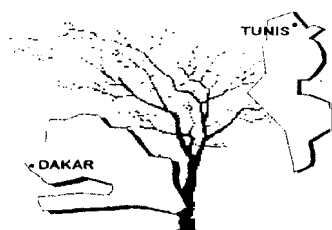


F0000382

FT000038
K122
P342

Doc

**REHABILITATION DES TERRES DEGRADEES AU NORD ET AU SUD
DU
SAHARA. UTILISATION DE LEGUMINEUSES PERENNES ET DES
MICRO-ORGANISMES ASSOCIES POUR L'ETABLISSEMENT DES
FORMATIONS PLURISTRATES**



**IRA (TUNISIE)
ISRA/DRPF (SENEGAL)
UNIVERSITE DE TUSCIA (ITALIE)
CEFE/CNRS L. EMBERGER (FRANCE)
ORSTOM (TUNISIE & SENEGAL)**

=====

CONTRAT

TS3 *CT92 - 0047

=====

**RAPPORT DEUXIEME ANNEE
(Septembre 1992 - Septembre 1993)**

Novembre 1994

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

SYNTHESE

I. RAPPORT IRA/ORSTOM (TUNISIE)

II. RAPPORT **CEFE** L. Emberger (FRANCE)

III. RAPPORT UNIVERSITE **DELLE TUSCIA** (ITALIE)

RAPPORT **ISRA/DRPF/ORSTOM** (SENEGAL)

IV. DRPF

V. MICROBIOLOGIE

VI. ECOLOGIE

AVANT-PROPOS

Le rapport scientifique de l'année 1993, présentait les résultats de la première année d'activité selon les grands thèmes développés dans le projet.

Le rapport de cette année, présente les résultats acquis par les différentes unités de recherche. Ces présentations ont été exposées au cours de la réunion de mi-parcours, qui s'est tenue à Gabès (TUNISIE) les 20-22 novembre 1994. Bien que moins synthétique, elle offre l'avantage de :

- ⌚ faire le point sur l'état d'avancement des travaux de chaque unité,
- ⌚ discuter les méthodologies mises en oeuvre et de les ajuster afin de faciliter les comparaisons nord/sud Sahara,
- ⌚ faire apparaître les complémentarités entre équipes.

On trouvera le détail des travaux dans chacun des rapports. Cependant une synthèse sur les principaux acquis du projet est proposée sur le plan suivant :

- ⌚ les activités de recherche
- ⌚ les activités de formation
- ⌚ les réunions d'échanges et de formation

SYNTHESE

M. GROUZIS (Coordinateur)

LES ACTIVITES DE RECHERCHE

ANALYSE DE LA DIVERSITE

Place des légumineuses dans les systèmes écologiques

Au Sénégal (RAP.VI) les légumineuses représentent 16 % des 2100 taxons . Leur répartition en fonction des types biologiques, de leur caractère spontané et des zones bioclimatiques a été précisée. Leur importance aussi bien en termes structurels (diversité, densité) que fonctionnels (phytomasse) a été évaluée à l'aide de relevés phytocéologiques sur une douzaine de stations réparties entre les isohyètes 250 mm et 800 mm. Une approche socio-économique (RAP. IV) montre les intérêts écologique, économique et culturel des légumineuses dans les zones semi-arides du Sénégal.

En Tunisie (RAP. II), un programme relative à l'étude de la diversité est engagé. Il permettra d'affiner les connaissances phytosociologiques concernant les légumineuses pérennes de la Tunisie aride, et donc: de rationaliser l'échantillonnage pour l'analyse des associations légumineuses-micro-organismes. Ce travail qui

implique la constitution d'un système d'information géographique est relativement long.

Analyse des associations légumineuses - micro-organismes

Les prospections/récoltes de légumineuses et de nodules (et/ou de sols)(RAP. I,II,V) réalisées au cours de la première année ont été complétées aussi bien en Tunisie (avril 1994) qu'au Sénégal (octobre-novembre 1994) par une troisième campagne afin d'enrichir les collections et de les compléter par les espèces les plus rares. Elles ont par ailleurs permis de recueillir des semences.

Les résultats relatifs à la caractérisation des sites de prélèvement et des échantillons collectés au Sénégal, ont été consignés dans un rapport en trois volumes (GROUZIS Ed., 1994)' (RAP.VI)

Isolement et caractérisation des *Rhizobium*

L'isolement des *Rhizobium* à partir des légumineuses des régions semi-arides du Sénégal a été poursuivi. 60 nouveaux isolats viennent compléter la collection des 113 isolats obtenus au cours de la première année (RAP.V). Il en est de même en Tunisie où 148 isolats ont été obtenus (RAP.I).

Au Sénégal (RAP.V), les études de caractérisation des *Rhizobium* ont été étendus à un grand nombre d'isolats. L'étude du spectre d'hôte fait apparaître deux groupes :

- ⌚ un groupe à croissance lente sur milieu (YMA), constitué par des isolats capables de noduler les 30 espèces de légumineuses testées
- ⌚ un groupe à croissance rapide sur le même milieu, ayant un spectre d'hôtes réduit (4 espèces d'*Indigofera*).

Différentes techniques (profils protéiques, RAPD, PCR-RFLP) sont actuellement développées pour préciser la diversité taxinomique des isolats. La technique RAPD (*Random amplified polymorphic DNA*) a permis notamment de montrer une nette différence entre les souches d'*Acacia raddiana* de Tunisie et du Sénégal.

En Tunisie (RAP.I) des tests phénotypiques ont été appliqués pour l'analyse de la diversité de 40 souches de *Rhizobium*. Il s'est avéré que les souches testées se situent à proximité de *Rhizobium galegae*. La technique des profils protéiques sera appliquée aux différentes souches en relation avec le Laboratoire de Microbiologie de Gand.

Caractérisation physiologique des souches de *Rhizobium* - Réponses au stress (RAP.III)

Cette étude a porté sur les réponses des souches de *Rhizobium* (8 tunisiennes, 37 sénégalaises) à la chaleur, à la sécheresse simulée (PEG), au sel ainsi qu'aux antibiotiques. Dans l'ensemble les souches sont capables de se

¹ Une version informatique WORD6/PC a été remise à chaque équipe

développer à des températures supérieures à 40°C. Les souches du Sénégal semblent supporter des teneurs en sel plus élevées ($\geq 1\%$) en NaCl que les souches de Tunisie. A potentiel osmotique égal, le stress salin inhibe plus la croissance des micro-organismes car à l'effet osmotique s'ajoute l'effet toxique des ions.

Cas des mycorhizes

Parallèlement aux recherches sur les *Rhizobium*, des travaux sont conduits sur les champignons mycorhiziens à arbuscules et à vésicules capables d'infecter *Acacia tortilis raddiana*, issus des sols prélevés en Tunisie (28) et au Sénégal (45) (RAP.IV). Les principaux résultats actuellement recueillis révèlent que:

- ⌚ l'infection racinaire n'est pas liée aux caractéristiques écologiques du site de prélèvement
- ⌚ l'infection ne dépend pas de la plante sous laquelle le sol a été prélevé
- ⌚ les perturbations du milieu (sols dégradés) semblent diminuer l'infection

ASPECTS FONCTIONNELS

En conditions naturelles

Mise en place et équipement des stations d'observations permanentes (RAP. I, VI)

Afin de réaliser l'étude du comportement d'espèces communes (notamment *Acacia raddiana*) aux deux pays, trois stations (Haddej, Tunisie ; Souilène et Dahra, Sénégal) ont été équipés (tubes d'accès à la sonde à neutrons, psychromètres, station micrométéorologique munie d'un système d'acquisition automatique de données). Ces stations sont actuellement pleinement opérationnelles.

Biochimie de la rhizosphère

La caractérisation de l'environnement biochimique et microbiologique dans lequel se déroulent l'infection et la fixation de l'azote est réalisée par l'évaluation du pH et de l'activité d'un certain nombre d'enzymes. Les analyses portent notamment sur la rhizosphère d'*Acacia raddiana* (espèce commune nord et sud Sahara) et de celle d'*Astragalus armatus* (espèce tunisienne).

Les résultats (RAP III) montrent qu'au Bou Hedma, l'activité rhizosphérique diminue avec l'âge de la plante. A Haddej il n'y a aucune différence significative entre sols rhizosphérique et témoin de jeunes plants. L'état hydrique du sol semble jouer un grand rôle dans les variations de l'activité microbienne, c'est pourquoi il est suggéré une étude dynamique en relation avec l'état d'hydratation du sol.

Phénologie de la **nodulation** d'*Acacia raddiana*

Au Sénégal (RAP.V) l'objectif est d'une part de caractériser la densité des nodules d'*Acacia raddiana* en fonction de la distance au tronc et d'autre part de suivre les variations saisonnières de cette densité dans la zone de densité maximale. Peu de connaissances est en effet disponible sur la nodulation d'arbre adulte en milieu naturel. L'étude a été réalisée au cours de la saison 1993 à Souilène.

Il apparaît que la densité des nodules est maximale dans la zone comprise entre 2 et 3 m du tronc et à une profondeur comprise entre 25 et 75 cm de profondeur.

Bien que la variabilité des résultats rend difficile l'interprétation statistique il est intéressant de noter que la date d'apparition¹ des nodules liée au cycle de végétation ne s'effectue que deux mois après les premières pluies ; ces nodules apparemment très actifs ont une courte durée de vie. Des travaux parallèles, non encore exploités, ont été conduits sur la station de Dahra, située plus au sud.

Ces résultats obtenus au cours d'un cycle pluviométrique relativement favorable demandent à être confirmés. Il semblerait, en effet que la nodulation ne se fait pas au cours d'année déficitaire (exemple année 1991). Par ailleurs, ils devraient être mis en rapport avec le cycle phénologique de la plante et plus particulièrement sur celui du système racinaire.

En Tunisie (RAP. I), l'étude de la nodulation est conduite en parcelles expérimentales ; celle-ci vise à identifier les réponses de la plante (5 espèces) au niveau de la nodulation, à deux régimes hydriques et à l'inoculation. Le protocole mis en place est en cours de réalisation.

Comportement de l'hôte en milieu naturel. Phénologie, fonctionnement hydrique. Réponses à l'aridité

Les travaux relatifs à ce thème sont conduits avec les mêmes méthodologies en Tunisie (RAP.I) et au Sénégal (RAP.VI).

Les résultats relatifs à la phénologie révèlent une variabilité intersite relativement importante des comportements aussi bien en Tunisie qu'au Sénégal.

Au Sénégal (RAP.VI), la mise en place des feuilles et la défeuillaison sont **plus** précoces à Dahra (station plus méridionale) qu'à Souilène où d'ailleurs 50 % des individus gardent le feuillage. La date du début et le volume de la floraison sont identiques dans les deux stations, mais la durée de cette phase est plus longue à Souilène. Enfin le niveau de fructification est largement à l'avantage de la station de Souilène (85% contre seulement 34 % des individus en fruits à Dahra). Cette variabilité de comportement est à mettre en relation, tout au moins pour l'année d'observation, avec les niveaux de réserve hydrique du sol très différentes dans les deux stations.

Il en est de même en Tunisie (RAP.I) où les populations d'*Acacia raddiana* à Belkhir (exposition sud-est) et celles de Haddej (cuvette) se caractérisent par des cycles décalés. Mais ici, c'est le facteur thermique qui semble être déterminant (les résultats sur la réserve hydrique du sol, il est vrai, n'ont pas encore été exploités)

Le suivi des variations saisonnières de l'état hydrique de la plante par des mesures de potentiels de base (potentiel d'équilibre observé en fin de nuit, avant transpiration) et minimum (contrainte hydrique interne maximale observée en milieu

de journée) fait apparaître de nettes différences entre les **Acacia raddiana** de Tunisie et de Dahra :

⌚ les variations saisonnières du potentiel de base d'Acacia raddiana sont environ 10 fois plus faibles en Tunisie ($\psi = -1,1$ à $-1,4$ MPa soit $\Delta\psi_{\text{été-hiver}} = 0,3$ MPa) qu'au Sénégal ($\psi = -2,5$ à $-0,5$ MPa soit $\Delta\psi_{\text{saison sèche-humide}} = 2$ MPa),

⌚ la contrainte hydrique interne maximale est nettement plus élevée pour les Acacia du Sénégal :

$\psi_{\min} = -4,2$ MPa (saison sèche chaude, Dahra) contre $-2,7$ MPa en été en Tunisie

$\psi_{\min} = -2$ MPa (saison pluies, Dahra) contre $-1,5$ à $1,6$ MPa en hiver en Tunisie.

Ces différences semblent être liées :

à la forte saisonnalité de la phase de feuillaison à Dahra (Sénégal) : perte des feuilles une partie de l'année,

à la proximité de la nappe phréatique à Haddej (Tunisie). Cette dernière interprétation semble être confirmée par des variations plus fortes des potentiels chez les jeunes sujets, qui n'auraient pas encore développé un système racinaire suffisant pour atteindre cette nappe (à confirmer avec les données de bilan hydrique du sol, en cours de traitement).

Les variations saisonnières de quelques grandeurs physiologiques caractéristiques du fonctionnement hydrique d'Acacia raddiana à Dahra indiquent notamment (RAP. VI) :

⌚ une conductance stomatique maximale de loin plus faible en saison sèche, traduisant une régulation stomatique

⌚ un potentiel de base plus élevé en saison des pluies suite à une reconstitution des réserves hydriques du sol

⌚ une transpiration plus intense en saison humide

⌚ une efficacité hydraulique ($G_{\max}/\Delta\psi$) qui est plus importante en saison humide et qui correspond à une conductivité hydraulique du sol aux feuilles plus élevée comme le soulignent EYOG MATIG et DREYER (1991).

⌚ Le phénomène de régulation stomatique ci-dessus évoqué, est à relier, entre autres paramètres à l'existence de cires développées en atmosphère sèche sur le feuillage (MOONEY et al., 1977, PALLARDY et KOZLOWSKI, 1980, GROUZIS et al., 1991). Des observations en microscopie électronique à balayage sont conduites pour préciser ces transformations saisonnières de la structure du feuillage.

Ces mesures n'ont pu être réalisées en Tunisie en raison de l'indisponibilité d'un poromètre. Afin de compléter les comparaisons entre les deux situations géographiques d'Acacia raddiana, des observations au poromètre seront effectuées l'année prochaine en Tunisie.

Des méthodes permettant des mesures continues sont actuellement testées (flux de sève, variation du diamètre du tronc à l'aide de capteurs de déplacement linéaire). Les résultats préliminaires sont fort encourageants; elles seront développées ultérieurement.

En conditions semi-contrôlées

Des observations sur la croissance comparée des parties aériennes et souterraines de diverses légumineuses ligneuses (*Acacia*) ont été réalisées aussi bien à Dakar (conditions édaphiques contrôlées, conditions climatiques du milieu ambiant) qu'à Montpellier (conditions contrôlées : sol, alimentation, thermopériode et éclairage contrôlé).

A Dakar (RAP.VI) l'objectif est de comparer dans des conditions identiques les potentialités de deux *Acacia* (*senegal* et *raddiana*) présentant un intérêt dans les opérations de réhabilitation en raison des symbioses développées avec les *Rhizobium* et les endomycorhizes. Les résultats montrent que la croissance des parties aériennes d'*Acacia raddiana* est environ deux fois plus importante que celle d'*Acacia senegal*. Les variations de la biomasse racinaire confirment les meilleures performances d'*Acacia raddiana*.

Les résultats de Montpellier ne sont pas encore disponibles.

Par contre des études sur l'écologie fonctionnelle comparative de quelques légumineuses méditerranéennes et arido-tropicales de types biologiques contrastés ont été conduites dans les laboratoires du CEFE (RAP.II). Ces travaux ont porté sur

- ⌚ l'écologie du carbone et la réponse au stress hydrique de jeunes plants nodulés d'*Acacia tortilis raddiana*
- ⌚ la compétition et le transfert d'azote dans les associations légumineuses - graminées
- ⌚ la réponse des légumineuses pérennes africaines à des régimes hydriques et nutritifs variés et l'importance des symbioses avec les micro-organismes fixateurs d'azote

FORMATION A LA RECHERCHE PAR LA RECHERCHE

Comme en première année, le projet a largement participé à la formation soit en accueillant des stagiaires (RAP.V) soit en accueillant des doctorants. On trouvera ci-après la liste des diplômes soutenus et les prévisions pour les années à venir.

D.E.A.

KARLA-ROJAS T., 1994.- Réponses de quelques légumineuses africaines au stress hydrique et rôle de la fixation d'azote. USTL, Montpellier, 24p.

MOREL M., 1994.- Compétition et transferts d'azote dans les associations légumineuses (*Medicago sp.*), graminées (*Dactylis glomerata*). USTL, Montpellier, 11p. + annexes.

VIAL L., 1994.- Economie du carbone et réponse au stress hydrique de jeunes plants nodulés d'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana*. USTL, Montpellier, 18p.

DIEDHIOU I., 1994.- Importance des légumineuses dans les systèmes écologiques arides et semi-arides du Sénégal. I.S.E., Dakar, 69p.

D.E.S.S.

NDIAYE M., 1994.- Place des légumineuses pérennes dans les systèmes de production des zones arides et semi-arides du Sénégal. Cresa, Université de Niamey, 73p.

PERSON S., 1994.- Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales. Université Paris XII.

THESES

QUATRINI P., 1994.- Diversita fenotipica e genotipica di rizobi tropicali isolati da *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* e da altre leguminose perenni. Université de Tuscia, 88p.

Actuellement les différents laboratoires accueillent les étudiants suivants en vue de soutenir un diplôme avant la fin du projet :

D.E.A.

SY A., - Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Soutenance prévue début 1995.

NDIAYE A., - Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Soutenance prévue début 1995.

D.E.A. sur *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* (Tunisie)

THESES

DIOUF M., - Fonctionnement hydrique et réponses à l'aridité de l'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana* en zone sahélienne du Sénégal (Dahra-Djolloff, FERLO-SUD). Soutenance prévue en décembre 1995.

DIEDHIOU I., - Les légumineuses des systèmes écologiques arides et semi-arides du Sénégal : importance, caractérisation d'espèces utilisables dans les opérations de réhabilitation. Soutenance prévue en décembre 1996.

SYLLA S., - Thèse 3ème cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar. Soutenance prévue en 1995.

ETIKE F. L., PhD, Université de Liège. Soutenance prévue en 1996.

2 thèses de troisième cycle en Italie

CONTACTS et REUNIONS DE TRAVAIL

REUNION DU 18 MARS 1994 (DAKAR, SENEGAL)

Réunion de la dizaine de chercheurs et techniciens des différents instituts impliqués dans le projet au Sénégal.

Cette réunion a permis de faire le point sur l'état d'avancement des travaux des différents groupes (DRPF, Université, Laboratoire d'Ecologie et de Microbiologie de l'ORSTOM) et de favoriser la mise en place d'opérations communes. De plus cela nous a permis de présenter l'ensemble des intervenants au Docteur K. BEESE.

REUNION DES 20-22 NOVEMBRE 1994 (GABES, TUNISIE)

Profitant de la tenue en Tunisie d'un séminaire international sur la RESTAURATION & LA REHABILITATION DES TERRES DEGRADEES DES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES, auquel ont été invités certains participants au projet STDIII, nous avons tenu à Gabès, la réunion de mi-parcours prévue dans le projet.

Cette rencontre a réuni 20 personnes (Tunisie(S), Sénégal (5), France (4), Italie (2)), notamment les 4 coordinateurs des instituts impliqués dans le projet. Elle a permis :

- de visiter les sites expérimentaux où se déroulent les activités des partenaires tunisiens et le laboratoire de microbiologie de Gabès,
- de prendre connaissance et de discuter les travaux réalisés par les différentes équipes au cours des premières années,
- d'échanger les expériences, d'assurer la cohérence de certaines techniques pour faciliter l'étude comparative nord sud Sahara,
- de dresser des perspectives communes pour les deux années à venir,
- de préciser les pratiques sur les publications et l'origine du matériel utilisé (semences, micro-organismes, sol...)
- de consolider les liens déjà établis entre les différentes équipes.

BILAN et PERSPECTIVES

Par rapport au programme et calendrier de travail exposés dans la proposition, le bilan est donc largement positif. Les interactions entre les différentes équipes favorisées par les contacts de la première année et les complémentarités géographiques, thématiques et disciplinaires sont nombreuses.

Un effort doit cependant être fait dans les domaines suivants :

- 🕒 caractérisation des souches tunisiennes
- 🕒 caractérisation des systèmes racinaires

- ❶ caractérisation de la conductance stomatique des populations tunisiennes d'*Acacia*, gênée par l'indisponibilité du poromètre
- ❷ accroître les observations sur l'écophysiologie des petites légumineuses au Sénégal, actuellement trop concentrées sur les *Acacia* contrairement aux travaux tunisiens,
- ❸ commencer à mettre en place des formations pluristrates, de façon à pouvoir en faire une première évaluation avant la fin du projet. A cet effet, les opérations plus techniques telles que production d'inoculum, optimisation des modalités d'élevage et de transplantation de jeunes plants, prévues en troisième année devront être prioritaires.

RAPPORT 1

IRA & ORSTOM
TUNISIE

**AKRIMI N., ZAAFOURI M., JEDER H., ZNATI S., REGUIG M., KHALLADI A.,
KAMEL F., & PONTANIER R., SAYOL R.**

Analyse de la biodiversité

1. Les prospections

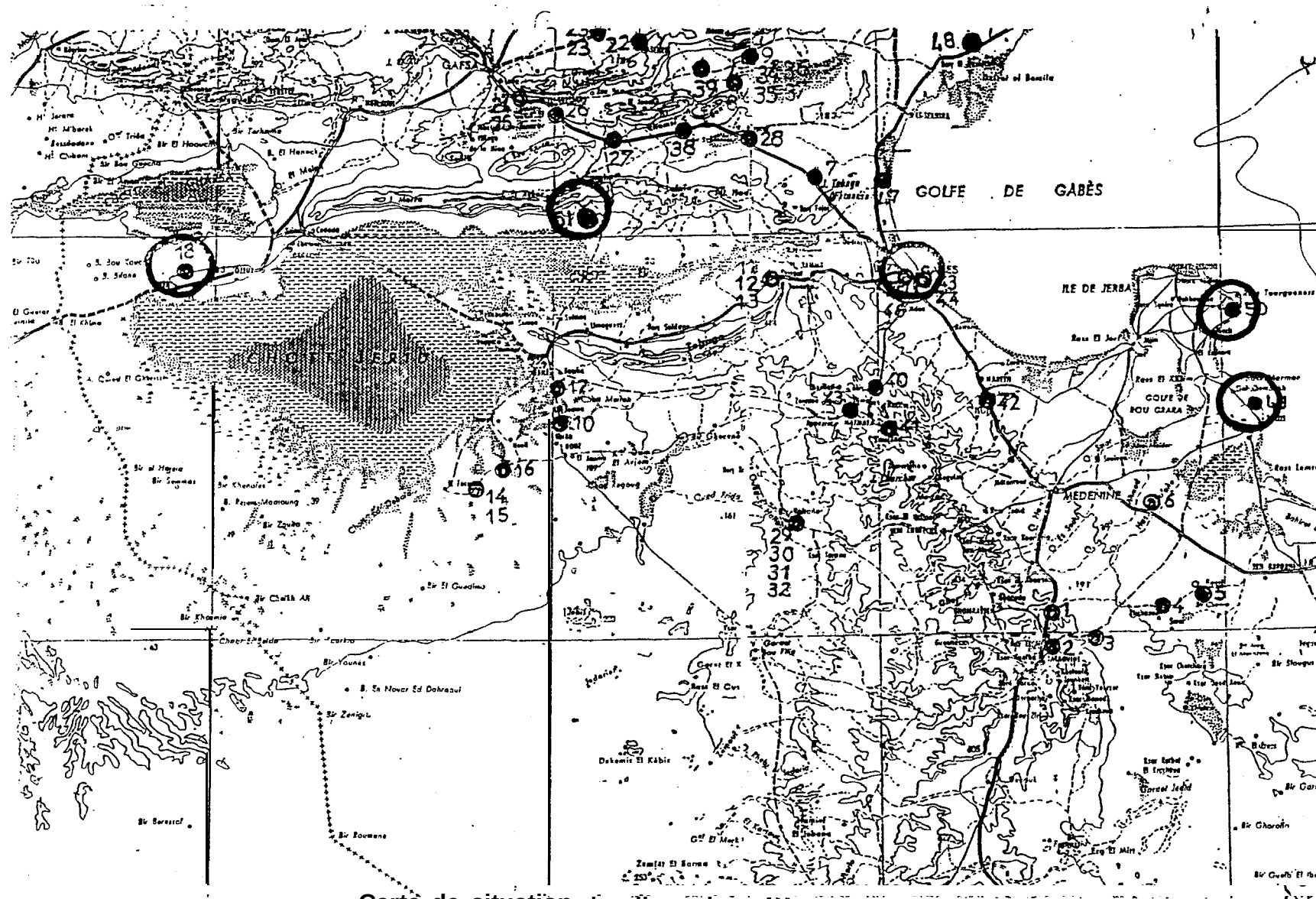
Au cours de l'année 1994, une prospection pluridisciplinaire, a été conduite en Tunisie pré-saharienne, pour la recherche d'espèces rares telles que :

Espèce	Site (voir carte)
<i>Genista saharae</i>	Nafta-Tozeur
<i>Lotus roudairei</i>	Charels-Kebili
<i>Prosopis farcte</i>	Oued Gabès
<i>Ononis vaginalis</i>	Souihel - Zarzis
<i>Medicago marina</i>	Tourgoueness-Djerba
<i>Lotophyllus argenteus</i>	''

D'autres prospections ont été effectuées par les agents de l'IRA, pour enrichir la collection d'isolats et pour la récolte de graines. Des quantités modestes de graines ont été récoltées et ce conformément au tableau suivant :

<u>Espèce</u>	Quantité collectée (g)	Poids (g) de 1000 graines
<i>Acacia tortilis subsp raddiana</i>	230	63,54
<i>Anthyllis henoniana</i>	7	3,55
<i>Argyrolobium uniflorum</i>	65	1,78
<i>Astragalus armatus</i>	250	9,13
<i>Astragalus caprinus</i>	38	22,75
<i>Calico tome villosa</i>	385	14,24
<i>Ebenus pinnata</i>	170	3,66
<i>Genista saharae</i>	qqunes	Ind
<i>Genista microcephala</i>	19	4,99
<i>Lotus creticus</i>	24	1,27
<i>Lotophyllus argenteus</i>	275	3,79
<i>Lotus roudairei</i>	10	5,28
<i>Ononis natrrix</i>	56	2,65
<i>Ononis natrrix polyclada</i>	6	2,62
<i>Medicago marina</i>	89	4,4

Mais devant la quantité réduite des lots récoltés, à partir des espèces rares surtout, il a été décidé d'installer des placettes semencières à Chenchou capables d'assurer la fourniture de semence afin de pouvoir développer les protocoles expérimentaux



Carte de situation des lieux de prélèvements

2. Phénoloaie de la nodulation

Des observations sur la nodulation ont été effectuées, sur toutes les espèces inventoriées lors des différentes prospections. Ces observations ont porté sur :

- la phénologie de la plante lors du prélèvement ;
- le degré de nodulation ;
- la localisation des nodules sur le système racinaire (racine principales, latérales) ;
- la distribution des nodules (en amas, isolés, dispersés, très dispersés) ;
- la forme ;
- la taille ;
- la couleur : symbole d'une activité fixatrice.

En station, à Chenchou une parcelle a été aménagée pour suivre en conditions semi-controlées, la phénologie de la nodulation des cinq espèces : *A. armatus*, *A. raddiana*, *A. uniflorum*, *L. creticus* et *R. raetam*.

Ces espèces étant installées, les observations ont débuté à partir du mois de septembre avec une périodicité de 3 mois.

