milieu de la journée (12 h à 14 h) :

$$P = P_{\min} = BP + DP_{\max}$$

P_{\min} est la seconde mesure réalisée aux champs. Elle dépend de l'évaporation.

BP diminue si la sécheresse se prolonge (27). HICKMAN (17) fait la différence entre les plantes qui s'adaptent et celles qui régulent leurs pertes durant une sécheresse.

- Celles qui s'adaptent ont un degré d'adaptation qui augmente avec le stress. BP reflète Ψ_{sol} (Potentiel hydrique du sol), P_{\min} , les pertes de la plante et DP_{\max} augmente avec la sécheresse.

- Les régulateurs peuvent par divers moyens réguler P malgré le stress. BP reflète Ψ_{sol} , P_{\min} est plus ou moins constant et DP_{\max} diminue avec la sécheresse. Ceci reflète un bon contrôle stomatique.

Dans les deux cas il existe des plantes à seuil qui cessent toute croissance au delà d'un seuil d'humidité (17).

5) Courbes "Pression-Volume" (23, 25, 26, 28, 29, 34, 35 & 36)

Une contrainte hydrique s'accompagne d'une perte en eau et d'une baisse de potentiel hydrique total Ψ_s , mais surtout d'une baisse du potentiel de turgescence Ψ_p . Cette dernière si elle se prolonge peut avoir des effets négatifs sur la croissance et principalement sur l'élongation cellulaire (8, 23 & 29).

Le diagramme d'HOFLEER (fig. 4) permet de comprendre les relations entre les trois potentiels, Ψ_s , Ψ_p , Ψ_{Π} , dans la cellule (29). Mais il ne s'agit là que d'un modèle théorique, qualitatif, et non d'une description quantitative (33).

Les courbes "Pression-Volume", qui décrivent la dépendance du potentiel hydrique total de la plante avec son contenu en eau, permettent de connaître séparément Ψ_p et Ψ_{Π} (fig. 5).

La construction de la courbe se fait avec une tige de l'année qui est immergée dans l'eau pure (distillée) puis qui est mise en chambre froide (+ 4°C) pendant 48 heures, ceci pour restaurer une pleine turgescence (26 & 29).

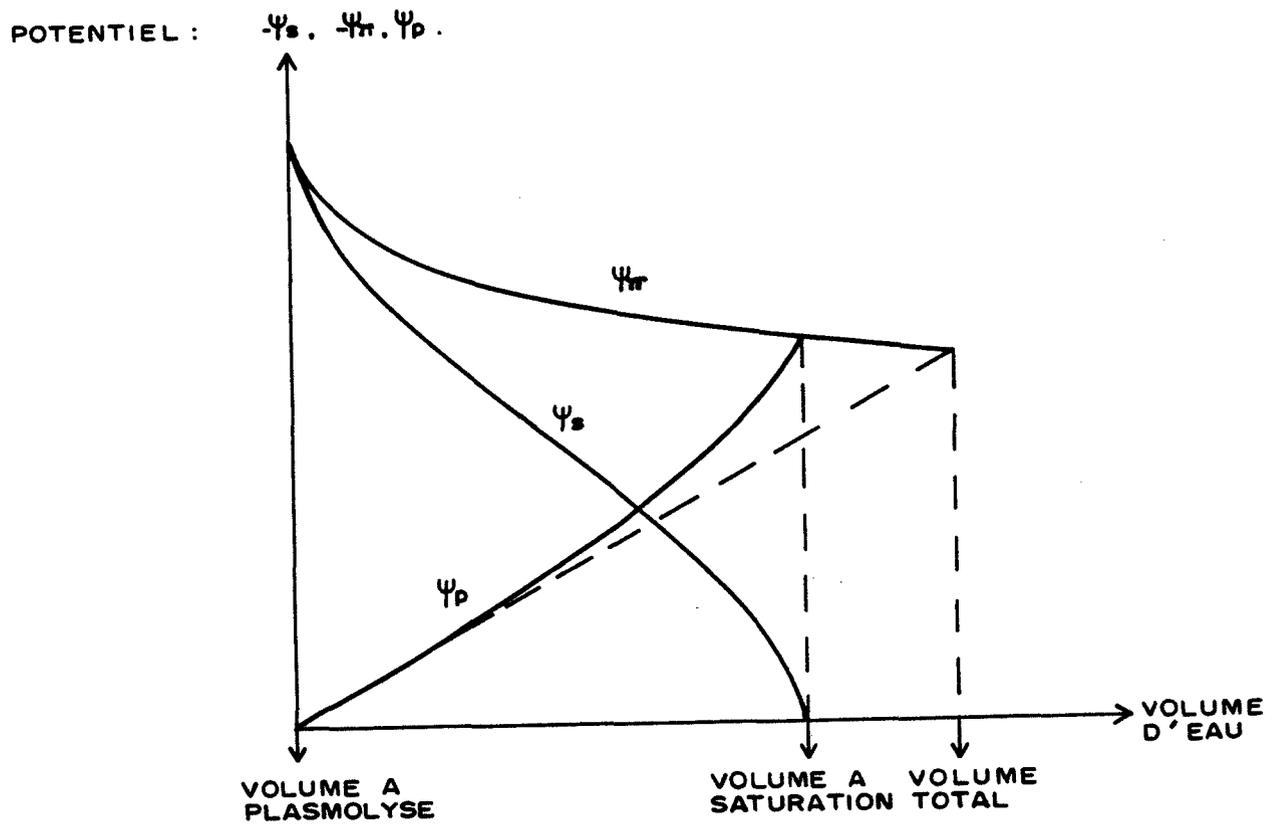


Fig. 4 DIAGRAMME D HOFLER

ψ_s : POTENTIEL TOTAL OU DE SEVE

ψ_π : POTENTIEL OSMOTIQUE

ψ_p : POTENTIEL DE TURGESCECE

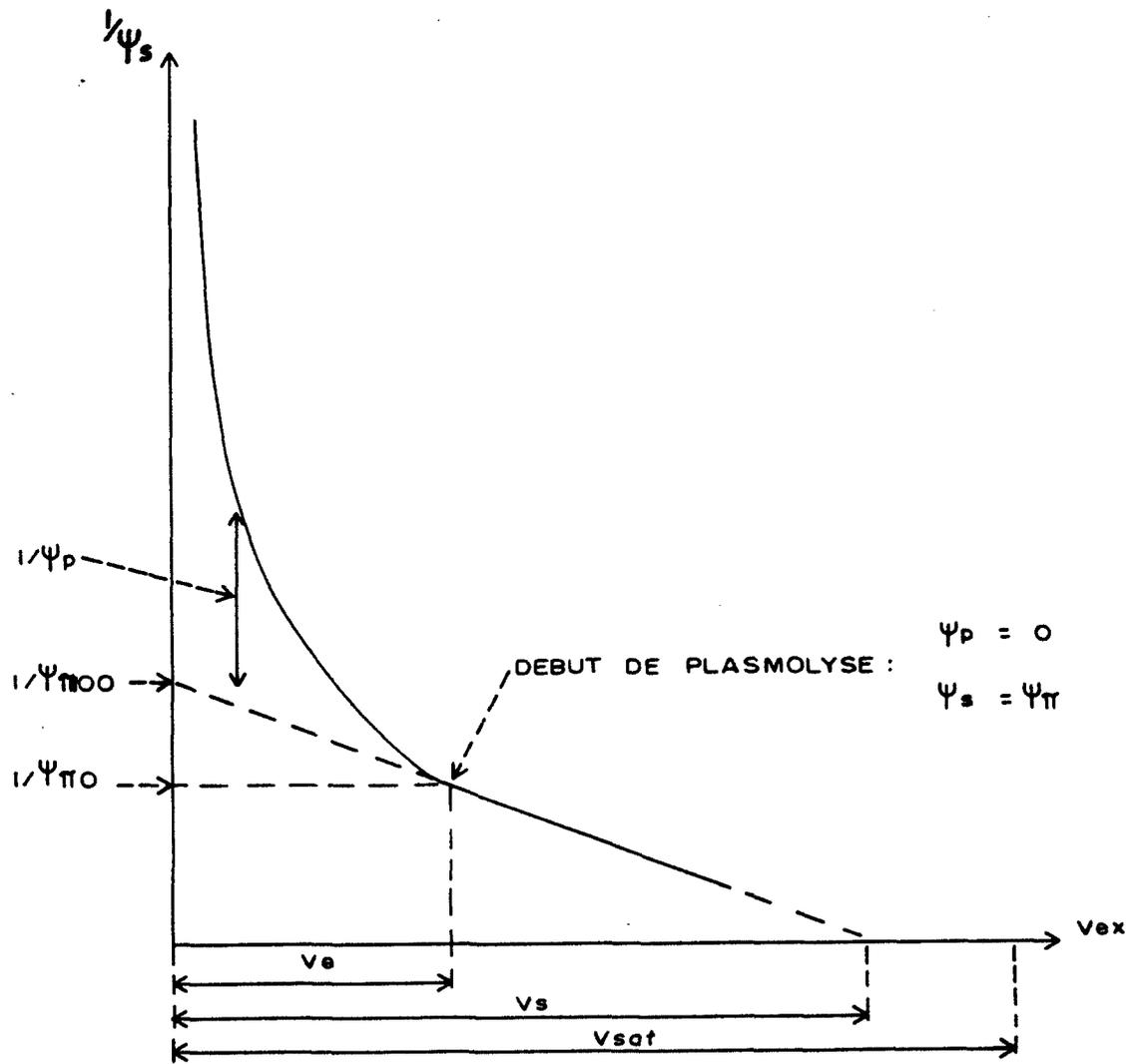


Fig. 5 REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE COURBE

"PRESSION-VOLUME" (D'APRES (29))

ψ_s : POTENTIEL TOTAL OU DE SEVE

ψ_p : POTENTIEL DE TURGESCE

$\psi_{\pi 00}$: POTENTIEL A L'ORIGINE

$\psi_{\pi 0}$: POTENTIEL A TURGESCE NULLE

v_e : VOLUME D'EAU EXTRAIT AVANT LA PLASMOLYSE

v_s : VOLUME D'EAU SYMPLASMIQUE

v_{sat} : VOLUME D'EAU A SATURATION (TOTAL)

v_{ex} : VOLUME D'EAU EXTRAIT

Il faut sécher la tige superficiellement afin d'éliminer l'eau à la surface des feuilles (29). Ensuite, au moyen de la bombe de Scholander, il faut vérifier que le potentiel hydrique est nul (29) et peser l'échantillon. Ce dernier est laissé à l'air où il transpire librement et les mesures de potentiel et poids sont régulièrement refaites (il est préférable de faire deux pesées, une avant la mesure du potentiel et une après (26)).

Le poids, donc le volume, d'eau perdue étant connu la construction de la courbe de $1/\Psi_s$ en fonction du volume extrait, V_e , est donc possible (Annexe 7).

Une courbe "Pression-Volume" a typiquement deux portions (23, 25, 26, 28, 29, 35 & 36) : la première, où Ψ_p et Ψ_{Π} sont combinés, est une courbe d'allure hyperbolique dont les asymptotes sont les deux axes et d'équation :

$$1/\Psi_s = a V_e^{-b} \quad (32, 33, 35 \& 38)$$

La seconde commence quand la pression de turgescence s'annule. La relation entre $1/\Psi_s$ et V_e devient alors linéaire. En effet si $\Psi_p = 0$, alors :

$$\Psi_s = \Psi_p + \Psi_{\Pi} = \Psi_{\Pi} = RTN_s/V_0 - V_e$$

$$\text{donc } 1/\Psi_s = 1/\Psi_{\Pi} = V_0/RTN_s - 1/RTN_s$$

où V_0 est le volume symplasmique, V_e le volume extrait, R la constante des gaz parfaits, T la température (K) et N_s le nombre de moles de soluté (14, 23, 26, 28, 29, 34, 35 & 36).

Le point d'intersection de ces deux courbes est le point de plasmolyse (33). $1/RTN_s$ constitue la pente de la droite. V_0/RTN_s est le potentiel osmotique à l'origine, $\Psi_{\Pi 100}$, obtenu par extrapolation. $\Psi_{\Pi 0}$ est le potentiel osmotique à la plasmolyse (turgescence nulle). Ces deux potentiels sont déterminants pour la croissance durant les phases de sécheresse (31). L'intersection de la droite avec l'axe des abscisses est le volume d'eau symplasmique à la saturation V_0 .

On considère comme une adaptation des plantes la capacité de maintenir une turgescence élevée lorsque Ψ_s décroît (21). Deux propriétés rentrent en jeu : Ψ_{Π} et e l'élasticité de la paroi.

En effet, d'après le diagramme d'HOFLER pour un Ψ_s donné faible, si Ψ_{Π} diminue, par accumulation de soluté, cela permet de générer un gradient d'eau vers l'intérieur de la cellule et donc de maintenir une certaine turgescence (18).

C'est $\Psi_{\Pi 100}$ le paramètre important puisqu'il constitue la limite supérieure de Ψ_p en valeur absolue (28, 29 & 33). $\Psi_{\Pi 0}$ correspond à la valeur limite de Ψ_s pour laquelle la plante possède un potentiel de turgescence positif (28, 29 & 36) : s'il est bas, la plante aura une croissance en condition sèche. Mais $\Psi_{\Pi 0}$ dépend de $\Psi_{\Pi 100}$ et e .

L'élasticité e de la paroi est importante aussi : plus e est faible, c'est-à-dire plus la paroi est rigide, et plus les plantes sont capables de maintenir une turgescence à des potentiels hydriques très bas.

Il existe deux schémas d'adaptation à la sécheresse (cf. 4) : Les plantes tolérantes qui s'adaptent à la sécheresse et maintiennent une activité physiologique et les plantes régulatrices qui évitent la sécheresse en bloquant leurs pertes d'eau (29) :

Les premières développent de faibles $\Psi_{\Pi 100}$, $\Psi_{\Pi 0}$ et e inférieurs à ceux des secondes qui, elles, développent une cuticule épaisse et un important contrôle stomatique (29 & 36). Ces dernières ont une croissance plus rapide.

6) Conclusion

La chambre à pression est devenue la technique standard pour mesurer les potentiels en eau aux champs : Elle est facilement transportable. Par sa simplicité, sa rapidité et sa répétitivité, cette méthode s'est substituée aux autres (par exemple au Psychromètre (6)). Elle a de plus trouvé de nombreuses utilisations (Annexe 8).

C) Mesure de biomasse aérienne (37)

1) Le poids

Le poids de l'herbe ou biomasse est une des plus importantes caractéristiques de la végétation et semble être la meilleure mesure de la croissance. Comme le taux d'humidité varie dans la plante, on l'exprime en poids sec après dessiccation à 60-70°C.

2) Surfaces et formes d'échantillonnage

Des études (37) sur la végétation prairiale du désert montre que l'échantillonnage d'une surface rectangulaire fournit des données avec une variance plus faible, celle-ci diminuant quand la surface augmente. Pour une végétation éparse, une aire rectangulaire est la plus appropriée. La surface de coupe utilisée ici est de 15 m² (15 x 1 m).

3) Technique pour déterminer le rendement

La coupe des parties aériennes des plantes est la meilleure façon de déterminer le poids. Ensuite on sépare les parties vivantes (vertes) et mortes (sèches) que l'on pèse (après dessiccation à 60-70°C) séparément. La coupe se faisant à la main, cela introduit un biais : il convient donc de procéder toujours de la même façon.

4) Recouvrement et couverture (Annexe 9)

Cette mesure est souvent utilisée pour faire des comparaisons. La méthode utilisée est la méthode d'échantillonnage par points quadrats ou "point sampling". Sur une longueur (15 m), une tige de métal verticale, droite, indique, en chaque point (tous les 25 cm), s'il y a contact ou non avec la végétation. Pour avoir le taux de recouvrement il suffit de calculer le pourcentage de points où il y a contact. Cette mesure est effectuée le long de quatre lignes équidistantes (0 ; 0,33 ; 0,66 ; 1 m).

VI. RESULTATS

1) Pluviométrie (fig. 6 à 10 et Annexe 10)

Le printemps a été particulièrement sec en 1989: contrairement aux trois années antérieures, il n'y a pas eu cette année de précipitation importante durant les trois mois d'avril, mai ou juin.

Dans les stations à "Hilaria", seules quelques rares pluies se sont produites fin mai, mais elles n'ont pas permis de croissance. En trois mois il est tombé 22 mm en Hilaria 2 et 19 mm en "Mogote".

Ce n'est qu'à partir de juillet que la pluviométrie a pu être mesurée grâce à un pluviomètre standard dans la station Hilaria 1, le pluviomètre totalisateur s'y trouvant antérieurement étant défectueux. A partir du mois de juillet des mesures ont pu être effectuées grâce à un pluviomètre classique.

La proximité des stations "Mogote" et Hilaria 1, nous a permis d'estimer les hauteurs de pluie en Hilaria 1 par celles enregistrées dans le "Mogote" (Annexe 10).

Dans les stations Sporobolus 1 et 2 les pluies de fin mai, un peu plus conséquentes, ont permis une croissance des graminées durant le mois de juin qui fut plus importante en Sporobolus 2 qu'en Sporobolus 1. Cette croissance s'est achevée fin juin faute d'eau. En trois mois 40 mm d'eau ont été enregistrés en Sporobolus 1 et 35 en Sporobolus 2.

Le mois de juillet a été particulièrement sec: il est tombé de 1 à 12 mm selon les stations du 1^{er} au 26 juillet.

Du 26 juillet à fin août, différents épisodes pluvieux se sont succédés sur l'ensemble des stations où ils ont permis une croissance de la végétation en août et septembre.

Enfin, le 9 septembre il s'est produit un orage important sur la réserve, avec des hauteurs d'eau variables selon les stations: 40 mm en "Mogote", 48 mm en Hilaria 1, 7 mm en Hilaria 2, 36 mm en Sporobolus 1, 13 mm en Sporobolus 2. Nous n'avons pas pu étudier les effets de cette pluie, en raison de sa date tardive et des impératifs imposés par la durée du stage.

Cette année a donc été particulièrement sèche: les hauteurs de pluie de mai à septembre étant de 118 mm dans le "Mogote", 109 mm dans Hilaria 1 (estimation), 105 mm dans Hilaria 2, 125 mm dans Sporobolus 1 et 105 mm dans Sporobolus 2.

La moyenne des précipitations, durant les mois d'été (juin à septembre), est de 191 mm au laboratoire du désert proche des stations Mogote et Hilaria 1 (Annexe 10bis).

Les stations à "Hilaria" n'ont pas montré de croissance durant pratiquement une année.

Nous avons observé l'extrême variabilité spatiale des précipitations même entre deux stations très proches (Annexe 10), par exemple lors de la pluie du 9 septembre.

De même la variabilité inter-annuelle est très importante. L'année pluviométrique 1989 est totalement différente de la précédente. En effet bien qu'ayant été sèche, l'année 1988 avait autorisé une croissance très précoce dans trois des cinq stations grâce à un orage survenu très tôt dans la saison (le 7 avril). Ce fut une année normale jusqu'en août date à laquelle s'est installée la sécheresse. Ceci signifie que les mesures de potentiel hydrique ont été faites, en 1988, sur des plantes qui étaient en condition normale, alors que pour 1989 elle l'ont été sur des plantes ayant subi un fort stress hydrique depuis août 1988.

La seule pluie ayant donné un important ruissellement en nappe, caractéristique de ces régions, fut la dernière de septembre (cf.ci-dessus).

2) Potentiels hydriques des plantes

a) Evolution saisonnière

- Station Sporobolus 2 (fig. 6)

A la suite des pluies de fin mai les potentiels, de base et minimum, se sont maintenus élevés durant une semaine (du 23 au 31 mai date de la dernière pluie). Ensuite ils ont rapidement diminué à partir du 1^{er} juin. La croissance a cessé aux alentours du 20 juin. Le 29 juin les deux potentiels étaient inférieurs à -6.4 MPa.

Une reprise de croissance n'a été possible qu'après les 20 mm tombés le 20 août. Le potentiel minimum a très vite diminué, alors que le potentiel de base s'est maintenu élevé un peu plus longtemps (jusqu'au 30 août).

Après la pluie du 9 septembre (36 mm), la croissance n'ayant pas cessé, les deux potentiels sont remontés rapidement en deux jours pour ensuite décroître à nouveaux.

- Station sporobolus 1 (fig. 7)

Comme pour Sporobolus 2 les potentiels ont commencé à diminuer rapidement après le 1^{er} juin. La croissance s'est achevée aux environs du 15 juin. Le 29 juin les deux potentiels étaient inférieurs à -5.5 MPa.

Ce n'est qu'après la pluie du 27 juillet (16 mm) qu'une nouvelle croissance, plus importante que la première a eu lieu. Les deux potentiels ont évolué parallèlement après chaque pluie.

- Station "Mogote" (fig. 8)

Pour cette station, nous avons retrouvé les mêmes résultats que G.BESNARD en 1988 (38):

- Avec des pluviométries similaires, les deux potentiels (de base et minimum) sont toujours supérieurs à l'intérieur du "Mogote" que dans la station Hilaria 1, pourtant proche du "Mogote".