3. Les isoléments bactériens

Des isoléments bactériens ont été effectués à partir des nodules frais récoltés lors des différentes prospections.

Après purification, 148 isolats sont obtenus. Le tableau page 4 donne la liste des souches obtenues.

4. Caractérisation

Pour analyser la diversité des *Rhizobium* associés aux légumineuses pérennes des régions arides tunisiennes, différentes techniques, ont été adoptées :

- les tests phénotypiques : la capacité des souches à assimiler différentes sources de carbone (49) a été testée. Une première série de résultats a été traitée par analyse numérique au laboratoire de microbiologie de l'université de Gand. Il s'est avéré que les souches testées sont assez groupées à proximité de *Rhizobium galegae*. Certaines souches ont des positions plus ou moins isolées par rapport au groupes constitués par le laboratoire de microbiologie de l'ORSTOM de Dakar

- les profils protéiques (SDS - PAGE)

Cette technique est bien mise au point à Gand. Elle est préférée du fait de sa simplicité et de son pouvoir discriminatif puissant.

Une première analyse des profils protéiques des souches isolées à partir d '**A. tortilis** a montré que celles-ci se situent dans les groupes de Rhizobium déjà connus. Le travail est actuellement

ISOLATS OBTENUS

Plantes d'isolement	Nombre d'isolats
▪ Acacia tortilis (Forssk.) H. ssp. raddiana (Savi) Brenan	11
▪ Anthyllis henoniana Batt.	10
▪ Argyrolobium uniflorum (Decai.) Jaub. et Spach	12
▪ Astragalus tenuifoliosus Maire	2
▪ Astragalus armatus Willd. ssp. tragacanthoides (Desf.) Maire	13
▪ Astragalus caprinus L. ssp. lanigerus (Desf.) Maire	2
▪ Astragalus gombiformis Pomel	2
▪ Astragalus cruciatus Link.	1
▪ Calicotome villosa (Poir.) Link. ssp. villosa Rouy	1
▪ Ebenus pinnata Anon	5
▪ Genista microcephala Cosson et Durieu	5
- Genista saharae Cosson et Durieu	1
▪ Hedysarum spinisissimum L.	2
▪ Hippocrepis bicontorta Lois.	3
▪ Lotus creticus L.	8
▪ Lotus roudairei Bonnet	3
▪ Lotophyllus argenteus Link.	1
▪ Medicago marina L.	3
▪ Medicago minima Grufb.	1
- Medicago sativa L.	8
▪ Medicago truncatula Gaertn.	6
- Melilotus sulcata Desf.	2
▪ Ononis natrix L. ssp. falcata Viv.	2
▪ Ononis natrix L. ssp. filifolia (Murb.) Sirj.	3
- Ononis natrix L. ssp. polyclada (Murb.) Sirj.	1
- Ononis vaginalis Vahl	1
▪ Ononis serrata Forssk.	2
▪ Prosopis stephaniana (M.B.) Kunth ex Spreng.	1
▪ Retama raetam (Forss.) Webb	10
▪ Trigonella maritima Del.	2
▪ Trigonella monspeliaca L.	1

SUIVI IN SITU D'*ACACIA TORTILIS* ssp. *RADDIANA* EN BIOCLIMAT MEDITERRANEEN ARIDE INFERIEUR (TUNISIE PRESAHARIENNE)

1. Suivi phénologique

1.1. Phénologie v i d u

L'individu à suivre n'a pas permis de définir le cycle de vie de cette espèce, cette action doit être refaite d'une manière minutieuse.

1.2. Phénologie de population

Deux populations ont été retenues: Population de Belkhir, elle est située sur un glaciaire calcaire et est exposée au sud-est. La Population du Parc Haddej, elle est localisée dans une cuvette à sol d'apport mixte: alluvions et colluvions.

Les figures 1 et 2 montrent respectivement le cycle de vie annuel moyen d'*Acacia tortilis* ssp. *raddiana* de la population de **Belkhir** et du Parc Haddej.

A/ Population de Belkhir

- Apparition des feuilles: elle débute vers la 2ème décennie du mois de juin (le 23/06). Leur chute commence vers la fin de la 2ème décennie du mois de mai (19/05) et s'intensifie au débournement de l'année suivante. Ainsi *Acacia tortilis* se caractérise par des feuilles de type marcescent.

- Floraison: il faudrait signaler que cette phase se fasse en deux périodes:

- * Première période: elle commence au même moment que l'apparition des feuilles (2ème décennie du mois de juin). La majorité des fleurs (: 9040) tombent à la fin du mois de juillet.

- * Deuxième période: elle débute à la fin de la 3ème décennie du mois d'août (27/08) et continue jusqu'à la fin de la première décennie du mois d'octobre (19/10).

Le creux, ainsi constaté, pendant un mois (du 28/07 au 27/09) est dû à une chenille (non encore déterminée) qui attaque les fleurs (voir les feuilles) à leurs pédoncules.

- Fructification: cette phase commence à partir du début de la 2ème décennie du mois de septembre (16/09) et continue jusqu'à la fin du mois de mai.

- Maturation: le début de la maturation a lieu vers le début de la 1ère décennie du mois de juin (07/06).

B/ Population du Parc Haddej

- Apparition des feuilles: elle débute vers la fin de la 3ème décade du mois de juin (28/06). Vers la fin de 3ème décade du mois d'août, une chute importante des feuilles a été enregistrée (+80% des individus). Cette chute est due à la même chenille signalée dans la population de Bekhir. La réapparition des feuilles aura lieu à la fin de la 1ère décade du mois de septembre (07/09) et leur chute finale commence à partir de la fin de la 2ème décade du mois de mai (19/05) et elle devient importante au moment du débourrement de l'année suivante.

- Floraison: deux périodes, séparée par un mois, sont distinguées chez cette population et ceci pour la même cause citée pour la population ci-dessus:

- * Première période s'étale entre la fin de la 3ème décade du mois de juin (28/06) et la fin de la 2ème décade du mois d'août (20/08)

- * Deuxième période débutant vers la fin de la 1ère décade du mois de septembre (07/08) et elle se termine vers la 1ère décade du mois de novembre (05/11).

- Fructification: débute vers la 1ère décade du mois d'octobre (07/10) et elle continue vers la fin du mois de mai.

- Maturation: cette phase commence vers la fin de la 2ème décade du mois de mai (19/06).

1.3. Comparaison de phases phénologiques des deux populations

Les données de la figure 3 à 6 permettent de relever les constatations suivantes:

- un décalage dans le temps entre les 3 premières phases végétatives des deux populations à savoir l'apparition des feuilles, la floraison et la fructification. Ce décalage est de 5 jours pour les deux premières phases et 21 jours pour la troisième phase.

- la population de Bekhir se caractérise par la précocité des phases apparition des feuilles, floraison et fructification. Cette précocité est due probablement à son exposition au soleil (versant sud) et ceci contrairement à celle du Parc Haddej qui se situe dans une cuvette.

- la chute de feuilles est par contre plus précoce chez la population de Haddej.

- l'attaque des feuilles et de Beurs sont plus importantes chez la population de Haddej que celle de Bekhir.

2. Fonctionnement hydrique

2.1. Cinétique journalière et variation saisonnière du potentiel hydrique des rameaux

Le potentiel de base (ou potentiel maximum) est observé au début de la journée avant le lever du soleil et à la fin de la journée après le coucher du soleil (figure 7). Il varie de -1,1 et -1,4 MPa. Il est plus bas en saison automnale et hivernale.

Le potentiel minimum est observé vers 13 h (heure locale) en été (-2,47 MPa), en automne (-2,01 MPa). Au printemps, il est observé vers 16 h (-2,17 MPa). En hiver, le potentiel minimum est observé vers 16 h (-3,07 MPa).

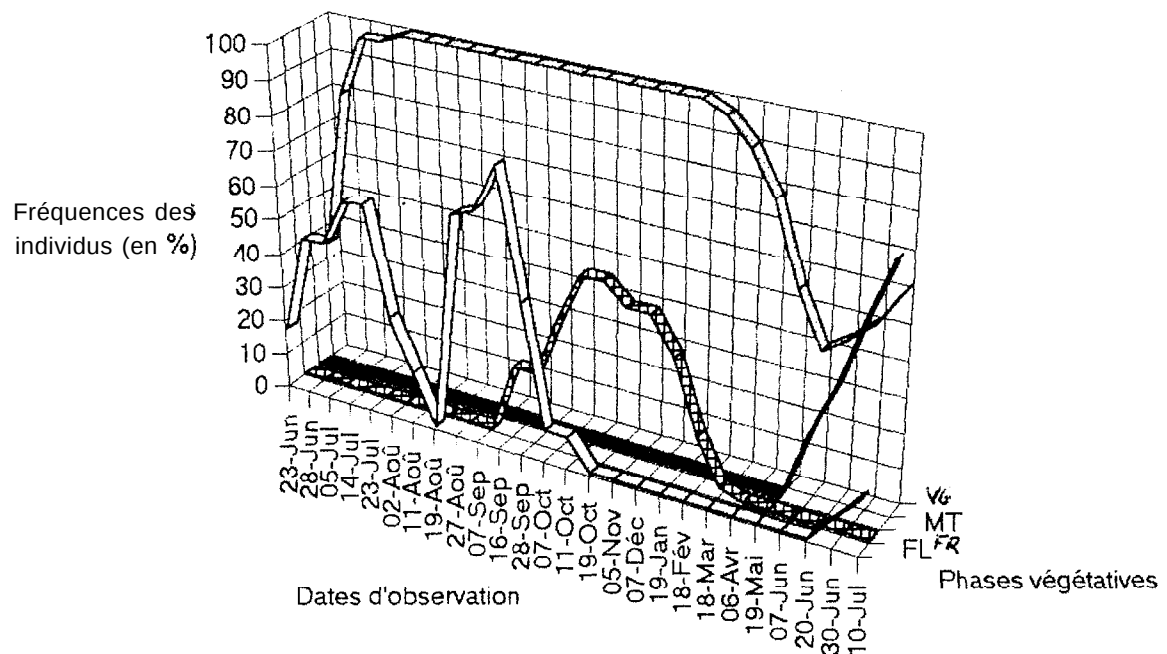
2.2. Variation annuelle du potentiel hydrique des rameaux

Quatre individus sont retenus, ils ont les diamètres de base du tronc (mesuré à 20 cm du sol) 5 cm 10 cm, 30 cm 35 cm et 40 cm. Les données de mesure du potentiel minimum, reportées à la figure 8, montrent que:

- le potentiel minimum est fonction du diamètre de l'espèce et par conséquent de son âge;
- généralement plus le diamètre est petit plus le potentiel minimum est bas -3,5 MPa pour le diamètre 10 cm et -2.5 MPa pour les diamètres 40 cm par exemple:
 - quant l'individu est défolié le potentiel minimum pourrait avoir la même valeur que le potentiel de base;
 - le potentiel minimum est de -2,49 à -2,7 MPa au début de démarrage végétatif ('juin), il décroît pour atteindre -1,5 à -1,6 MPa au mois de septembre, sauf pour l'individu de classe 5 cm de diamètre;
 - à partir du mois de décembre le potentiel minimum commence à décroître progressivement pour atteindre sa valeur la plus basse vers le mois de juin de l'année suivante.

NB. Cette interprétation reste incomplète en l'absence des données de réserve hydrique du sol

Fig. 1. Cycle de vie annuel moyen de la population d'*Acacia tortilis* de Belkhir en Tunisie présaharienne



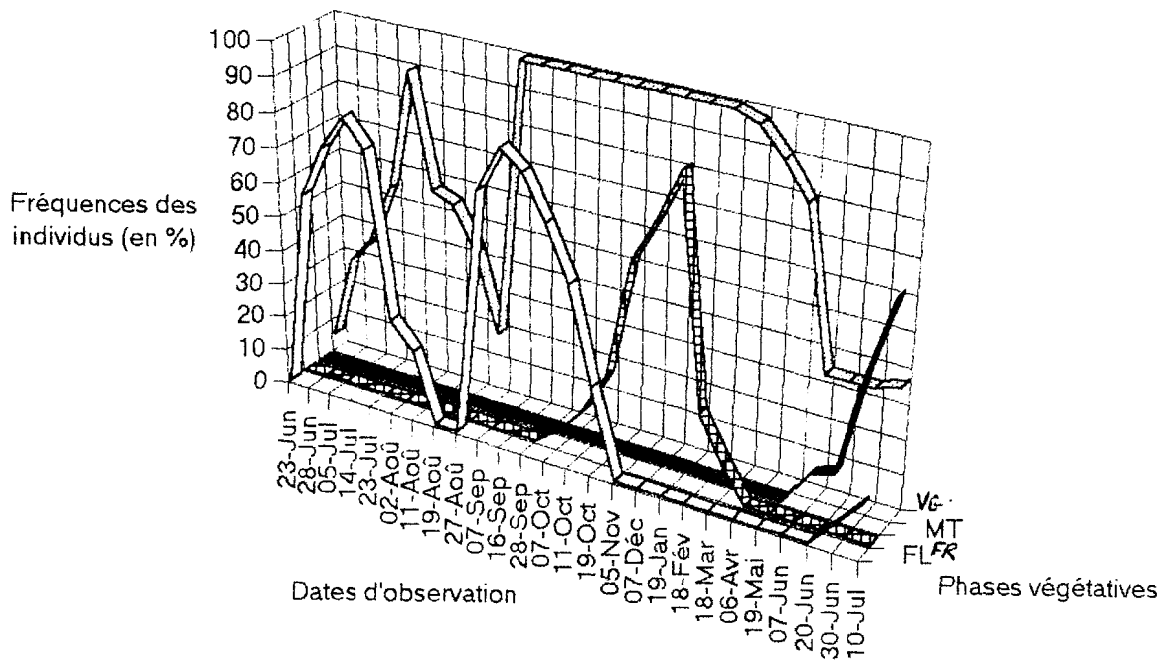
FL: floraison (débourrement + épanouissement complet des fleurs)

FR: fructification (nouaison + formation du fruit et de la graine)

MT: maturation

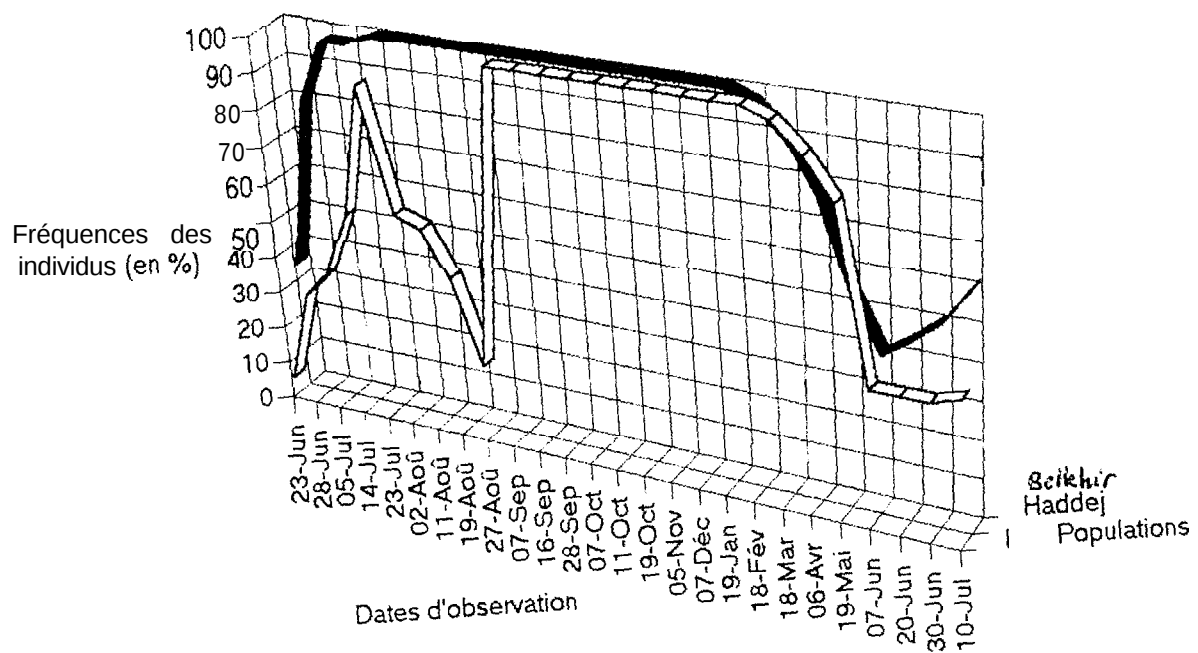
VG: gonflement des bourgeons jusqu'au début de chute de feuilles

Fig. 2. Cycle de vie annuel moyen de la population d'*Acacia tortilis* du Parc Haddej en Tunisie présaharienne



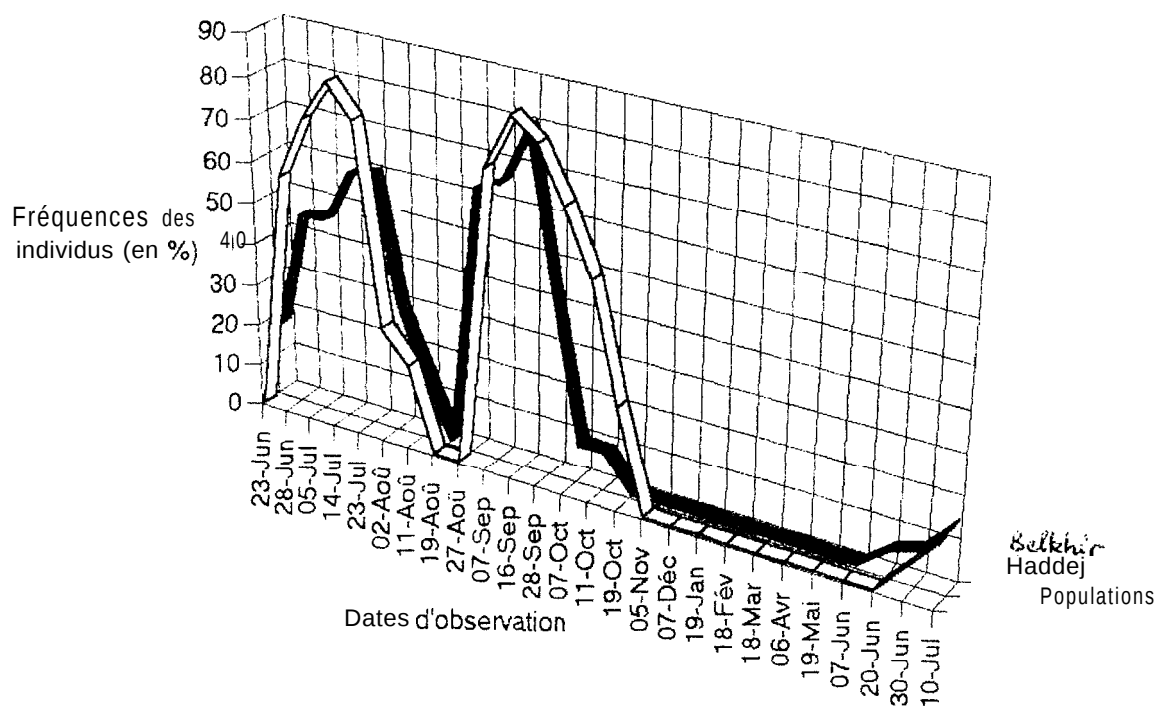
FL: Floraison (débourrement + épanouissement complet des fleurs)
 FR: fructification (nouaison + formation du fruit et de la graine)
 MT: maturation
 VG: gonflement des bourgeons jusqu'au début de chute de feuilles

Fig. 3. Comparaison de la phase végétative* de deux populations d'Acacia tortilis en Tunisie présaharienne



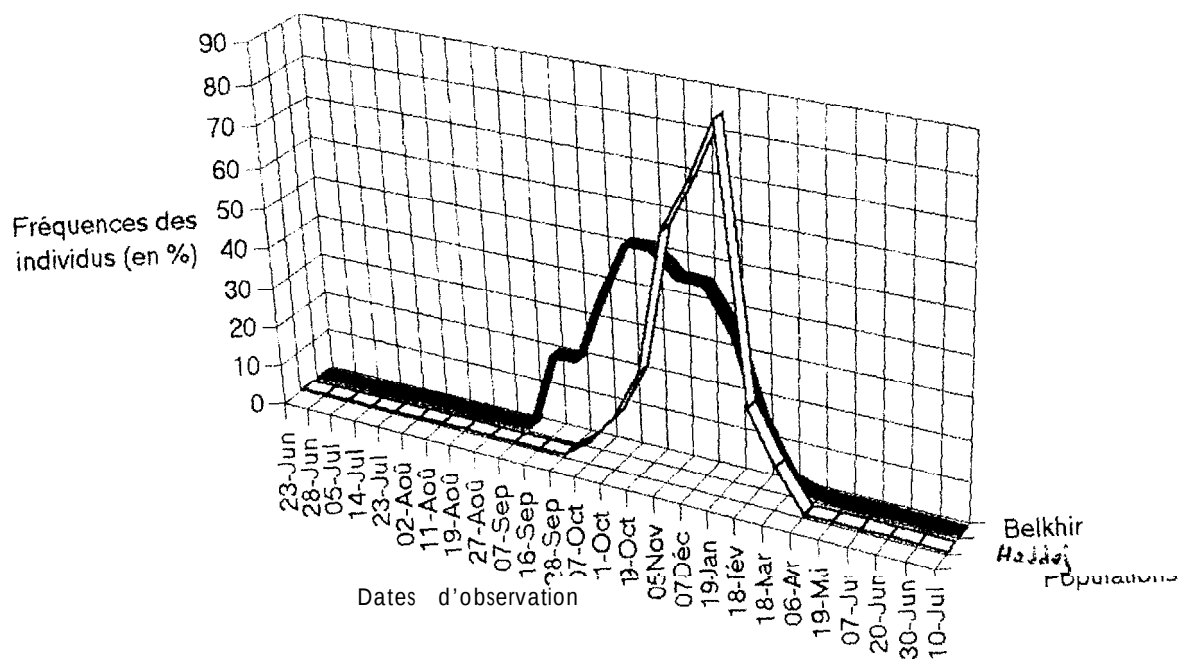
* du gonflement des bourgeons végétatifs jusqu'au début de chute de feuilles

Fig. 4. Comparaison de la phase floraison" des deux populations d'Acacia tortilis en Tunisie présaharienne



* débourrement et épanouissement complet des fleurs

Fig. 5. Comparaison de la phase fructifi
d'Acacia tortilis en Tunisie présaharienne



• de la nouaison jusqu'à la formation de la graine

Fig. 6. Comparaison de la phase maturation de deux population d'Acacia tortilis en Tunisie présaharienne

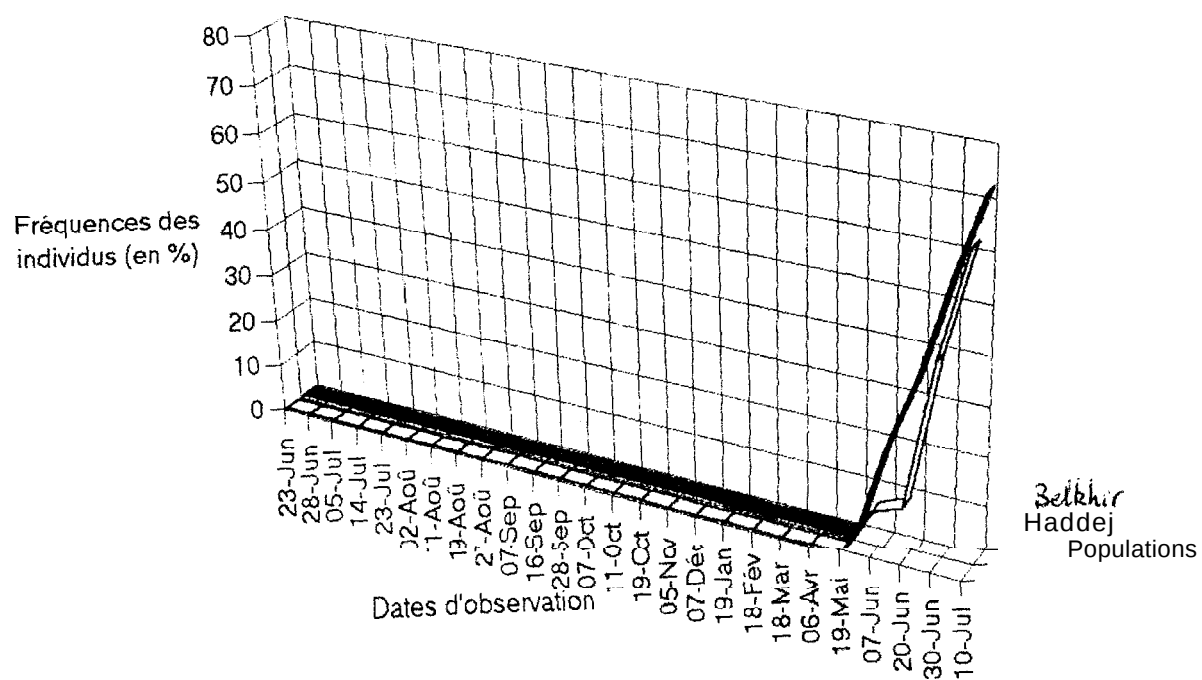


Fig. 7. Variations nycthémérales et saisonnières du potentiel hydrique des rameaux d'Acacia tortilis en bioclimat méditerranéen aride inférieur (Tunisie présaharienne)