- Les plantes situées dans la partie pionnière du "Mogote" ou amont ont des potentiels inférieurs à ceux des plantes poussant dans l'arc de végétation et se dessèchent plus vite.

Ceci est en accord avec les observations faites sur le stockage de l'eau dans le "Mogote". Celui-ci est égal à 1.5 à 3 fois la hauteur des pluies à l'intérieur du Mogote, alors qu'il est égal dans la zone pionnière. Ceci est dû à un écoulement superficiel laminaire de la zone amont à sol nu (3) qui vient augmenter le stock d'eau de l'arc de végétation.

Fig. 6 EVOLUTION SAISONNIERE DU POTENTIEL HYDRIQUE DE SPOROBOLUS
AIROIDES STATION SPOROBOLUS II

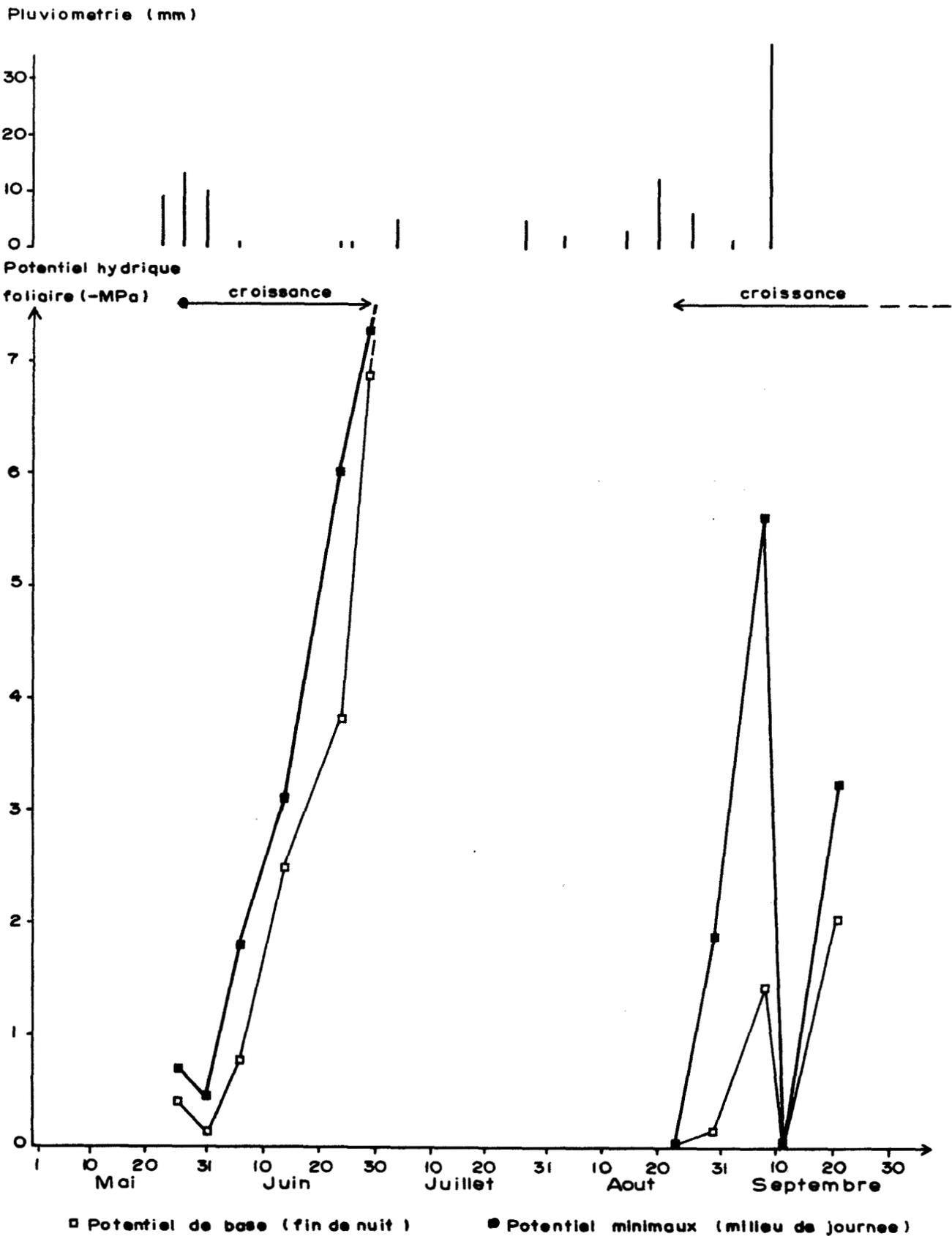
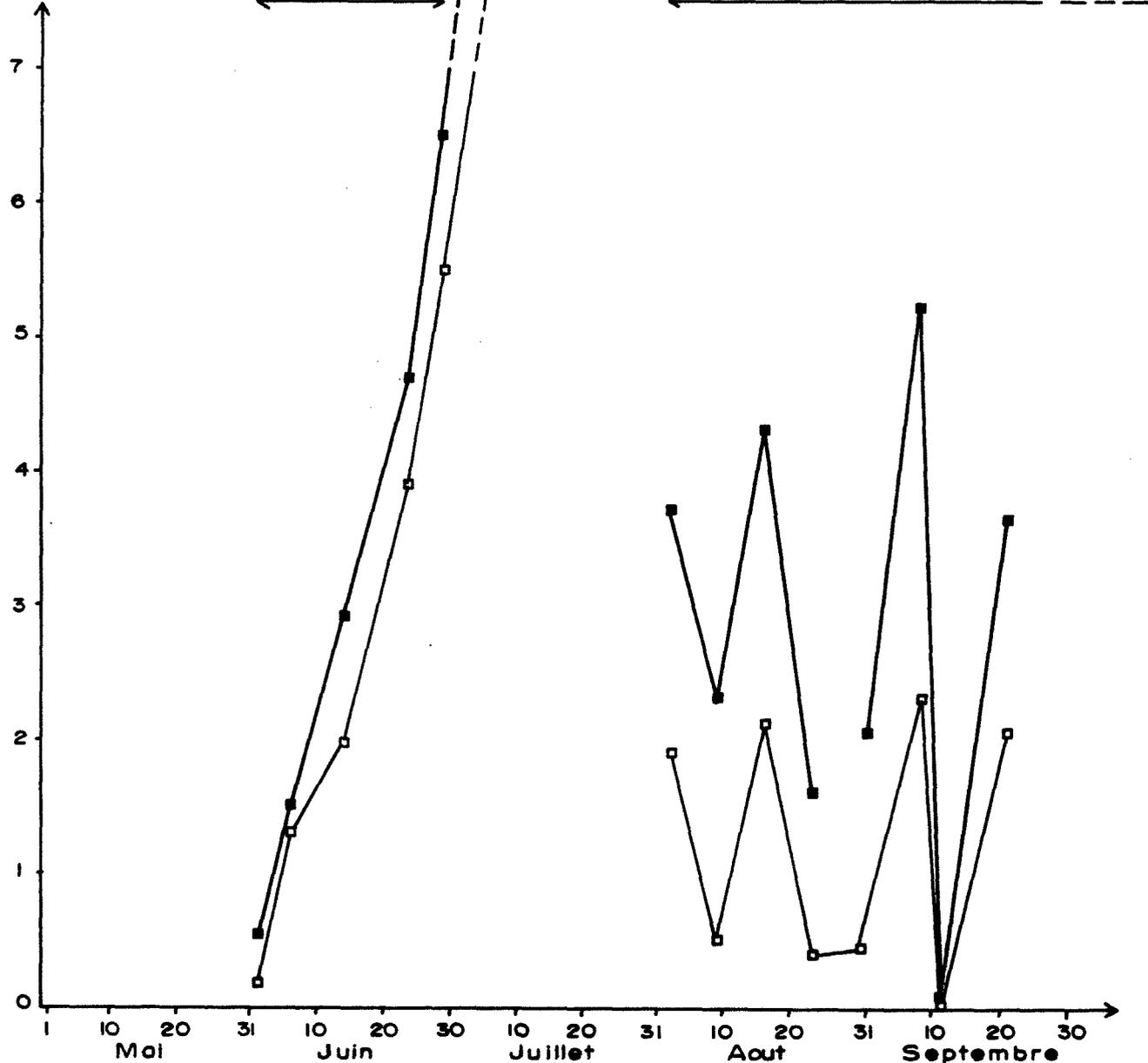


Fig. 7 EVOLUTION SAISONNIERE DU POTENTIEL HYDRIQUE DE SPOROBOLUS
AIROIDES STATION SPOROBOLUS I

Pluviometrie (mm)



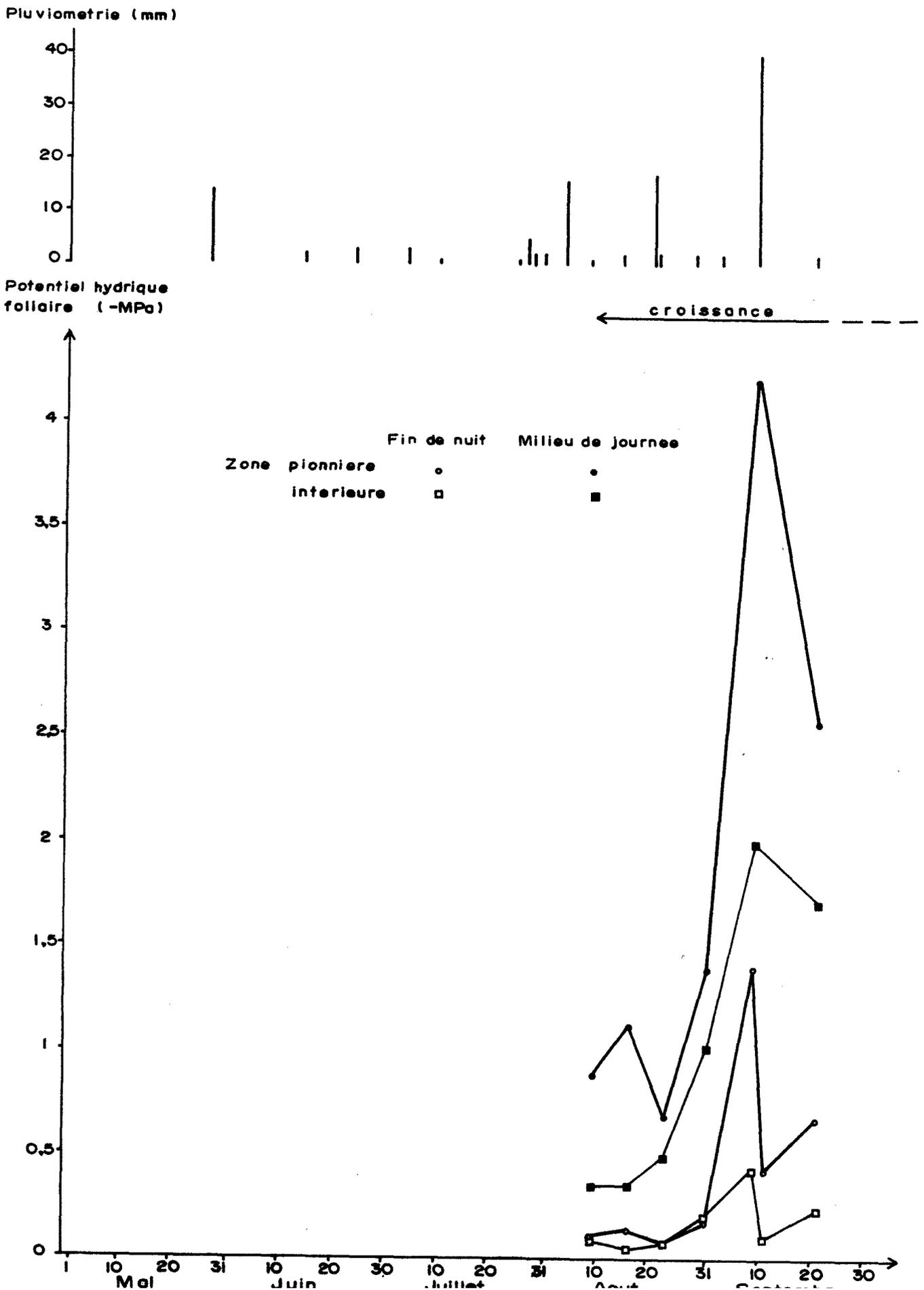
Potentiel hydrique foliaire (-MPa)



□ Potentiel de base (fin de nuit)

■ Potentiel minimaux (milieu de jour)

Fig. 8 EVOLUTION SAISONNIERE DU POTENTIEL HYDRIQUE DE HILARIA MUTICA. STATION MOGOTE



Une seule croissance a été observée en août, la pluie du 24 mai (14 mm) n'ayant pas été suffisante. Seules les potentiels mesurés dans la zone pionnière ont diminué nettement après le 20 août. Ceux mesurés à l'intérieur se sont maintenus élevés durant un mois. La pluie du 9 septembre les a maintenus à un niveau élevé.

De même qu'en 1988 les potentiels de "Hilaria" se sont maintenus élevés plus longtemps que ceux de "Sporobolus".

- Station Hilaria 1 (fig. 9)

Les pluies de fin mai et début août n'ont pas permis de croissance.

Seules les pluies du 20 août (19 mm) et du 9 septembre (48 mm) ont permis une croissance. Alors que les potentiels ont rapidement décru, après la première pluie (par suite d'insuffisance d'apport hydrique permettant une croissance importante), il se sont stabilisés après la seconde. Les deux potentiels ont évolué parallèlement.

- Station Hilaria 2 (fig. 10)

De même que pour Hilaria 1, seule la pluie du 20 août a permis une croissance. Le potentiel s'est maintenu élevé durant environ une semaine avant de diminuer rapidement. Comme l'année dernière le potentiel minimum diminue plus vite que le potentiel de base.

b) Evolution des potentiels lors des phases de dessèchement (Annexe 11)

La variation journalière de potentiel obtenue dans les deux stations à Sporobolus (respectivement -1.90 MPa et -2.31 MPa pour Sporobolus 1 et 2) est inférieure en valeur absolue à celle observée en 1988 dans les stations à Sporobolus (-2.46 MPa pour la moyenne des deux en 1988).

Cela se traduit différemment pour les deux stations: alors que cette variation des potentiels est identique pour Sporobolus 2 (-2.29 MPa en 1988), elle est très inférieure en 1989 pour Sporobolus 1 (-2.78 MPa en 1988), et correspond à une diminution des pertes en eau. Celles-ci sont peut-être liées à la diminution de l'évapotranspiration due à une pluviométrie inférieure, mais aussi à une couverture végétale bien moindre qu'en 1988 du fait d'une mise en défens incomplète de la parcelle au cours de l'été. Au niveau de Sporobolus 2 cette similitude entre les variations journalières de potentiel s'explique par les données climatiques sensiblement égales des deux années dans cette station.

De plus si l'on regarde cette variation sur des petites périodes au niveau des stations à Hilaria la différence avec Sporobolus n'est pas nette comme elle le fut en 1988 ("Hilaria" présentant alors une variation bien inférieure). Cependant nous n'avons pas disposé de phase de dessèchement assez longue sur ces stations à "Hilaria", telle que les potentiels de base atteignent au moins -50 MPa. Cela nous oblige à rester prudent.

Dans les parcelles à Sporobolus les potentiels sont restés élevés durant une semaine à quinze jours alors que dans le "Mogote" il est resté élevé un mois.

Ces résultats confirment ceux obtenus par G.BESNARD (37) en 1988 sur "Hilaria" et "Sporobolus", la période où les potentiels sont élevés étant malgré tout légèrement inférieure dans les stations à "Sporobolus" cette année.

Par contre pour Hilaria 1 et 2, le potentiel a très vite diminué contrairement à l'année dernière. Cela est dû aux faibles quantités d'eau reçues et aussi, peut-être, à une diminution, de l'aptitude des plantes à maintenir leurs potentiels élevés.

Fig.9 EVOLUTION SAISONNIERE DU POTENTIEL HYDRIQUE DE HILARIA MUTICA. STATION HILARIA I

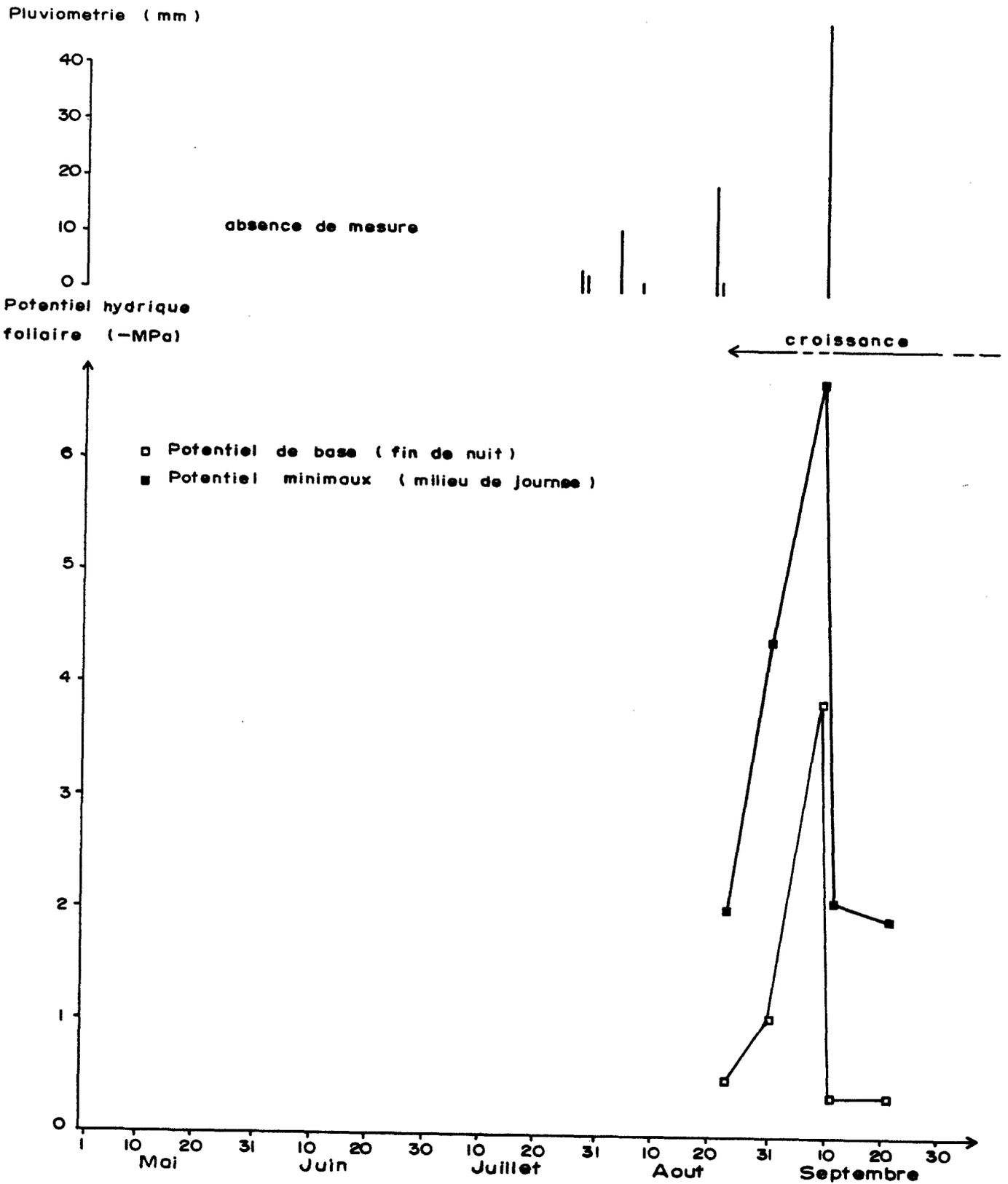
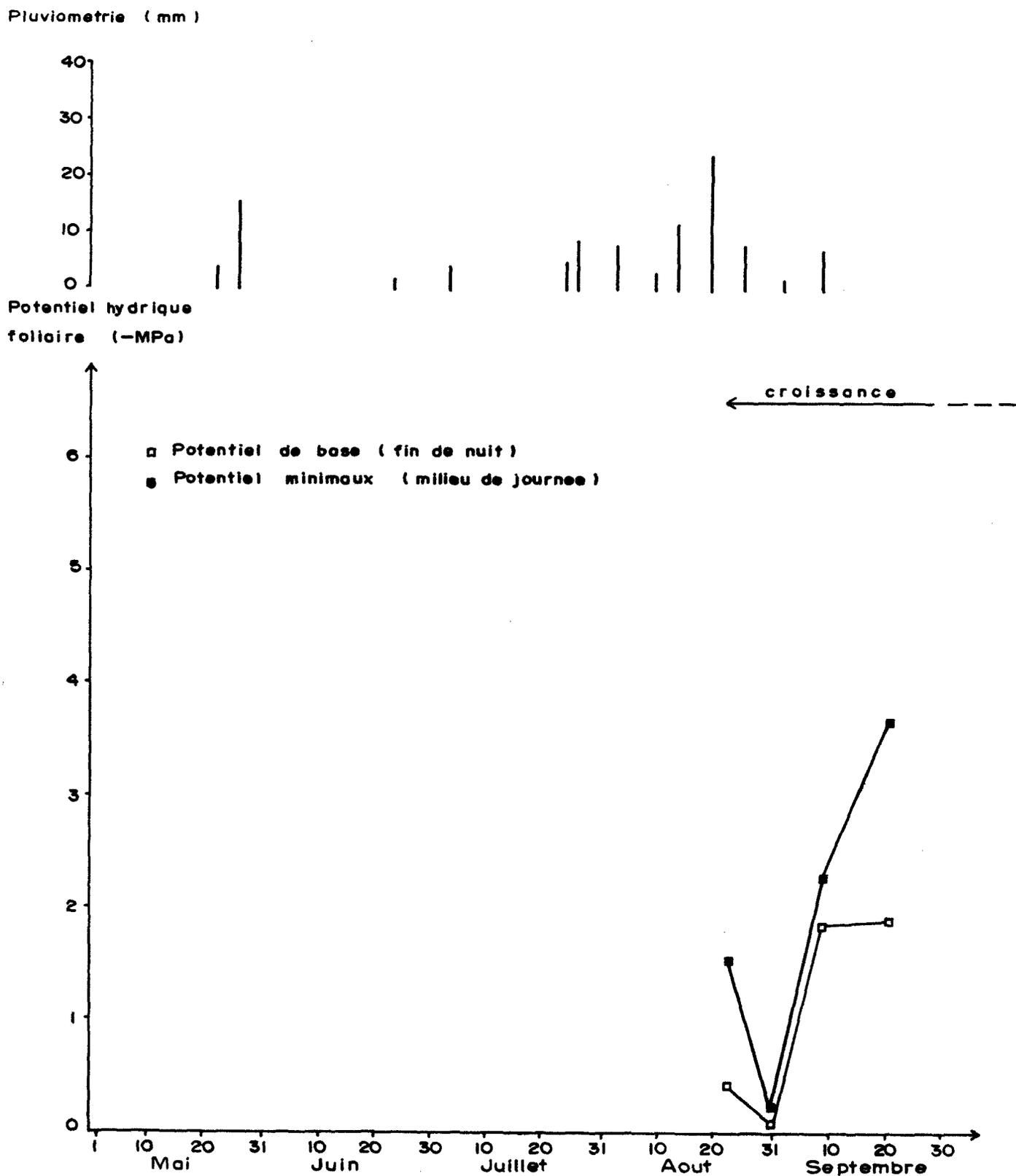


Fig.10 EVOLUTION SAISONNIERE DU POTENTIEL HYDRIQUE DE HILARIA MUTICA. STATION HILARIA II



Il semble donc que les deux espèces aient une économie de l'eau différente et que "Hilaria" ait plus souffert de la sécheresse qui il est vrai fut plus longue d'environ deux mois sur ces parcelles.

c) Evolution comparée des potentiels de base et minimum (fig. 11)

Cette comparaison s'effectue sur des moyennes car la mesure des deux potentiels ne peut être faite sur la même tige.