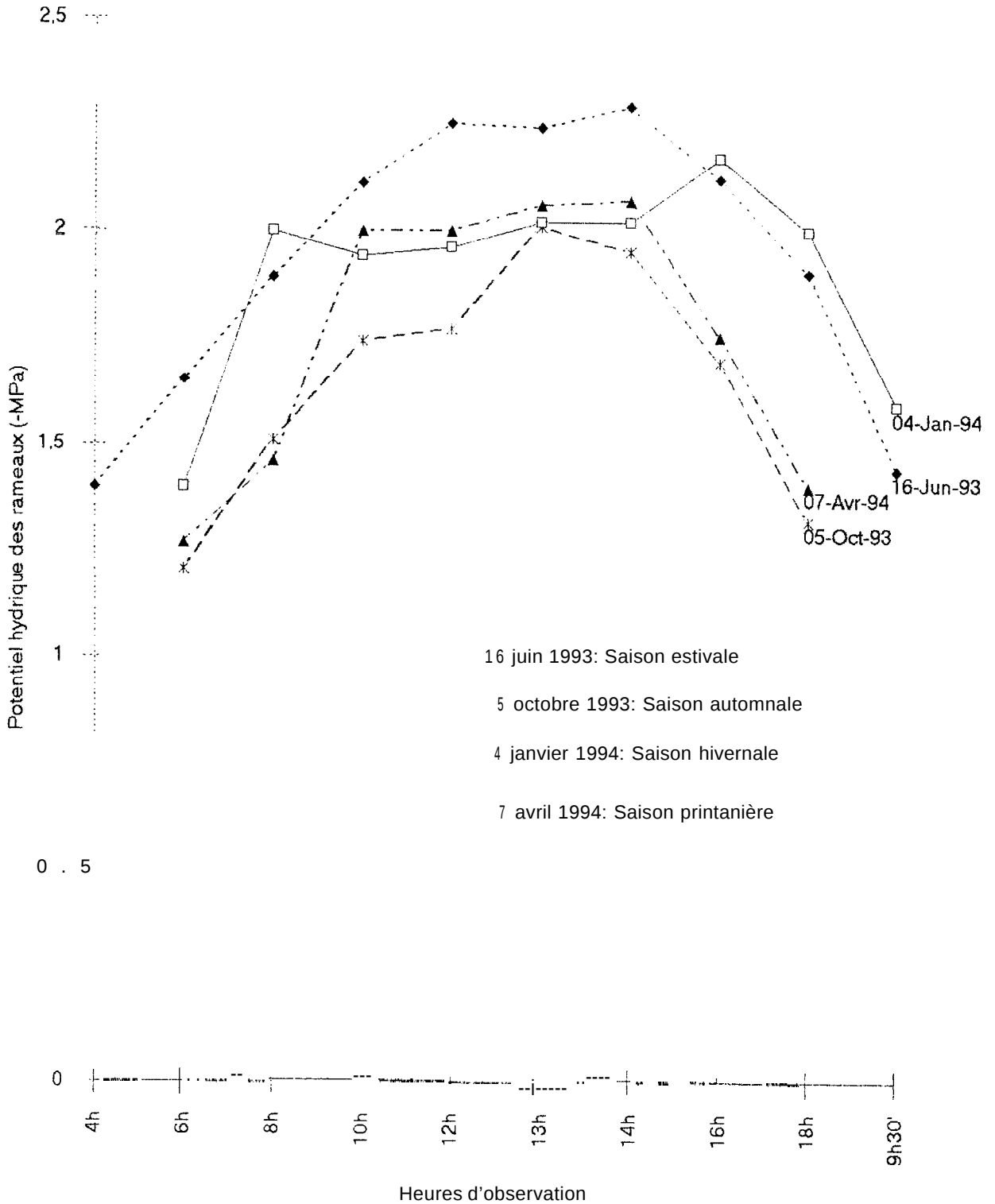
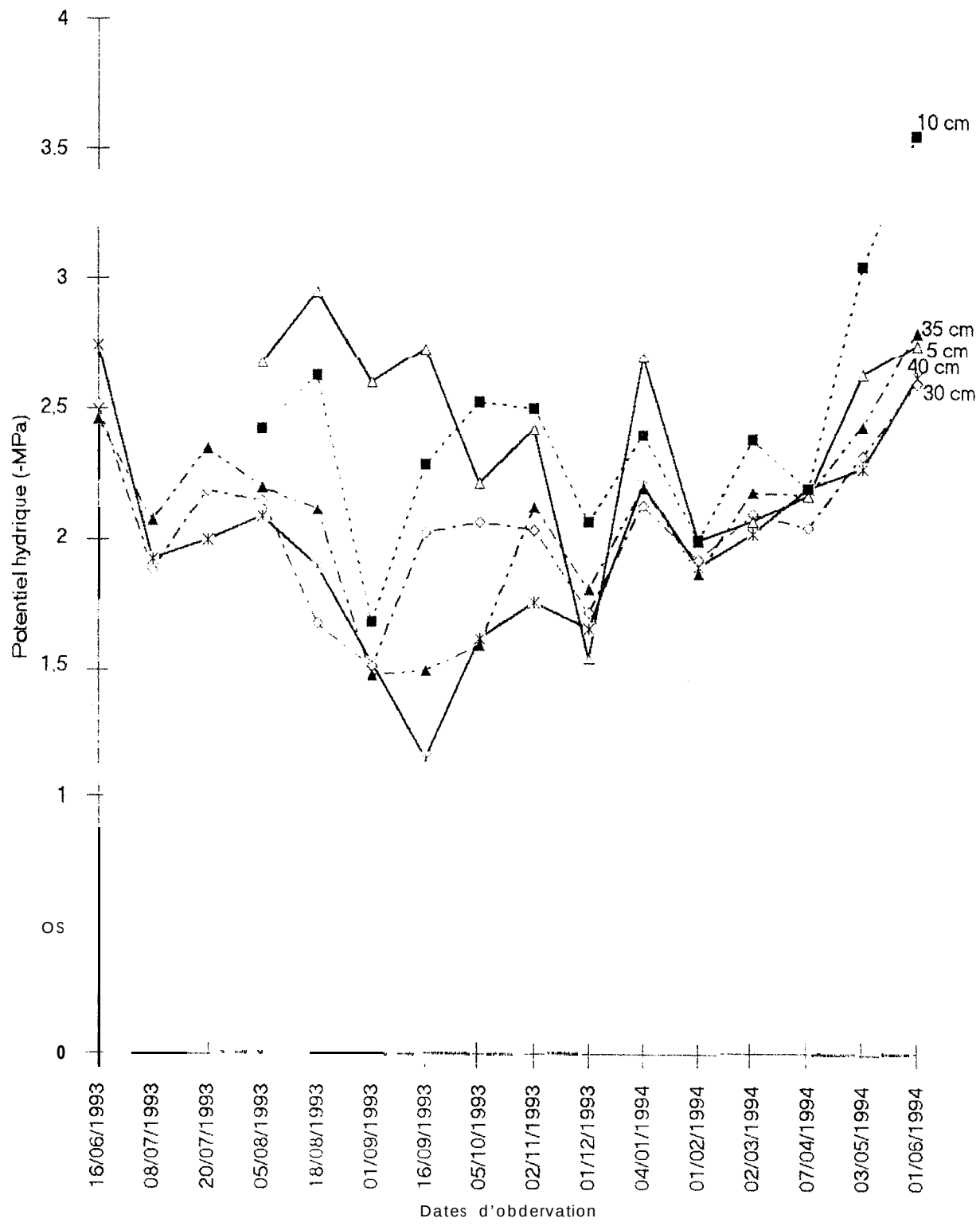


Fig. 8 Variation annuelle du potentiel hydrique des rameaux d'Acacia tortilis, selon les classes d'âge, en bioclimat méditerranéen aride inférieur (Tunisie présaharienne)



RAPPORT II

**CEFE L. EMBERGER/CNRS
MONTPELLIER
FRANCE**

**LE FLOC'H E., ARONSON J., BERGER A., WAREMBOURG F., BLANCHARD
GROSSMANN A., MOREL M., ROJAS-TRANGAY K., VIAL L.**

ANALYSE DE LA DIVERSITE DES LEGUMINEUSES PERENNES EN TUNISIE

(Edouard Le Floc'h & Mme Anne Grossmann)

En Tunisie aride, une troisième campagne de prospection, des légumineuses pérennes et des micro-organismes qui leur sont associés, a été menée en avril 1994 (comme pour les deux années précédentes) avec la participation de E. Le Floc'h. Cette campagne a plus particulièrement concerné les espèces les plus rares de la diction : *Genista saharae*, *Lotus roudairei*, *Medicago marina*, *Lotophyllus argenteus*).

Une autre partie du programme relatif à l'étude de la diversité est également actuellement engagée. Elle fait partie d'un programme plus large et opérationnel depuis déjà plusieurs années. Il vise, pour ce qui concerne le projet STD3, par le biais de la constitution d'un Système d'Information Géographique (SIG) adapté, à permettre une analyse simultanée d'indications relatives à la répartition conjointe ou séparée des diverses légumineuses intéressantes pour le projet. La démarche se fonde sur les possibilités offertes, par le logiciel Arcinfo, de croiser entre elles les informations de diverses bases de données. Il s'agit dans notre situation et pour le moment, d'informations relatives à des relevés floristiques (listes d'espèces présentes dans un site donné) localisés dans l'espace et dans le temps. Ces données seront en particulier croisées avec les informations de cartes altimétriques et bioclimatiques déjà digitalisées pour cette étude.

Le premier objectif, de la partie de ce travail menée dans le cadre du projet STD3, est d'affiner les connaissances phytosociologiques concernant les légumineuses pérennes de Tunisie aride. Cet objectif atteint il sera possible de rationaliser les plans d'échantillonnage pour l'analyse, déjà avancée, de la diversité des associations "légumineuses/micro-organismes associés". Ce programme en cours constitue un travail de longue haleine qui doit se prolonger au moins sur toute l'année 1995.

ECOLOGIE FONCTIONNELLE COMPARATIVE DE QUELQUES LEGUMINEUSES MEDITERRANEENNES ET ARIDO-TROPICALES DE TYPES BIOLOGIQUES CONTRASTES

(Melles Marina Morel et Karla Rojas-Trangay, MM James Aronson, Frank Warembourg, Laurent Vial et Edouard Le Floc'h)

1. Ecologie du carbone et réponse au stress hydrique de jeunes plants nodulés d'*Acacia tortilis raddiana*. (DEA L. Vial 1993)

1.1. Objectif

Ce travail avait pour objectif d'étudier les stratégies adaptatives développées par *Acacia tortilis raddiana* en réponse aux principaux facteurs limitants de son environnement que sont l'eau et l'azote minéral.

1.2. Méthodes

Des jeunes plantules, obtenues en serre à partir de semences d'*Acacia tortilis raddiana* d'origine sénégalaise, ont été inoculées à plusieurs reprises avec le *Rhizobium* sp. ORS 1072 sélectionné par l'ORSTOM de Dakar. C'est sur ce matériel qu'a été effectué un suivi de la respiration racinaire (mesurée par un analyseur de gaz à infrarouge) pendant plusieurs cycles de dessèchement sur des individus marqués au $^{14}\text{CO}_2$.

Durant la même période le suivi a également concerné : l'évolution de la température, de la fixation d'azote et de l'intensité du stress hydrique.

1.3. Résultats

Les résultats principaux concernent :

- l'économie du carbone en relation avec l'activité fixatrice,
- les effets du stress hydrique sur le niveau de fixation d'azote et l'allocation des photosynthétats.

Ces résultats peuvent être brièvement résumés comme suit :

- l'activité fixatrice est coûteuse pour la plante mais paraît compensée par une assimilation plus importante de CO_2 ,
- les réponses d'*Acacia tortilis raddiana* au stress hydrique vont dans le sens d'une stratégie d'évitement,
- le déficit hydrique détermine une orientation des photosynthétats vers les racines plutôt que vers les feuilles,
- la fixation d'azote est très sensible au dessèchement,
- l'étroite corrélation linéaire qui existe entre respiration racinaire et "l'activité réductrice de l'acétylène" (ARA) suggère que le coût de la fixation ne dépend pas du stress de la plante,
- le recouvrement de la capacité fixatrice après irrigation n'est que partiel.

2. Compétition et transfert d'azote dans les associations légumineuses (*Medicago* spp.) - graminées (*Dactylis glomerata*) (DEA M. Morel 1993)

2.1. Objectif

Divers types de transferts d'azote d'une plante fixatrice vers une autre plante non fixatrice ont déjà été bien explorés, à l'exclusion cependant du transfert direct à court terme (quelques jours) très nettement moins documenté que ceux à long et moyen termes. C'est avec cet objectif de mieux connaître les possibilités de transfert à court terme que la présente étude a été menée.

2.2. Méthodes

N'ayant pu obtenir à temps les souches symbiotiques de légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique africaines, il a été décidé de travailler sur des espèces méditerranéennes peu étudiées à savoir *Medicago polymorpha* cv. Europe et *Dactylis glomerata* KM2.

La mesure de la fixation de l'azote atmosphérique a été faite par la méthode de l'activité de réduction de l'acétylène (ARA), appliquée à des individus marqués au $^{15}\text{N}_2$. Cette méthode est à la fois facile d'emploi et non destructive.

2.3. Résultats

Les résultats peuvent être brièvement résumés comme suit:

- Les espèces étudiées ont des stratégies différentes d'utilisation de l'azote fixé. Ainsi *Medicago polymorpha*, espèce annuelle transfère le maximum d'azote vers ses parties aériennes alors que *Dactylis glomerata*, espèce pérenne, accumule l'azote dans ses racines,
- la culture mixte n'a pas bénéficiée à *Dactylis glomerata* en terme de production de biomasse,
- aucun transfert d'azote à court ou à moyen terme n'a pu être détecté dans cette association de deux espèces.

Il reste cependant possible que la détection de transfert entre les individus de ces deux espèces soit, dans le cadre précis de cette expérimentation, imputable à un trop faible taux de fixation d'azote.

3. Réponse de légumineuses pérennes africaines à des régimes hydriques et nutritifs variés et importance de la symbiose avec les micro-organismes fixateurs d'azote (*Rhizobium*).

Les objectifs de cette étude, menée sous forme de deux expérimentations, sont:

- d'approfondir notre connaissance de la dynamique des écosystèmes en question et du rôle de légumineuses de divers types biologiques présents à des stades différents de la succession dans les écosystèmes,
- d'étudier les conséquences de la symbiose, avec des micro-organismes associés fixateurs d'azote (*Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*), sur la réponse d'un certain nombre de légumineuses pérennes africaines (considérées comme candidates pour la réhabilitation des terres dégradées au nord au sud du Sahara), à différents types de stress hydrique et nutritif.

Ces conséquences sont analysées au travers des modifications qu'elles provoquent sur les végétaux au niveau : de la phénologie, de l'allocation des ressources, de la teneur en azote et en carbone et de la capacité à fixer l'azote atmosphérique. Selon le type biologique, l'origine biogéographique et le rôle fonctionnel qu'elles exercent dans leurs écosystèmes respectifs, il est supposé que les diverses espèces présentent différentes stratégies adaptatives. Cette question a déjà été partiellement abordée pour 4 espèces légumineuses ligneuses du désert du Sonora en Amérique du Nord (W. Jarrell et R. Virginia, manuscrit non publié), et pour 44 espèces de types biologiques de l'Amérique tropicale (Aronson *et al.*, 1992). A notre connaissance rien n'a été encore fait sur ce thème pour les légumineuses africaines.

Notre but principal est de déterminer si, au delà des différences interspécifiques, des tendances existent, parmi les différentes espèces d'un type biologique donné, ou au niveau des deux régions arides en question (nord africaine et soudano-sahélienne). Dans l'affirmative, les résultats seraient d'un grand intérêt

dans le choix des espèces à utiliser dans les essais de réhabilitation entrepris dans le cadre du Projet. Ces résultats auraient, de plus, un grand intérêt pour la confirmation de l'avantage de l'utilisation des légumineuses fixatrices d'azote dans la restauration ou la réhabilitation écologique en général.

Quatre questions principales définissent notre problématique.

- la fixation d'azote atmosphérique procure-t-elle un avantage significatif dans la résistance des légumineuses au stress hydrique?
- cet avantage, s'il existe, est-il le même que le stress hydrique soit estival ou hivernal?
- y-a-t-il des différences écophysiologiques significatives (cycles de vie, allocation de ressources, résistance au stress, capacité et phénologie de la fixation d'azote, etc.) selon le type biologique et la provenance, entre les différentes espèces de légumineuses nodulées soumises au stress hydrique?
- quels enseignements peut-on tirer, pour l'écologie de la restauration et de la réhabilitation, des résultats obtenus (complémentarité, compétition, etc.)?

Pour le moment deux études ont été menées dans ses perspectives.

3.1. Réponse à la fertilisation minérale de 12 espèces de légumineuses pérennes (J. Aronson & E. Le Floch)

3.1.1. Matériel et méthodes

Nous avons retenu 12 légumineuses de types biologiques et de provenances géographiques (nord et sud Sahara) contrastés. Dans une première partie du programme (1992-93), 60 individus, répartis en quatre traitements, ont été comparés pour leurs réponses à des apports d'engrais azoté et phosphorique. Ces individus ont été élevés durant 10 mois, en pots contenant chacun 1 kg de sol. Les inoculations, des individus des différentes espèces, ont été effectuées avec une suspension de sols prélevés, in situ, au pied d'un ou de plusieurs individus de chaque espèce.

Les quatre traitements imposés étaient les suivants : témoin, +N, +P, +(N+P). Le sol utilisé avait été reconstitué de façon à simuler les deux types de sol caractéristiques (pauvreté en azote et phosphore) du sud tunisien et au nord du Sénégal.

Les sols des témoins présentaient donc une teneur d'environ 12 ppm d'azote (NO_3 et NH_4). Les apports d'engrais azoté et phosphorique, aux plantes des 3 autres traitements, ont été réalisés en deux applications séparées de 3 semaines, pour des doses équivalentes à 60 unités/ha.

Les paramètres suivants ont été mesurés : hauteur (cm); biomasse (poids sec) des parties aériennes, des racines, des nodosités, des gousses (pour les 2 espèces qui ont fleuri et produit des gousses durant la période de l'expérience) et de la plante entière. Les teneurs en carbone et en azote ont également été déterminées pour les différentes parties des plantes. Enfin, trois rapports ont été calculés qui permettent d'éviter, en partie, les problèmes d'interprétation liés à la différence de taille moyenne des individus des différentes espèces.

Les analyses statistiques suivantes ont été employées pour chaque paramètre: une ou plusieurs ANOVA et tests de Tukey ("pairwise comparison of means"). Ensuite, pour les paramètres qui montraient des différences significatives

parmi les espèces, des graphes comparatifs ont été dressés pour évaluer les réponses aux différents traitements.

Tableau 1. Liste des espèces étudiées

Genre et Espèce	Type biologique	Origine	Stade de succession
<i>Acacia nilotica</i> var <i>adansonii</i>	arbre	Sénégal	4
<i>Acacia senegal</i>	arbre	Sénégal	4
<i>Acacia tortilis</i> subsp. <i>raddiana</i>	arbre	Tunisie	4
<i>Acacia tortilis</i> subsp. <i>raddiana</i>	arbre	Sénégal	4
<i>Faidherbia albida</i>	arbre	Sénégal	4
<i>Piliostigma thoningii</i>	arbuste	Sénégal	1-3
<i>Retama raetam</i>	arbuste	Tunisie	3
<i>Anthyllis henoniana</i>	chaméphyte	Tunisie	4
<i>Argyrolobium uniflorum</i>	chaméphyte	Tunisie	2-4
<i>Astragalus armatus</i>	chaméphyte	Tunisie	1-2
subsp. <i>tragacanthoides</i>			
<i>Indigofera tinctoria</i>	herb. pérenne	Sénégal	1
<i>Ononis natrix</i>	herb. pérenne	Tunisie	1-2

* Ces stades (1 à 4) sont déterminés approximativement mais représentent cependant la position relative la plus fréquente de l'espèce dans les stades de succession des différents écosystèmes. Ces stades vont de 1 (stade pionnier) à 4 (écosystème bien développé en bon état).

Une évaluation globale est en cours visant à tenter d'interpréter les résultats en termes de contribution en fonction de l'origine, du type biologique et du stade de succession où ces espèces sont présentes.

3.1.2. Résultats

Les résultats révèlent des différences significatives parmi les espèces et les types biologiques pour la plupart des paramètres, mais pas entre les deux origines. Aucune tendance générale ne se dégage, mais plusieurs indications permettant de mieux réfléchir la réhabilitation et importante pour une meilleure compréhension du rôle de ces différentes espèces dans leurs écosystèmes respectifs ont été mises en évidence. En particulier, comme prévu, le traitement +P a provoqué la plus forte nodulation et fixation d'azote chez beaucoup d'espèces. Cette fixation a même été plus forte que le dans traitement +(N+P).

L'allocation des ressources (parties aériennes/parties racinaires) varie selon les traitements. Néanmoins, les rapports C/N et N₂ fixé/poids des nodosités ne varient pas d'une façon significative en réponse aux 4 traitements. Ceci dit, les types de réponse des différents espèces sont très fortement contrastés, ce qui révèle d'évidentes complémentarités entre espèces. Ces complémentarités pourront être exploitées dans des futurs essais de réhabilitation. En plus, il est important de noter que les deux provenances d'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana* ont montré des réponses significativement différentes aux apports d'engrais.

Un article sur les résultats de cette expérience est actuellement en préparation et sera soumis à publication au cours de l'année 1995.

3.2. Réponse de quelques légumineuses pérennes africaines au stress hydrique et rôle de la fixation d'azote. (DEA de K. ROJAS-TRANGAY 1994)

3.2.1. Objectifs

Dans ce travail, nous avons entrepris d'étudier la réponse d'un certain nombre de légumineuses, inoculées ou non, au stress hydrique.

Il ne s'agissait, bien entendu, pas ici d'aborder le thème de l'adaptation au stress hydrique avec la même précision que dans les travaux réalisés par les écophysiologistes impliqués dans ce même programme STD3. Il était seulement souhaité établir des comparaisons pour un plus grand nombre d'espèces relevant, encore une fois, d'une gamme assez large de types biologiques contrastés.

Les hypothèses émises étaient les suivantes:

- le taux de croissance, la capacité de fixation de l'azote atmosphérique et le rapport C/N sont, en situation de stress hydrique, plus affectés chez les "méditerranéennes" que chez les "tropicales". En effet, ces dernières adaptées à des conditions environnementales plus imprévisibles sont probablement dotées d'une plus forte plasticité phénotypique.
- la plasticité de réponse des espèces tropicales au stress hydrique est vraisemblablement moindre puisqu'elles sont adaptées à des conditions globalement plus favorables (total pluviométrique plus élevé). Le stress hydrique entraînera chez elles un fort taux de mortalité plutôt que des différences de réponse phénotypique.
- indépendamment des provenances, les herbacées pérennes et les annuelles s'adaptent mieux et plus vite que les chaméphytes et les nanophanérophytes (arbustes) au stress. Les espèces arborescents sont les plus sensibles.
- en absence de stress hydrique la performance de la fixation sera décroissante selon les types biologiques en partant des herbacées jusqu'aux arbres. En présence de stress hydrique c'est l'ensemble des caractères adaptatifs à la sécheresse de chaque espèce qui déterminera les réponses : croissance, phénologie, performance de la fixation, etc.

3.2.2. Matériel et méthodes

Vue la grande complexité de l'expérience projetée, nous n'avons retenu ici que 8 espèces (4 par provenance). Chaque espèce a été inoculée, au moment du repiquage, avec une souche de *Rhizobium* fournie par le laboratoire de microbiologie de l'ORSTOM à Dakar et supposée infestante.

Le niveau nutritif était maintenu légèrement déficitaire en azote (mais non pour le phosphore) et ce afin d'optimiser les conditions de fixation et de simuler des conditions édaphiques rencontrées sur le terrain. Les plantes étaient arrosées avec de l'eau déminéralisée afin d'éviter un enrichissement du milieu de culture au cours de l'expérience.

Dans le dispositif les espèces méditerranéennes ont été mises en culture en plein air (régime de stress hivernal) alors que les espèces originaires du Sénégal ont été cultivées en serre "tropicalisée" (régime de stress estival). Des sols contrastés, reconstitués, ont également été utilisés pour les deux groupes avec comme objectif de simuler au mieux les sols typiques des deux régions géographiques concernées. Pour chacun des deux groupes d'espèces, les quatre traitements imposés peuvent être résumé ainsi:

- non-stressé, non-inoculé (NS NI)
- stressé, non-inoculé (S NI)
- non-stressé, inoculé (NS I)
- stressé, inoculé (S I).

Tableau 2. Liste des espèces étudiées

Genre et Espèce	Type biologique	Origine	Stade de succession
Espèces méditerranéennes			
Medicago polymorpha	annuelle	Tunisie	1-4
Astragalus gombo subsp.gombiformis	herb. pérenne	Tunisie	1-2
Retama raetam	arbuste	Tunisie	3
Acacia tortilis subsp. raddiana	arbre	Tunisie	4
Espèces soudano-sahéliennes			
Acacia senegal	arbre	Sénégal	4
Acacia tortilis subsp. raddiana	arbre	Sénégal	4
Faidherbia albida	arbre	Sénégal	4
Indigofera tinctoria	herb.pérenne	Sénégal	3-4

* Ces stades (1 à 4) sont déterminés approximativement mais représentent cependant la position relative la plus fréquente de l'espèce dans les stades de succession des différents écosystèmes. Ces stades vont de I(stade pionnier) à 4 (écosystème bien développé en bon état).

Après 6 mois de culture nous avons procédé à l'évaluation de l'allocation de biomasse entre les parties aériennes (tiges, feuilles, fruits), et racinaires, et éventuellement des nodosités. Sur quatre individus de chaque espèce et par traitement, le rapport C/N a été déterminé pour les parties aériennes, les racines, et les nodosités.

Afin de compléter les données obtenues, durant la même expérience, des observations et mesures ont également été menées sur la phénologie, la réponse écophysologique au stress hydrique (fluctuations de potentiel hydrique dans la plante) et l'allocation de ressources. Pour les quelques espèces pour lesquelles des nodules ont été observés (toujours en très faible quantité) 3 à 4 individus nodulés ont été retenus pour détermination, par la méthode de "l'activité de réduction de l'acétylène", de leur niveau de fixation relative d'azote atmosphérique.

3.2.3. Résultats

Il n'a été observé qu'un très petit nombre de nodules sur les 8 espèces et ce malgré que l'inoculation ait été effectuée avec des souches rhizobiennes supposées infestantes. Pour cette raison, les comparaisons "inoculé/non-inoculé" n'ont pas été fructueuses. Néanmoins, la comparaison des réponses des différentes espèces au stress hydrique est restée possible et a fourni des résultats intéressants. Un exemple de ces résultats bruts est présenté au tableau 3.

Tableau 3. Rapport Racines/parties aériennes de quelques espèces de types biologiques différents.

Espèce	Traitements			
	NS-NI	S-NI	NS-I	S-I
Acacia tortilis subsp. raddiana (-Sénégal)	1.49a*	1.84 b	1.61a	2.25b
Acacia tortilis subsp. raddiana (Tunisie)	1.16a	1.51a	1.36a	1.09a
Retama raetam .	.65a	.73a	.46a	.72a
Astragalus gombo subsp. gombiformis	1.16a	.71b	.97a	.63b
Medicago polymorpha	1.90a	2.14b	1.87a	1.90a

Dans une même ligne de données une même lettre indique que ces données ne sont pas significativement différentes ($P < 0.05$). Les résultats significativement différents se distinguent par des lettres différentes.

Deux conclusions peuvent être rapidement tirées de ce tableau :

- certaines espèces présentent une allocation de ressources variable selon la présence ou l'absence de stress hydrique. La réponse de *Astragalus gombo* reste délicate à interpréter,
 - les différentes espèces ont des stratégies très contrastées face au stress hydrique. Ceci pourra être d'un secours indéniable dans le cadre d'un programme de réhabilitation. Les deux provenances d'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana* ont encore montré des réponses différentes au stress imposé.

Comme pour l'expérience précédente, sur la réponse des espèces aux régimes nutritifs, il n'est pas facile d'identifier des tendances constantes pour les espèces d'un même type biologique ou d'une même origine géographique.

Les médiocres résultats des inoculations entreprises pour cette expérimentation ont gravement altérés les chances de répondre avec pertinence aux questions posées. Il est donc envisagé qu'elle puisse être répétée avec un mélange de nouvelles souches. La poursuite de cette étude est donc envisagée ; elle pourra d'ailleurs être étendue à d'autres espèces durant les deux années à venir. Dans le même temps, il est envisagé de poursuivre également un approfondissement des recherches pour les espèces les plus prometteuses : *Acacia* spp., *Astragalus* spp., *Indigofera* spp. Le groupe envisage en outre de solliciter la collaboration de Mr. DHILLION Schivcharn, spécialiste en particulier des champignons du sol, dans ce programme futur.

RAPPORT III

**DIPARTIMENTO DI AGROBIOLOGIA
ED AGROCHIMICA
UNIVERSITA' DELLE TUSCIA
VITERBO
ITALIE**

**GREGO S., CACCIARI I., BADALUCCO L., DE CESARE F., QUATRINI P.,
MOSCATELLI C.**

L'équipe de Viterbo a travaillé pendant la deuxième année du contrat avec les échantillons de sols pris en Tunisie. L'étude s'est concentrée sur la caractérisation biochimique du soi de la rhizosphère des espèces qui seront à la base de l'étude du projet. Nous avons aussi mis au point toutes les méthodes pour la caractérisation physiologique des souches de Rhizobium isolées dans les mêmes endroits par le laboratoire de microbiologie de l'ORSTOM a Dakar (Sénégal) et par l'équipe de microbiologie de l'IRA de Médéline (Tunisie).

Ont participé à ce travail:

Prof. Stefano Grego
Prof. Isabella Cacciari
dr. Luigi Badalucco
dr. Fabrizio De Cesare
dr. Paola Quatrini
Mme. Cristina Moscatelli

Tunisie

Les échantillons de sol ont été pris pendant la mission du Prof.Grego et du Docteur. Quatrini en Tunisie du 2 au 9 avril 1993.