La pente calculée par régression linéaire, voisine de 1 (ce qui confirme les résultats de 1988), est la même pour les quatre stations suivantes: Sporobolus 1 (0.96), Sporobolus 2 (1.04), Hilaria 1 (1.09), Hilaria 2 (1.29). Par contre la station Mogote présente une pente deux fois et demi plus forte (2.65). Mais ce n'est pas significatif dans ce dernier cas car nous ne disposons pas, pour Mogote, de valeur faible de potentiel correspondant à un dessèchement important.

Le potentiel de base reflète la quantité d'eau disponible dans le sol alors que le potentiel minimum reflète la demande évaporative de l'atmosphère en rapport avec l'eau disponible (cf. V B) 4). p12) (17).

La différence entre les deux potentiels traduit en terme énergétique la quantité d'eau qui est perdue au cours de la journée par évaporation puis récupérée à partir du sol durant la nuit.

Cette différence est constante dans nos stations.

D'après la classification de HICKMAN (17)(cf. V B) 4), p.12) ces deux graminées sont donc bien des plantes tolérantes à la sécheresse s'adaptant à celle-ci et pouvant supporter de très faibles potentiels (C'est-à-dire très négatifs) sans dommage pour leurs tissus.

3) Observations morphologiques

nous n'avons pu observer au cours de cette étude que deux stades phénologiques, croissance végétative et floraison, la croissance étant très en retard durant cette année pour raison pluviométrique.

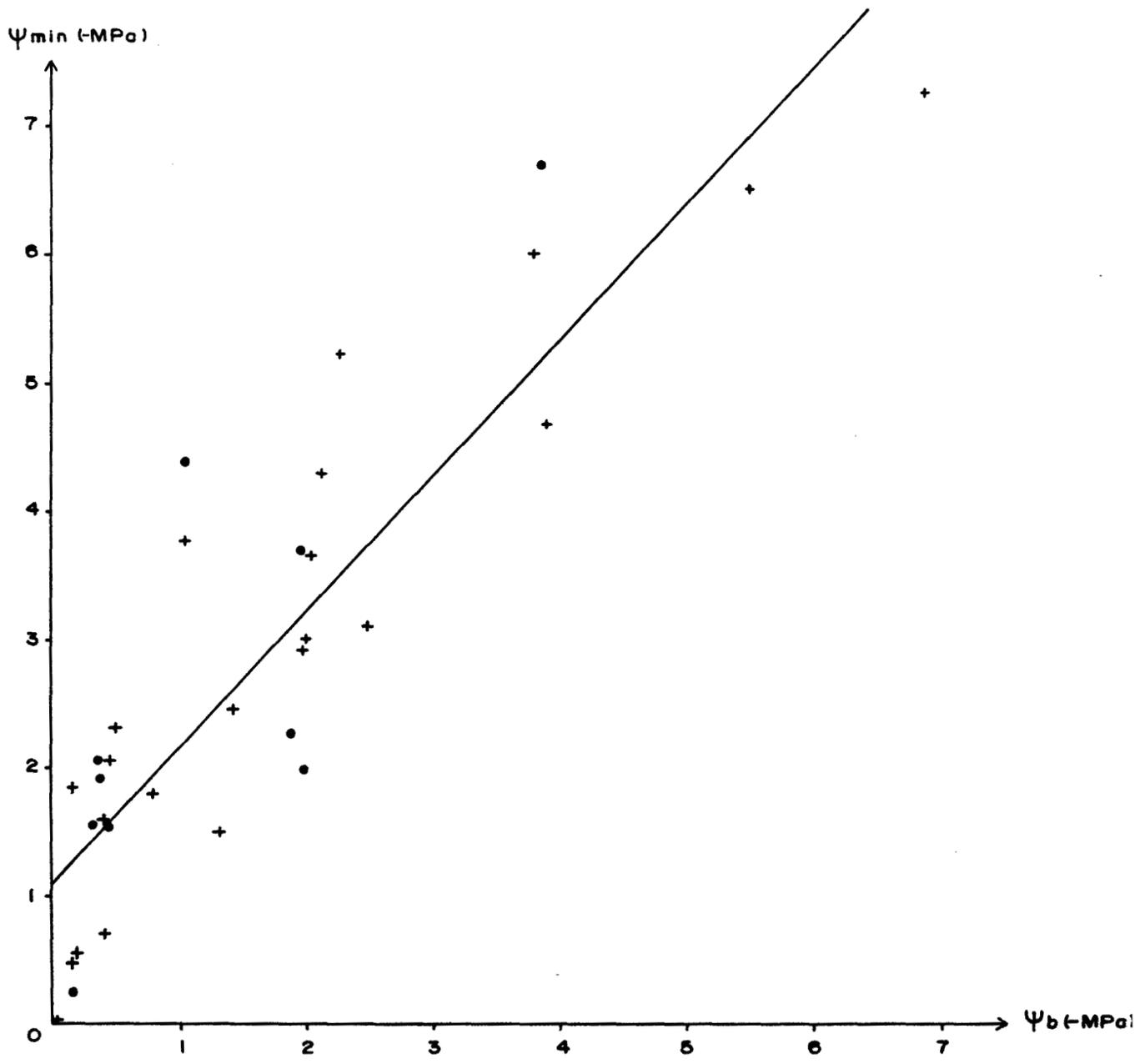
Au cours d'une phase de sécheresse le diamètre des tiges diminuent car la plante utilise ses réserves en eau pour lutter contre la diminution du potentiel hydrique. Les feuilles commencent à jaunir par la pointe, les premières étant celles de la base c'est à dire les plus âgés.

Quelque soit l'espèce, "Sporobolus" ou "Hilaria", après une pluie importante, de nouvelles tiges apparaissent et certaines tiges pérennes reverdissent. A l'intérieur des anciennes feuilles et gaines sèches se développe une nouvelle feuille.

Ce reverdissement, déjà observé l'année dernière au cours de l'été, l'a été cette année dès la première croissance.

Ces plantes sont donc capable de rentrer en dormance non seulement au cours de leur cycle végétatif, en été, mais aussi entre deux cycles, en hiver. Elles peuvent ainsi résister à la sécheresse sans dommage et profiter de la moindre pluie, voisine de 10 mm, pour repartir en croissance(40).

Fig. 11 EVOLUTION DES MOYENNES JOURNALIERES DES POTENTIELS HYDRIQUES MINIMAUX (Ψ_{min}) EN FONCTION DES POTENTIELS HYDRIQUES DE BASE (Ψ_b)



$$\Psi_{min} = 11.90 + 1.04 \Psi_b \quad r = 0.8845$$

• *Hilaria mutica* (Station hilaria 1 et 2 seulement)

+ *Sporobolus airoides*

Les tiges sèches qui ne reverdissant pas tombent en général au cours de la croissance et constituent des résidus absents en début de croissance.

Au cours de la première croissance observée sur Sporobolus 1 et 2 il n'y a pas eu formation de fleur. La quantité d'eau n'a permis qu'une croissance trop peu importante pour permettre une floraison.

Durant le mois d'août sont apparues des fleurs dans l'ensemble des stations : 10 jours après la pluie du 20 août (20 mm) dans Sporobolus 2, 13 à jours après la pluie du 26 août dans Sporobolus 1, 13 jours après la pluie du 2 août dans la zone pionnière du Mogote et 11 jours après celle du 20 août dans le corps du Mogote, 12 jours après la pluie du 9 septembre dans Hilaria 1 et Hilaria 2

Dans le Mogote il apparaît que les plantes de la zone pionnière évoluent plus vite. La croissance végétative y fut plus importante durant la première semaine de croissance que dans l'intérieur du "Mogote". Les fleurs sont apparues 15 jours plus tôt dans cette zone pionnière.

Quelle que soit la station, les potentiels mesurés sur tige foliée sont égaux à ceux mesurés sur les plantes ayant une ou plusieurs fleurs, Hilaria pouvant présenter des ramifications).

4) Conclusion n°1

Ces deux graminées sont toute deux tolérantes, c'est-à-dire qu'elles s'adaptent à la sécheresse tout en étant capable de supporter des potentiels très faibles.

Cependant, elles ont une économie de l'eau différente: "Sporobolus" développe une évolution rapide, la croissance se réalisant entre 10 à 20 jours après une pluie isolée, les potentiels atteignant ensuite rapidement des valeurs très négatives empêchant toute croissance.

Par contre "Hilaria" maintient son potentiel proche de zéro pendant près d'un mois ce qui lui permet d'étaler sa croissance sur une période plus longue.

Cette différence de comportement des deux espèces explique leur répartition dans le paysage: ces graminées ne coexistent que très rarement, "Sporobolus" occupant les positions basses dans les lieux d'accumulation de l'eau lors des grosses pluies et "Hilaria" les positions supérieures (39). La salinité des sols influe aussi sur cette répartition, l'espèce "Sporobolus" étant mieux adaptée aux sols à forte salinité (4).

En plus de cette tolérance à la sécheresse, ces deux plantes sont capables de rentrer en dormance dès qu'une phase sèche, se prolonge un peu

A la suite des deux dernières années, qui furent plus sèches que la moyenne, et plus spécialement durant la période d'août 1988 à août 1989, il semble que "Hilaria" ait souffert de la sécheresse dans les stations Hilaria 1 et 2. Les potentiels ont rapidement chuté après la pluie du 23 août et le départ en croissance fut plus tardif qu'en "Mogote", limitant ainsi la croissance. Ainsi malgré l'entrée de cette espèce "Hilaria" en dormance, il semblerait qu'en Hilaria 1 et 2 cette graminée ait perdue en partie son aptitude à maintenir ses potentiels élevés ce qui signifierait une diminution de sa tolérance à la sécheresse.

Il serait intéressant, dans l'hypothèse d'une troisième année sèche consécutive en 1990, de vérifier si cette tendance à la dégradation de la résistance de "Hilaria", se poursuit dans ces stations à "Hilaria".

5) Humidité du sol et stock d'eau

Par suite de problèmes de fonctionnement de l'humidimètre utilisé, il n'a pas été possible de réaliser des mesures d'humidité du sol du 6 juin au 19 août, c'est-à-dire durant la première phase de croissance dans les stations à Sporobolus et la sécheresse qui a suivi jusqu'en août.

Alors que nous désirions mesurer le stock d'eau nécessaire à l'initiation de la croissance, nous n'avons pu le faire dans trois des cinq (Sporobolus 1 et 2 et "Mogote") pour les raisons mentionnées ci-dessus.

Dans l'ensemble des stations, excepté "Mogote", la teneur en eau ne varie pratiquement plus au delà de 60 cm. nous donnons les stocks d'eau total jusqu'à cette profondeur.

- Station Sporobolus 2 (fig. 12)

Le stock d'eau total minimal en mai est de 131 mm . Avec les pluies de fin mai les stocks d'eau du sol augmentent, le 6 juin le stock d'eau étant de 178 mm . Ce dernier redescend au niveau de début de saison durant l'été:

le 19 août il est égal à 130 mm . La pluie du 20 août le fait remonter à 168 mm c'est-à-dire à un niveau légèrement inférieur à celui de fin mai ce qui semble normal vue la faible importance de la pluie du 20 (12 mm contre 32 mm en fin mai). Durant cette phase de croissance, du 23 août au 8 septembre Le stock a reperdu 30 mm.

Il n'a pas été possible de faire des mesures d'humidité juste après la pluie du 9 septembre, pour cause de problèmes d'accessibilité (inondation). Cependant la mesure du stock (132 mm), réalisée 12 jours après cette pluie, suggère que cette pluie a dû largement recharger hydriquement le sol.

- Station Sporobolus 1 (fig. 13)

En début de saison, le 4 mai, le stock d'eau total est de 143 mm. Les pluies de fin mai n'ont pas modifié les stocks d'eau qui se sont maintenus jusqu'au 19 août. La pluie du 20 août a légèrement augmenté le stock qui s'est maintenu ensuite, la pluie du 9 septembre n'ayant pas été suffisante dans cette station (13 mm).

- Station Hilaria 2 (fig. 14)

En début de saison le stock d'eau total était de 145 mm. Ce dernier a légèrement diminué durant les mois de juin et juillet (134 mm) pour atteindre un maximum après la pluie du 20 août(24 mm) de 175 mm .C'est ce stock d'eau qui a permis l'initiation de la croissance en Hilaria 2. Cela représente un stock d'eau disponible de 41 mm par rapport au profil de dessiccation maximale . En l'absence de pluie importante il s'est maintenu à ce niveau jusqu'au 21 septembre.

Fig.12 EVOLUTION DES PROFILS DE TENEUR EN EAU DU SOL
STATION SPOROBOLUS II

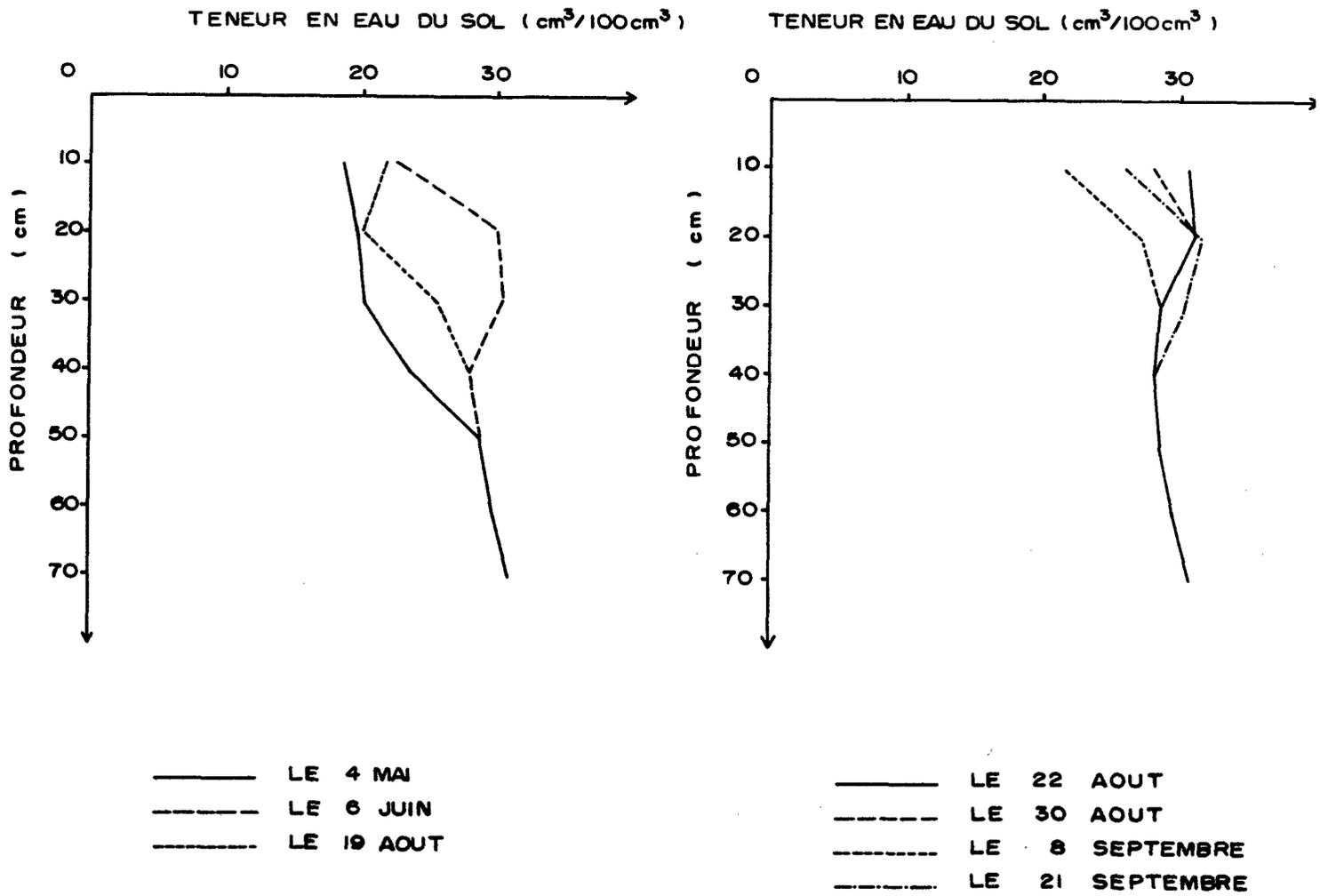


Fig. 13 EVOLUTION DES PROFILS DE TENEUR EN EAU DU SOL

STATION SPOROBOLUS I

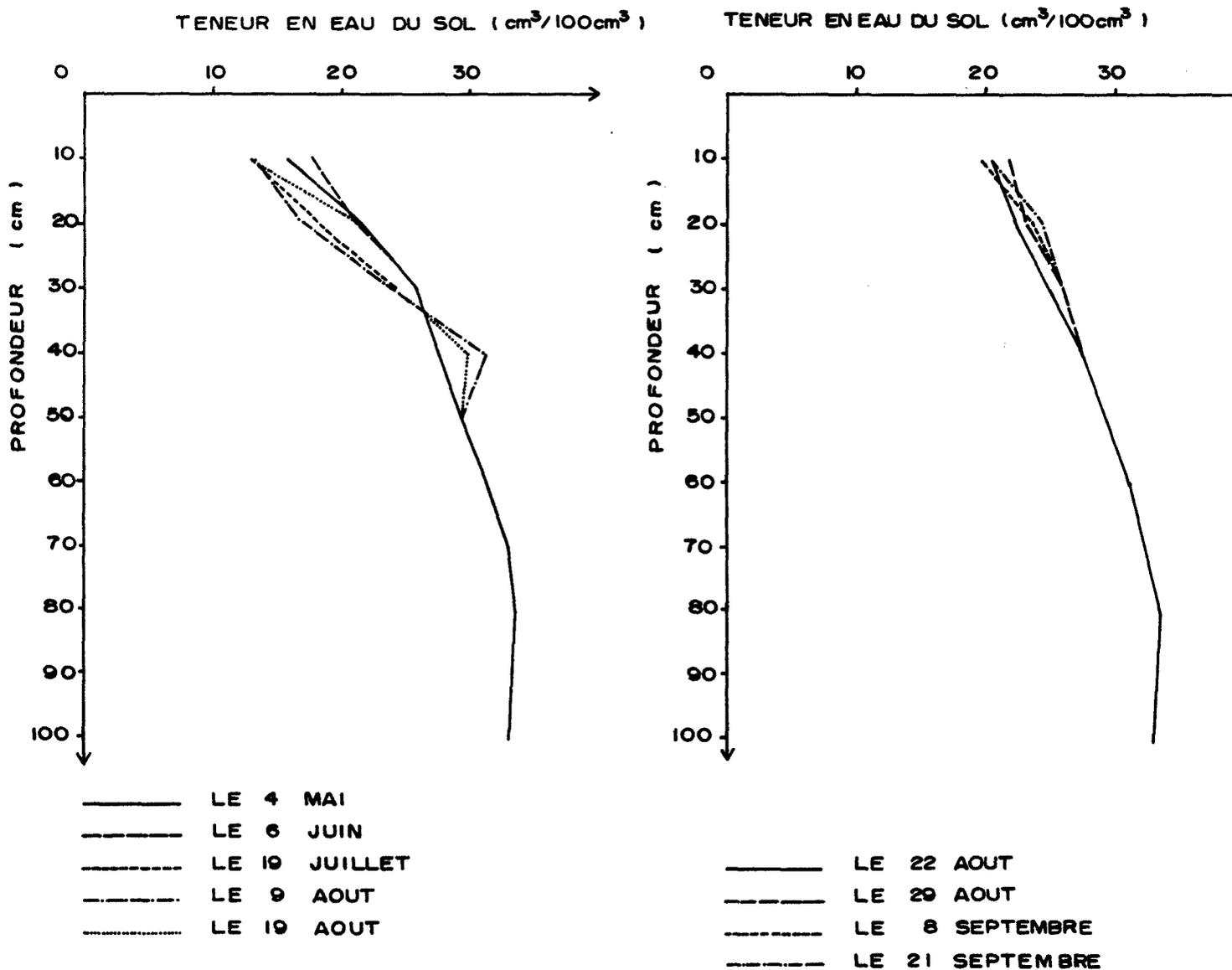
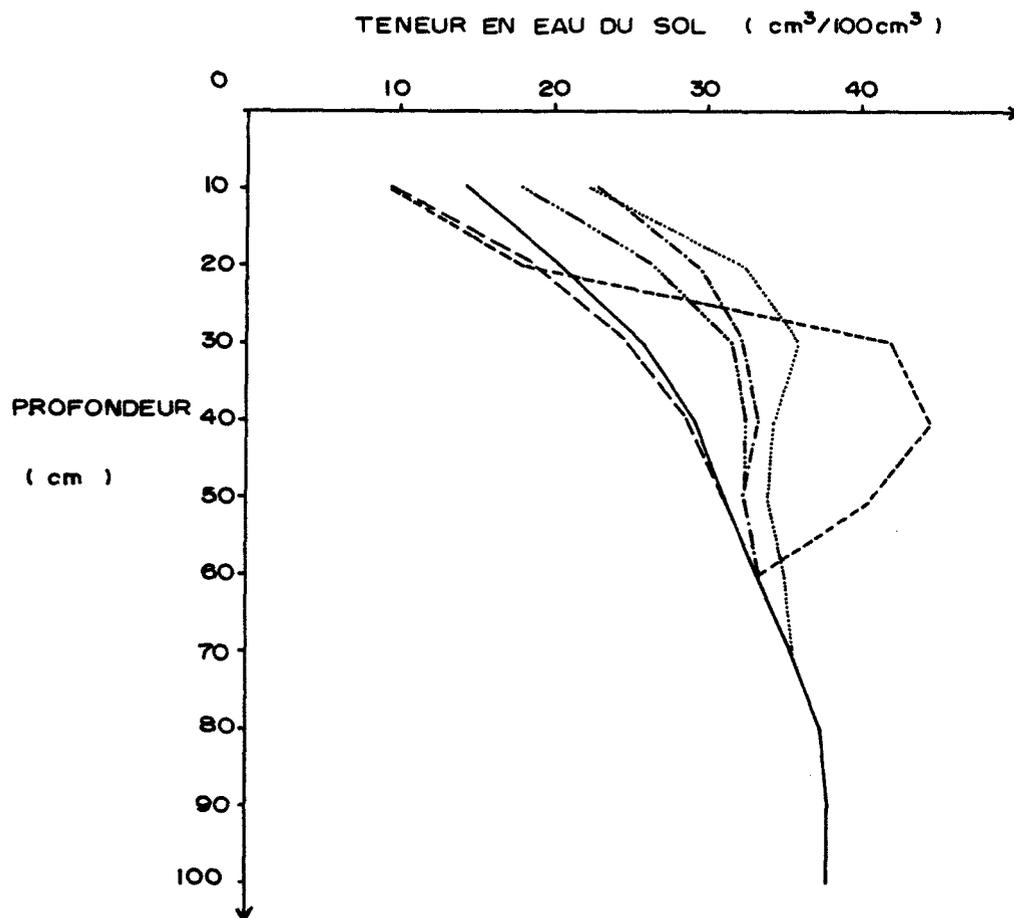


Fig. 14 EVOLUTION DES PROFILS DE TENEUR EN EAU DU SOL

STATION HILARIA II



- LE 25 MAI
- - - LE 19 AOUT
- · · LE 23 AOUT
- · - LE 31 AOUT
- · - LE 8 SEPTEMBRE
- · · LE 21 SEPTEMBRE

- Station hilaria 1 (fig. 15)

La pluie du 9 septembre, ici, (48mm) a modifié l'humidité du sol jusqu'à 90 cm.

Le stock d'eau total initial est de 59 mm. Ce dernier diminue jusqu'à 52 mm le 19 août.

Les pluies du 20 août (19 mm) et du 9 septembre (48 mm) ont permis d'augmenter ce stock qui passe à 84 mm le 23 août puis 211 mm le 9 septembre. Douze jours après il n'est plus que de 174 mm. Le stock d'eau disponible ayant permis l'initiation de la croissance étant d'environ 33 mm.

- Station "Mogote" (fig. 16)

L'humidité du sol dans cette station varie sur 1 m au moins (nous n'avons pas fait de mesure au delà).

Le stock d'eau total minimum, mesuré le 24 mai, était de 53 mm (dans le premier mètre). Les pluies du 3 et 20 août ont augmenté le stock d'eau (227 mm le 23 août). Le 9 septembre il est redescendu à 148 mm mais la pluie de 40 mm l'a fait remonter à 257 mm.

Par contre dans la zone pionnière (fig. 17) il n'y a de variations d'humidité que jusqu'à 80 cm, celle-ci n'étant importante que jusqu'à 40 cm.

Le stock minimum était de 91 mm le 24 mai, ce qui est supérieur à celui du corps du Mogote de 38 mm, et le stock maximal était de 161 mm après la pluie du 9 septembre alors qu'il était de 257 mm dans le corps du "Mogote".

6) Comparaisons des hauteurs de pluies et des stocks d'eau du sol (tabl. 1)

Cette comparaison n'a été possible que pour la période allant du 19 août au 30 août ou 21 septembre selon les stations.

Dans quatre des cinq stations, on observe que le stockage total de l'eau dans le sol est supérieur aux hauteurs de pluies cumulées sur la période d'étude.

Seule la station Sporobolus 1 montre un stockage d'eau inférieur aux précipitations: il représente 48% des hauteurs d'eau enregistrées.

Dans les quatre autres stations le stockage n'est supérieur aux précipitations que pour les précipitations au moins égales à 10 mm, alors qu'il est égal ou inférieur pour les plus petites pluies.

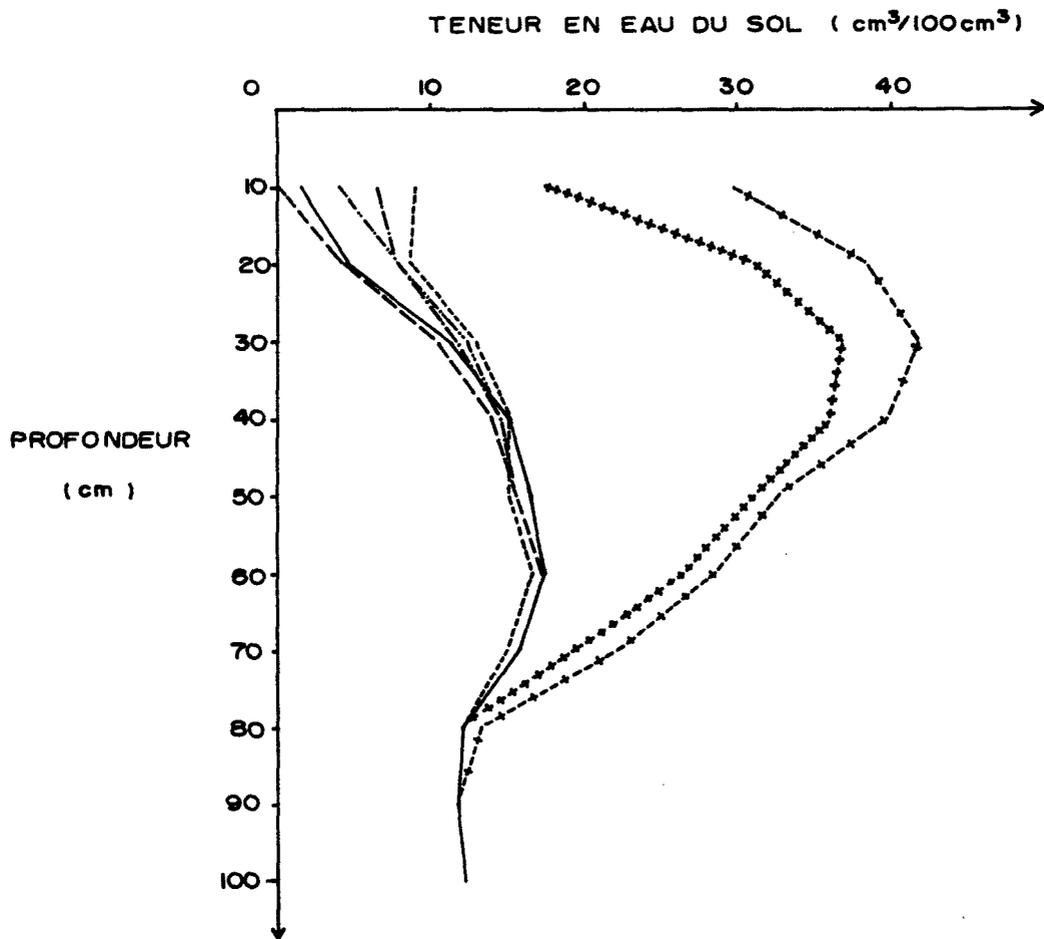
A signaler que pour Sporobolus 1 nous n'avons pas observé de pluie supérieure à 20 mm durant cette période.

Pour les trois stations Sporobolus 2, Hilaria 1 et 2, le stockage d'eau représente respectivement 157%, 170% et 141% des hauteurs de pluie.

Dans l'intérieur du "Mogote" il représente 291% des hauteurs de pluie alors qu'il n'en représente que 149% dans la zone pionnière.

Fig. 15 EVOLUTIONS DES PROFILS DE TENEUR EN EAU DU SOL

STATION HILARIA I



- | | | | |
|-----------|----|----|-----------|
| ————— | LE | 26 | MAI |
| - - - - - | LE | 19 | AOUT |
| - · - · - | LE | 22 | AOUT |
| - · - - - | LE | 31 | AOUT |
| - · - · - | LE | 7 | SEPTEMBRE |
| · - · - · | LE | 11 | SEPTEMBRE |
| · · · · · | LE | 21 | SETEMBRE |

Fig. 16 EVOLUTION DES PROFILS DE TENEUR EN EAU DU SOL

STATION MOGOTE zone interieur

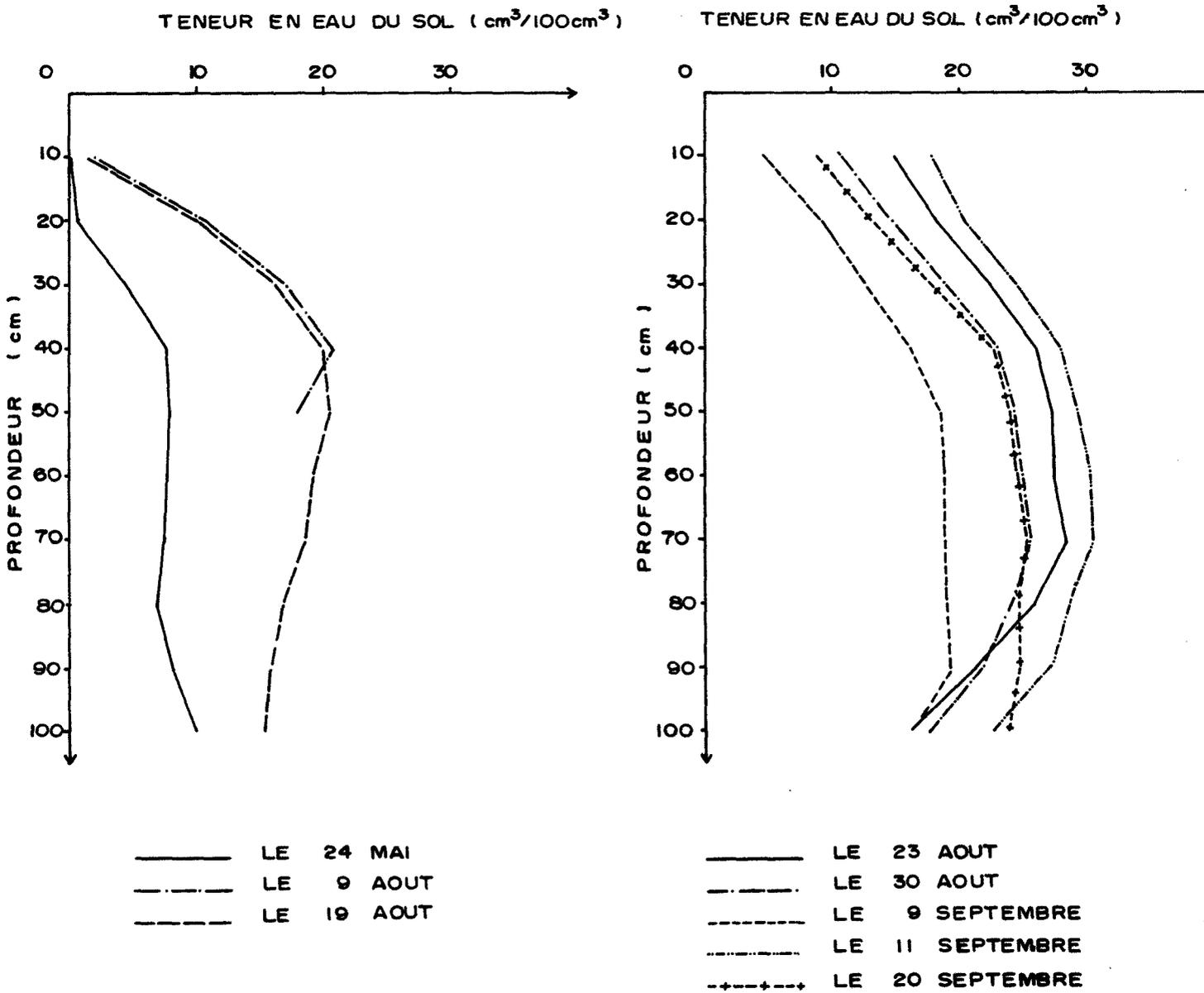
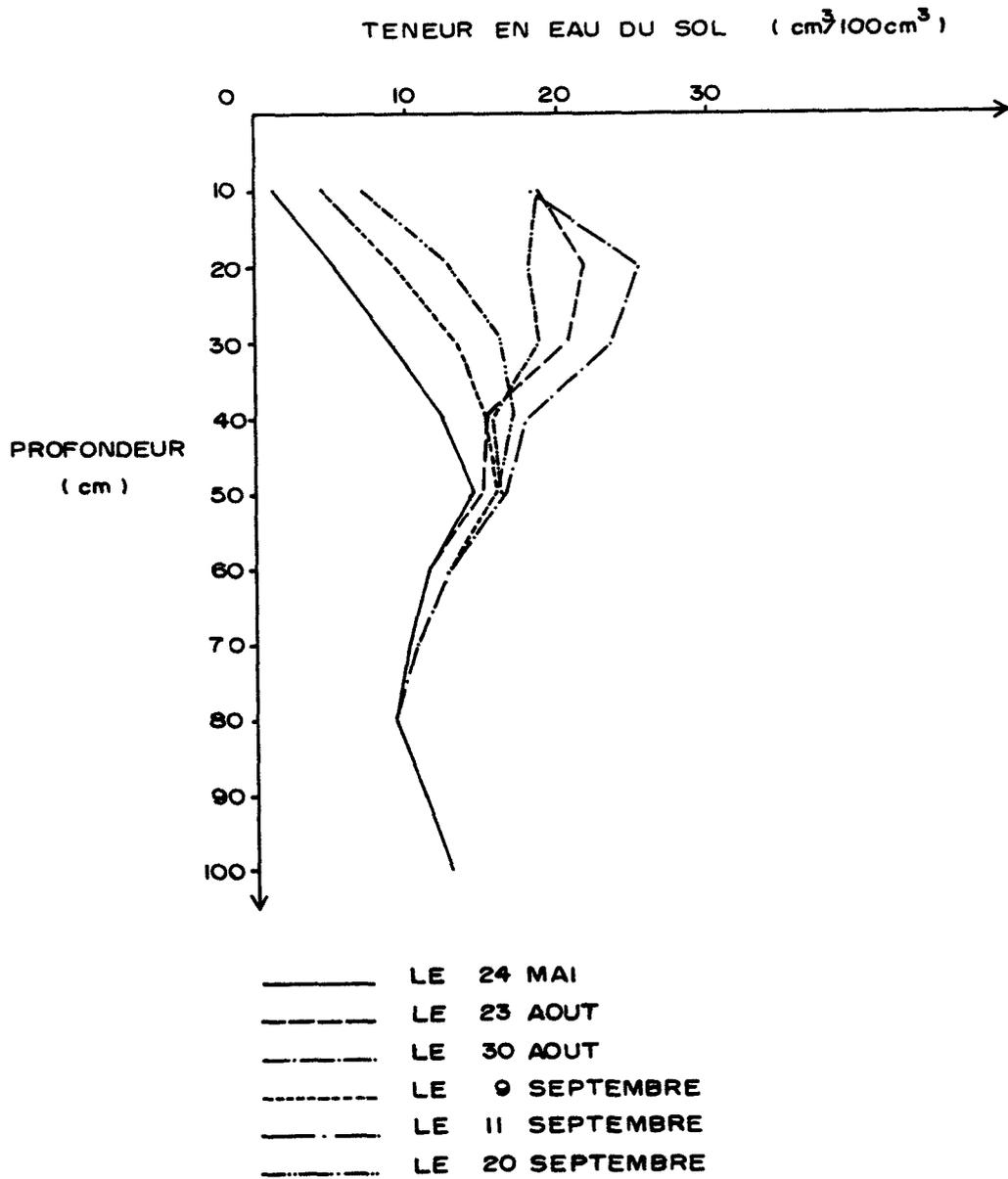


Fig.17 EVOLUTION DES PROFILS DE TENEUR EN EAU DU SOL

STATION MOGOTE zone pionniere



Tabl. 1 : RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS ET LES VARIATIONS DE STOCK

DATE	HAUTEUR DE PLUIE	STOCK	DIFFERENCE DE STOCK
	(mm)*	(mm)	(mm)

STATION SPOROBOLUS 2 - Stock de 0 à 40 cm

19.8	0	71,5	
22.8	12 le 20.8	137,6	+66,2
22.8	0	137,6	
30.8	6 le 26.8	133,4	- 4,3
9.9	0	108,3	
21.9	36 le 9.9	132,6	+24,2
total :	55 mm	total :	+86,1 mm (156,6%)

STATION SPOROBOLUS 1 - Stock de 0 à 40 cm

19.8	0	80,0	
22.8	20 le 20.8	91,3	+11,3
22.8	0	91,3	
29.8	12 le 26.8	95,1	+ 4,2
total :	32 mm	total :	+15,5 mm (48,3%)

STATION HILARIA 1 - Stock de 0 à 90 cm

19.8	0	92,9	
22.8	19 le 20.8	125,3	+32,4
total :	19 mm	total :	+32,4 mm (170%)

STATION HILARIA 2 - Stock de 0 à 70 cm

19.8	0	168,21	
23.8	24 le 20.8	208,1	+39,9
23.8	0	208,1	
31.8	8 le 26.8	213,4	+ 5,3
total :	32 mm	total :	+45,2 mm (141,2%)

STATION "MOGOTE" - Stock de 0 à 80 - zone pionnière -

19.8	0	79,8	
23.8	17 le 20.8	127,1	+47,3
9.9	0	88,8	
11.9	40 le 9.9	138,6	+49,9
total :	65 mm	total :	+97,1 mm (149,4%)

STATION "MOGOTE" - Stock de 0 à 100 - intérieur

19.8	0	147,1	
23.8	17 le 20.8	226,7	+79,5
9.9	0	147,6	
11.9	40 le 9.9	257,4	+109,8
total :	65 mm	total :	+189,4 mm (291,3%)

* Les pluies inférieures à 5 mm ne sont pas indiquées mais elles sont prises en compte dans le total calculé par station sur la période comprise entre la première et dernière date du tableau.