Pendant la prospection nous avons décidé de concentrer notre attention sur la Station du Bou Hedma où a été installé l'instrumentation nécessaire à la réalisation de la partie écophysiologique du projet. Dans la station il y a une population de Acacia tortilis-raddiana et nous avons prélevé des échantillons de sol de la rhizosphère des plantes. Nous avons aussi prélevé des échantillons de la rhizosphère de l'Astragalus armatus, légumineuse très commune dans la région de Gabès de la Tunisie. Au total nous avons prélevé 20 échantillons.

Analyses Biochimiques et Biologiques-des Echantillons des sols

L'analyse des échantillons a pour finalité la caractérisation de l'environnement biochimique et microbiologique dans lequel se déroule l'infection et la fixation de l'azote par le Rhizobium. Les paramètres analysés ont été:

- pH (H₂O)

pH (KCl 1N)

- activité des enzymes

protéase ($\mu\text{g Tyr/g ds h}$) avec l'hydrolyse de la Caséine pendant 1 h d'incubation du sol à 52°C et à pH 8.1. La production des aminoacides est déduite d'une courbe étalon construite avec différentes concentrations de Tyrosine.

phosphatase ($\mu\text{g PNP/g ds h}$), qui hydrolyse le P organique en P inorganique assimilable par les plantes, est analysé en suivant l'hydrolyse du p-Nitrophénylphosphate a p-Nitrophénol pendant 1 h à 37°C et pH 5.4.

glutaminase ($\mu\text{g NH}_4^+/\text{g ds 2h}$), une amidohydrolase très importante pour fournir l'azote aux plantes, est essayée avec l'hydrolyse de la L-glutamine pendant 2h d'incubation à 37°C et pH 10.

uréase ($\mu\text{g NH}_4^+/\text{g ds 2h}$) est essayée suivant la production de NH_4^+ de l'urée pendant 2h d'incubation a 37°C et à pH 9.0.

- P assimilable ($\mu\text{g P/g ds}$)

- C-CO₂ dans 10 jours ($\mu\text{g CO}_2/\text{g ds}$)

- C-de biomasse microbienne ($\mu\text{g C/g ds}$) est évalué avec la méthode de fumigation-incubation .

- ATP (nmol/g ds) est évalué après l'extraction acide avec la méthode de la luciférine-luciférase.

- NH_4^+ assimilable ($\text{g NH}_4^+/\mu\text{g ds}$)

- qCO₂ ($\text{ng C-CO}_2/\text{h}/\mu\text{g C-biomasse}$) qui est le rapport de la quantité de CO₂ produite dans l'unité de temp et le C-de biomasse microbienne, est évalué avec la production de CO₂ pendant 24h at 25°C.

Résultats

Parc de Bou Hedma

Dans la localité de Bou Hedma nous avons pris des échantillons dans la rhizosphère de *Acacia raddiana* de différent âge de plantation (100, 25 et 10 ans) et de *Astragalus armatus*. Le sol témoin à un pH (H₂O) alcalin et la mesure avec le KCl donne une acidification très faible (0.2 unité de pH) montrant une faible capacité du sol à retenir des cations (Fig. 1). Le même résultat a été obtenu dans le sol rhizosphérique de *A.raddiana* de 100 et 25 ans. La situation est différente

dans le sol des rhizosphères d' *A. raddiana* de 10 ans et de *Astragalus armatus* ou nous avons obtenu une acidification du pH de plus d'une unité. L'effet rhizosphérique se règle en changeant la capacité de rétenir les protons (H^+) et l'absorption des éléments minéraux et détermine probablement un habitat favorable pour les activités microbiologiques et des enzymes exocellulaires. Les différences que nous avons trouvées dans les sols des rhizosphères de *A. raddiana* de différents âges sont dues principalement à la difficulté de rencontrer chez les vieux arbres des racines jeunes qui sont actives dans l'absorption des éléments et dans la formation d'un sol avec des caractéristiques différentes par rapport au sol non-rhizosphérique. Tous les résultats obtenus avec les sols prélevés au pied des vieux *A. raddiana* indiquent qu'il est difficile de trouver l'effet rhizosphérique.

Le C-biomasse, qui est un paramètre quantitatif de la biomasse microbienne présente dans l'échantillon du sol, est plus élevé dans les rhizosphères de *A. raddiana* de 10 ans et de *A. armatus* par rapport à des sols non influencés par les racines (Fig. 2) ; l'activité de la biomasse microbienne est très faible comme cela est démontré par les valeurs de l'ATP et du qCO_2 . C'est-à-dire que la biomasse microbienne présente dans le sol, est abondante et en repos. On doit remarquer que l'on a prélevé les échantillons pendant la saison sèche et que l'humidité des sols était entre 5 et 9%. Les sols prélevés dans la rhizosphère des vieux *A. raddiana* ont une quantité de biomasse microbienne comparable à la biomasse d'un sol non rhizosphérique mais l'activité métabolique est supérieure. Les activités des enzymes exocellulaires qui sont importantes pour la minéralisation de l'azote de la matière organique dans le sol, protéase, uréase et L-glutaminase, montre une situation tout à fait différente entre *A. raddiana* 10 ans et *A. armatus* (Fig. 3 et Fig. 4). L'Acacia a une activité protéolytique très élevée qui est presque dix fois plus forte que l'activité de l'enzyme dans la rhizosphère de l'*Astragalus*. L'activité de l'enzyme L-glutaminase qui nous le rappelons, provoque la désamination des aminoacides avec la formation du NH_4^+ , est plus élevée dans l'*Astragalus* que dans l'Acacia. Il est possible que dans la rhizosphère de l'*A. raddiana* les activités d'immobilisation de l'azote soient prédominantes par rapport à la minéralisation complète des matières azotées; c'est-à-dire que la dégradation des protéines s'effectue rapidement, mais les aminoacides sont préférentiellement utilisés par les microbes pour former la nouvelle matière organique et non pas pour continuer la minéralisation. Pour l'*A. armatus*, les processus de minéralisation sont favorisés par une activité élevée de l'enzyme L-glutaminase. Chez les deux espèces on a une activité plus élevée de l'enzyme

phosphatase avec une quantité plus faible de P soluble dans les échantillons du sol rhizosphérique que dans le témoin (Fig. 5). Ce résultat confirme que le niveau de P assimilable inversement lié à l'activité de l'enzyme phosphatase.

Les résultats sur la production de CO₂ pendant 10 jours à humidité et température constante (60% et 25°C) démontrent que la biomasse microbienne présente dans la rhizosphère des plantes analysées est très active pour élever la quantité de CO₂ produite pendant l'incubation. Après 10 jours la quantité de CO₂ produite est deux fois plus élevée dans le sol rhizosphérique par rapport au témoin. Cela est vrai aussi pour les sols prélevés au pied des vieux *Acacia* qui, nous avons vu, montrent une activité métabolique élevée.

Localité de Haddaj

Dans la localité de Haddaj on a prélevé les sols rhizosphériques de jeunes plantes de *A. raddiana* et de *A. armatus*.

L'analyse des paramètres que l'on a testés montre que le sol n'est pas influencé par la présence des racines. Les variations de pH sont les mêmes que pour le sol témoin ; la quantité de biomasse microbienne et son activité métabolique sont les mêmes dans tous les échantillons. Il n'y a aucune différence significative entre les sols rhizosphériques et les sols non-rhizosphériques.

L'analyse de l'activité enzymatique révèle que tous les enzymes testés dans le sol rhizosphérique de l'*A. raddiana* ont une activité plus élevée que le témoin et l'*A. armatus*. Si l'on considère que la plupart des enzymes exocellulaires rencontrées dans le sol sont d'origine microbienne, il est possible que l'activité plus élevée soit le résultat d'une situation favorable au développement de la biomasse microbienne pendant la saison des pluies ; elle libère des enzymes quand elle se réduit à cause des changements des conditions climatiques. Cette hypothèse doit être confirmée en prélevant des échantillons des sols pendant la saison humide.

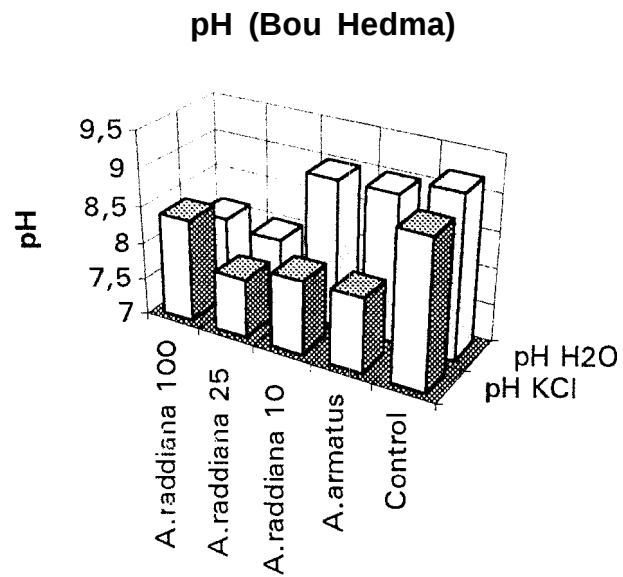


Figure 1

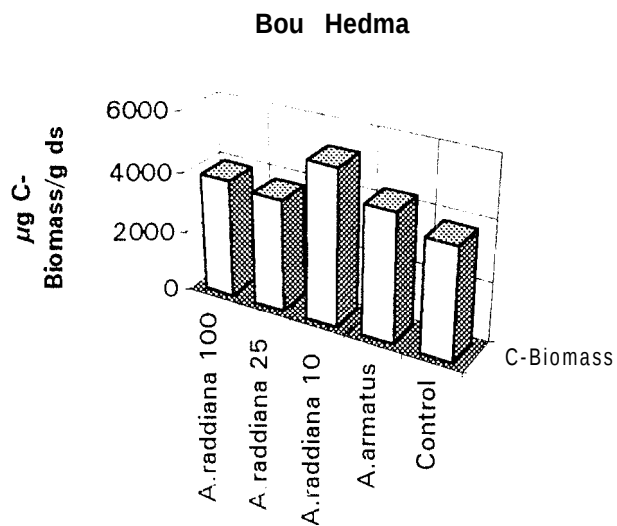


Figure 2

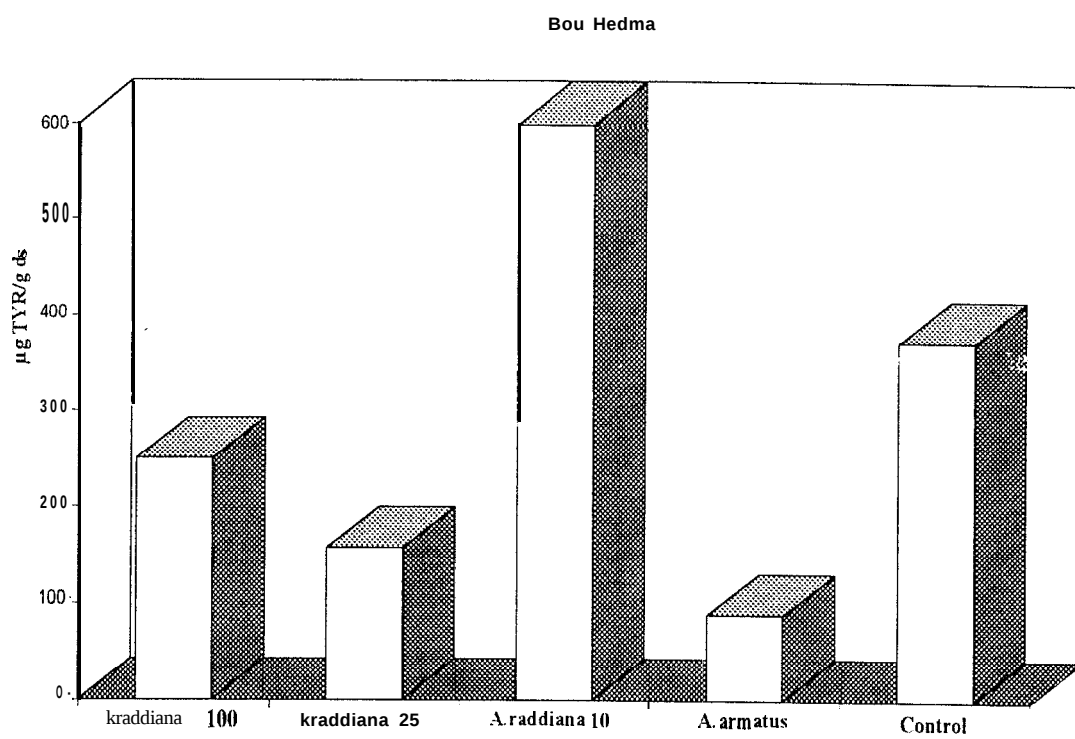


Figure 3

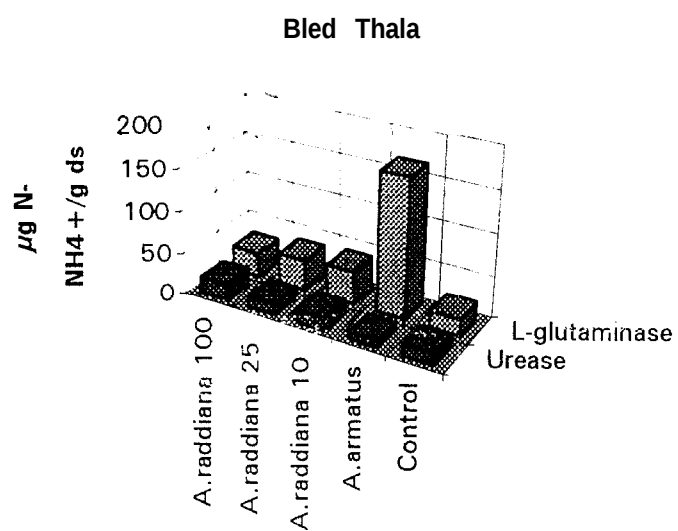


Figure 4

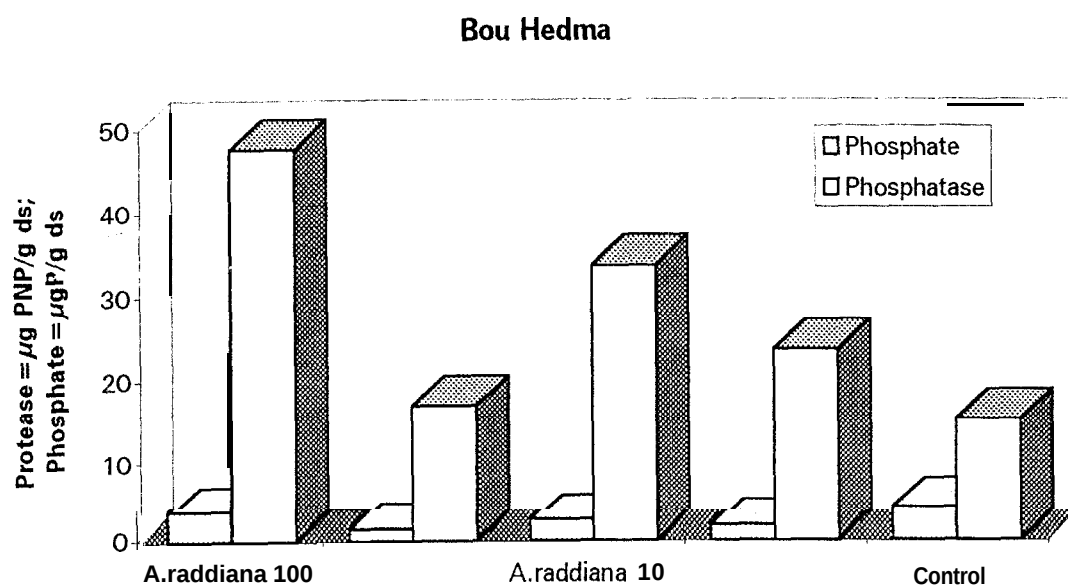


Figure 5

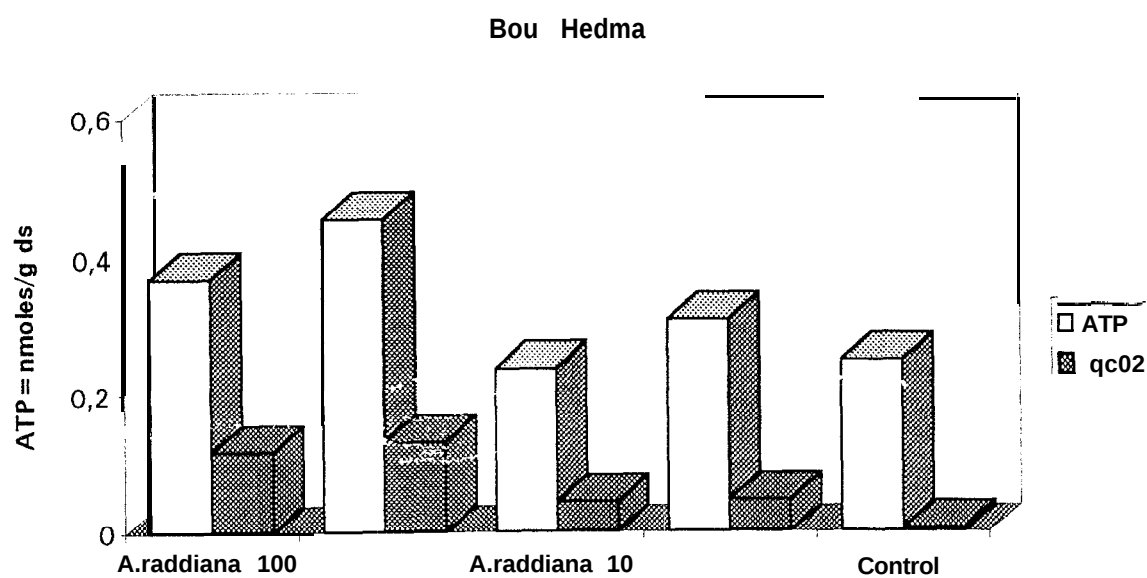


Figure 6

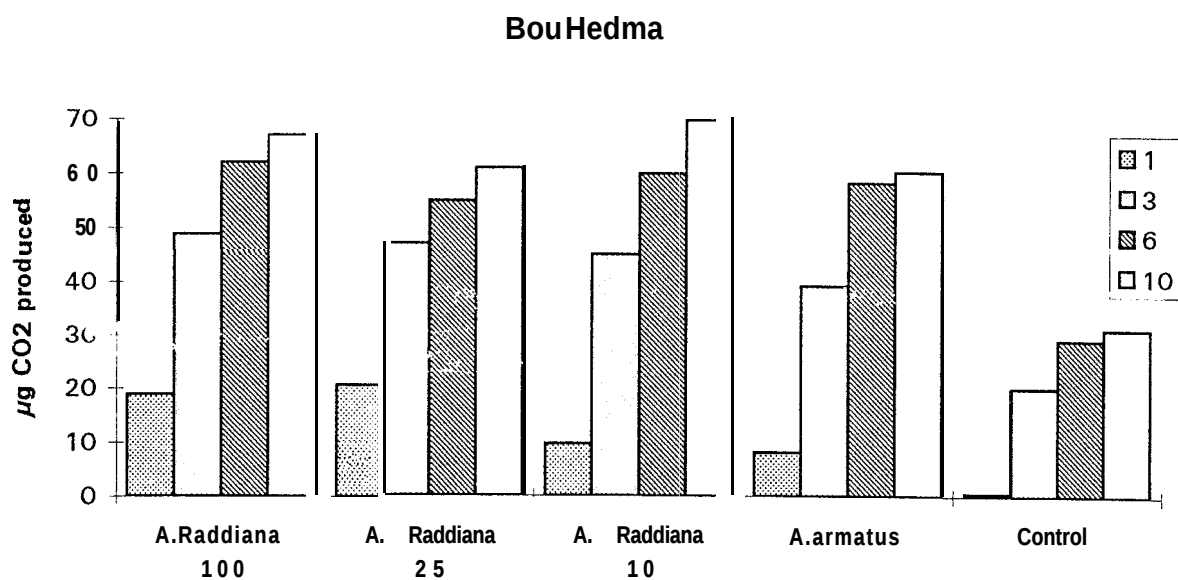


Figure 7

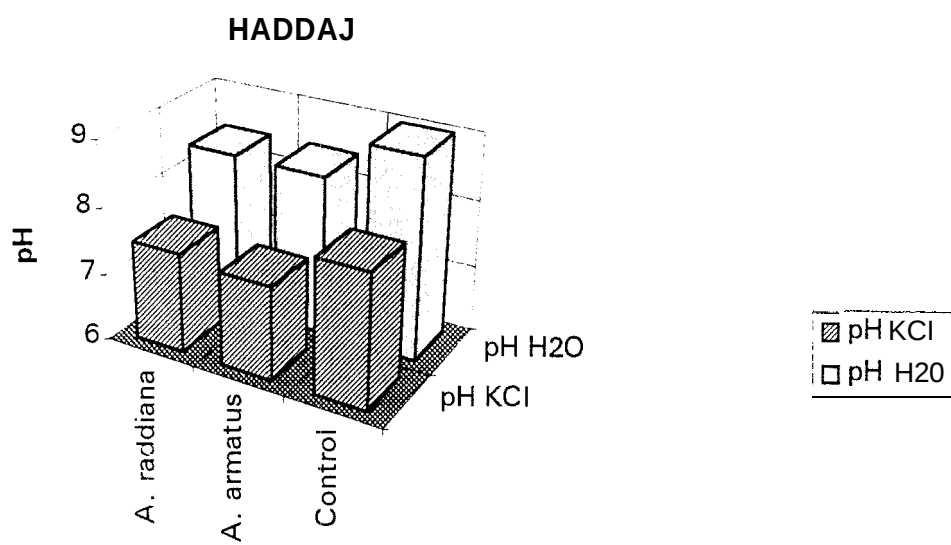


Figure 8

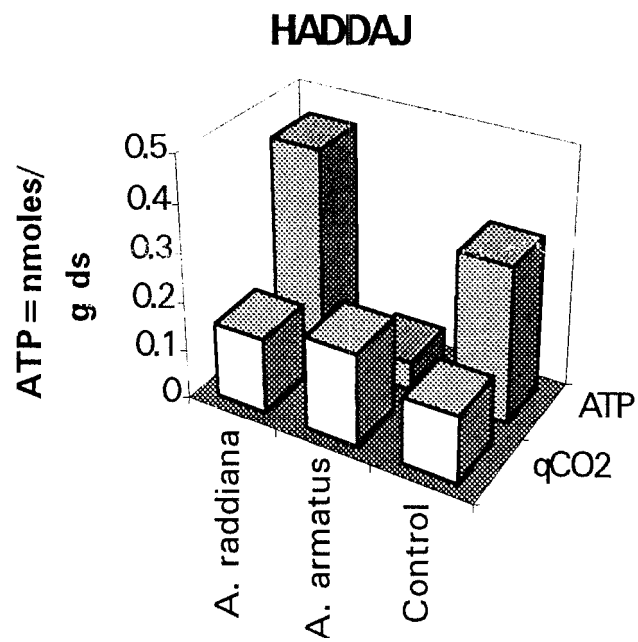


Figure 9

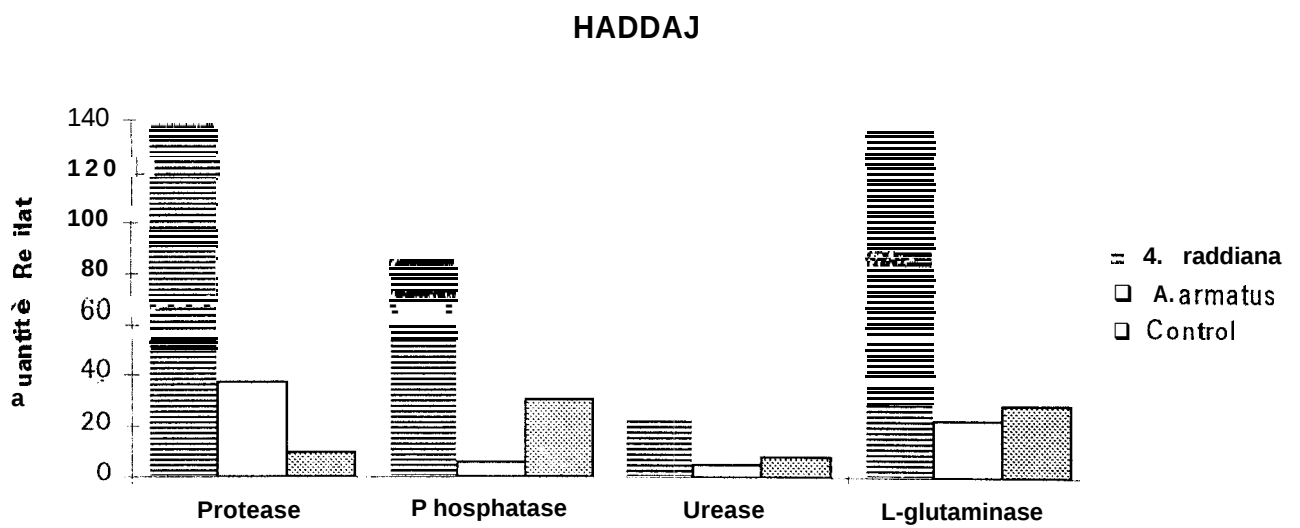


Figure 10

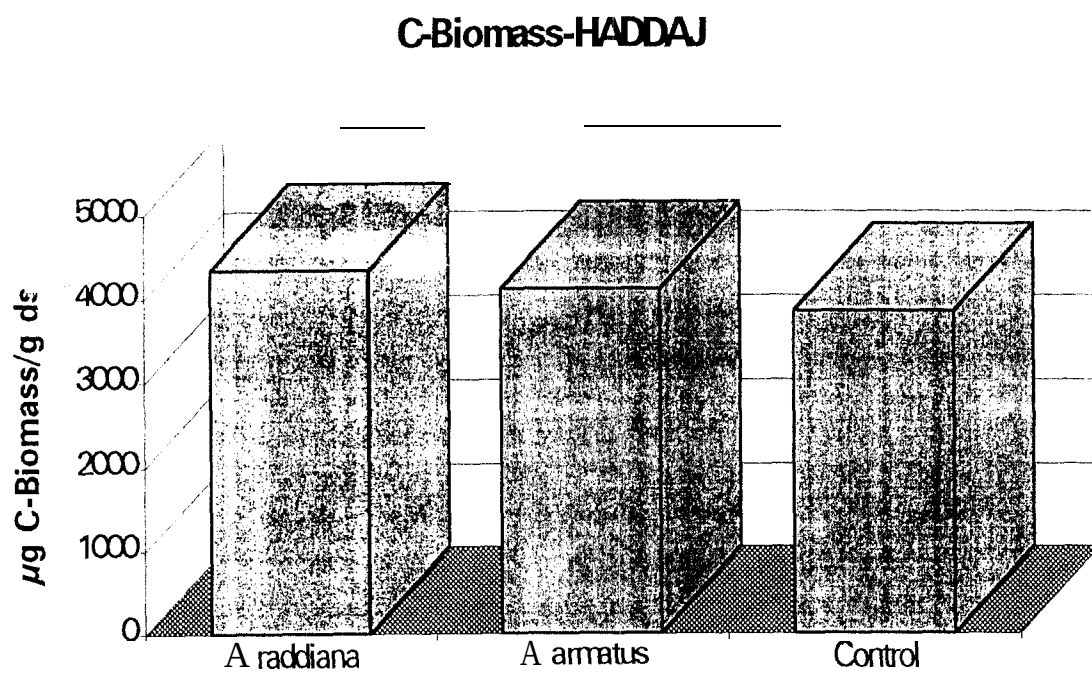


Figure 11

ASPECTS MICROBIOLOGIQUES

Les recherches, pendant la deuxième année, par l'équipe de microbiologie de Viterbo, se sont poursuivies avec la caractérisation physiologique de 8 souches de *Rhizobium* provenant de Tunisie et de 37 souches de la collection de *Rhizobium* du Laboratoire de Microbiologie des Sols de Dakar.

La recherche a porté sur la résistance au sel en milieu liquide et sur la résistance aux antibiotiques. En outre, sur toutes les souches y compris celles étudiées pendant la première année et comprenant 32 isolats obtenus à partir des sols prélevés pendant la prospection CEE au Sénégal (Novembre 1992) sur *Acacia raddiana* et comprenant aussi 7 souches isolées à partir d'un sol sénégalais par le Laboratoire DABAC de Viterbo (Tab.1), nous avons effectué une étude sur la résistance aux hautes températures.

Nous avons même effectué, sur un échantillon de souches, une première étude sur la résistance à l'aridité.

METHODES

Résistance aux hautes températures

Sur tous les isolats nous avons vérifié la croissance à 40°, 42.5°, 45° C.

Toutes les souches ont été repiquées sur YMA (Vincent, 1970) gelosé à l'aide de batonnets de bois stériles (Bio-Mérieux, France) à partir de colonies sur YMA de 72 h. Les boîtes ont été incubées à trois différentes températures.

Résistance au NaCl

La résistance au sel en YMB (Vincent, 1970) liquide a été évaluée en mesurant la densité optique (à 540 nm) des cultures inoculées (1%) en tubes avec 8 ml YMB contenant 0.01, 1, 1.5, 2% NaCl; les lectures ont été réalisées pendant 4 jours toutes les 24 h.

Résistance à l'aridité

La capacité des isolats à se multiplier à un bas potentiel osmotique a été testée en milieu liquide (YMB) dans lequel nous avons ajouté des quantités croissantes de polyéthylène glycole 4000 (PEG, Fluka) jusqu'à obtenir des potentiels correspondants à ceux du NaCl à des concentrations de 1, 1.5, 2%. Les

concentrations ont été définies expérimentalement avec un osmomètre 5500 Vapor Pressure Osmometer (Wescor, USA) (Tab.2). Les essais ont été conduits en milieu liquide en utilisant la même méthode que pour les essais de résistance au sel.

Résistance aux antibiotiques

Neuf différents antibiotiques ont été utilisés à deux concentrations (50 et 100 g/ml) pur déterminer le spectre de résistance des isolats. Des solutions concentrées de streptomycine, ampicilline, erythromicine, polymixine B, acide nalydixique, néomycine, chloramphénicol, kanamycine et rifampicine ont été stérilisés par filtration et ajoutées au milieu Tp (tryptone, peptone, extrait de levure) gélosés avant de les couler en boîtes. Chaque souche a été inoculé en double sur le milieu à l'aide d'un batonnet de bois stérile.

RESULTATS

Résistance aux hautes températures

Toutes les souches étaient capables de se multiplier à 40° C, sauf trois souches provenant du site en profondeur de Louga. La moitié des souches montrait une croissance à 42.5° C, 5 souches à 45° C parmi lesquelles deux souches provenant d'un sol aride, deux d'un sol salin et un isolat de surface (Tab. 3)

Résistance au NaCl

Nous avons testé la résistance au sel en milieu liquide des souches tunisiennes et des celles provenant de la collection ORSTOM.

Alors que la majorité des isolats des sols du Sénégal montraient une croissance à 1% NaCl et certains pouvaient tolérer 1.5 et 2% , les souches provenant de Tunisie étaient inhibées déjà à une concentration de 1% (Tab.4).

Les isolats appartenant aux trois groupes taxonomiques de la collection ORSTOM ont montré une sensibilité différente au sel. Les plus tolérants se sont avérés être les isolats du groupe S qui poussaient à 2% NaCl, suivis par ceux du groupe A parmi lesquels 45% toléraient 1.5% de NaCl et plus de 30% poussaient en présence de 1% de sel. Le groupe SA était le plus hétérogène ,mais la moyenne des souches était inhibée déjà à une concentration de 1%.

Resistance à l'aridité

La tolérance des microorganismes à la sécheresse du sol peut être évaluée en utilisant des solutions qui diminuent l'activité de l'eau en milieu de culture (Al-Rashidi et al, 1982). Le polyéthylène glycole a été choisi par rapport aux polymères à faible poids moléculaire qui pourraient être absorbés par le microorganisme pour équilibrer l'effet osmotique.

Nous avons choisi des souches représentatives des différents niveaux de résistance au sel.

Le stress osmotique causé par la présence de PEG inhibe moins la croissance des bactéries que le stress salin (Tab. 5) ce qui confirme que, à potentiel égal, l'effet toxique des ions s'ajoute à l'effet osmotique du sel (Elsheikh et Wood, 1989).

Résistance aux antibiotiques

La résistance aux antibiotiques a un intérêt écologique car elle confère aux microorganismes une plus grande compétitivité et une capacité de survie plus importante (Shoushtari et Pepper, 1985). Les souches provenant de Tunisie et de la collection ORSTOM se révèlent être plus résistantes à un plus grand nombre d'antibiotiques (plus de 4 antibiotiques sur les neuf étudiés) que les souches provenant du Sénégal testées l'année dernière (Tab 6).

Dans une étude sur les *Rhizobium* de lentilles, Rai (1983) a trouvé que les souches résistantes à la streptomycine et au chloramphénicol, montraient aussi une plus grande tolérance au sel. En considérant les résultats des essais de salinité en milieu liquide, cette hypothèse a été confirmée par les souches du groupe taxonomique A qui sont résistantes à au moins 4 antibiotiques et poussent sur 1.5% de NaCl.

Les résultats de la caractérisation phénotypique de toutes les souches ont été décrits dans la Thèse de Doctorat du Dr Paola Quatrini : " Diversità fenotipica e genotipica di rizobi tropicali isolati da *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* e da altre leguminose perenni" dans laquelle sont aussi étudiés les caractéristiques génétiques suivant les méthodes de pulsed-field electrophoresis et PCR-RFLP.

En outre un chemostat pour l'étude de la survie et de la compétitivité des souches de *Rhizobium* vient d'être mis au point.

¹ GROUPE	ORIGINE	ISOLAT
ORSTOM SA	Sénégal	ORS 929
		ORS 1045
		ORS 1007
		ORS 1009
		ORS 1013
		ORS 1071
		ORS 1025
		ORS 1016
		ORS 1047
		ORS 1057
		ORS 1058
		ORS 1072
		ORS 1073
ORSTOM S	Sénégal	ORS 600
		ORS 609
		ORS 611
ORSTOM A	Sénégal	Pj12
		ORS 1001
		ORS 1004
		ORS 1010
		ORS 1015
		ORS 1018
		ORS 1020
		ORS 1024
		ORS 1026
		ORS 1029
		ORS 1030
		ORS 1031
		ORS 1032
		ORS 1035
		ORS 1036
		ORS 1037
		ORS 1038
		ORS 1040
		ORS 1046
		ORS 1088
SITE 1	Sénégal, St Louis	ORS 1100
		ORS 1101
		ORS 1104
		ORS 1099
		ORS 1103
SITE 58	Sénégal,Diama	ORS 1102
		ORS 1230

Tab.I- Liste des isolats

SITE 59	Sénégal, Diama	0 RS 1231
		0 RS 1232
		0 RS 1233
		0 RS 1234
		0 RS 1236
		0 RS 1237
		5 RA
		0 RS 1238
		0 RS 1239
		0 RS 1240
SITE 61	Sénégal, Souillène	6 D
SITE 23	Sénégal, Gueye Kadar	0 RS 1241
		0 RS 1243
		0 RS 1245
SITE 16	Sénégal, Mbouba	0 RS 1246
		ORS 1249
		ORS 1250
SITE 2	Sénégal, Louga	ORS 1251
		ORS 1255
		ORS 1259
		ORS 1260
		ORS 1267
		ORS 1268
BLED THALA Tunisie		ORS 1423
		ORS 1424
		ORS 1425
		ORS 1426
		ORS 1427
		ORS 1428
		ORS 1429
		ORS 1430

Tab. 1 (continue)

Tableau 2.- Potential osmotique et concentrations de NaCl et PEG dans le milieu YMB

(a) potential osmotique du milieu YMB

Potential osmotique (MPA)	NaCl (%)	PEG (%)
-0.1465 (a)	0	0
-0.9800	1.0	20.30
-1.3760	1.5	24.74
-1.8140	2.0	29.75

Tableau .3- Température maximale de croissance des isolats de *Rhizobium* de l’*Acacia tortilis*.

T max	ISOLATS
30” c	ORS 1259,1267,1268
40” c	ORS1099,1100,1101,1102,1234,1239,1240,1246, 1013,1071,1016,1072,1073, 1001,1004,1010,1014 1015,1024, 1026, 1029, 1031, 1032, 1035,1036, 1037,1038,1088,1423, 1426,1427,1428,1429,1430
42.5” C	ORS1104,1230,1231,1232,1236,1237,1243,1245, 1249,1250,1251,1260,1105,929,1045,1007,1009 1025,1047,1057,1058,600,609,611,1018,1020, 1030,1040,1046,1424 1425,Pj12,59RA
45” c	ORS 1233,1238,1241,1255,61D

Tableau 4 -Tolérance des *Rhizobium* spp au NaCl mesuré par la densité optique (à 540) après 72 h d'incubation

Origine	Isolats	NaCl			
		0.01%	1%	1.5%	2%
Groupe SA	ORS 929	0.82	0.57	0.57	0
	ORS 1045	1.30	0.40	0.08	0
	ORS 1007	0.83	0.58	0.48	0.52
	ORS 1009	0.82	0.30	0	0
	ORS 1013	0.68	0.42	0.50	0.39
	ORS 1071	0.75	0.72	0.55	0
	ORS 1025	0.77	0.17	0	0
	ORS 1016	0.64	0.15	0.09	0.10
	ORS 1047	1.30	0.72	0.12	0.17
	ORS 1057	0.77	0.47	0	0
	ORS 1058	0.75	0.38	0.07	0
	ORS 1073	0.75	0.08	0	0
	ORS 600	0.79	0.72	0.57	0.54
Groupe S	ORS 609	0.82	0.76	0.66	0.46
	ORS 611	0.81	0.79	0.78	0.67
	Pj12	1.16	1.20	0.85	0.54
Groupe A	ORS 1001	0.66	0.34	0.22	0
	ORS 1004	0.60	0.62	0.22	0
	ORS 1010	0.67	0.47	0.32	0.10
	ORS 1014	0.66	0.09	0	0
	ORS 1015	0.54	0.13	0.08	0
	ORS 1018	0.48	0.36	0.54	0.09
	ORS 1020	0.54	0.44	0.35	0.08
	ORS 1024	6.32	--	0.07	0
	ORS 1026	0.61	0.73	0.55	0

Tableau 4.-(continue)

	ORS 1029	0.58	0.32	0.23	0.10
	ORS 1030	0.66	0.63	0.19	0
	ORS 1031	0.65	0.66	0.27	0
	ORS 1032	0.60	0.71	0.37	0
	ORS 1035	0.55	0.27	0.10	0
	ORS 1036	0.53	0.20	0.13	0
	ORS 1037	0.50	0.37	0.21	0
	ORS 1038	0.52	0	0	0
	ORS 1040	0.75	0.50	0.08	0
	ORS 1046	0.56	0.67	0.59	0.24
	ORS 1088	0.62	0.58	0.22	0
Tunisie	ORS 1423	1.13	0.16	0	0
	ORS 1424	1.20	0.18	0	0
	ORS 1425	1.10	0	0	0
	ORS 1426	1.13	0.09	0	0
	ORS 1427	1.10	0	0	0
	ORS 1428	1.15	0.16	0	0
	ORS 1429	1.15	0	0	0
	ORS 1430	1.15	0	0	0

Tableau 5- Tolérance à l'aridité de quelque souche de *Rhizobium* spp. évaluée en ajoutant polyéthylène glycole 4000 (PEG) au milieu YMB à différentes concentrations.La croissance des souches a été estimée en mesurant la densité optique (à 540)

Isolat	Potential osmotique				
	MPa	-0.1465	-0.980	-1.376	-1.814
ORS 1238	0.13	0.10	0.06	0.02	
ORS 1243	0.42	0.18	0.16	0.12	
ORS 1425	0.32	0.13	0.06	0.02	
ORS 1233	0.17	0.18	0.09	0.03	
ORS 1423	0.35	0.17	0.09	0.03	
ORS 1236	0.36	0.17	0.12	0	
ORS 1428	0.44	0.21	0.10	0.04	
ORS 1231	0.36	0.18	0.09	0.02	
ORS 1250	0.43	0.21	0.15	0.07	
ORS 1099	0.39	0.18	0.12	0.05	
ORS 1241	0.44	0.18	0.17	0.07	
ORS 1232	0.49	0.06	0	0	
ORS 1245	0.68	0.22	0.23	0.23	

Tableau 6- Résistance des isolats aux antibiotiques. STR: streptomycine, AMP: ampicilline,ERI: erythromycine, POL: polymixine, NAL: acide nalydixique, NEO: neomycine, CLO: chloramphenicol, KAN: kanamycine, RIF: rifampicine (50 0 g/ml)

Isolat		Antibiotiques							
	STR	AMP	ERI	POL	NAL	NE 0	CLO	KAN	RIF
ORS 929	-		+		+				+
ORS 1007	-		+		+				+
ORS 1009	-		+		+				
ORS 1013	-		+		+				
ORS 1016	-		+		+				
ORS 1025	-	+	+		+		⊕		
ORS 1045	-		+		+				
ORS 1047	-		+		+			⊕	⊕
ORS 1057	-		+		+				-
ORS 1058	-		+		+			⊕	⊕
ORS 1071	⊕		+		+			⊕	⊕
ORS 1072			+		+				-
ORS 1073	-		+		+				⊕
ORS 600	-		+		+		+		⊕
ORS 609	-		+		+		+		
ORS611	-		+		+				
PJ12	-		+		+		+		
ORS 1001	+		+	+				⊕	
ISOLAT	STR	AMP	ERI	POL	NAL	NE 0	CLO	KAN	RIF
ORS 1004	-		+	+	+				+
ORS 1010	-		+	+	+				
ORS 1014	-		+	+	+				
ORS 1018	+		+	+	+				
ORS 1020	+		+	+	+				
ORS 1024	-		+	+	+			⊕	
ORS 1026	-		+	+	+				⊕
ORS 1029	-		+	+	+			+	
ORS 1030	+		+	+	+			+	+
ORS 1031	+		+	+	+			+	+
ORS 1032	+	+	+	+	+			+	+
ORS 1035	-	+	+	+	+			⊕	
ORS 1036	-	+	+	+	+			⊕	
ORS 1037	-	+	+	+	+		⊕	⊕	+
ORS 1038	+		+	+	+			+	
ORS 1040	+		+	+	+				⊕
ORS 1046	+		+	+	+			+	+
ORS 1088	--		+	+	+				
ORS 1423	-		+	+	+				⊕
ORS 1424	-		+		+				⊕
ORS 1425	-		+		+				
ORS 1426	-		+		+		+		⊕
ORS 1427	-		+	+	+		⊕		+

ORS 1428 ■	+	+	-	+	⊕	-	+	-
ORS 1429 ⊕	+	+		+	-	-	+	-
ORS 1430 ■	+	+	-	+	-	-	+	-

Tab.6(continue)

BIBLIOGRAPHIE

Al-Rashidi R. K., Loynachan T. E., Frederick L. R., 1982. Dessication tolerance of four strains of *Rhizobium japonicum*. Soil Biol. Biochem. 14: 489-493.

Elsheikh E.A.E. et Wood M., 1989. Response of chickpea and soyabean rhizobia to salt: osmotic and specific ion effects of salts. Soil Biol. Biochem., 21: 889-895

Rai R., 1983. The salt tolerance of *Rhizobium* strains and lentil genotypes and the effect of salinity on aspects of symbiotic N-fixation. J. Agric. Sci., Camb., 100: 81-86.

Shoushtari N.H. et Pepper I.L., 1985. Mesquite Rhizobia isolated from the Sonoran desert: physiology and effectiveness. Soil Biol. Biochem. 17: 797-802.

Vincent J.M., 1970. A manual for the practical study of the root-nodule bacteria. IBP Handbook n. 15. Blackwell Scientific, Oxford, U.K.

**ISRA/DRPF & ORSTOM
SENEGAL**

Le schéma expérimental est un essai factoriel à 2 facteurs contrôlés et à 5 répétitions. Le premier facteur contrôlé est l'espèce (2 niveaux), le second facteur est la date de récolte (5 niveaux : 33, 53, 95, 120, et 140 jours de végétation).

Les paramètres suivants sont mesurés :

- hauteur de la tige (cm) ; diamètre au collet (mm)
- vitesse de croissance du pivot racinaire,
- biomasse des nodules en mg
- biomasse des racines principales, secondaires et des parties souterraines (mg)
- biomasse des feuilles, des tiges, et des parties aériennes totales (mg)

La figure 11 rassemble les résultats relatifs à quelques paramètres de croissance des parties aériennes des deux espèces.

Au 120^e jour de végétation, la hauteur de la tige principale (F) est significativement supérieure pour *A. raddiana* malgré une assez grande variabilité. Par contre à ce stade de végétation, le diamètre au collet (G) reste très comparable pour les deux espèces. La partie aérienne produit une biomasse (J) qui, à la récolte, se répartit à peu près également entre feuilles (H) et tiges (I), pour chacune des deux espèces. Cette biomasse est pourtant deux fois plus importante pour *A. raddiana* que pour *A. senegal*.

Les résultats relatifs à l'appareil racinaire sont représentés sur la figure 12.

A trois mois de végétation, le pivot racinaire (A) est plus long chez *A. raddiana* que chez *A. senegal*. Cette espèce conserve cette avance.

Pour les deux espèces, la vitesse de croissance, plus élevée que ce que nous avons prévu, dépasse 50 cm par mois. Elle atteint 60 cm en un mois, 120 cm à deux mois, et pour l'espèce la meilleure 160 cm à trois mois puis 200 cm à quatre mois.

La croissance est gênée durant le 5^e mois car le pivot a déjà atteint le fond de la buse. Ces premiers résultats nous conduisent à considérer que les conditions d'élevage en pépinière doivent être revues, car ces espèces sont généralement maintenues en pépinière pendant près de 5 mois dans des containers de 30 cm de hauteur.

Les variations de la biomasse racinaire (E) confirme les meilleures performances d'*Acacia raddiana* aussi bien pour la racine principale (B) que pour les racines secondaires (C).

Il en est de même pour la nodulation qui devient très importante chez *Acacia raddiana* dès le 90^e jour et se maintient, par la suite jusqu'au 140^e jour de végétation, très au-dessus de ce quelle est chez *Acacia senegal*.

Ces premiers résultats montrent les possibilités d'utilisation de ce dispositif pour des études de comportement comparé en conditions semi-contrôlées. Ultérieurement ce dispositif sera utilisé pour évaluer l'effet de contraintes hydriques sur la croissance de différentes légumineuses pérennes.

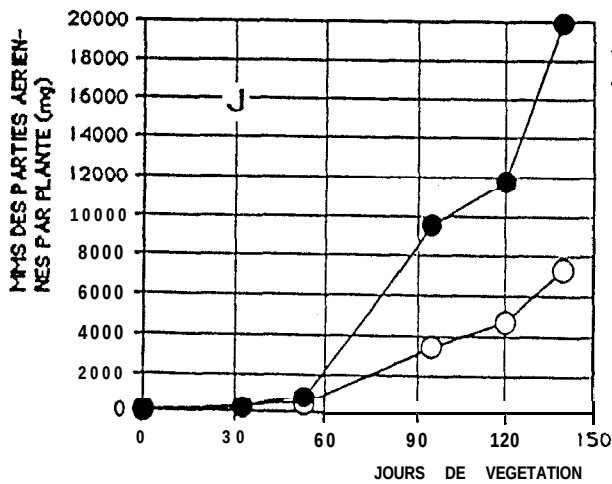
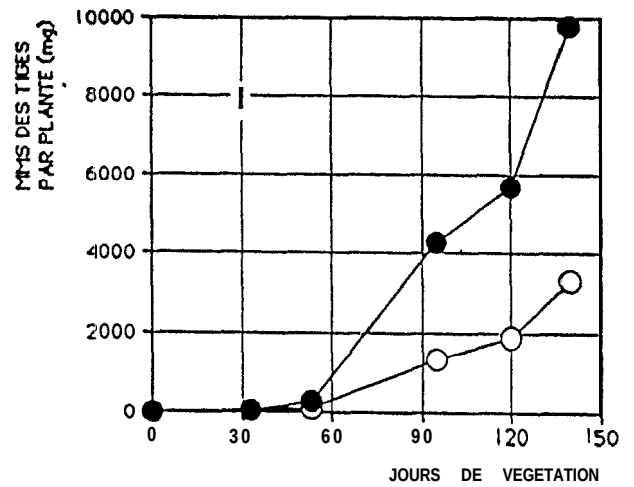
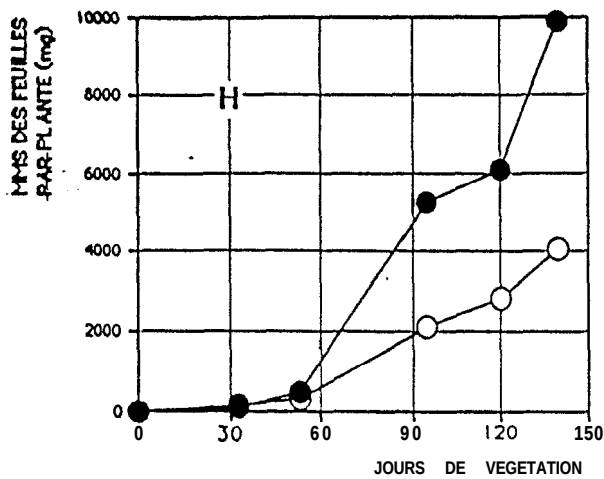
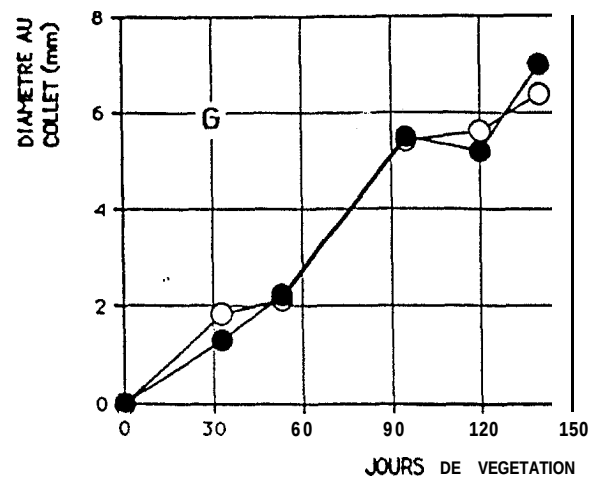
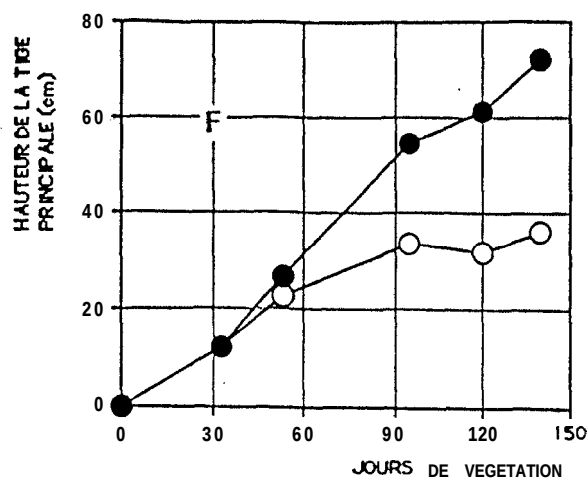


Figure 11. Quelques paramètres de la croissance du système aérien chez des jeunes *Acacia senegal* (A.s) et *Acacia raddiana* (A.r)

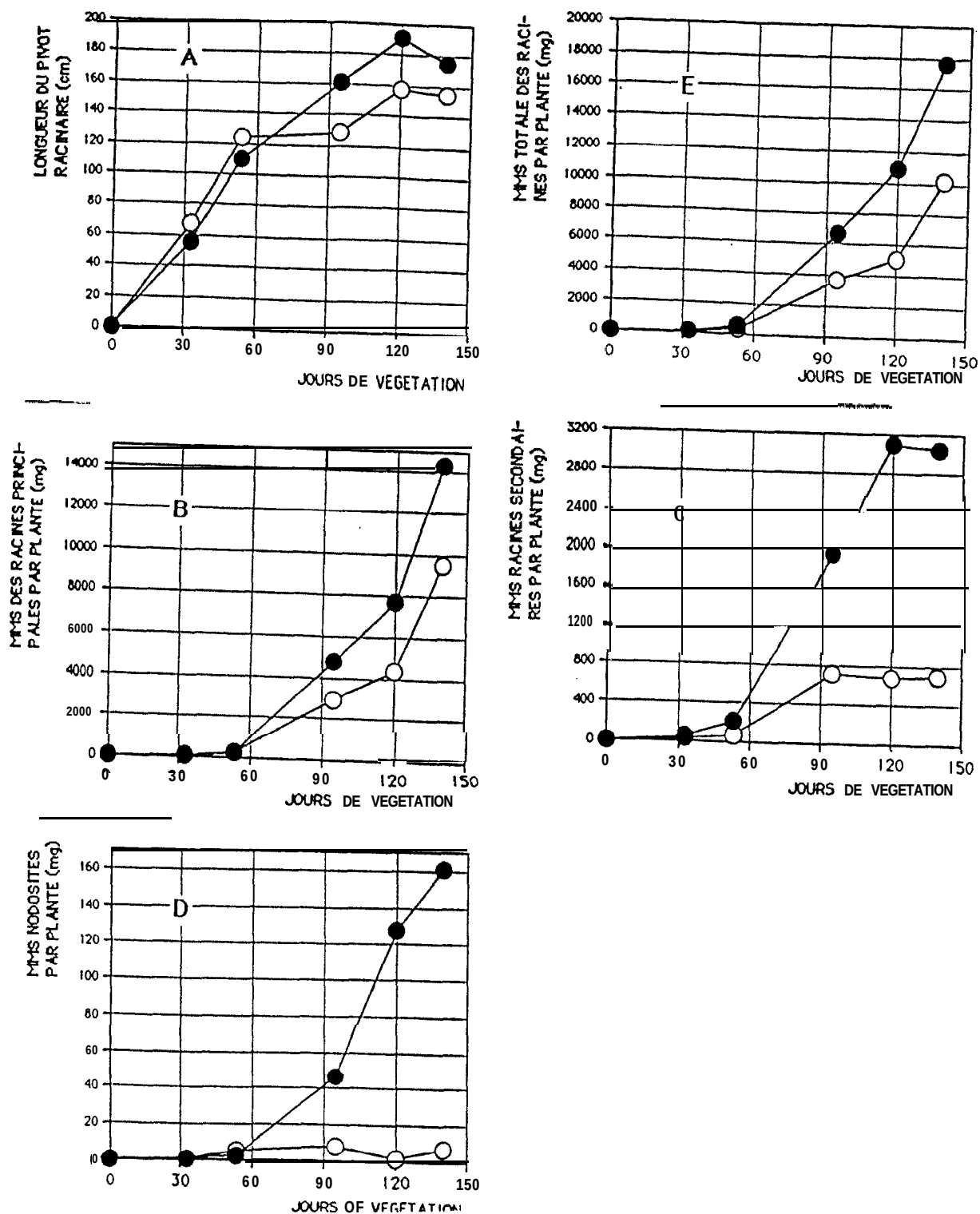


Figure 12. Quelques paramètres de la croissance du système racinaire chez des jeunes *Acacia senegal* (A.s) et *Acacia raddiana* (A. r)

Pour ce qui concerne ce premier essai, on peut conclure que *Acacia tortilis* subsp *raddiana* est avantagée par rapport à *Acacia senegal* au plan de la croissance:

- ses racines atteindront plus vite des couches profondes du sol, susceptibles de conserver quelque humidité au cours des neuf mois de saison sèche,
- la masse de nodosités produite lui assurera, très vraisemblablement, une meilleure alimentation en azote.