Ces résultats montrent qu'il existe un stockage de l'eau dans le sol qui en quantité est supérieur aux précipitations. Cela provient du fait qu'il se crée un écoulement laminaire. Celui-ci se produit pour des pluies d' au moins 10 mm et il est fonction de l'état d'humectation, l'intensité des pluies, l'état de surface du sol, la végétation, les précipitations se produisant en amont(4).

Le cas de la station Sporobolus n'est pas expliqué.

Si l'on compare le pourcentages d'eau stockée de cette année avec ceux de l'année précédente il apparaît supérieur dans toutes les stations,sauf à Sporobolus 1 où il est semblable:

Tabl. 2 : COMPARAISON DU POURCENTAGE D'EAU STOCKEE EN 1988 ET 1989.

stations	1988	1989 (du 19.8 au 21.9)
Hilaria 1	142%	170%
Hilaria 2	106%	141%
Mogote	175%	291%
Sporobolus 1	53%	48%
Sporobolus 2	101%	156%

Il faut cependant être prudent car en 1988 ces données avaient été obtenues sur l'ensemble de l'été alors qu'en 1989 elles ne l'ont été que sur une courte période de mi-août à mi-septembre.

7) Comparaison du stock d'eau du sol et du potentiel de base de la plante (fig.18,Annexe 13 à 16)

Nous savons que le potentiel de base de la plante dépend de l'humidité du sol (17). Il était donc naturel de rechercher une relation entre le stock d'eau et le potentiel hydrique des plantes quand celles-ci sont en équilibre hydrique avec le sol.

G.BESNARD (38) avait étudié des modèles de type hyperbolique pour exprimer cette relation.

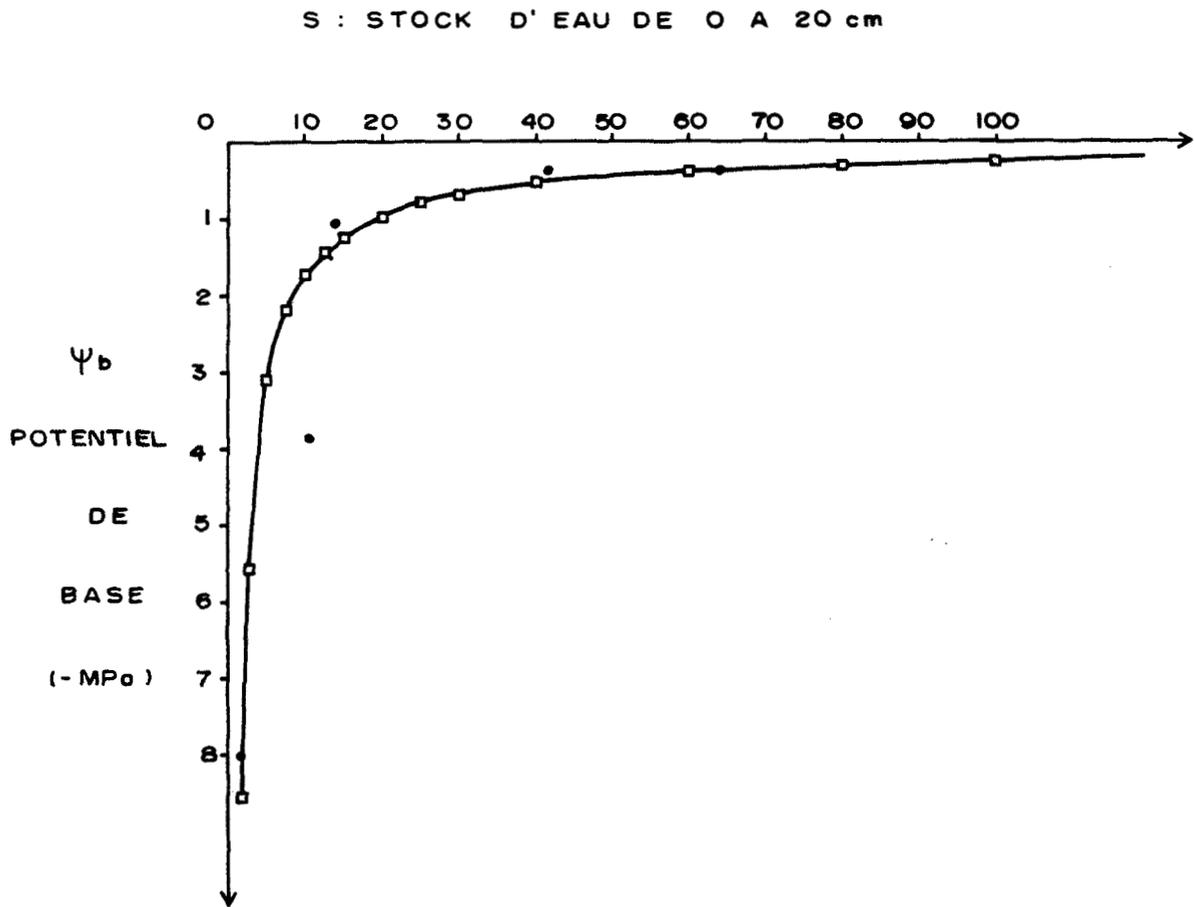
Ce sont ces mêmes types de modèles que nous avons testé ici.

Pour chaque station nous avons calculé plusieurs équations, chacune correspondant a un stock calculé à une profondeur donnée (tous les 10 cm). Nous n'avons retenu, par station, que le modèle ayant la meilleure corrélation.

Pour chacune des stations il a été possible de construire un modèle d'allure hyperbolique du même type que celui établi par G.BESNARD (38) ce qui confirme l'intérêt de ce type de modèle pour exprimer cette relation.

Nous présentons en exemple la courbe retenue pour Hilaria 1 (fig.18),(pour les autres stations voir en annexe).

Fig. 18 EVOLUTION DU POTENTIEL DE BASE EN FONCTION DU STOCK D'EAU STATION HILARIA I



• VALEURS OBSERVEES
 □ VALEURS CALCULEES PAR LE MODELE:
 $\Psi_b = aS^b$
 $a = 121$
 $b = -0.85$
 $r = -0.938$

L'interprétation d'un tel modèle est la suivante :

- après une pluie les plantes peuvent maintenir leur potentiel de base élevé (faiblement négatif) alors que le stock d'eau du sol diminue lui rapidement. Ceci permet aux plantes de croître durant une période plus longue sans être gênée par la diminution de la disponibilité en l'eau du sol.

- lorsque le stock hydrique devient faible, le potentiel de base chute ce qui interrompt rapidement la croissance des plantes qui rentrent alors en dormance.

Dans les deux stations à "Sporobolus" le potentiel de base est relié au stock d'eau en surface (jusqu'à 10 cm) c'est-à-dire que la meilleure corrélation lors des calculs du modèle a été obtenu pour le stock d'eau calculé sur les 10 premiers centimètres.

Par contre pour "Hilaria" les résultats sont plus variables:

- alors que pour la station Hilaria 1 le potentiel de base est relié au stock d'eau jusqu'à 20 cm pour la station Hilaria 2 il est relié au stock d'eau des 80 premiers cm du sol. Ce dernier résultat diffère de celui obtenu en 88 sur cette même station (10 cm).

- Pour le "Mogote" nous pouvons donc dire que le potentiel de base est relié au stock d'eau calculé sur pratiquement l'ensemble du profil (bonne corrélation de 20 à 100 cm).

8) Conclusion n°2

En raison de la nature très argileuse des sols et riches en sels, une importante part de l'eau, contenue dans le sol n'est pas disponible pour les plantes, il s'agit de l'eau liée. L'humidité volumique du sol est comprise entre 10 et 30 %

Seules les pluies supérieures à 10 mm, environ, peuvent permettre la constitution d'un stock important. Car il est nécessaire qu'il se crée un ruissellement en nappe pour avoir un stockage important de l'eau, supérieur aux précipitations.

Le "Mogote" présente une dynamique de l'eau et un stockage différents de ceux des autres stations. Le stockage de l'eau se produit sur au moins 1 m (sol plus meuble, présence d'abondantes racines).

Bien qu'ayant mesuré une variation de stock jusqu'à 90 cm lors de la pluie du 9 septembre en Hilaria 1, les stockages d'eau les plus notables, ne se produisent, dans cette station, que jusqu'à 40 cm. Ceci ne nous étonne pas car cette profondeur correspond à celle d'enracinement.

De même en Hilaria 2 le stockage de l'eau a lieu jusqu'à 60 cm, ce qui correspond au niveau des racines les plus profondes.

Par contre dans les stations à Sporobolus le stockage de l'eau a lieu jusqu'à 50 cm (pour Sporobolus) et 40 cm (pour Sporobolus 2) or les racines dans ces stations vont respectivement jusqu'à 65 cm et 50 cm.

Il faut donc en déduire une inefficacité des racines les plus profondes, ces dernières n'étant actives que lors des ruissellements importants engendrant un stockage d'eau en profondeur.

Nous avons constaté que si les stocks d'eau totaux ayant initié la croissance en Hilaria 1 et 2 sont très différents (respectivement 84 mm et 175 mm dans les 60 premiers centimètres), en rapport avec la nature des sols (plus argileux en Hilaria 2), par contre les stocks d'eau disponibles sont proches (respectivement 33 mm et 41 mm).

Le potentiel de base dépendant de l'humidité du sol, nous pouvons le relier au stock d'eau du sol. Une courbe de type hyperbolique traduit cette relation et démontre l'adaptation des plantes au milieu aride :

En effet elles sont capables de maintenir un potentiel élevé, donc une croissance, le potentiel de turgescence n'étant pas nul, alors que le stock d'eau diminue fortement.

Nous pouvons dire que pour "Sporobolus" ce sont les racines de surface qui sont fonctionnelles, alors que chez "Hilaria" non seulement les racines de surfaces mais aussi celles de profondeur sont efficaces.

9) Comparaison du potentiel de base et de la biomasse produite:

Estimation de la valeur minimum du potentiel hydrique permettant la croissance.

Pour estimer la biomasse produite il était prévu de faire des coupes de biomasse dans trois stations: une dans chacune des stations à "Sporobolus", celles-ci ayant paru évoluer différemment l'une de l'autre en 1988, et une troisième dans une des stations à "Hilaria" ces dernière ayant eu, par contre, un comportement plus homogène l'année antérieure. C'est la station Hilaria 1 qui fut choisi.

Malheureusement la sécheresse de cet été ne nous a pas permis de faire de coupe de biomasse, la parcelle de coupe choisie n'ayant pas présenté de croissance avant début septembre.

Ainsi nous n'avons obtenu aucune donnée de biomasse pour "Hilaria". Le choix de station n'est pas à incriminer puisque en Hilaria 2, de même il n'y a eu de croissance qu'à partir de fin août pour raison climatique.

Nous avons aussi l'intention de comparer la première croissance à la seconde pour voir dans quelle mesure les caractéristiques écophysologiques d'une plante se modifie au cours de l'année.

Mais la pluie du 9 septembre est venue interrompre la phase de dessèchement suivant la seconde croissance. Dans les stations à "Sporobolus", cette même pluie a en outre relancé une nouvelle phase de croissance telle que nous n'avions plus le temps de l'étudier dans toute sa durée.

Ainsi seules la première croissances du mois de juin des deux stations à "Sporobolus" a été étudiée.

Nous avons réalisé des estimations de biomasse produite à partir des données brutes: biomasse totale, biomasse verte et biomasse sèche, car certains comportements de "Sporobolus" rendent l'utilisation directe des données brutes impossible.

En effet lorsque les végétaux commencent à croître certaines tiges sèches redeviennent vertes alors que d'autres restent sèches. Ces dernières au cours de la croissance tombent au sol constituant ainsi des résidus absents avant la croissance: nous enregistrons alors une diminution de la biomasse sèche mais aussi totale.

Il faut ajouter à cela l'intrusion durant les phases sèches (hiver et juillet cette année) de bêtes dans ces parcelles théoriquement mises en défens. Sur des périodes sèches longues il est facile d'attribuer les importantes baisses de poids de biomasses à la pénétration d'animaux dans la parcelle. C'est beaucoup moins facile sur de plus petites périodes.

Enfin il subsiste une certaine hétérogénéité entre spéciale les périmètre de coupe.

La croissance n'a pas été très importante cette année, du moins jusqu'au 9 septembre:

- En Sporobolus 2, la quantité de biomasse produite durant la période allant du 25 mai au 9 septembre représente 2 Kg de matière sèche par 15 m² soit 1.33 t/Ha. La production ayant été de 1.1 Kg (0,73 t/Ha) durant la première croissance du 25 mai au 28 juin et de 0.9 Kg (0,6 t/Ha) du 23 août au 9 septembre. La biomasse sèche, en début d'année représentant environ 1 Kg (0,67 t/Ha).

- En Sporobolus 1, la quantité de biomasse produite durant la même période que ci-dessus représente 1.65 Kg / 15 m² soit 1.1 t/Ha. Elle se répartit de la manière suivante: 0.6 Kg (0,4 t/Ha) du 25 mai au 28 juin et 1.05 Kg (0,7 t/Ha) du 28 juillet au 9 septembre. La biomasse sèche, en début de croissance étant de 0.2 Kg (0,13 t/Ha).

La pluie du 9 septembre a relancé la croissance en Sporobolus 2 surtout mais aussi en Sporobolus 1.

Cependant nous n'avons pu étudier cette croissance. Vu son importance du moins en Sporobolus 2 nous pouvons supposer que la production de biomasse a dû doubler soit donner 2 à 3 t/Ha ce qui pourrait nous donner une idée de la production de ces parcours.

Nous avons étudié la biomasse produite en fonction du potentiel de base. Etant donné qu'il n'y a pas eu de pluie en juin, nous avons bien étudié l'effet des pluies de fin mai.

Nous avons déterminé qu'il existait une relation logarithmique entre la biomasse produite cumulée et le potentiel de base (fig. 19 & 20).

Sur cette courbe se distinguent trois parties:

- La première, qui correspond à la pleine croissance, s'arrête à environ -0.5 MPa pour Sporobolus 1 et -1 MPa pour Sporobolus 2.

- La seconde qui correspond au ralentissement puis à la fin de croissance se prolonge jusqu'aux environs de -1.5 MPa pour Hilaria 1 et -2.5 MPa pour Sporobolus 2.

- La troisième correspond à l'arrêt de la croissance et l'entrée en dormance

La faiblesse de la production végétale autorise de considérer la pente moyenne de la troisième partie du modèle comme négligeable.

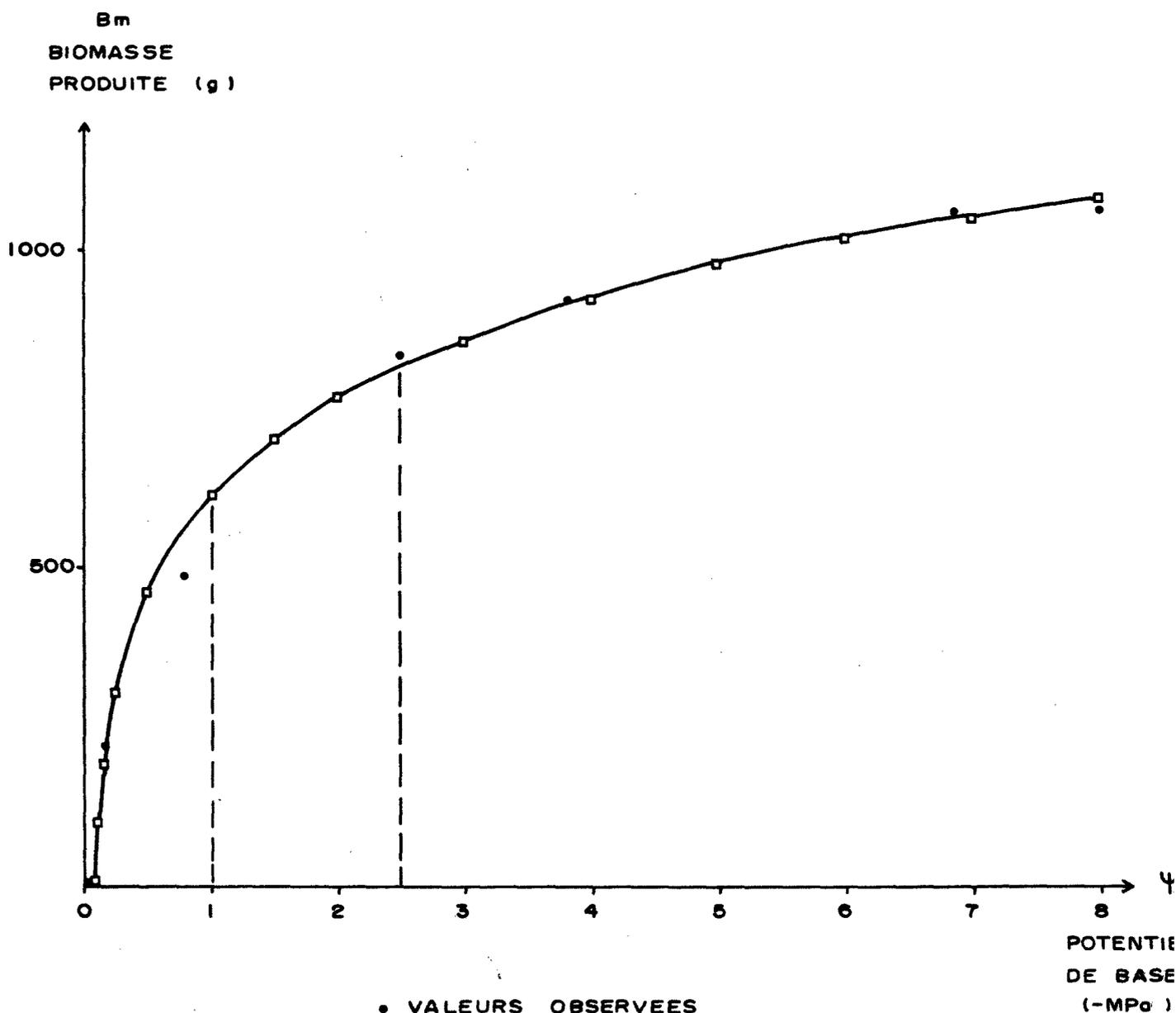
10) Conclusion n°3

Il serait souhaitable d'étudier la production de biomasse en rapport avec l'humidité du sol. Cela exigerait d'équiper une parcelle de coupe d'un certain nombre de sites de mesure de l'humidité du sol, au moins un par périmètre de coupe.

Fig. 19 EVOLUTION DE LA BIOMASSE PRODUITE (CUMULEE)
EN FONCTION DU POTENTIEL DE BASE

STATION SPOROBOLUS II

PREMIERE CROISSANCE DU 25 MAI AU 28 JUIN



• VALEURS OBSERVEES

□ VALEURS CALCULEES PAR LE MODELE:

$$B_m = a + b \cdot \ln \psi^b$$

$$a = 97,51$$

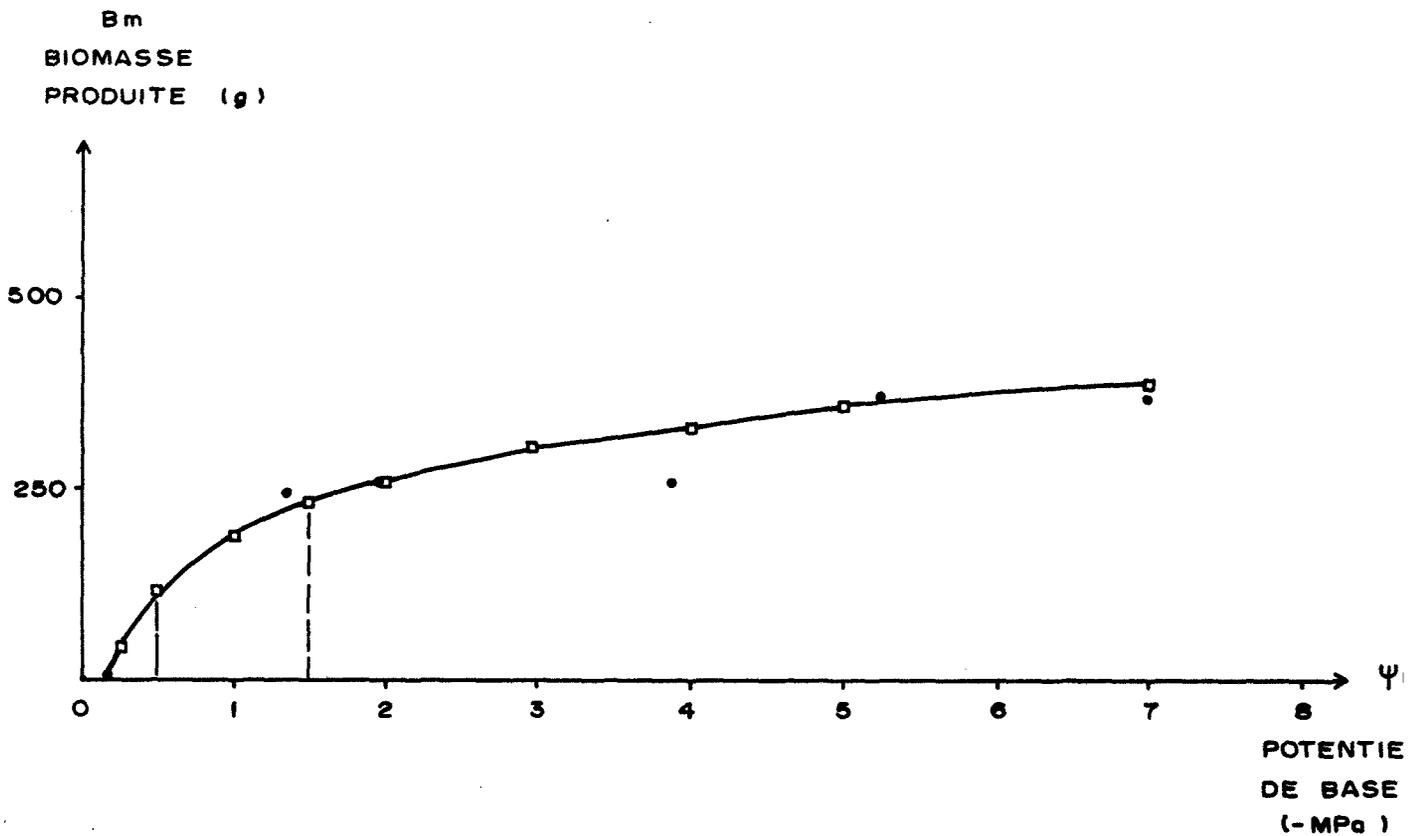
$$b = 223,63$$

$$r = 0,994$$

Fig. 20 EVOLUTION DE LA BIOMASSE PRODUITE (CUMULEE)
EN FONCTION DU POTENTIEL DE BASE

STATION SPOROBOLUS I

PREMIERE CROISSANCE DU 1^{er} JUIN AU 28 JUIN



• VALEURS OBSERVEES

□ VALEURS CALCULEES PAR LE MODELE:

$$Bm = a + b \cdot \ln \Psi^b$$

$$a = 97,51$$

$$b = 223,63$$

$$r = 0,994$$

De même, lors d'une croissance "normale", il serait intéressant de faire des mesures journalières de potentiel de base et de production de biomasse cumulée.