CONCLUSIONS

Le comportement d'*Acacia raddiana* doit maintenant être formulé de façon à pouvoir comparer les stations les unes par rapport aux autres. La modélisation de la conductance stomatique sera effectuée en s'inspirant des modèles de JARVIS (1976), AVISSAR et al., 1985 et déjà utilisés avec succès par FOURNIER (1993).

La méthode de flux de sève sera utilisée de manière plus importante.

Une étude sur les petites légumineuses pérennes notamment les *Indigofera* sera mise en place.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AKPO L.E., 1992.- Influence du couvert ligneux sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée en milieu sahélien. Les déterminants écologiques. TDM, éd. ORSTOM, 174 p.

ALBERGEL J., 1988.- Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso, du m² au km² étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Coll. Et. et Th., Ed. ORSTOM, Paris, 341 p.

AVISSAR R. et al., 1985.- A model to simulate response of plant stomata to environmental conditions. Agric. For. Meteorol., 34, 21-39.

BARRAL H., BENEFICE E., BOUDET G., 1983.- Systèmes de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo. Synthèse de fin d'études d'une équipe de recherches pluridisciplinaire. ISRA, ORANA, OCCGE, GERDAT - ORSTOM, Paris, 172 p.

BLANFORT V., 1991.- Contribution à l'établissement d'un bilan fourrager pour trois terroirs agropastoraux de la Casamance (Sénégal). Volume 1. Programme ABT-IEMVT-ISRA, 165 p.

BOUDET G., CORTIN A., MACHER H., 1971.- Esquisse pastorale et esquisse de transhumance de la région du Gourma (République du Mali). Essen, DIWI Gesellschaft für ingenieurberatung, Maisons-Alfort, I.E.M.V.T., Trav. Agr. n° 9, 283 p.

CARRIERE M., 1984.- Les communautés végétales sahéliennes en Mauritanie (région de Kaedi); Analyse de la reconstitution annuelle du couvert herbacé. Thèse de Doctorat troisième cycle, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 231 p.

COLONNA J.P., THOEN D., DUCOUSSO M., BADJI S., 1991.- Comparative effects of *Glomus mosseae* and P fertilizer on foliar mineral composition of *Acacia senegal* seedlings inoculated with Rhizobium. Mycorrhiza, 1, 35-38.

DE MIRANDA E.E., 1980.- Essai sur les déséquilibres écologiques et agricoles en zone tropicale et semi-aride. Le cas de la région de Maradi au Niger. Thèse U.S.T.L., Montpellier, 186 p.

FLORET C., PONTANIER R., 1982.- L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et documents de l'ORSTOM, 150, Paris, 544 p.

FOURNIER A., 1991.- Phénologie croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'ouest, variations selon un gradient de sécheresse. Thèse

FOURNIER C., 1993.- Fonctionnement hydrique de six espèces ligneuses coexistant dans une savane sahélienne (Région du Ferlo, nord-Sénégal). Thèse Doctorat 3e cycle, Université Paris XI, Orsay, 165 p.

GROUZIS M., 1988.- Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'oursi, Burkina Faso). Eds de l'ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, 336 p.

GROUZIS M., 1993.- Phénologie de deux espèces ligneuses sahéliennes : aspects méthodologiques et influence des facteurs du milieu : 145153, in « Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides », Groupe d'Etude de l'arbre, A.Riedacker, E. Dreyer, C. Pafadman, H. Joly et G. Bot-y Ed., John Libbey, Eurotext, Paris, 489p.

GROUZIS M., NIZINSKI J., FOURNIER C., 1991.- Interactions entre arbre et herbe au Sahel : effets sur la composition floristique et sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau, pp. 131 144. in : Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. RIEDACKER A., DREYER E., PAFADMAN C., JOLY H., BORY G., Ed., Séminaire Paris - Nancy, John Libbey Eurotext, Paris, 489 p.

GROUZIS M., SICOT M., 1980.- A method for the phenological study of browse populations in the Sahel : the influence of some ecological factors. in « Browse in Africa, the current stage of knowledge », Le Houerou Ed., ILCA, Addis Ababa, 233-243.

LE HOUEROU H.N., 1989.- *The Grazing Land of The African Sahel. Ecological Studies* 75, Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 282 p.

BREDA N., 1990.- Fonctionnement écophysiological du chêne sessile (*Quercus petraea* Matt. Liebl) en conditions naturelles. Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des travaux des eaux et forêt, INRA.

DIOUF M., 1993.- L'eau dans le système sol - plante - atmosphère : concepts, méthodes d'étude, application à *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* (Savi, Brenan). Mémoire de D.E.A., Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 132p.

EYOG MATIG O., DREYER E., 1991.- Fonctionnement hydrique de quatre essences de reboisement au Nord-Cameroun : évolution saisonnière du potentiel hydrique et de la conductance stomatique. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, I-7, Groupe d'Étude de l'Arbre, Paris.

GUTIERREZ M.V., et al., 1994.- The effect of environmentally induced stem temperature gradients on transpiration estimates from the heat balance method in two tropical woody species. *Tree Physiology*, 14, 179-190.

CABIBEL B., DO F., 1991.- Mesures thermiques des flux de sève et comportement hydrique des arbres. II. Evolution dans le temps des flux de sève et comportement hydrique des arbres en présence ou non d'irrigation localisée. *Agronomie*, 11, 757-766.

HUGUET J.G., et al., 1992.- Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation, *J. of Horticultural Science*, 67, 5, 631-640.

JARVIS P.G., 1976.- The interpretation of the variation in leaf water potential and stomatal conductance found in the field. *Phil. trans. R. Soc. Lond. B.*, 273, 593-610

KATERJI N., et al., Diagnostic des périodes de contrainte hydrique chez des plantes d'aubergine cultivée en serre, au moyen des microvariations des tiges. *Agronomie*, 10, 541-549.

LOUSTAU D., GRANIER A., EL HADJ MOUSSA F., 1990. Evolution saisonnière du flux de sève dans un peuplement de pins maritimes. *Ann. For. Sci.*, 21, 599-618.

PALLARDY S.G. ; KOZLOWSKI T.T., 1980.- Cuticle development in the stomatal region of *Populus* clones. *New Phytologist*, 85, 363-368.

MOONEY H.A. ; SIMPSON B.B. ; SOLBRIG O.T., 1977.- Biology in two desert ecosystems, 18p.

CARLIER G. ; PELTIER J.P. ; GIELLY L., 1992.- Comportement hydrique du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) dans une formation montagnarde mésoxérophile, *Ann. Sci. For.*, 49, 207-223.

AUSSENAC G., 1985.- Le potentiel hydrique de l'arbre : une donnée essentielle pour la compréhension de l'écophysiologie des essences forestières. *Sci. Sol*, 217-226.

BESNARD G. ; CARLIER G., 1990.- Potentiel hydrique et conductance stomatique des feuilles de frêne (*Fraxinus excelsior* L.) dans une forêt alluviale du Haut-Rhône français. *Ann. Sci. For.*, 47, 353-365.

LEBRUN J. P., 1973.- Enumération des plantes vasculaires du Sénégal. Maisons-Alfort, IEMVT, *ét. bof.* 2 : 209 p.

MITJA D., 1990.- Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de la Côte d'Ivoire (Booro-Borotou, Touba). Thèse Doctorat, Université de Paris VI, *Paris*, 314 p.

MOONEY H.A., PARSONS D.J., 1974.- Plant development in mediterranean climates, in « Phenology and seasonality modelling », H.Lieth Ed., Berlin, Springer-Verlag, 255268.

NDIAYE M., 1993.- Place des légumineuses pérennes dans les systèmes de production des zones arides et semi-arides du Sénégal. DESS, CRESA, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, 70 p.

NOUVELLET Y., 1992.- Evolution d'un taillis de formation naturelle en zone soudanienne du Burkina Faso (fascicule 1). Thèse Doc. Sci. Bof. *Trop.*, Univ. Paris VI, 209 p.

POUPON H., 1980.- *Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal*. Travaux et documents de l'ORSTOM, 115, p.

RAYNAL J., 1964.- Etude botanique des pâturages du Centre de Recherches Zootechniques de Dahra-Djioloff (Sénégal). O.R.S.T.O.M., Paris, 99 p.

ROCHETEAU A., 1994.- Station de Dahra : Données météorologiques 1993-1994, ORSTOM, Dakar, 20p. multigr..

ROCHETEAU A., 1994.- Station de Souilène : Données météorologiques 1993-1994, ORSTOM, Dakar, 20p. multigr..

SELLES G., BERGER A., 1990.- Physiological indicators of plant water status as criteria for irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*, 278, 87-99.

SIMONNEAU T., et al., 1993.- Diurnal changes in stem diameter depend upon variations in water content : direct evidence in peach trees. *J. of Experimental Botany*, 44, 260, 615621.

2.1.4. Mesures en continue de l'état hydrique du végétal : Mise au point méthodologique

L'état hydrique de la plante dépend de l'état hydrique du sol, de la demande évaporative de l'atmosphère mais aussi des caractéristiques intrinsèques à la plante (structure du feuillage, distribution racinaire, conductance hydraulique).

Les indicateurs direct (potentiel hydrique) ou indirect (conductance stomatique) ne permettent pas un suivi en continue des contraintes hydriques subies par les individus dans les conditions naturelles et de décrire les modifications qu'elles entraîneraient dans leur fonctionnement hydrique (LOUSTAU et al. 1990).

Parmi les méthodes actuellement utilisées nous avons la méthode de mesure thermique du flux de sève (LOUSTAU et al., 1990, CABIBEL et DO, 1991, GUTIERREZ et al., 1994) et celle des microvariations du diamètre du tronc (SELLES et BERGER 1990, KATERJI et al., 1990, SIMONNEAU et al., 1993, HUGUET et al., 1992...). Ces deux méthodes ont été testées en conditions naturelles sur *Acacia raddiana*.

Capteurs de déplacement linéaire

La mesure des variations de diamètre du tronc est effectuée à l'aide des capteurs de déplacement linéaire (CDL), placés dans un support et fixé, sur le tronc de l'arbre. Le CDL est constitué d'un noyau magnétique qui se déplace dans un bobinage. La tension de sortie du capteur est une fonction linéaire de la position du noyau dans le bobinage. Le signal de sortie est amplifié par un conditionneur de signaux ainsi que les autres données (rayonnement, température, humidité, pluie).

A titre d'exemple la figure 9 donne les variations de diamètre du tronc d'un *Acacia radianna* et du rayonnement. Ce graphique permet d'observer un rythme nycthéméral (contraction-dilatation) situé le long d'une pente croissante. Ce caractère traduit la croissance du tronc.

Le 19 août (temps clair) le diamètre maximale est observé en début de journée (8h). Puis au fur et à mesure que la demande évaporative augmente, le diamètre se contracte pour atteindre une contraction maximale vers les 17h. C'est cette contraction maximale (différence entre la dilatation optimale et la contraction maximale) qui représente la participation du phloème au flux transpiratoire et qui constitue l'indicateur de l'état hydrique.

L'observation des variations de diamètre du tronc au cours des journées du 12 et du 26 août où ont été enregistrés des perturbations permet d'affirmer la sensibilité de la méthode.

A noter aussi que l'évolution nette du diamètre maximal journalier correspond à la croissance journalière du tronc. Du 19 au 26 août, la croissance moyenne du tronc est de $35\mu\text{m.j}^{-1}$.

La mesure thermique du flux de sève

La mesure est effectuée par voie thermique à l'aide d'un manchon SGB50-WS adapté à des troncs de diamètre 45-65 mm (DYNAMAX INC., Houston, Texas).

Le principe est basé sur la chauffe en continu d'un segment de tronc. Une dissipation de la chaleur par conduction (sens radial et vertical) est observée ainsi qu'un transport convectif par le flux de sève. La quantité de chaleur transportée est convertie en densité de flux en fonction de l'augmentation de la température de sève.

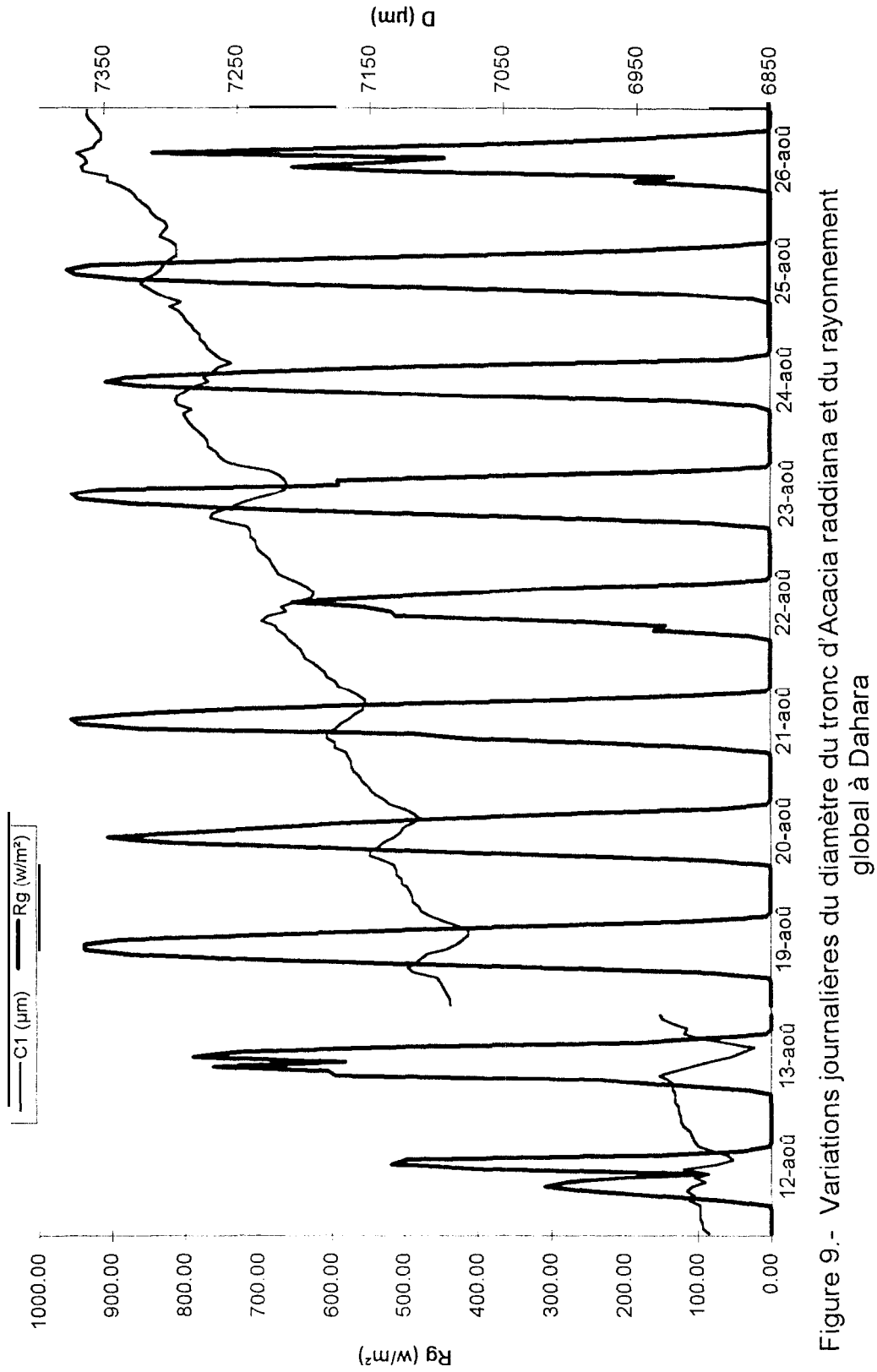


Figure 9.- Variations journalières du diamètre du tronc d'Acacia raddiana et du rayonnement global à Dahara

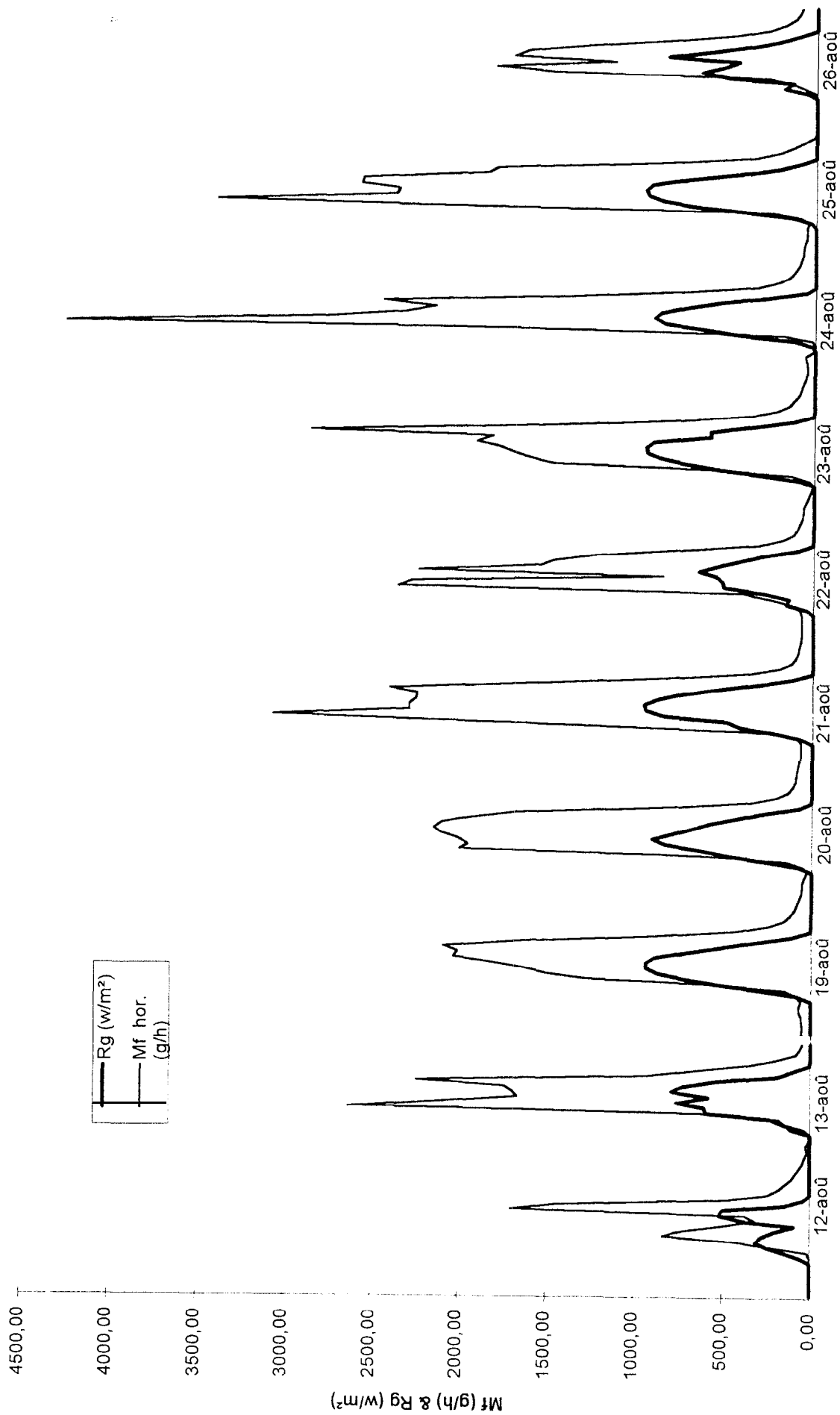


Figure 10. - Variations journalières du flux de sève et du rayonnement global.

Les signaux sont enregistrés en continue sur une centrale d'acquisition de données. (voir Manuel du constructeur pour le détail des opérations techniques).

La figure 10 représente les variations horaires du flux de sève d'un *Acacia raddiana* (diamètre de la branche = 60mm) et du rayonnement global, pris comme indice de la demande évaporative.

L'examen des courbes relatives à la journée du 19 août 1994 par exemple (temps clair), permet de noter dans l'évolution du flux de sève :

- ⌚ une phase d'accroissement rapide du flux en relation avec l'augmentation du rayonnement
- ⌚ une phase de stabilisation à ces valeurs élevées (2000g/j), correspondant aux heures chaudes de la journée
- ⌚ une phase de décroissance des valeurs du flux en relation avec la diminution de la demande climatique et donc des phénomènes transpiratoires.

On peut remarquer que le flux ne s'annule pas entièrement pendant la nuit. Ces flux nocturnes sont interprétés comme étant à l'origine de la reconstitution des réserves en eaux des parties aériennes (CABIBEL et DO, 1991). L'examen des courbes relatives aux journées du 12, 13, 22 et 26 août pour lesquelles des passages nuageux ont été enregistrés montrent une synchronisation, avec un léger décalage de la réponse du flux, des cinétiques de flux aux variations du rayonnement global.

Les valeurs cumulées du flux à l'échelle de la journée peuvent être assimilées aux valeurs de la transpiration journalière, à condition toutefois de vérifier l'égalité des potentiels de base des journées successives et d'étalonner la sonde. En admettant ces vérifications qu'il faudra entreprendre dans le futur, la transpiration moyenne d'un *Acacia* (diamètre = 60 mm) en pleine saison des pluies serait de l'ordre de 16 litres par jour.

2.2. Observations en conditions semi-contrôlées

2.2.1. Croissance comparée des systèmes racinaires et aériens d'*Acacia tortilis* subsp *raddiana* et d'*Acacia senegal*

L'objectif de cette étude préliminaire est de comparer, dans des conditions identiques, la croissance de deux espèces d'*Acacia* présentant un intérêt dans les opérations de , en raison des symbioses qu'elles développent avec les *Rhizobium* et les endomycorhizes (Colonna et al. , 1991).

Le dispositif expérimental comporte des buses de PVC de 32 cm de diamètre et de différentes hauteurs en fonction de la durée de croissance des plantes :

- 50 cm de hauteur pour des plants de 33 jours,
- 100 cm de hauteur pour des plants de 53 jours,
- 150 cm de hauteur pour des plants d'âge supérieur (90, 120, 140 jours).

Les buses contiennent un sol sableux courant du Sénégal, remis à la capacité au champ tous les trois jours.

Les semences pour chaque espèce sont constituées par une seule provenance et sont fournies par la DPRF/ISRA.

La floraison débute le 14/9 (date moyenne entre les observations du 7/9 et du 21/9). 75 % des individus portent des fleurs. La durée de cette phase est de 114 jours. Remarquons qu' une coulure est observée le 8/10 en relation avec la phase de déficit pluviométrique.

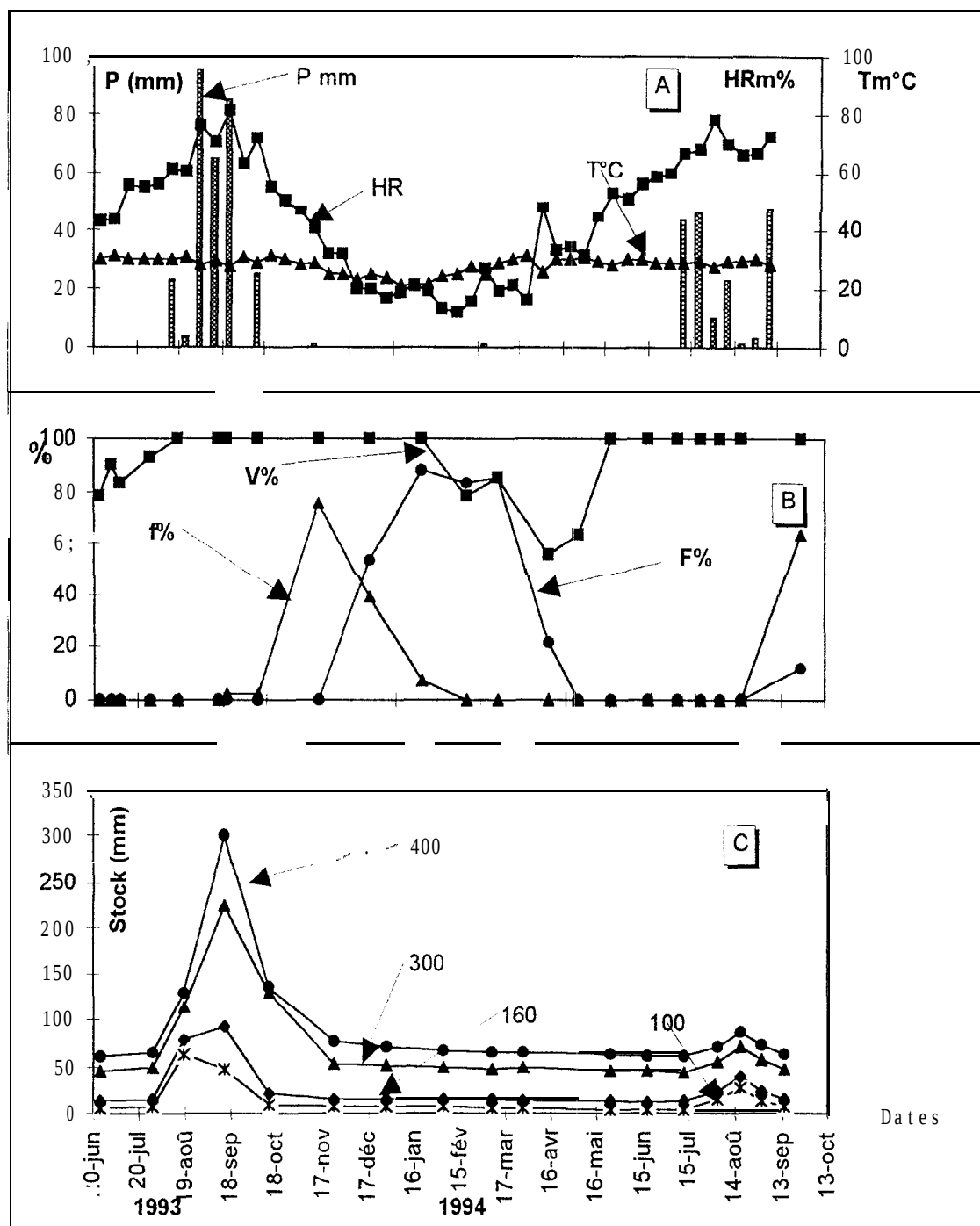


Figure 4. Spectre phénologique d '*Acacia raddiana* à Souilène et variations de certains facteurs du milieu (moyenne décadaire de l'humidité relative (HR%) et de la température (Tm°C) ; précipitations décadaires (Pmm) ; réserve hydrique du sol (mm))

34 % seulement des individus portent des fruits, soit environ la moitié des individus qui ont fleuri. Le début de la phase de fructification se situe le 15/11 (moyenne entre les observations du 4/11 et du 26/11). La fructification dure 174 jours.

A Souilène (fig.4), les pluies enregistrées en 1993 s'élèvent à 297 mm. En 1994, les précipitations sont beaucoup moins élevées (175 mm, soit près de la moitié de l'année précédente). De plus les précipitations sont concentrées entre la 3e décade de juillet et septembre. Dans cette station l'évolution de la réserve hydrique du sol reflète aussi les variations des précipitations. Cette réserve est très importante en 1993. Elle augmente à compter du 29/7, atteint une valeur optimale le 14/9 et revient à son niveau de saison sèche pratiquement à partir du 29/12 et ce jusqu'au 12 juillet de l'année 1994. Cette année la réserve hydrique n'est pratiquement pas reconstituée.