Enfin, il semble qu'il soit nécessaire de prendre des périmètres de coupe plus importants pour diminuer l'hétérogénéité spatiale de la végétation qui se fait d'autant plus sentir que la surface de coupe est peu importante

Nous avons donc estimé une production minimum pour les parcours à "Sporobolus", qui est de l'ordre de 1 t/Ha à 1.3 t/Ha . Cette production doit facilement monter à 2 ou 3 t/Ha en année "normale".

Cependant il n'existe pas, à l'échelle régionale d'estimation des surfaces de parcours à "Sporobolus". Il n'est donc pas facile d'estimer la production disponible pour l'élevage. Il en va de même pour "Hilaria".

Enfin le modèle que nous avons testé nous a donné comme potentiel hydrique minimum permettant la croissance -1.5 MPa pour Sporobolus 1 et -2.5 MPa pour Sporobolus 2.

11) Courbes "pression-volume" (Tabl. 3)

Ces courbes décrivent la relation entre le potentiel hydrique de la plante et son contenu en eau. Elles sont construites à partir des mesures réalisées sur des tiges foliées en pleine croissance, suite à un épisode pluvieux.

Pour chaque tige nous avons choisi le modèle ayant le meilleur coefficient de corrélation.

Deux paramètres importants sont obtenus à partir de ces courbes: le potentiel à l'origine $\Psi_{\Pi 100}$ et le potentiel à la plasmolyse $\Psi_{\Pi 0}$. Ils sont estimés à partir des équations des parties hyperbolique, et linéaire de chaque courbe. De même cette courbe donne le pourcentage d'eau extrait à la plasmolyse V_e/V_s .

ces trois paramètres caractérisent l'adaptation des plantes à la sécheresse.

La comparaison de toutes les stations entre elles (analyse de variance par STAT-ITCF) montre que le potentiel à l'origine, $\Psi_{\Pi 100}$, est le même pour "Hilaria" quelle que soit la station alors que "Sporobolus" réagit différemment selon la station (test de NEWMAN-KEUL à 5 % Annexe 17).

"Sporobolus a un $\Psi_{\Pi 100}$ identique à celui de "Hilaria" en Sporobolus 1 et supérieur en Sporobolus 2.

De même pour le potentiel à la plasmolyse, $\Psi_{\Pi 0}$, les trois stations à "Hilaria" possèdent les mêmes valeurs alors que les deux stations à "Sporobolus" sont encore différentes (test NEWMAN-KEUL à 5% Annexe 18).

De même nous trouvons un $\Psi_{\Pi 0}$ identique à celui de "Hilaria" pour "Sporobolus" en Sporobolus 1 et supérieur en Sporobolus 2.

Nous retrouvons donc là l'une de nos conclusions: les valeurs de $\Psi_{\Pi 100}$ et $\Psi_{\Pi 0}$ sont caractéristiques de l'espèce chez "Hilaria" ($\Psi_{\Pi 100} = -0.99$ MPa +/- 0.105 MPa; $\Psi_{\Pi 0} = -2.06$ MPa +/- 0.415 MPa) alors que pour "Sporobolus" c'est le milieu qui semble influencer sur ces valeurs.

TABL. 3 : VALEUR DES POTENTIELS DE BASE, $\Psi_{\Pi 100}$ (-MPa), POTENTIELS MINIMUM, $\Psi_{\Pi 0}$ (-MPa), ET POURCENTAGE D'EAU PERDUE A LA PLASMOLYSE, VE/Vs (%), POUR LES CINQ STATIONS.

STATIONS	YP100		YPO		Ve/Vs	
SPOROBOLUS 2	1,52	(0,16)	2,98	(0,89)	47,1	(5,4)
SPOROBOLUS 1	0,61	(0,31)	1,66	(0,47)	79,8	(23,6)
"MOGOTE"	0,90	(0,07)	2,53	(0,32)	74,3	(9,2)
HILARIA 2	1,00	(0,31)	1,85	(0,46)	71,1	(21,5)
HILARIA 1	0,96	(0,32)	1,76	(0,59)	59,2	(13,8)

Les valeurs des écart-types sont indiquées entre parenthèse.

Tabl. 5 : COMPARAISON DES MOYENNES DES VALEURS DE $\Psi_{\Pi 100}$ (-MPa), $\Psi_{\Pi 0}$ (-MPa) ET Ve/Vs (%), OBTENUES EN 1988 ET 1989 POUR CHAQUE STATION, TEST DE FISHER.

STATIONS	$\Psi_{\Pi 100}$		$\Psi_{\Pi 0}$		Ve/Vs	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
SPOROBOLUS 2	1,29	1,52	3,14	2,98	58,7	47,1
	ns		ns		ns	
SPOROBOLUS 1	0,60	0,61	1,19	1,66	58,8	79,8
	ns		ns		xx	
"MOGOTE"	1,50	0,90	2,34	2,53	35,2	74,3
	xxxx		ns		xxx	
HILARIA 2	1,25	1,00	2,43	1,85	47,8	71,1
	x		x		xxx	
HILARIA 1	1,35	0,96	2,44	1,76	41,8	59,2
	xx		x		x	

xxxx : différence significative à 0,1%.

xxx : différence significative à 1%.

xx : différence significative à 5%.

x : différence significative à 10%.

ns : différence non significative.

De même qu'en 1988 les potentiels mesurés dans la station Sporobolus 2 sont deux fois plus faibles que ceux mesurés dans la station Sporobolus 1 (tabl. 5). Ψ_{T10} constituant la limite inférieure de potentiel hydrique pour laquelle la plante possède une croissance. Cela signifie que la station Sporobolus 2 a présenté une croissance plus longue que la station sporobolus 1 en conditions égales et explique la très faible croissance dans la station Sporobolus 1 en juin.

Ces valeurs de Ψ_{T10} sont cohérentes avec les estimations faites grâce aux coupes de biomasse (cf. VI.6):

Tabl. 4 : COMPARAISON DES ESTIMATIONS DE Ψ_{T10} FAITES AVEC DES COURBES "PRESSION-VOLUME" ET DES COUPES DE BIOMASSE.

stations	estimations de Ψ_{T10}	
	courbes "P-V"	coupe biomasse
Sporobolus 2	- 2,98 MPa	- 2,50 MPa
Sporobolus 1	- 1,66 MPa	- 1,50 MPa

Si l'on compare les valeurs de ces paramètres avec celles obtenues en 1988 (Tabl. 5) nous constatons qu'elles sont statistiquement (seuil de 5%) identiques dans les stations Sporobolus 1 et 2 et Hilaria 2. Par contre les valeurs de Ψ_{T100} sont statistiquement supérieures cette année pour les stations à "Hilaria". De même les valeurs de Ψ_{T10} sont statistiquement supérieures pour Hilaria 1 et 2. Cela signifie que la croissance des plantes s'est arrêté plus rapidement cette années. Il s'agit donc d'une diminution du degré d'adaptation des plantes à la sécheresse. Il faut sans doute voir là les effets de la sécheresse qui a duré presque un an sur ces stations, contre neuf mois pour les stations à Sporobolus.

Une autre conséquence de la sécheresse est l'importance des écart-types par rapport à 1988. Cela signifie que tous les individus n'ont pas réagit de la même manière à la sécheresse, certains réagissant mieux que d'autres.

De même que pour les deux paramètres précédent le pourcentage d'eau extrait à la plasmolyse est voisin pour les trois stations à "Hilaria" alors qu'il est différent pour les deux stations à "Sporobolus" (Annexe 19). Il est bien plus important dans la station Sporobolus 1 ce qui signifie que les plantes avaient perdu plus d'eau au moment de la plasmolyse.

Contrairement à l'année dernière les deux stations à Sporobolus ont réagit totalement différemment:

dans Sporobolus 2 la valeur de V_e/V_s n'est pas significativement différent de la valeur de 1988 quoique légèrement inférieure (47.1 contre 58.7 en 1989) alors que pour Sporobolus 1 elle est statistiquement (à 5%) supérieure (79.8 contre 58.8) (Tabl. 5).

Pour les stations à "Hilaria" V_e/V_s est toujours Supérieure en 1989. Cela correspond pour ces stations à une diminution de leur capacité à retenir l'eau dans leurs tissus.

Enfin si l'on fait la moyenne par espèce il n'y a plus de différence entre "Sporobolus" et "Hilaria" (respectivement 63,4 [+/-]23 et 68,2 [+/-]6,8). Mais le calcul de la moyenne pour Sporobolus ne signifie pas grand chose ce paramètre comme les deux précédents ne constituant pas pour "Sporobolus" une caractéristique de l'espèce, contrairement à "Hilaria".

12) Conclusion n°4

Il apparaît assez clairement que les deux espèces "Sporobolus" et "Hilaria" ne réagissent pas de la même manière face aux contraintes hydriques supportées.

Pour "Hilaria" les potentiels à l'origine, Ψ_{T100} , et à la plasmolyse, Ψ_{T10} , semble bien caractériser l'espèce, alors que pour Sporobolus ils sont différents selon le type de sol. Cela confirme totalement nos précédents résultats ainsi que ceux de l'année dernière.

Cependant il convient de continuer ces mesures sur de nouvelles stations et avec d'autres types de sol pour vérifier, dans le cas de Sporobolus, le rôle du type de sol sur le comportement adaptatif à la sécheresse de cette graminée.

Ces deux graminées sont des espèces qui s'adaptent aux conditions arides, mais il semble qu'il y ai des limites a cette tolérance.

en effet nous avons constaté que, durant ces deux années sèches (1988 et 1989), les paramètres caractérisant l'adaptation de ces plantes à la sécheresse se sont modifiés dans le sens d'une moins bonne tolérance au stress hydrique. La seule station pour laquelle aucune variation de ces paramètres n'est intervenue, Sporobolus 2, est la seule pour laquelle l'année 1989 a été plus arrosée au total.

Il conviendrait donc de faire des mesures, durant environs cinq ou six ans, pour tester sur les deux espèces l'impact du climat, six années étant le temps minimum pour avoir un échantillon représentatif des différents types d'année climatique dans cette zone du Mexique.

VII. CONCLUSION GENERALE

Les deux graminées que nous avons étudié sont les deux espèces dominantes dans le BOLSON de MAPIMI.

Elles constituent la principale ressource fourragère

Leur intérêt agronomique est donc énorme dans cette région à vocation d'élevage extensif prédominant.

Malgré la forte rétention d'eau par les sels, ces plantes sont capables d'extraire de l'eau du sol bien au delà du pF 4,2. Ces deux espèces de graminée sont donc parfaitement adaptées au milieu sec . De plus elles ont la capacité de rentrer en dormance lors des phase prolongées de sécheresse.

Cependant les deux espèces n'ont pas du tout la même économie de l'eau, en effet l'espèce "Sporobolus" a une croissance rapide et plus courte que celle de l'espèce "Hilaria" qui au contraire a une croissance qui se poursuit durant une certaine période malgré la sécheresse . Cette différence de comportement explique leur répartition dans le paysage. Ainsi l'espèce "Sporobolus" se trouve plutôt dans les zones de bas-fonds ou s'accumulent des eaux et du sels alors que l'espèce "Hilaria" se retrouve dans des terrains moins inondables.

Dans la réserve il y avait en 1986 approximativement 6000 à 7000 bêtes . En fonction de la saison, les troupeaux changent de zones de parcours. Ils passent la saison pluvieuse et post-pluvieuse, de juin à octobre, dans les zones basses et voisines, où se trouvent de grands pâturages à "Hilaria" et "Sporobolus" (stations Sporobolus 1 et 2 et Hilaria 2), la saison sèche fraîche et tempérée, de novembre à mars, dans les piémonts et versants (stations "Mogote" et Hilaria 1), et la saison sèche torride quand il ne reste plus rien à manger dans les hauts versants ou nopalera où les vaches consomment les raquettes des cactus(1).

Connaissant cette différence de croissance chez ces deux graminées et sachant que , contrairement à "Sporobolus" les vaches ne consomment pas "Hilaria" lorsqu'elle est sèche par suite d' accumulations de silice dans ses tiges, nous essayons de proposer une gestion des parcours des zones basses utilisées par les bêtes de juin à octobre.

En effet après une pluie, en début de période humide, la croissance commence plus rapidement dans "Sporobolus" que dans "Hilaria". Il convient donc d'y amener rapidement les troupeaux, qui sont affamés au sortir de l'hiver. Cependant la croissance de "Sporobolus" cesse la première, celle d'"Hilaria" continuant quelque temps encore. Etant donné que "Sporobolus" constitue une réserve de biomasse pour la saison sèche et non "Hilaria", qui n'est pas appétente une fois sèche, il faut donc faire consommer "Hilaria" par les animaux tant qu'elle est verte et préserver les pâturages à "Sporobolus" pour la saison sèche. Ceci n'est réalisable que dans la mesure où il existe des points d'eau suffisant dans ces zones basses, éloignées, pour y maintenir des bêtes durant la période sèche. Dans le cas contraire il serait intéressant d'équiper ces zones de retenues d'eau afin d'en, permettre la valorisation par les troupeaux toute l'année.

Cette proposition n'est applicable que dans le cas d'une année "normale", c'est-à-dire dont la pluviométrie est moyenne et bien répartie durant la période pluvieuse. Dans le cas d'une année plus humide il n'y a pas de problème, alors que pour les années plus sèches la solution paraît être la réduction de la charge afin d'éviter toute dégradation irréversible du milieu.

S'il existe des estimations de nombre d'animaux sur la réserve (1), par contre il n'y pas d'estimation des surfaces des différents types de pâturage, pérennes ou annuels, donc de la biomasse disponible. Des études sont en cours sur ce sujet: une fois connu ces résultats nous saurons s'il y a sur-pâturage ou sous-pâturage, s'il faut freiner l'élevage extensif pour protéger ce milieu fragile, ou favoriser cet élevage pour améliorer la valorisation de ces grands espaces constituant le nord du Mexique.

Cette étude qui s'intègre dans un programme de recherche dont l'objectif est la compréhension de ce milieu, s'est confronté à un problème majeur: la pluviométrie. Le plan de cette étude établi à partir de l'étude de l'année antérieure n'a donc pu être en tout point respecté. Cela illustre la difficulté de la recherche dans ces milieux arides et justifie de suivre les stations d'étude sur plusieurs années (5 ou 6 ans, au moins) pour pouvoir prendre du recul face aux variations annuelles du climat.

Il serait donc intéressant de poursuivre ce travail et de vérifier les modèles établis, en particulier au niveau des mesures de biomasse et de voir si c'est la répétition des sécheresses importantes (1988 et 1989) ou la longueur d'une phase de sécheresse (août 88 - août 89) qui est déterminante sur la végétation.

Enfin pour pallier au problème de variabilité pluviométrique dans ces régions, il semble que l'utilisation de simulations de pluie, déjà pratiquées par les chercheurs de l'ORSTOM pour l'étude des sols dans la réserve, permettrait de progresser rapidement dans la compréhension des relations entre le sol et les plantes poussant dans ces zones arides telles les graminées que nous avons étudiées.

BIBLIOGRAPHIE THEMATIQUE

A) Réserve de la Biosphère de Mapimi

- 1) BARRAL H. 1988, El hombre y su impacto en los ecosistemas a través del ganado ; in Estudio integrado de los recursos vegetacion suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimi. 1 Ambiente natural y humano. Montana ed., Instituto de Ecología, Mexico D.F. pp 241 - 268.
- 1 bis) BREIMER R.F. 1988, Physiographic soil survey ; in Estudio integrado de los recursos vegetacion suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimi. 1 Ambiente natural y humano. Montana ed., Instituto de Ecología, Mexico D.F. pp 115 - 134
- 2) CORNET A., 1988, Principales caractéristiques climatiques ; in Estudio integrado de los recursos vegetacion suelo et agua en la reserva de la biosfera de Mapimi. 1 Ambiente natural y humano. Montana ed., Instituto de Ecología, Mexico D.F. pp 45 - 76.
- 3) DELHOUME J.P., 1988, Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative ; in Estudio integrado de los recursos vegetacion suelo y agua en la reserva de la biosfera de Mapimi. 1 Ambiente natural y humano. Montana ed., Instituto de Ecología, Mexico D.F. pp 135 - 165.
- 4) DELHOUME J.P., 1989, Dynamique et disponibilité de l'eau du sol dans un écosystème aride du nord du Mexique ; in L'aridité : une contrainte au développement - Réseau, zones arides - sous presse.
- 5) FLORES MATA G., JIMENEZ LOPEZ J., MADRIGAL SANCHEZ F., MONCAYO RUIZ F., TAKAKI TAKAKI F., 1971, Memoria del mapa de tipos de vegetacion de la republica mexicana SARH Mexico D.F. 59 p.
- 6) RZEDOWSKI J., 1981, Vegetacion de Mexico Ed. Limusa, Mexico D.F. 432 p.
- 7) SCHMIDT R.H., 1979, A climatic delimitation of the real chihuahuan desert j. arid env. 2, 243 - 250.

B) L'eau et la plante

- 8) CLELAND R., 1971, Cell wall extremium. Ann rev Plant Physiol, 22, 197 - 222.
- 9) HILLEL D., 1974, L'eau et le sol ; Principes et processus physiques. Editeur vander Chap. 10 Utilisation de l'eau par les plantes. 210 - 242.
- 10) SLATYER R., 1967, Plant water relationships. Academic press London and New York.

C) Potentiel hydrique et chambre à pression

- 11) BOYER J.S., 1966, Isopiestic technique ; measurement of accurate leaf water potentials. *Science*, N.Y. 154, 1459 - 1460.
- 12) BOYER J.S., 1967 Leaf water potentials measured with a pressure chamber. *Plant physio.* 42, 133 - 137.
- 13) BOYER J.S., 1967, Matric potentials of leaves. *Plant physiol.* 42, 213 - 217.
- 14) BOYER J.S., 1969, Measurement of the water status of plants. *A rev Pl. Physiol* 19, 351 - 364.
- 15) DIXON H.H. and JULY S., 1894, On the ascent of the saps in plants. *Phil. trans. R. Soc. (London) series B* 186, 563 - 576.
- 15 bis) DIXON H.H. 1914, *Transpiration and the ascent of sap in plants*. MacMillan New York.
- 16) HASS R.H. DADD J.D., 1972, Water stress patterns in honey mezquite. *Ecology* 53, 674-680.
- 17) HICKMAN J.C., 1970, Seasonal cause of the xylem sap tension. *Ecology* 51, 1052 - 1056.
- 18) JASSO IBARRA R., 1987, Adaptacion a la sequia mediante osmoregulacion en plantas cultivadas. *Seminario técnico PRONAPA vol 4 n° 1 SARH*.
- 19) KAUFMAN M.R., 1968, Evaluation of the pressure chamber technique for estimating plant water potential of the species forest. *Forest Sci.* 14, 369 - 374.
- 20) KLEPPER B., 1968, Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Pl. Physiol.* 43, 1931 - 1934.
- 21) LIRA SALDIVAR R.H., 1987, Técnicas para medir el potencial hídrico y sus componentes en plantas. *Seminarios técnicos PRONAPA. vol. 4 n° 7*.
- 22) PASSIOURA J.B., 1980, The meaning of matric potential. *J. exp. Bot.* 31, 1161 - 1169.
- 23) RITCHIE G.A., HINCKLEY T.M., 1975, The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Advances in ecological research* vol. 9 165 - 264.
- 24) SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.T., HEMMINGSEN E.A. and BRADSTREEL E.D., 1964, Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proc. natu. Acad. Sci. USA* 52, 119 - 125.
- 25) SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.T., BRADSTREEL E.D., HEMMINGSEN E.A., 1965, Sap Pressure in vascular plants. *Science* Vol. 148, 339 - 346.
- 26) TURNER N.C., 1981, Techniques and experimental approaches for the measurement of plant status. *Plant and soil* 58, 339 - 366.
- 27) WARING R.H. and CLEARY B.D., 1967, Plant moisture stress evaluation by pressure bomb. *Science* N.Y. 155, 1248 - 1254.