Dans cette station *Acacia raddiana* reste pratiquement feuillée toute l'année. Le minimum observé se situe en mai, où 53 % des individus portent encore des feuilles. La floraison débute le 18/9, passe par un maximum de 76% le 24/11. La durée de la phase de floraison est de 154 jours. La fructification est importante : 87 % des individus sont en fructification. Elle débute le 11/12 et dure 153 jours .

Les résultats relatifs à la comparaison des spectres phénologiques de *Acacia raddiana* dans les deux stations sont rassemblés dans le tableau 2 et la figure 5.

Tableau 2. Valeurs caractéristiques déduites des courbes de fréquence.

Nature	FLORAISON		FRUCTIFICATION	
	Dahra	Souilène	Dahra	Souilène
Début	14/9	18/9	15/11	11/12
Durée	114j	154j	174j	153j
Forme & Importance	2(23%;75%)	1(76%)	1(34%)	1(85%)

Ces résultats révèlent une variabilité intersite relativement importante des comportements. Pour ce qui concerne la phase végétative, la mise en place des feuilles et la défeuillaison sont plus précoces à Dahra qu'à Souilène, où d'ailleurs plus de 50% des individus de la population ne perdent pas leur feuilles.

La date du début de la floraison est similaire à Dahra et à Souilène. Il en est de même du volume de la floraison, mais la durée de cette phase est plus élevée à Souilène.

À Dahra, le début de la fructification serait plus précoce et la durée plus longue. Par contre le niveau de fructification est largement à l'avantage de la station de Souilène (85% contre seulement 34% des individus en fruits).

Cette variabilité de comportement est à mettre globalement en relation, tout au moins pour l'année 1993 avec les niveaux de réserve hydrique très différents entre les deux stations, malgré des précipitations du même ordre de grandeur (296 mm). Comme les sols sont de même nature, cette différence peut être due à :

- des phénomènes de ruissellement dans la station de Souilène.

- des méthodologies différentes dans l'établissement des courbes d'étalonnage de la sonde à neutron³.

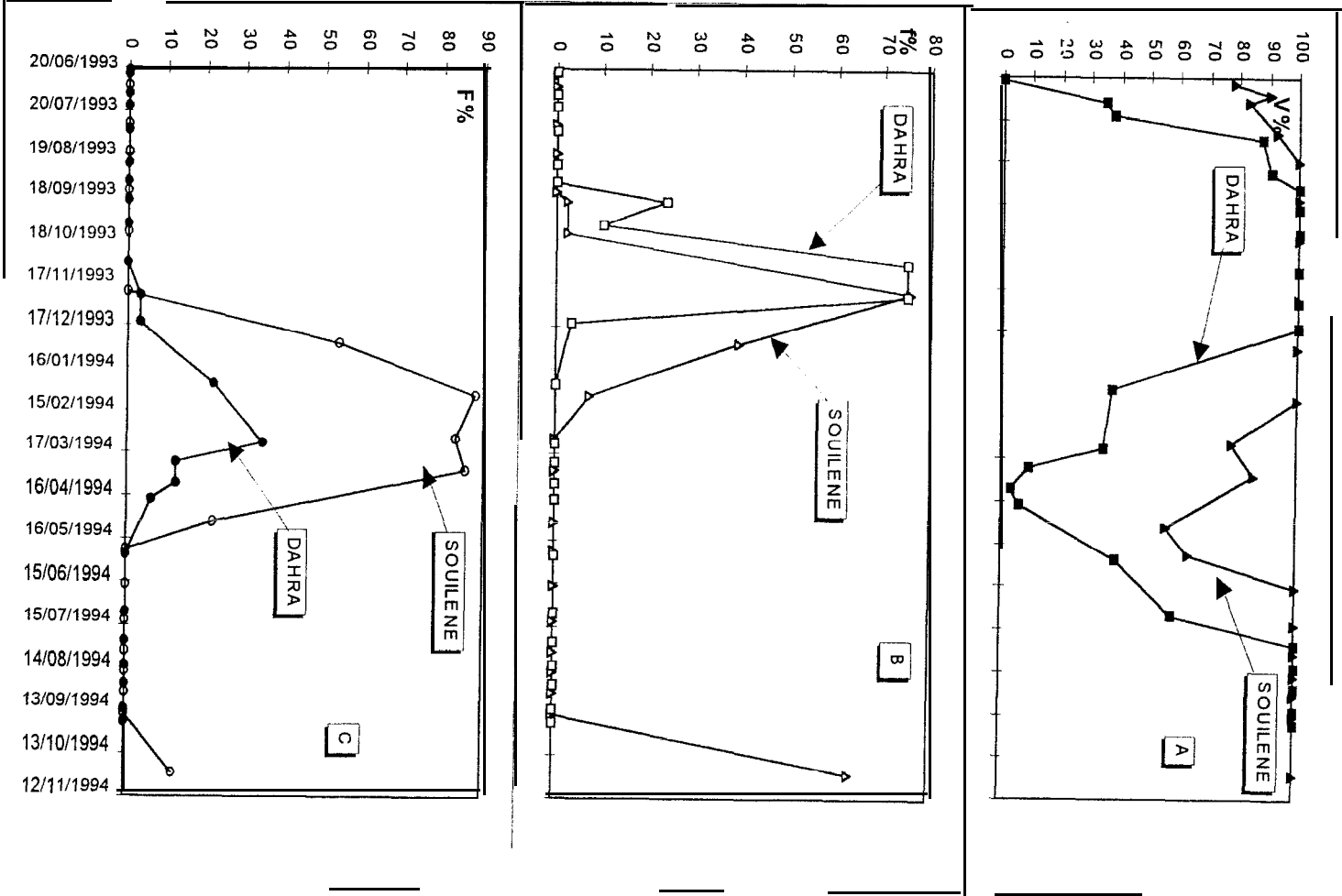


Figure 5. Spectres phénologiques comparés pour les deux stations

³ Contrairement à NIZINSKI (communication verbale, mais données non disponibles) qui étalonne sa sonde avec des échantillons de sol de saison sèche et des points eau, nous avons prélevé des échantillons de sol correspondant à une large gamme d'humidité et corrigé systématiquement les comptages à la sonde par les valeurs du point eau.

L'observation des figures 3 & 4 ne semblent toutefois pas montrer l'influence de la réserve hydrique sur la mise en place de la feuillaison. Celle-ci, aussi bien à Dahra qu'à Souilène se manifeste bien avant la recharge de la réserve hydrique du sol et même avant les premières précipitations. La mise en place du feuillage (débourrement) serait plus probablement liée à la libération des solutés osmotiquement actifs dans les vaisseaux du xylème, comme le suggèrent les observations de FOURNIER (1994) sur le remontées de tension de sève de base en pleine saison sèche après les étapes de défoliation et juste avant le débourrement. Nous illustrerons ce phénomène dans l'étude suivante sur les variations saisonnières de la tension de base.

2.1.3. Le fonctionnement hydrique d'*Acacia raddiana*

Les résultats suivants ne concernent que la station de Dahra

Variations saisonnières des potentiels hydriques de base (T_s base), minimum (T_s min) et de récupération (T_s réc)

Trois types de potentiel ont été mesurés sur des rameaux feuillés en raison de la trop petite longueur du pétiole avec au moins trois répétitions.

- Le potentiel de base : il correspond au potentiel d'équilibre entre la rhizosphère et la plante quand le flux d'eau du sol aux racines est nul (en fin de nuit).
- Le potentiel minimum: il représente la contrainte hydrique interne maximale journalière résultant du bilan entre le taux de transpiration et d'absorption.
- Le potentiel de récupération : il est mesuré deux heures après le coucher du soleil (FOURNIER, 1993), et représente le potentiel de la plante lorsqu'il n'y a plus de pertes (ou qu'elles sont négligeables) et lorsque celle-ci retrouve (en partie ou entièrement) l'eau perdue au cours de la journée. C'est d'ailleurs, un indice à la fois de la capacité et de la vitesse d'une plante, à rétablir son équilibre hydrique avec le sol (DIOUF, 1993).

Au cours de notre période d'étude (22/06/1993 au 20/09/1994), le suivi du potentiel de base permet d'une part, de situer la réhumectation du sol avec l'apparition des pluies et d'autre part, d'observer l'installation progressive de la sécheresse édaphique. La figure 6 montre qu'entre le 22/06/1993 et le 08/09/1993, on a une remontée significative du potentiel de base dès les premières pluies.

Ce moment correspond au maximum de la réserve hydrique (180,5 mm Figure 3) pour une épaisseur de 450 cm. Cela concorde bien avec les résultats de (BREDA, 1990).

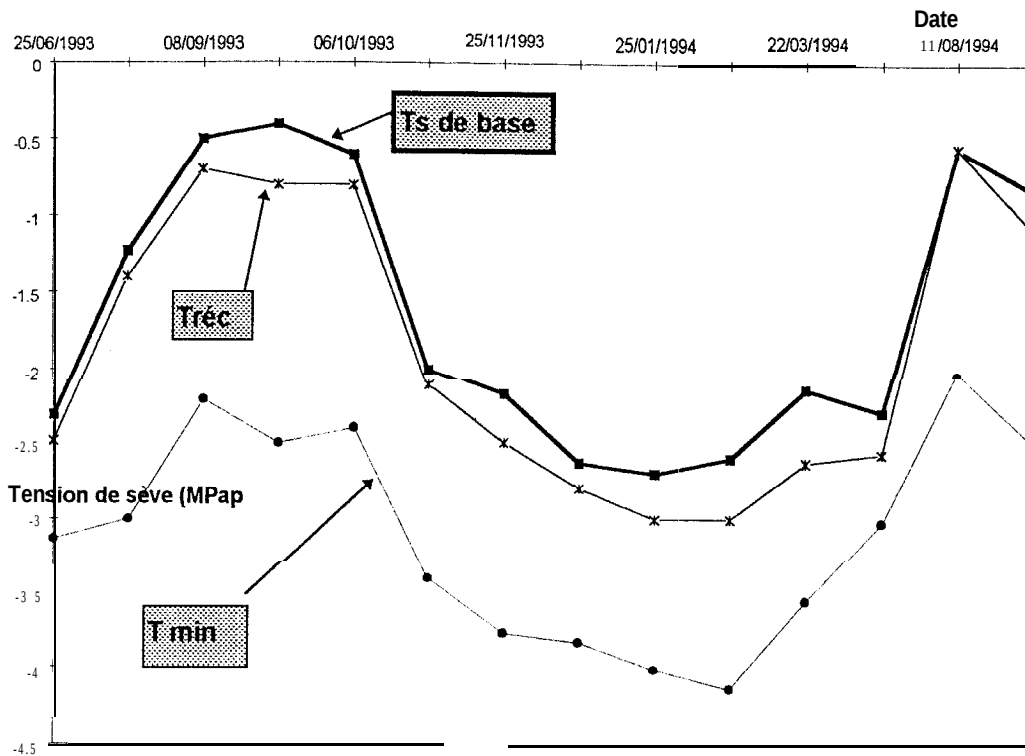


Figure 6. Evolution saisonnière de la tension de sève de base (Ts base), de récupération (Ts rec) et minimum (Ts min)

Au delà, ce potentiel diminue suite à l'arrêt des précipitations, et à l'épuisement progressif de la réserve hydrique du sol. Le minimum est atteint le 27/01/94 date à laquelle, l'eau du sol revient à son niveau initial de saison sèche.

Pendant cette saison sèche, alors qu'on assiste à une défeuillaison qui atteint son paroxysme à la fin mars (23/03/94), on note une remontée des potentiels avant le débourrement et l'installation des feuilles. Ce phénomène serait du, comme FOURNIER (1993) l'a déjà suggéré à une augmentation de la concentration de solutés dans la sève brute.

Avec la saison des pluies de 1994, on note un retour du potentiel de base à des valeurs maximales (24/08/1994). Cependant, on peut remarquer que le potentiel de base maximum atteint en 1993, est légèrement supérieur à celui obtenu en 1994. Ce fait s'explique par une réserve en eau du sol plus importante en 1993 (180,5 mm) qu'en 1994 (146,3 mm).

Dans l'ensemble, les potentiels minimum et de récupération, ont suivi la même évolution pendant cette même période.

Les variations des potentiels d' *Acacia raddiana* à Dahra confirment le comportement observé par FOURNIER (1993) à Souilène et qui se caractérise par :

- le reflet d'une alternance marquée des contraintes hydriques saisonnières
- une récupération rapide des tensions de sève en début de saison des pluies
- une remontée de la tension de sève en saison sèche, après la perte du feuillage et avant la mise en place des feuilles du cycle suivant.

Evolution journalière du potentiel hydrique et de la conductance stomatique (Gs) en relation avec les facteurs microclimatiques

A titre d'exemple deux cinétiques journalières correspondant à la saison humide et à la saison sèche sont représentées sur les figures 7 & 8.

Dans la figure 8, on constate qu'après le lever du soleil, suite à la transpiration (augmentation de la conductance stomatique), on observe une chute du potentiel hydrique qui atteint sa valeur la plus basse à 14h. Suite à une diminution des pertes en eau par transpiration, après 15 h, on assiste à une remontée du potentiel, ce qui témoigne d'une récupération de la plante en fin de journée. Celle-ci sera complète chez cette espèce entre 0h et 1 h du matin (résultats non représentés) Alors que les variations diurnes du potentiel hydrique sont essentiellement sujettes à la disponibilité en eau (CARLIER *et al.*, 1992), celles de la Gs sont plus liées aux exigences microclimatiques. C'est ainsi qu'on peut constater une évolution similaire, sinon corrélée de ces facteurs (PAR et HR% surtout) et celle de la Gs (Figure 8).

En saison sèche (Figure 7), les conditions plus drastiques (diminution de la réserve hydrique, fortes contraintes microclimatiques) provoquent la fermeture des stomates pendant les heures chaudes de la journée (dépression de midi).

Tableau 2: Variations saisonnières de quelques grandeurs éco-physiologiques de l'Acacia raddiana en conditions naturelles

	14/12/1993	2610511994 *4	11/08/1994	10109194
Conductance stomatique maxi ou Gs max (mmol/m²/s)	364.18	348.72	516.04	967.1
Tension de base (MPa)	-2.63	-2.30	-0.55	-0.83
Tension minimum (MPa)	-3.82	-3.56	-2.03	-2.69
Dy (MPa)	1.19	1.26	1.48	1.86
Efficience hydraulique (mmol/m²/s/MPa)	306.03	276.76	348.67	519.9
Transpiration maximale ou Trmax (mmol/m²/s)	5.86	6.89	7.87	8.38

* remontée des potentiels avant les pluies

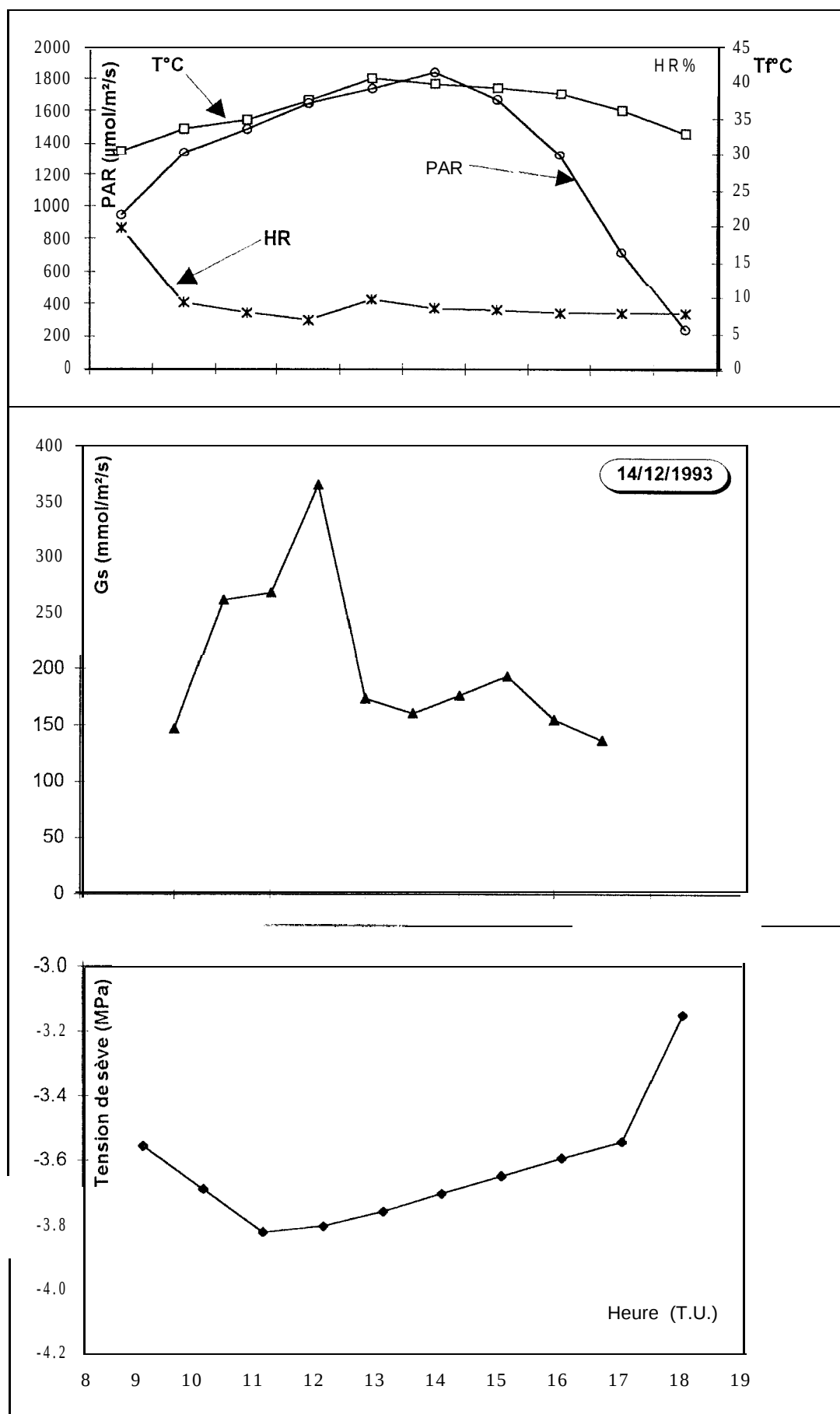


Figure 7. Cinétique journalière de la conductance stomatique, du potentiel hydrique et des paramètres microclimatiques

Les valeurs des grandeurs physiologiques sont contrastées entre ces deux saisons. La G_{max} diminue considérablement : 967,2 mmol/m²/s en saison humide ; 364,18 mmol/m²/s en saison sèche (Tableau 2) Il en est de même du potentiel de base (-0,83 MPa en saison humide et -2,63 MPa en saison sèche). Ceci s'explique d'une part par le fait que les conditions climatiques sont relativement plus clémentes en saison de pluies ($PAR_{\text{max}} = 1250 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, $H_{\text{max}} = 65\%$, $T_f = 30^\circ\text{C}$) par rapport à la saison sèche ($PAR_{\text{max}} = 1850 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, $H_{\text{max}} = 20\%$, $T_f = 35^\circ\text{C}$) et d'autre part par les réserves hydriques beaucoup plus importantes. Ces conditions favorisent un meilleur fonctionnement en période humide.

Dans le tableau 2, nous présentons les valeurs extrêmes de quelques grandeurs physiologiques caractéristiques du fonctionnement hydrique de cette plante au cours des deux saisons. Ce tableau indique respectivement :

- une conductance stomatique maximale de loin plus faible en saison sèche, traduisant une régulation stomatique ;
- un potentiel de base plus élevé en saison des pluies suite à une augmentation du stock hydrique ;
- un niveau de déshydratation (T_{min}) plus accentué en saison sèche ;
- une transpiration plus intense en période humide (Ψ_{min} et T_{max}) ;
- une efficacité hydraulique ($G_{\text{max}} / \Psi_{\text{min}}$) qui est plus importante en saison humide et qui correspond à une conductivité hydraulique du sol aux feuilles plus élevée comme le soulignent EYOG MATIG et DREYER, 1991. Cette efficacité hydraulique, caractérise l'intensité du flux transpiratoire en fonction de l'état hydrique de la plante.

Le phénomène de régulation stomatique saisonnière ci-dessus évoqué, est à relier, entre autres paramètres (Tableau 2), à la structure anatomique des feuilles. Une étude en microscopie électronique à balayage des feuilles, après une fixation au glutaraldéhyde, déshydratation à l'acétone et métallisation, montre des matières à la surface des feuilles. Ces matières seraient des cires caractéristiques des feuilles développées en atmosphère sèche (MOONEY et al., 1977 ; PALLARDY et KOZLOWSKI, 1980 ; GROUZIS et al., 1991).

Cette couche de cire contribue à épaissir la surface des feuilles, donc à réduire au maximum les pertes d'eau par transpiration. Un suivi de la structure du feuillage en relation avec les paramètres physiologiques du feuillage pour les différentes saisons est en cours de réalisation.

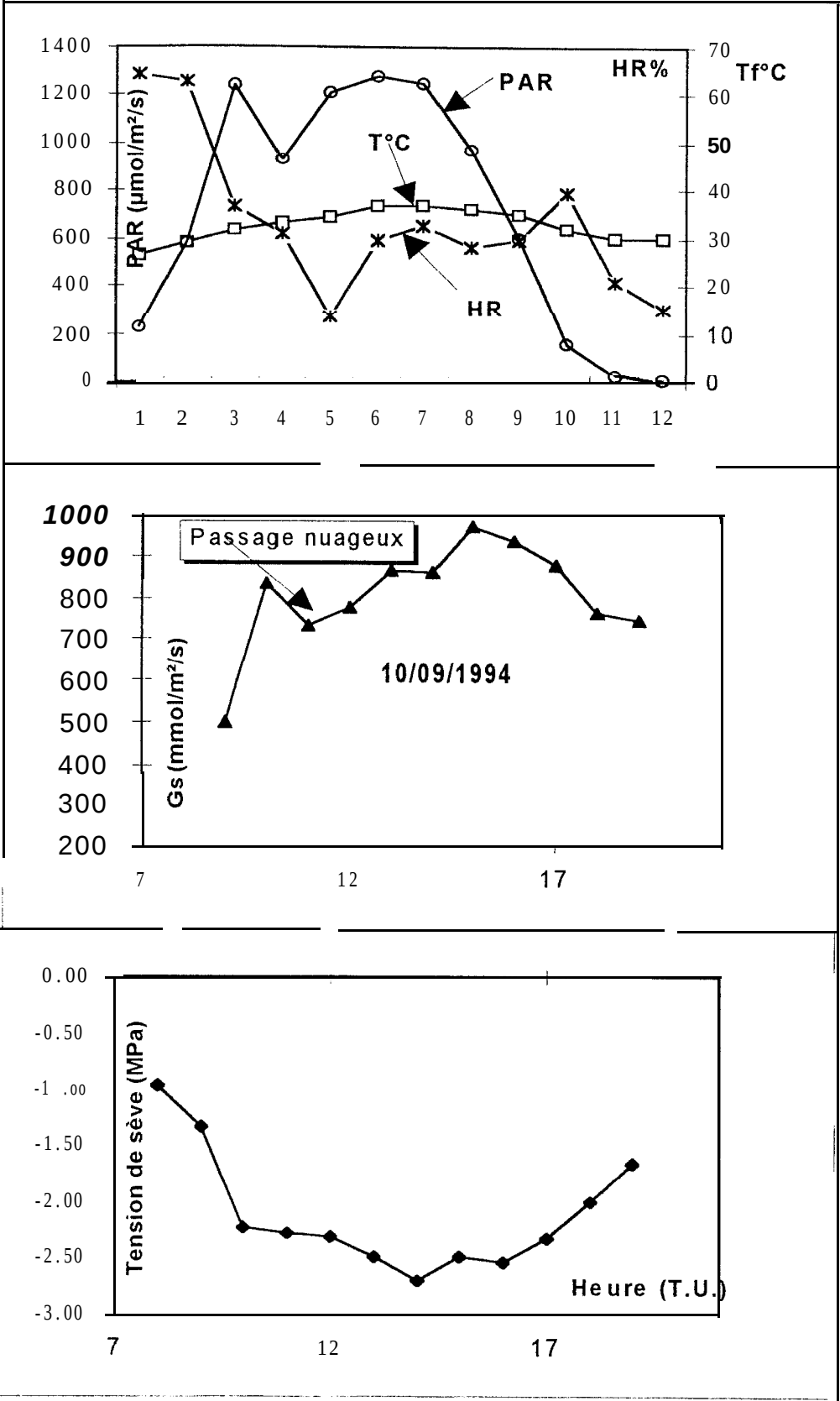


Figure 8. Cinétique journalière de la conductance stomatique, du potentiel hydrique et des paramètres microclimatiques

Nos résultats sont largement conformes à la tendance générale mais se situent légèrement au-dessus de celles-ci.

C'est dans les savanes à dominance de ligneux et d'annuelles des zones sahélo-soudaniennes et soudano-sahéliennes qu'on note la plus forte proportion des légumineuses lorsqu'on s'adresse à l'ensemble de la flore. Par contre la proportion des légumineuses est plus faible dans les savanes sahéliennes à base de ligneux et d'annuelles, les savanes soudaniennes et sub-guinéennes à dominance de ligneux et d'herbacées pérennes et les forêts guinéennes principalement constituées de pérennes. Ce résultat confirme que ce sont les herbacées qui impriment leur caractère aux autres taxons. Il s'accorde également avec nos résultats relatifs à la répartition des légumineuses spontanées en fonction des zones écologiques. Donc le Sénégal reflète parfaitement l'ensemble ouest-africain.

Cette étude générale, nous a permis de préciser la place des légumineuses dans les systèmes écologiques arides et semi-arides du Sénégal. Celles-ci représentent relativement 15 à 25 %. Compte tenu de ce résultat, il est tout à fait raisonnable de les utiliser dans les opérations de réhabilitation pour augmenter la diversité et relever le niveau de fertilité. Une telle application nécessite cependant :

- de caractériser les microorganismes associés et d'acquérir une bonne connaissance du fonctionnement de la symbiose en milieu naturel ;
- de déterminer les mécanismes d'adaptation à l'aridité des plantes hôtes et des associations symbiotiques. Pour notre part nous avons reconnu au cours de nos prospections un certain nombre d'espèces intéressantes compte-tenu de leur caractère pionnier. Il s'agit d'*Indigofera tinctoria*, espèce des sols légers à texture grossière et *Indigofera oblongifolia*, espèce des sols plus ou moins argileux saumâtres. De plus ces deux espèces appartiennent au genre *Indigofera* qui réunit le maximum de variabilité tant sur le plan des types biologiques que sur la répartition écologique. Ces deux espèces pourraient constituer la base d'un travail à moyen terme

II. ECOLOGIE FONCTIONNELLE

A ce niveau d'étude, l'objectif est de préciser les réponses à l'aridité d'un certain nombre de légumineuses aussi bien en conditions naturelles qu'en conditions semi-contrôlées

2.1. Observations en conditions naturelles

2.1.1. Les stations d'observation

Les données météorologiques

Au Sénégal, deux stations ont été équipés pour réaliser l'étude du comportement des espèces. Il s'agit de la station de Souilène (16°21'N, 15°24'O) et celle de Dahra (15°21'N, 15°27'O)¹

Le système d'acquisition automatique des données est actuellement opérationnel. On se reportera aux brochures des données météorologiques publiées par ROCHETEAU (1994).

Les courbes d'étalonnage de la sonde à neutrons

A Souilène les coefficients d'étalonnage de la sonde à neutrons obtenus dans un programme de recherche antérieur ont été utilisés. Il a été cependant nécessaire d'établir les courbes d'étalonnage pour la station de Dahra, par une mesure simultanée à la sonde et des teneurs en eau par la méthode gravimétrique. La figure 2 représente les variations de l'humidité volumique du sol en fonction des coups/12s corrigés par le point eau.