D) Courbe "pression-volume"

- 28) CHEUNG Y.N.S., TYREE M.T., DAINTEY J., 1975, Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. *Can. J. Bot* Vol. 53, 1342 - 1346.
- 29) GUYON J.P., 1987, Analyse des courbes "Pression-Volume" de rameaux de trois espèces forestières. *Acta OEcologica OEcol Applic* vol. 4, 363 - 370.
- 30) JONES M.M. and TURNER N.C., 1978, Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. *Plant physiol*, 61, 122 - 126.
- 31) KYRIAKOPOULOS E. et RICHTER H., 1981, Pressure volume curves and drought injury. *Physiol. Plant*. 52, 124 - 128.
- 32) RICHTER H., 1978, A diagram for the description of water relations in plant cells and organs. *Journal of experimental. botany*, vol. 29 n° 112, 1197 - 1203.
- 33) RICHTER H., DUHNE F., GPALZEL G HINCKLEY T.M., KARLIC H., 1980, Some limitations and applications of the pressure volume curve technique in Ecophysiological research. in plants and their atmospheric environment. 21th symposium of the British ecological society. ed. GRACES J., FORD E.D. et JARVIS P.G., Blackwell Scientific Publications.
- 34) TYREE M.T. and HAMMAL H.T., 1972, The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure bomb technique *J. exp. bot.* 23, 267 - 282.
- 35) TYREE M.T., DANTY J., BENIS M., 1973, The water relation Hemlock (*Tsuga canadensis*), 1 some equilibrium water relations as measured by the pressure bomb Technique. *can. j. Bot.* 51, 1471 - 1480.
- 36) TYREE M.T., 1977, Physical parameters of the soil plant atmospheres system breeding for drought resistance. Characteristics that might improve wood yield. *Annals revue of Plant physiologie*.

E) Coupe de biomasse

- 37) WAYNE C., COOK and STUBBENDIECK J., 1986, Range research : Basic problems and Techniques. Society for range management chap. 3 Methods of studying vegetation p 51 - 61.

F) Physiologie des deux graminées étudiées

- 38) BESNARD G., 1989, Physiologie de deux graminées pérennes de la zone aride du nord du Mexique. Instituto de Ecologia, ORSTOM, Mexico. 66 p.
- 39) MONTANA C., FLORET CH. and CORNET A., 1988, Water use efficiency and biomass production of two perennial grasses from the chihuahuan desert (Mexico). Abstracts vol.1, 3th international rangeland congress. Range management society of India 240 - 243.
- 40) NEVENCHWANDER L.A., SCHARROW S.H. and WRIGHT H.A., 1975, Reviews of tobosa grasse : *Hilaria mutica*. *Southwest nat* 20, 255 - 263.

ANNEXE

Annexe n°1 : Caractéristiques analytiques du sol de la station Mogote.
(d'après DELHOUME, 1988).

profondeur (cm)	horizon	TEXTURE			pH	C eau org. (%)	N total (%)	C/N	conduct. elect. (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	capacité d'échan. meq/100g
		argile	limon	sable							
0-3	A 11	15.9	42.3	41.8	8.1	1.96	0.052	37.7	1.00	12.2	27.5
6-14	A 12	28.0	16.2	55.8	8.5	0.53	0.053	10.0	0.80	12.8	22.2
25-33	B 21	33.1	15.2	51.7	7.7	0.31	0.056	5.5	0.60	22.4	21.3
48-58	B 22	24.1	31.2	44.7	8.2	0.23	0.033	7.0	1.00	22.0	19.6
71-79	II B 23	39.4	42.4	18.2	8.4	0.21			0.75	33.7	21.3
97-105	II B 3	37.4	48.0	14.6	8.8	0.19			2.00	36.7	18.5
130-140	II C	41.0	24.7	34.3							

Annexe n°2 : Caractéristiques analytiques du sol de la station Hilaria 1.
(d'après DELHOUME, 1988)

profondeur (cm)	horizon	TEXTURE %			pH	C org. (%)	N total (%)	C/N	conduct. elect. (mS/cm)	CaCO3 (%)	gypse (%)	capacité d'échan. meq/100g
		argile	limon	sable								
0-6	A 11	37.5	20.0	42.5	8.4	0.55	0.062	8.9	1.2	19.0	7.5	19.7
12-20	B 21	51.5	12.0	36.5	8.9	0.57	0.061	9.3	1.1	23.0	8.9	22.5
30-40	B 21	51.1	14.0	34.9	8.9	0.38	0.043	8.8	0.5	21.3	9.5	23.5
45-55	B 21	55.1	12.0	32.9	8.8	0.38	0.033	11.5	6.8	20.7	9.9	24.5
75-82	II C1cs			26.9	8.2	0.34	0.020	17.0	11.9	17.6	17.1	32.1
110-120	II C2									17.3	4.8	

Annexe n°3 : Caractéristiques analytiques du sol de la station Hilaria 2.
(d'après DELHOUME, 1988)

profondeur (cm)	horizon	C	N	C/N	sels solubles (meq/l)					conduct. elect. (mS/cm)	capacité d'échan. meq/100g		
		org. (%)	total (%)		Ca	Mg	Na	K	HCO ₃			Cl	gypse (%)
0-5	A 11	0.74	0.120	6.2	8.2	4.4	8.3	0.58	5.0	10.0	2.4	8.0	22.4
10-28	B 21	0.57	0.080	7.1	7.2	4.4	15.7	0.42	3.6	17.5	3.0	7.9	20.2
26-40	B 21sa	0.30			19.8	8.8	53.9	0.20	3.0	17.5	8.4	7.9	26.3
50-62	B 21sa,cs	0.23	0.040	5.8	19.2	11.6	132.2	0.24	3.8	17.5	15.6	19.9	21.4
75-90	B 22sa				17.8	9.2	193.1	0.32	2.4	192.5	20.4	12.8	24.7
105-125	B 22sa				19.4	13.2	196.6	0.33	2.6	196.0	24.0	15.1	24.5

**Annexe n°4 : Caractéristiques analytiques du sol de la station Sporobolus 1
(d'après DELHOUME, 1988)**

profondeur (cm)	horizon	TEXTURE			pH eau	C org. (%)	N total (%)	C/N	conduct. elect. (mS/cm)	CaCO3 (%)	gypse (%)	capacité d'échan. meq/100g
		argile	limon	sable								
0-10	A 11	40.2	45.0	14.8	8.2	0.62	0.080	7.8	24.0	23.6	11.8	22.3
20-32	B 21sa	46.8	38.4	14.6	8.7	0.47	0.062	7.6	21.7	23.1	12.7	23.6
40-56	B 21sa	45.5	40.3	12.3	8.7	0.34	0.050	6.8	17.6	23.6	13.7	24.8
80-96	B 22sa	49.8	38.8	9.3	8.5				13.8	26.8	14.5	25.4
132-148	B 23sa	46.1	42.9	8.6	8.4				12.0	27.5	14.2	24.9

Annexe n°5 : Caractéristiques analytiques du sol de la station Sporobolus 2
(d'après DELHOUME, 1988)

profondeur (cm)	horizon	C	N	C/N	sels solubles (meq/l)						conduct.	capacité	
		org. (%)	total (%)		Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	elect. (mS/cm)	gypse (%)	d'échan. meq/100g
0-8	A 11	0.41	0.060	6.8	10.6	7.8	29.6	0.31	2.6	45.0	6.1	11.3	27.7
10-20	B 21sa	0.40	0.060	6.7	8.0	4.6	77.8	0.17	3.2	197.5	17.8	11.2	27.5
20-30	B 22sa	0.30	0.040	7.5	23.8	6.2	267.9	0.20	2.6	217.5	31.2	12.1	27.1
30-40	B 22sa	0.25	0.050	5.0	25.6	9.4	435.8	0.21	2.0	312.5	43.8	12.1	26.7
45-55	B 22sa	0.16	0.040	4.0	27.2	15.6	346.2	0.19	2.0	260.0	40.8	10.9	25.7
60-75	B 22sa,cs				27.4	11.2	301.0	0.20	1.8	240.0	34.8	21.1	23.5
90-105	B 22sa,cs				28.4	10.4	356.7	0.22	2.2	285.0	42.0	17.7	24.7
120-135	B 22sa,cs				30.4	10.8	401.9	0.22	2.0	312.5	44.4	19.6	22.2
160-170	B 22sa,cs				32.6	15.2	428.0	0.24	2.4	372.5	50.4	21.8	22.7

Annexe n°6

La sonde humidimètre Solo 25 (NARDEUX) mesure des humidités pondérales. Ces dernières sont ensuite multipliées par la densité apparente ce qui permet d'obtenir l'humidité volumique.

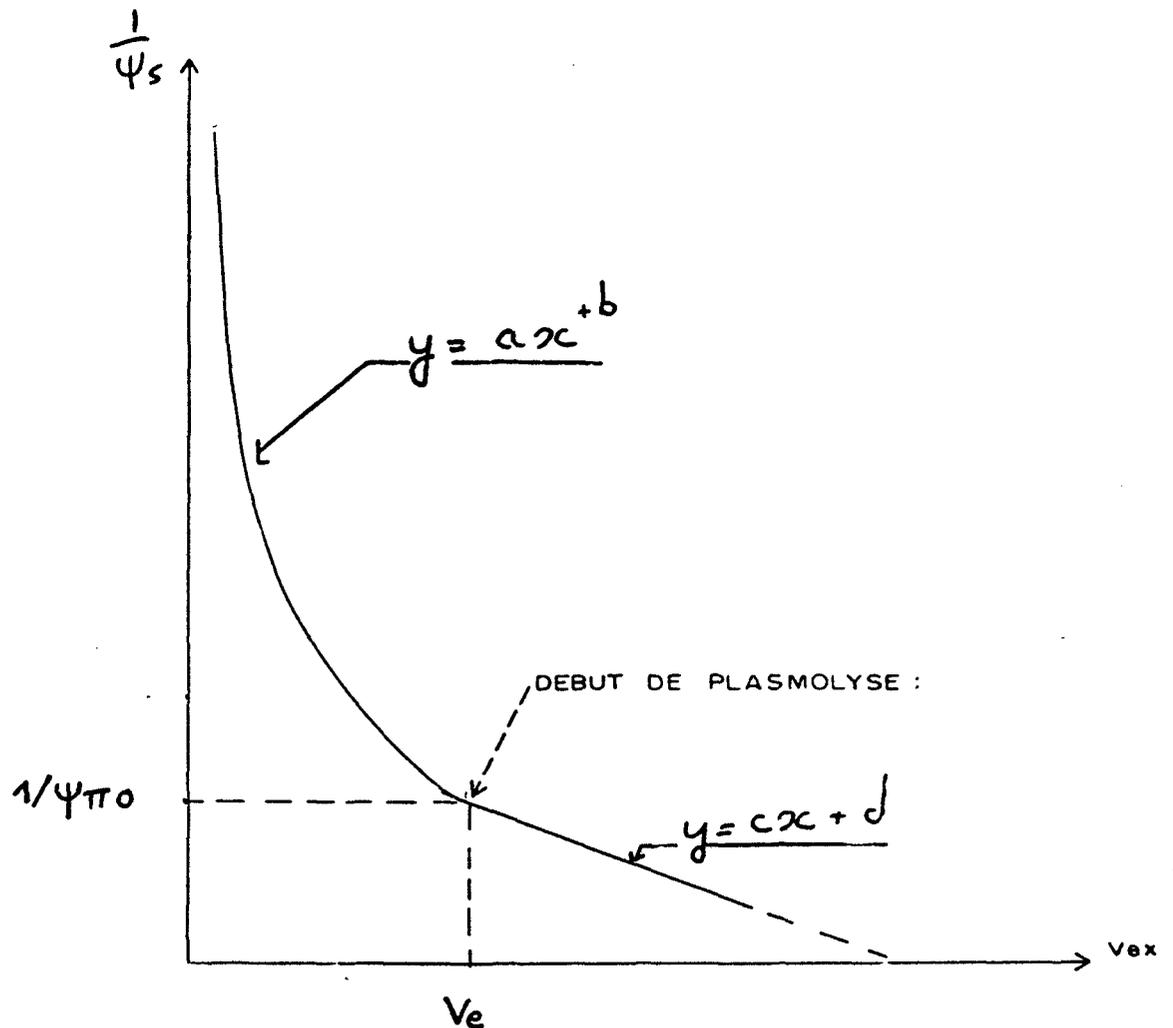
L'humidimètre donne une valeur que l'on appelle le rapport de comptage R:

$$R = \frac{\text{taux de comptage dans le sol lu sur l'appareil} \times 1000}{\text{taux de comptage dans l'eau lu sur l'appareil}}$$

Chaque tube de sonde est étalonné et possède deux coefficients d'étalonnage a et b tel que :

$$\text{Humidité Volumique (cm}^3\text{/100cm}^3\text{)} = (a . R) + b$$

Pour traiter les mesures réalisées avec l'humidimètre (les taux de comptage dans le sol et dans l'eau) nous avons utilisé un logiciel intitulé "BHYSON 1.2 logiciel intégré pour le traitement des données d'humidimétrie neutronique" (R.POSS,ORSTOM).



Annexe n°7 : Détermination du point de début de plasmolyse ($V_e, 1/\Psi\Pi_0$)

Deux cas se présentent:

- Les deux courbes, modélisées, se coupent : nous estimons donc graphiquement le point d'intersection

- Les deux courbes ne se croisent pas :

Nous étudions alors la différence existant entre les deux courbes.

Soit h : $h = a \cdot x^b - c \cdot x - d$ cette différence.

Ce qui nous intéresse c'est la valeur minimum de cette fonction. Celle-ci est minimum quand sa dérivé s'annule.

Soit h' sa dérivé :

$$h' = a \cdot b \cdot x^{b-1} - c$$

donc $h' = 0$ quand $x = b^{-1} \sqrt[b]{c/(a \cdot b)}$

Nous obtenons donc :

$$V_e = b^{-1} \sqrt[b]{c/(a \cdot b)}$$

et

$$1/\Psi\Pi_0 = (a \cdot V_e^b + c \cdot V_e + d) / 2$$

Annexe n°8 : Autres applications de la bombe à pression

A) Pathologie, Entomologie

Une valeur normale de P permet de savoir si la plante est en bonne santé. des attaques de parasites affectent le potentiel en eau de la plante.

Ainsi la bombe à pression peut être utilisée par les pathologistes et les entomologistes, le stress hydrique augmentant quand se produisent ces attaques.

B) Pollution

Si la pollution est élevée, P est anormalement élevé quand il y a beaucoup d'évaporation.

C) L'eau dans les racines

La bombe peut servir à connaître P racine. Celui ci est moins connu. Il semble qu'à faible évaporation il soit égal à celui de la tige. L'évaporation augmentant une petite différence apparaît

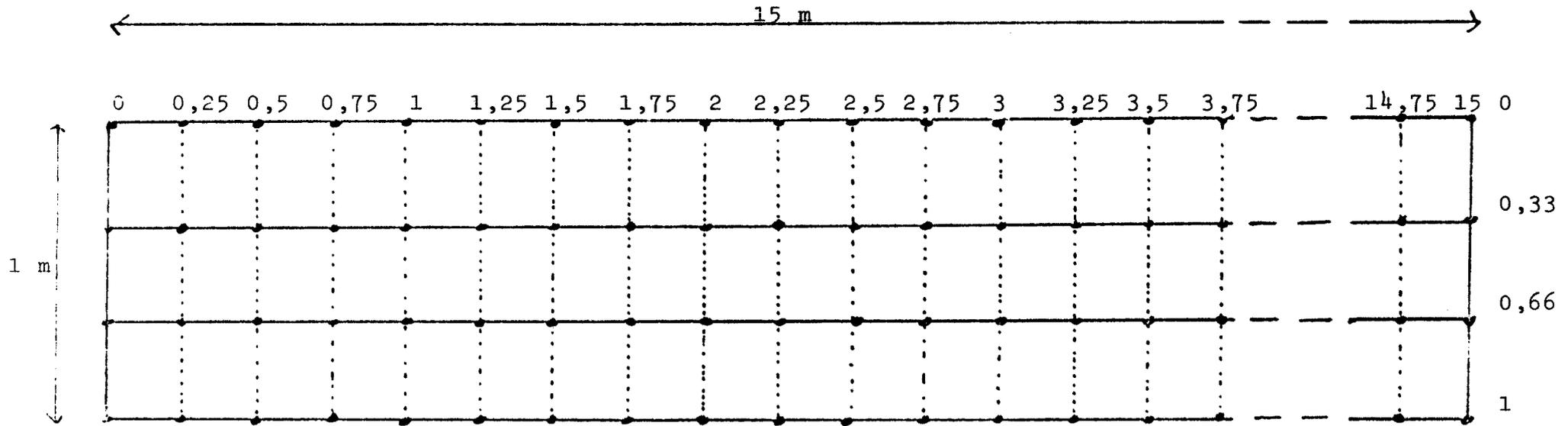
D) Gel

la bombe peut être utilisée pour étudier les effets du gel sur les parois: a la suite de la rupture des parois il y a d'importantes pertes en eau.

E) Agriculture

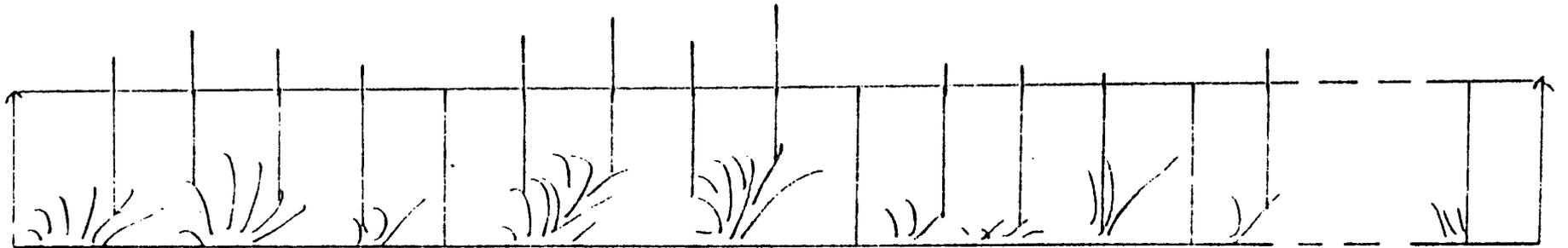
- Détermination des dates d'irrigation.
- Détermination des dates de transplantation.
- Mesure des effets des anti-transparents dans les plantations.
- Dans les forêt, évaluation des sites des plantations.

1) Périimètre de coupe et position des points de mesure (méthode du "point ^{gradient}sampling")



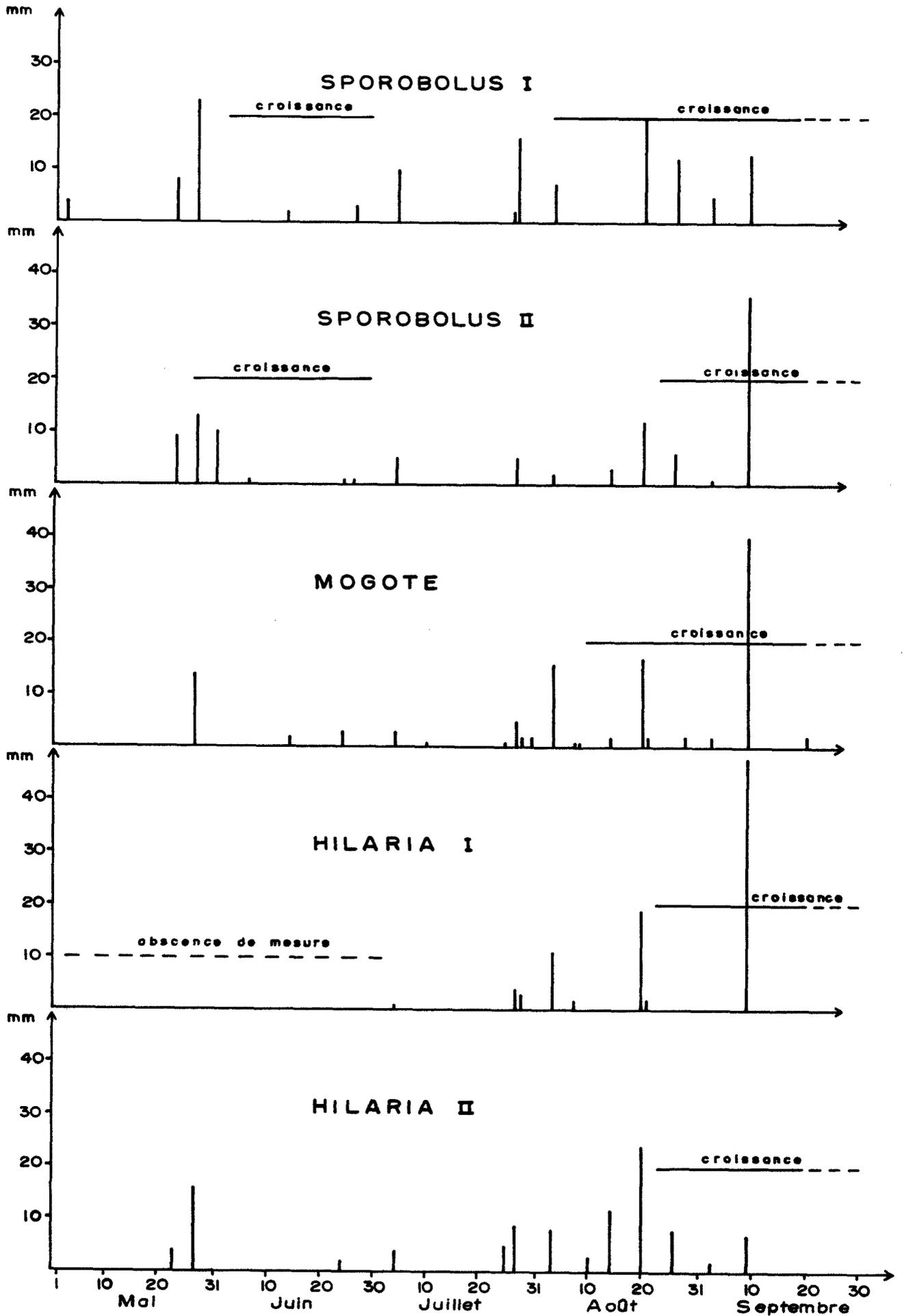
: Point d'échantillonnage

2) Détail de la mesure



contact: 0 0 0 0 N 0 0 0 0 N 0 0 0 N 0 N N

Annexe n°10: REPARTITION DES PLUIES SUR LES 5 STATIONS ETUDIEES DE MAI A SEPTEMBRE 1989



Annexe n°10bis : Répartition mensuelle des hauteurs d'eau durant l'été 1989.

STATIONS	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	Eté89	Eté88
SPOROBOLUS 2	32	3	10	23	37	105	90
SPOROBOLUS 1	35	5	28	39	18	125	121
HILARIA 2	20	2	18	53	9	104	161
HILARIA 1	?	?	8	34	48	109*	133
"MOGOTE"	14	5	14	41	44	118	145

* : estimation.

Eté 88 : de MAI à OCTOBRE.

Eté 89 : de MAI à SEPTEMBRE.

Moyenne des hauteurs d'eau cumulées de JUIN à SEPTEMBRE (1956 - 1988) :
191 mm.

Annexe n°11 : Evolution du potentiel de base durant les phases de dessèchement pour les cinq stations.

dessèchement

STATIONS	début	fin	durée (jour)	variation potentiel	penne
SPOROBOLUS 2	31.5	29.6	29	$68,6 - 1,5 = 67,1$	2,31
SPOROBOLUS 1	1.6	29.6	28	$55 - 1,8 = 53,2$	1,90

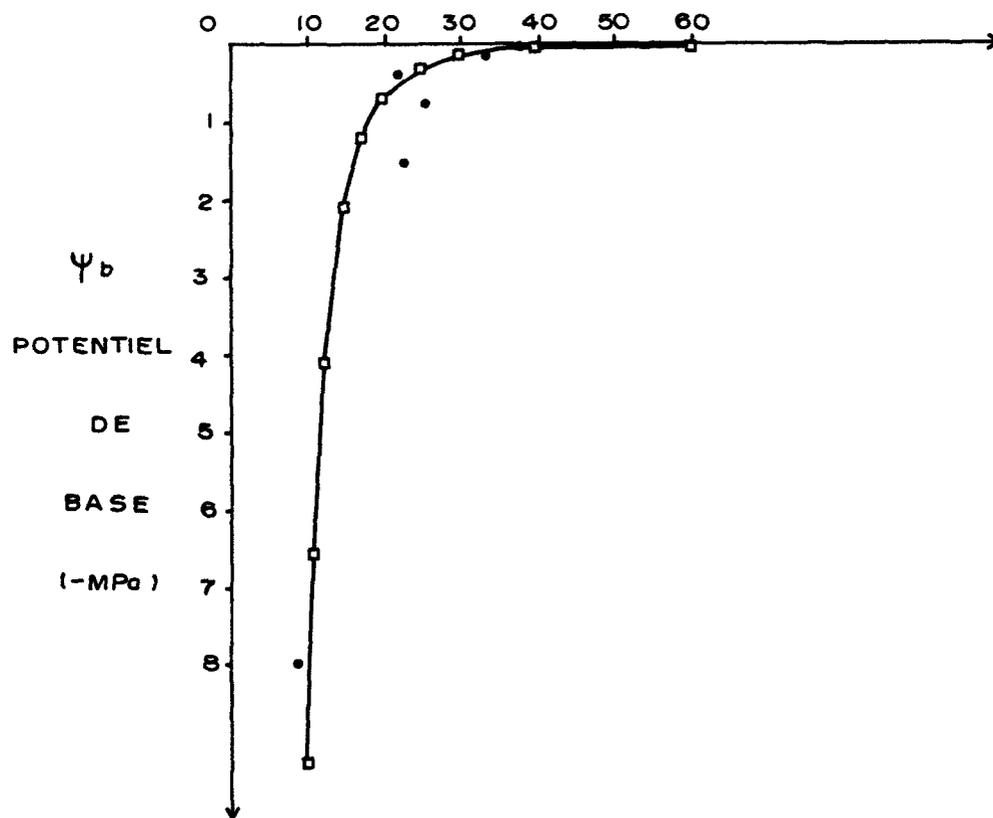
HILARIA 2	31.8	9.9	9	$18,5 - 1,0 = 17,5$	1,94
HILATIA 1	23.8	9.9	17	$38,3 - 5 = 33,3$	1,96
"MOGOTE" PION*	31.8	9.9	9	$14,1 - 1,8 = 12,3$	1,37

* : Etant donné que nous n'avons pas pu observé de phase de dessèchement à l'intérieur de "Mogote" nous donnons les observations faite en amont de celui-ci.

Il convient d'être prudent en ce qui concerne les stations à "Hilaria" du fait de la faible longueur des période de desèchement.

Annexe n° 13: EVOLUTION DU POTENTIEL DE BASE EN FONCTION
DU STOCK D'EAU STATION SPOROBOLUS II

S : STOCK D'EAU DE 0 A 10 cm



- VALEURS OBSERVEES
- ▣ VALEURS CALCULEES PAR LE MODELE :

$$\Psi_b = aS^b$$

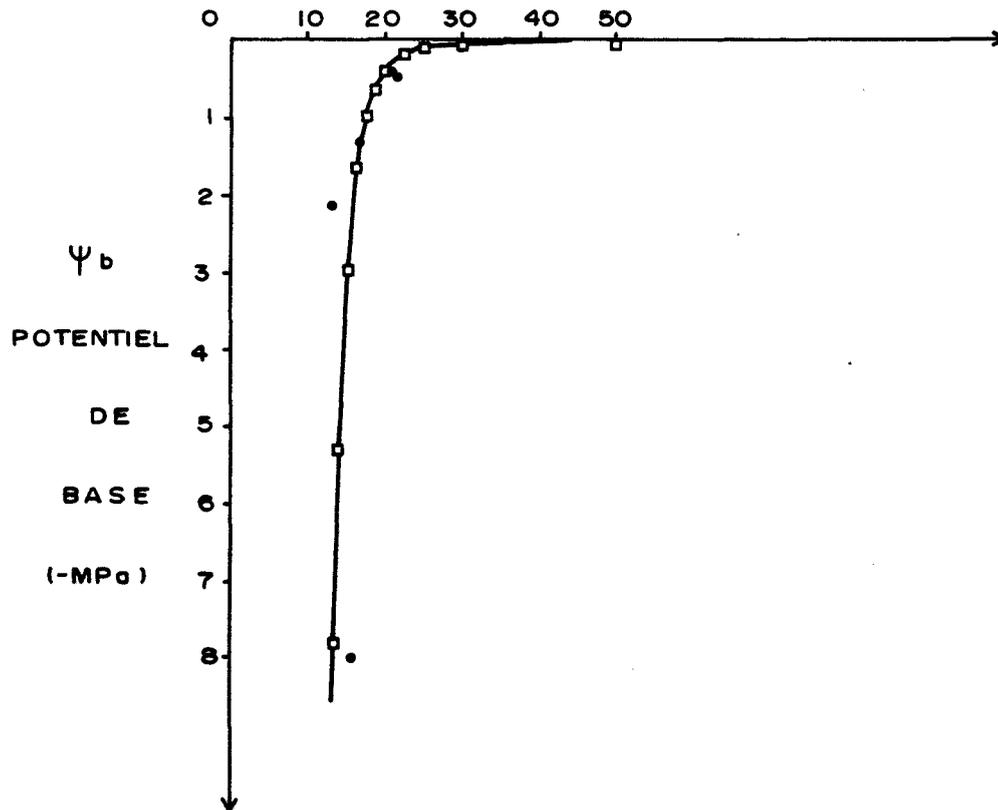
$$a = 4,36 \cdot 10^5$$

$$b = -3,67$$

$$r = -0,875$$

Annexe n°14: EVOLUTION DU POTENTIEL DE BASE EN FONCTION
DU STOCK D'EAU STATION SPOROBOLUS I

S : STOCK D'EAU DE 0 A 10 cm



• VALEURS OBSERVEES

□ VALEURS CALCULEES PAR LE MODELE:

$$\Psi_b = aS^b$$

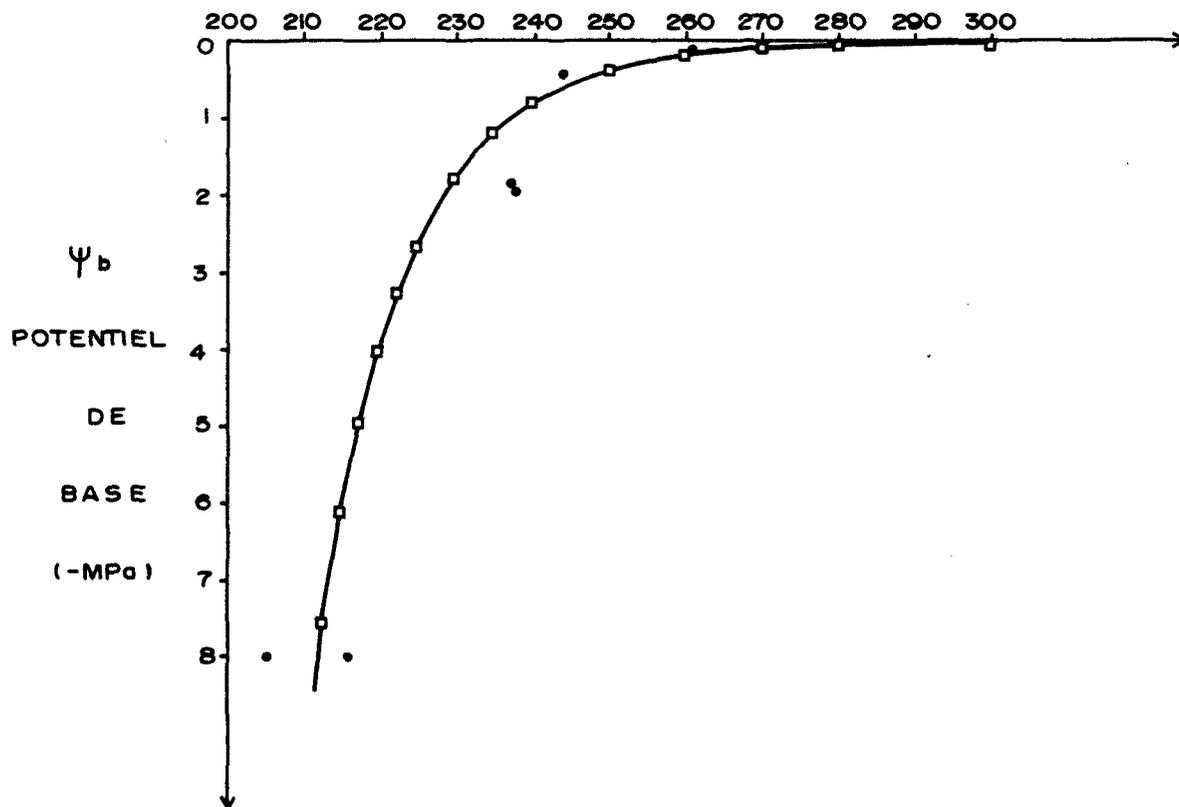
$$a = 4,11 \cdot 10^9$$

$$b = -0,93$$

$$r = -0,901$$

Annexe n°15: EVOLUTION DU POTENTIEL DE BASE EN FONCTION
DU STOCK D'EAU STATION HILARIA II

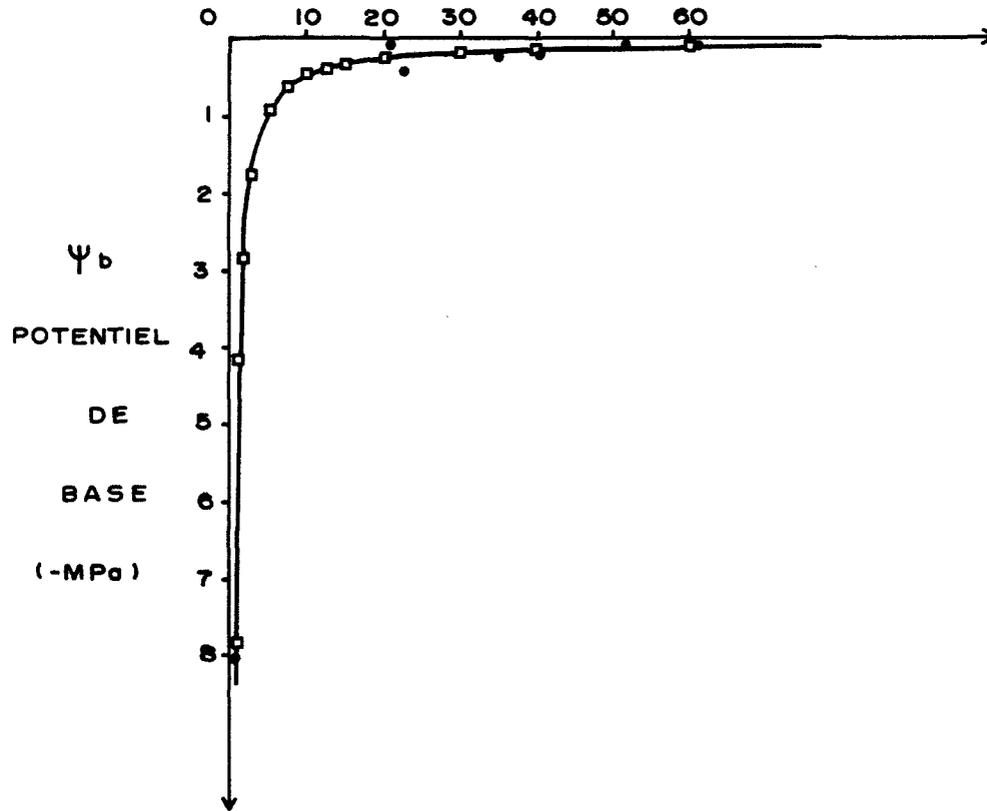
S : STOCK D'EAU DE 0 A 80 cm



- VALEURS OBSERVEES
- VALEURS CALCULEES PAR LE MODELE:
 $\Psi_b = aS^b$

**Annexe n°16: EVOLUTION DU POTENTIEL DE BASE EN FONCTION
DU STOCK D'EAU STATION MOGOTE**

S : STOCK D'EAU DE 0 A 30 cm



- VALEURS OBSERVEES
- ◻ VALEURS CALCULEES PAR LE MODELE:

$$\Psi_b = aS^b$$

$$a = 41,78$$

$$b = -0,935$$

$$r = -0,904$$

Annexe n°17 : ANALYSE DE VARIANCE - STAT-ITCF - 1° VARIABLE :
POTENTIEL DE BASE Ψ_{100}

● ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES DEUX STATIONS A "SPOROBOLUS"

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	
VAR. TOTALE	255.43	7	36.49				
VAR. FACTEUR 1	207.37	1	207.37	25.89	0.0025		
VAR. RESIDUELLE 1	48.06	6	8.01			2.83	26.5%

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5%

=====

FACTEUR 1 STATIONS

NOMBRE DE MOYENNES 2

VALEURS DES PPAS 4.38

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES	HOMOGENES
2	SP2	15.24	A	
1	SP1	6.13	B	

● ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES TROIS STATIONS A "HILARIA"

	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	93.89	13	7.22				
VAR. FACTEUR 1	11.01	2	5.51	0.73	0.5071		
VAR. RESIDUELLE 1	82.88	11	7.53			2.74	27.7%

(suite Annexe n° 17)

● ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES CINQ STATIONS

	S.C.E	ddl	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	252.92	21	16.81				
VAR. FACTEUR	221.38	4	55.30	7.21	0.0015		
VAR. RÉSIDUELLE	130.94	17	7.70			2.78	21.27

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5%

FACTEUR 1 : STATIONS

NUMERS DE MOYENNES	2	3	4	5
VALEURS DES PPAS	3.71	4.50	4.97	5.34

F1 LABELS MOYENNES GROUPES HOMOGENES

5	SP2	15.26	A
2	HZ	11.07	B
1	H1	9.62	B
3	MO6	9.03	B
4	SP1	6.13	B

Annexe n°18 : ANALYSE DE VARIANCE - STAT-ITCF - 2° VARIABLE :
POTENTIEL MINIMUM $\Psi\Pi_0$

• ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES DEUX STATIONS A "SPOROBOLUS"

	S.C.E.	DDL	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	841.69	7	120.24				
VAR. FACTEUR 1	434.78	1	434.78	6.41	0.0437	8.24	35.5%
VAR. RESIDUELLE 1	406.91	6	67.82				

Test de NEUMAN-KEULS - seuil 5%

 FACTEUR 1 STATION 2

NOMBRE DE MOYENNES 2
 VALEURS DES PPAS 12,75

FI	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
2	SP2	29,81	A
1	SP1	16,63	B

ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES TROIS STATIONS A "HILARIA"

	S.C.E	DDL	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR TOTALE	434.59	13	33.43				
VAR FACTEUR 1	172.34	2	86.17	3.61	0.0614	4.88	23.7%
VAR RESIDUELLE 1	262.25	11	23.84				

Suite Annexe n°18

• ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES CINQ STATIONS

	S.C.E.	DDL	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	ET	C.V.
VAR. TOTALE	1317.90	21	62.76				
VAR. FACTEUR 1	649.74	4	162.18	4,12	0,0163		
VAR. RESIDUELLE	669.16	17	39.36			6,27	29,0%

test de NEUMAN-KEULS - seuil = 5%

FACTEUR 1 = STATIONS

NUMÉROS DE MOYENNES	2	3	4	5
VALEURS DES PPA	8,38	10,17	11,27	12,07

F1 LIBELLES MOYENNES GROUPES HOMOGÈNES

5	SP2	29,31	A
3	NO6	25,32	A B
2	H2	18,85	B
1	M1	17,58	B
4	SP1	16,63	R

Annexe n°19 : ANALYSE DE VARIABLE - STAT-ITCF - 3° VARIABLE :
POURCENTAGE D'EAU EXTRAIT A LA PLASMOLYSE V_e/V_s

• ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES DEUX STATIONS A "SPOROBOLUS"

	S.C.E.	DDL	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	5013.03	7	716.15				
VAR. FACTEUR 1	2677.32	1	2677.32	6.88	0.0388	19.73	31.1%
VAR. RESIDUELLE 1	2335.71	6	389.29				

test de NEWMAN-KEULS - seuil = 5%

FACTEUR 1 : STATIONS

NOMBRE DE MOYENNES : 2
 VALEURS DES PPAS : 30.56

FI	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
1	SP1	79.79	A
2	SP2	47.66	B

• ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES TROIS STATIONS A "HILARIA"

	S.C.E.	DDL	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	3597.26	13	276.71				
VAR. FACTEUR 1	651.43	2	325.72	1.22	0.3341	16.36	25.1%
VAR. RESIDUELLE 1	2945.83	11	267.80				

• ANALYSE DE VARIANCE AVEC LES CINQ STATIONS

	S.C.E.	DDL	CARRÉS MOYENS	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR. TOTALE	2628.29	21	125.17				
VAR. FACTEUR 1	336.75	4	841.87	2.69	0.0558	17.63	27.3%
VAR. RESIDUELLE 1	581.54	17	340.48				