Le tableau 1 donne les coefficients de régression et la signification statistique de la relation pour les différents niveaux du sol analysés. Il apparaît que les relations sont satisfaisantes à l'exception du niveau -250 cm. Il existerait à ce niveau soit un « bloc de pierre », soit une accumulation de gravillons, soit enfin un amas de tertres anthropiques relativement fréquent dans la région sahélienne. Ces hypothèses seront vérifiées ultérieurement par un profil. En attendant les coefficients de régression pour ce niveau ne seront pas utilisés.

¹ CF. Rapport de première année pour la liste du matériel mis en place et la cartographie des parcelles d'observations

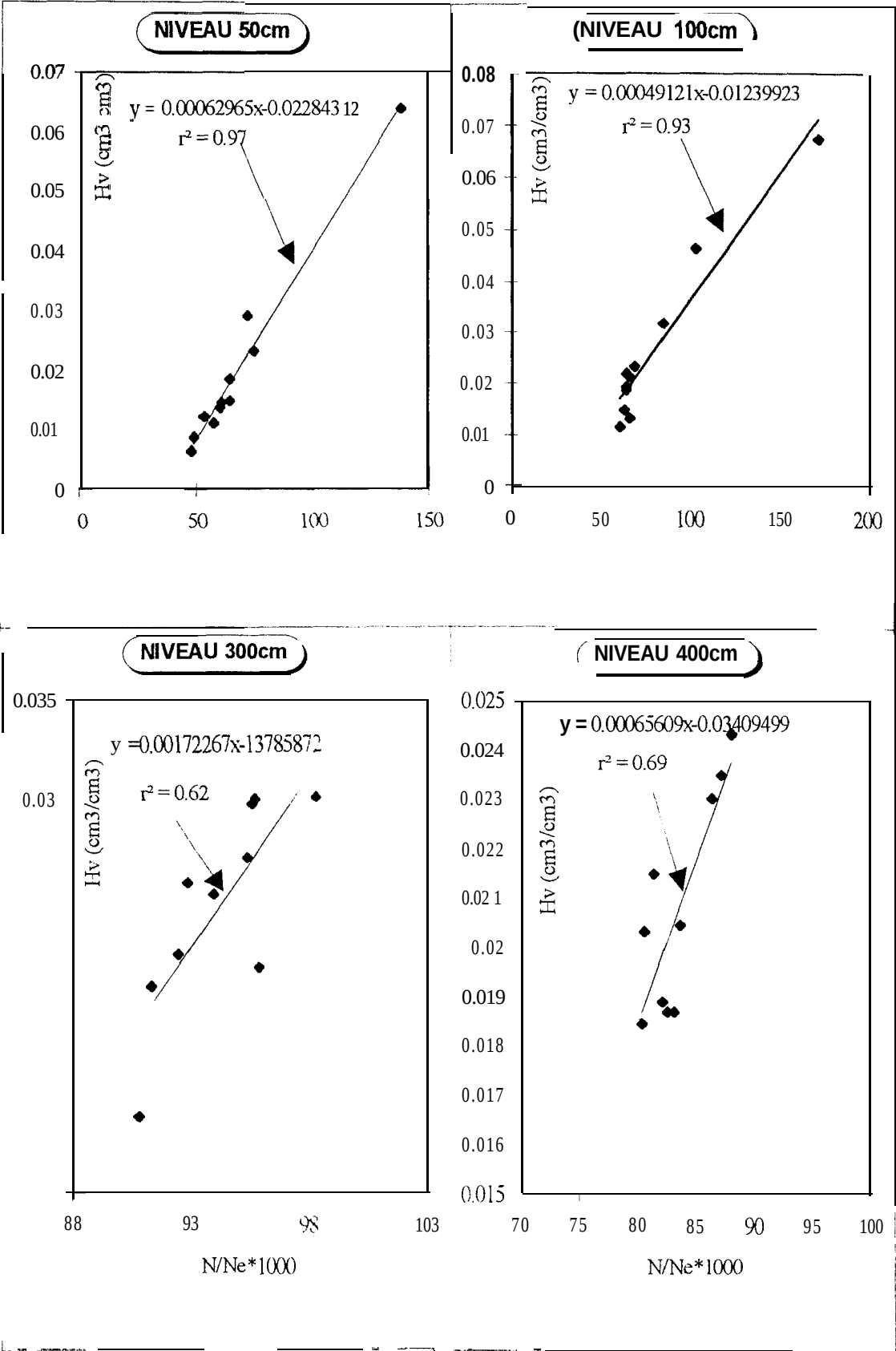


Figure 2.- Courbes d'étalonnage de la sonde à neutrons à Dahra pour quatre niveaux.

Tableau 1. Etalonnage de la sonde à neutrons à Dahra pour tous les niveaux observés.

Niveau (cm)	n	a	b	R ²	Signification (p)
0-10	11	1012.29 E-06	32511.69 E-06	0.96	99%
10-20	11	918.17 E-06	26620.88 E-06	0.94	99%
20-30	11	279.48 E-06	92.46 E-06	0.41	95%
30-40	11	605.44 E-06	20193.36 E-06	0.95	99%
40-50	11	629.65 E-06	22843.12 E-06	0.97	99%
50-60	11	664.10 E-06	25784.8 E-06	0.98	99%
60-70	11	666.70 E-06	26898.52 E-06	0.99	99%
70-80	11	580.4 E-06	20382.08 E-06	0.98	99%
80-90	11	550.5 E-06	17148.43 E-06	0.99	99%
90-100	11	491.21 E-06	12399.23 E-06	0.93	99%
100-120	10	423.319 E-06	9454.73 E-06	0.81	99%
120-140	10	1129.15 E-06	74369.91 E-06	0.89	99%
140-160	11	1453.72 E-06	103931.33 E-06	0.34	95%
160-180	11	393.34 E-06	9882.87 E-06	0.73	99%
180-200	10	2057.42 E-06	155967.71 E-06	0.58	99%
200-250	11	1449.73 E-06	93730.32 E-06	0.11	ns
250-300	10	1722.67 E-06	137858.72 E-06	0.62	99%
300-350	10	457.69 E-06	16301.59 E-06	0.85	99%
350-400	10	656.09 E-06	34094.99 E-06	0.69	99%
400-450	11	782.42 E-06	44715.37 E-06	0.95	99%

Le suivi d l'humidité et de la réserve hydrique du soi

L'état hydrique du sol (humidité volumique et réserve hydrique) du sol des deux stations a été suivi de mai 1993 à actuellement avec une périodicité de 15 à 30 jours suivant les saisons. Les résultats seront notamment utilisés dans le paragraphe suivant.

2.1.2. La phénologie comparée d'Acacia tortilis subsp raddiana à Dahra et Souilène

La méthode d'étude de la phénologie est donnée dans GROUZIS (1993). Elle a pour principal caractère de s'adresser à la population de l'espèce dans la station considérée.

L'échantillonnage, stratifié sur la base de la structure démographique de la population*, est constitué de 42 individus à Souilène et de 32 individus à Dahra. Les observations ont porté sur les phases de feuillaison , de floraison et de fructification. Pour caractériser morphologiquement les différents stades morpholoaiques, nous avons retenu :

☐ pour la feuillaison:

☒V1 : gonflement des bourgeons, pas de feuilles développées

☒V2 : bourgeons foliaires + feuilles épanouiees (+ de 10% et - de 50% des rameaux de l'individu)

☒V3 : feuilles en majorité épanouies

☒V4 : feuilles vertes + feuilles sèches ou ayant changé de couleur (+ de 10% et - de 50%)

² CF Rapport de première année pour la strucuture des populations
ECOLOGIE -ORSTOM (Sénégal)

☒ V5 : plus de 50% des rameaux de l'individu ont des feuilles sèches ; chute des feuilles

☒

☐ pour la floraison:

☒ f1 : bourgeons floraux uniquement

☒ f2 : bourgeons floraux + fleurs épanouies ((+ de 10% et - de 50%)

☒ f3 : plus de 50% des rameaux de l'individu portent des fleurs épanouies

☒ f4 : fleurs épanouies + fleurs sèches (((+ de 10% et - de 50%)

☒ f5 : fleurs sèches en majorité ; chute des pièces florales

☐ pour la fructification :

☒ F1 : nouaison

☒ F2 : phase d'évolution du fruit jusqu'à sa taille normale

☒ F3 : maturité du fruit

☒ F4 : fruit mûr + début de dissémination

☒ F5 : fruit entièrement sec et chute

Le stade 1 correspond à l'installation et le stade 5 à la disparition de la phase. Les stades 2,3,et 4 représentent pour un individu l'évolution au sein d'une phase déterminée.

Le spectre phénologique est construit par calcul pour chaque date d'observation des fréquences au sein de la population, des individus en phase de feuillaison de floraison et de fructification (Mooney et Parsons 1974, Grouzis et Sicot 1980, Grouzis 1993).

Les données climatiques de la station ainsi que les variations de la réserve hydrique du sol sont parallèlement observées à celles de la phénologie.

Les spectres phénologiques ainsi que les variations de certains facteurs du milieu (température, humidité de l'air, précipitations, réserve hydrique du sol) pour les mêmes périodes sont représentés sur les figures 3 et 4.

La station de Dahra (fig.3) a enregistré 293 mm de précipitations en 1993. La répartition est unimodale dans son ensemble malgré une phase de déficit entre le 23/09 et le 19/10/1993. Les variations de l'humidité relative décadaire moyenne semblent épouser étroitement les variations saisonnières de la pluviosité. Les HR maximales sont atteintes à la mi-septembre (# 80 %) ; les valeurs minimales (# 20 %) se situent entre la mi-décembre et la mi-mai. Les fluctuations de la réserve hydrique du sol reflètent bien les variations des précipitations. En 1993, la réserve augmente à compter du 27 août, alors qu'il est déjà tombé 115 mm de pluie, passe par un maximum vers le 9/9 et récupère pratiquement le niveau de saison sèche dès le 5/11.

En 1994, la réserve maximale est atteinte vers la mi-août, mais ce dernier est beaucoup plus faible que celle obtenue l'année précédente en raison de la faiblesse des précipitations.

Pour ce qui concerne le spectre phénologique, remarquons que la mise place des feuilles s'effectue entre le 22/6 et le 8/7. Le maximum de feuillaison est atteint le 7/9. Cette pleine feuillaison se maintient jusqu'à la mi-décembre. En 1994, la reprise de la feuillaison est plus précoce puisqu'elle a lieu dès la fin du mois d'avril. Le maximum de feuillaison est atteinte le 27/7.

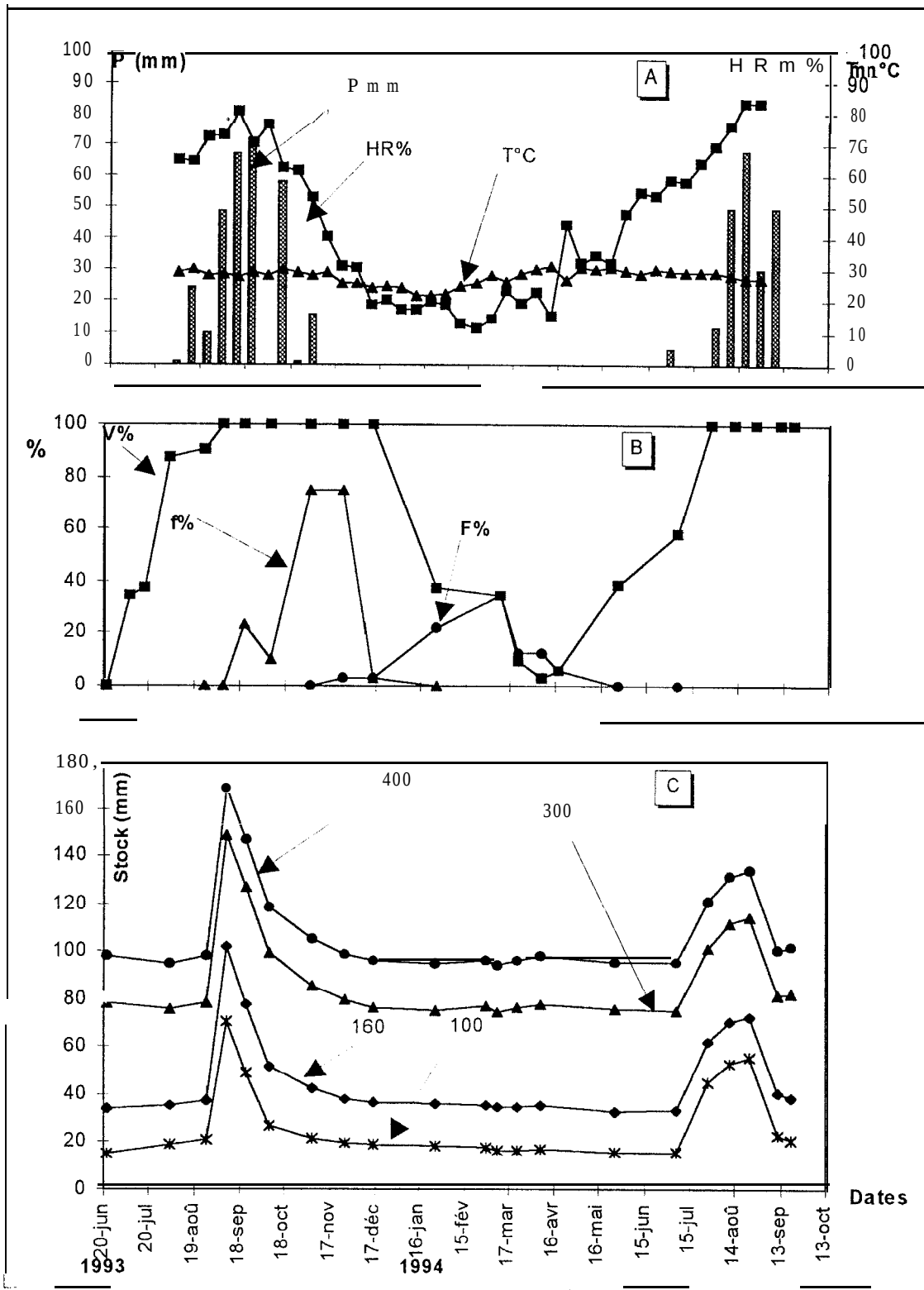


Figure 3. Spectre phénologique d'*Acacia raddiana* à Dahra et variations de certains facteurs du milieu (moyenne décadaire de l'humidité relative (HR%) et de la température (Tm°C) ; précipitations décadaires (Pmm) ; réserve hydrique du sol (mm))

analyse très correcte des relations phylogénétiques entre les différentes espèces de rhizobium. Les premières analyses sur les souches de référence au Sénégal donnent des résultats très satisfaisants.

II. CONTACTS

1. Mission de prospection.

- Mission Dreyfus / de Lajudie en Tunisie en avril 1994.

Cette mission avait pour but de rechercher, en relation avec les chercheurs de l'IRA, du CNRS et de l'ORSTOM-Tunis, des légumineuses et des nodules dans des zones qui n'avait pas encore été prsopectées, en portant une attention particulière aux espèces rares de légumineuses.

2. Stage de formation.

- Stage de Kamel Farhat (IRA) du 5 juillet au 3 août 1994.

Ce séjour avait pour objectif l'initiation aux techniques d'étude du spectre d'hôte : culture de plantes axéniques en tube, inoculation avec des cultures pures de bactéries, suivi de la nodulation, afin de transférer ces techniques au Laboratoire de Microbiologie de la station de l'IRA à Gabès.

III. ACTIONS DE FORMATION

1. Thèses.

- Samba Sylla, Thèse de troisième cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, soutenance prévue en 1995.
- Etike Fulele-Laurent, PhD, Université de Liège, soutenance prévue en 1996.

2. DEA.

- Abdoulaye Sy, Université Cheikh Anta Dipop, Dakar, soutenance prévue début 1995.
- Amadou Ndiaye, Université Cheikh Anta Dipop, Dakar, soutenance prévue début 1995.

RAPPORT VI

**LABORATOIRE d' ECOLOGIE
ORSTOM - DAKAR**

M. GROUZIS, I. DIEDHIOU, M. DIOUF, A. ROCHETEAU
et al.
(Novembre 1994)

INTRODUCTION

Ce rapport scientifique de deuxième année d'exécution du contrat TS3*CT092 • 0047 a été rédigé à partir des informations et/ou des publications partielles recueillies auprès du groupe d'écologistes du laboratoire de Dakar et des partenaires associés à la problématique qui y est développée. Il s'agit notamment de

A. ROCHETEAU, I. DIEDHIOU, M. DIOUF, M. COLONNA, M. GROUZIS et de A. BERGER (CNRS/CEFE L. Emberger) et de M. NDIAYE (ISRA :DRPF).

Notre groupe a contribué au programme à différents niveaux d'analyse.

Au niveau de l'analyse de la diversité, nous avons participé aux prospections, réalisé une introduction à la connaissance des légumineuses du Sénégal et déterminé leur importance en termes structurels (composition floristique) et fonctionnels (biomasse, densité) dans les systèmes écologiques des zones semi-arides et arides. Nous avons par ailleurs collaboré à situer la place des légumineuses pérennes dans les systèmes de production.

Sur le plan de l'écologie fonctionnelle, nous avons contribué à déterminer les réponses de quelques légumineuses notamment ligneuses à l'aridité d'une part en conditions naturelles et d'autre part en conditions expérimentales. Pour réaliser cette étude du comportement des espèces en conditions naturelles, deux stations expérimentales ont été équipées de matériel d'étude de l'eau dans le système sol-plante. La phénologie de *Acacia tortilis* var. *raddiana* et les variations saisonnières des principaux paramètres écophysologiques caractéristiques de son état hydrique (transpiration, conductance stomatique, potentiel hydrique, diamètre du tronc, flux de sève) ont été suivis. En conditions semi-contrôlées, l'étude de la croissance comparée des systèmes racinaire et aérien de deux espèces d'*Acacia* a été conduite en vase de végétation.

I. ANALYSE DE LA DIVERSITE

1.1. Prospection des Légumineuses au Sénégal.

Nous avons contribué à cette prospection en définissant notamment le plan d'échantillonnage au Sénégal sur la base du gradient climatique et des unités de végétation. Les résultats relatifs à la caractérisation des stations et des échantillons ont été consignés dans un rapport en trois volumes (GROUZIS Ed., 1994).

1.2. Place des légumineuses pérennes dans les systèmes de production des zones arides et semi-arides du Sénégal.

Cette étude a été menée par M. NDIAYE (ISRA/DRPF) dans le cadre d'une formation (DESS, Centre Régional d'Enseignement spécialisé en Agriculture, NIAMEY), en relation avec le laboratoire d'Ecologie, qui a assuré son encadrement. Par une approche socio-économique, l'auteur montre que les légumineuses pérennes sont très nettement souhaitées par les populations aussi bien dans les systèmes de culture que dans les systèmes pastoraux. Elles sont fort utilisées et bien connues par les populations qui savent évaluer leur dynamique et maîtrisent leurs rôles et fonctions. Cet auteur indique également qu'elles sont appropriées dans les champs, car elles sont largement utilisées dans l'artisanat, la pharmacopée, l'alimentation humaine et animale, la technologie (bois de service, combustible), l'agriculture (fertilisant). En outre elles ont parfois un rôle culturel (*Tamarindus indica*).

Cependant plus de 50% des interlocuteurs adoptent une attitude passive quant au maintien et à la protection des légumineuses. Les résultats détaillés de cette opération publiés dans NDIYAE (1993) seront présentés par nos partenaires de l'ISRA.

1.3. Importance des légumineuses dans les systèmes écologiques des zones arides et semi-arides du Sénégal

Ces travaux ont fait l'objet d'un DEA soutenu par DIEDHIOU (1993).

Les systèmes écologiques sahéliens fortement dégradés doivent être réhabilités si l'on veut y maintenir durablement une activité socio-économique. Le choix porté sur les légumineuses pour la réhabilitation des terres dégradées apparaît justifié pour ce qui concerne les zones arides et semi-arides du Sénégal. En effet au-delà des qualités qu'on reconnaît à ces taxons (double capacité à réduire l' N_2 et le CO_2 , espèces clés de voûte, bonne adaptation à l'aridité pour la plupart), les légumineuses intéressent les paysans et les éleveurs comme en témoigne leur potentiel élevé dans les parcs agroforestiers (cf. § 1.2).

Cependant la connaissance des légumineuses au Sénégal reste insuffisante et/ou éparse pour guider le choix des espèces utilisables dans les opérations de réhabilitation. L'objectif du travail réalisé est donc d'évaluer l'importance des légumineuses dans les systèmes écologiques arides et semi-arides du Sénégal, notamment dans ses aspects structurels (diversité, densité) et fonctionnels (phytomasse).

Pour réaliser cet objectif, nous avons développé une approche écologique. Celle-ci a consisté en l'utilisation de méthodes classiques d'échantillonnage et d'étude quantitative de la végétation (relevés, mesure de densité et de phytomasse

herbacée épigée, établissement de relations allométriques et estimation de phytomasse foliaire des ligneux, traitement de données).

Les résultats obtenus montrent que les légumineuses sont bien représentées au Sénégal. Elles constituent 16 % des 2100 taxons énumérés par LEBRUN (1973) pour l'ensemble du pays. 85 % des légumineuses identifiées sont spontanées. La majorité de ces légumineuses appartient à la famille des Fabaceae (77 %). Les principaux genres des légumineuses spontanées sont : *Indigofera* (Fabaceae), *Cassia* (Caesalpinaceae) et *Acacia* (Mimosaceae).

Elles sont plus représentées dans les zones soudanienne (38 %) et guinéenne (35 %). Les types biologiques dominants chez les légumineuses spontanées sont les thérophytes (116 espèces) et les phanérophytes (91 espèces). Les thérophytes dominent en zone sahélienne tandis que les phanérophytes constituent le principal type biologique en zone guinéenne. Ces deux types biologiques sont tous bien représentés en zone soudanienne. Sur les 281 légumineuses spontanées dénombrées, 165 sont des pérennes dont 20 (12 %) appartiennent à la zone sahélienne.

Les familles des *Fabaceae* et des *Mimosaceae* sont les plus représentées sur l'ensemble des stations inventoriées. *Indigofera* (strate herbacée) et *Acacia* (strate ligneuse) constituent les principaux genres.

La proportion des légumineuses dans la strate herbacée décroît dans la zone d'étude du sud (station de Sonkorong, 13° 55'N) au nord (station de Ndiaouara, 16° 35'N) quel que soit le critère pris en compte : diversité floristique ou phytomasse épigée. Ce résultat semble être en relation au sud avec les conditions hydriques plus favorables qui permettent le développement de taxons herbacés vivaces en plus des annuels.

Quel que soit le critère pris en compte (diversité floristique, densité ligneuse ou phytomasse foliaire), la proportion des légumineuses dans la strate ligneuse croît du sud au nord. Ce résultat est à mettre en relation avec le caractère d'adaptation à l'aridité des taxons. En effet, les phanérophytes sont des espèces arido-actives qui passent la saison défavorable munis d'organes photosynthétiques. Dans les zones plus sèches (Sahel), il est nécessaire de réduire au maximum les surfaces évaporantes : ce sont donc les espèces microphylles (pour la plupart des *Mimosaceae* du genre *Acacia*) qui offrent ce caractère. Dans les zones plus clémentes du sud, ces espèces sont remplacées par des taxons à larges feuilles appartenant notamment à la famille des *Combretaceae*.

La proportion des légumineuses dans l'unité de végétation décroît du sud vers le nord aussi bien en termes de diversité floristique que de phytomasse. Lorsqu'on considère le critère diversité floristique, cette proportion varie de 13 à 27 %. Elle est de 19 % en moyenne pour les stations sahéliennes, atteint 23 % dans la station soudano-sahélienne de Doli et 25 % dans la station sahélo-soudanienne de Sonkorong.

La figure 1 synthétise les variations de la proportion des légumineuses dans la flore de différents systèmes écologiques du nord au sud du Sahara en fonction des précipitations moyennes annuelles. Nous y avons par ailleurs porté les zones biogéographiques et les niveaux d'aridité (LE HOUEROU, 1989). Les zones biogéographiques reflètent les types physiologiques de la végétation et les types biologiques dominants. Ces données permettent de situer nos résultats dans un contexte régional. A l'exception des formations steppiques situées au nord du Sahara et caractérisées par des pérennes, la proportion des légumineuses augmente des zones sahéliennes sensu *stricto*, passe par un maximum dans les zones sahélo-soudaniennes (P = 800 mm) et diminue de nouveau lorsque l'on passe dans les bioclimats humides à très humides.

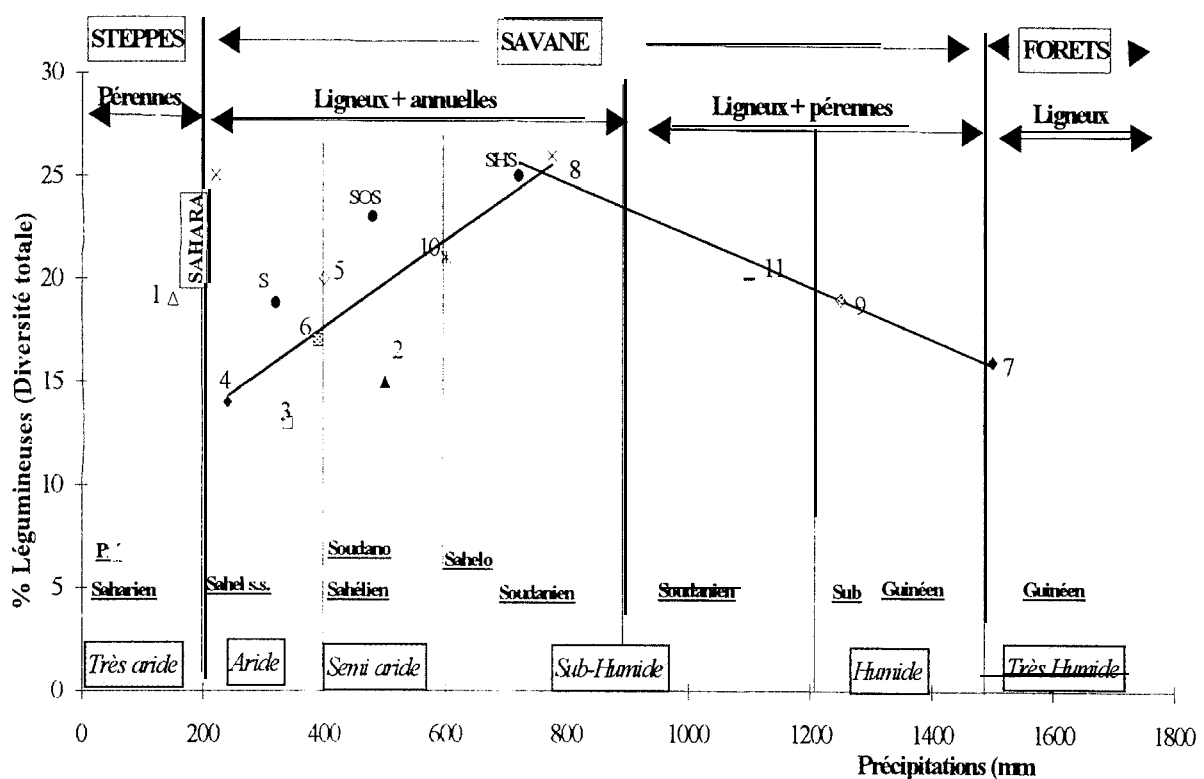


Figure 1.- Place des légumineuses dans les systèmes écologiques nord et sud sahariens

① valeurs moyennes des stations par zone écologique (Sénégal)

1 : FLORET et PONTANIER (1982), Tunisie . 2 : RAYNAL (1964), Sénégal : 3 : POUPON (1980), Sénégal ; 4 : CARRIERE (1984), Mauritanie : 5 GROUZIS (1988), Burkina Faso : 6 : BOUDET (1971), Mali ; 7 : MITJA (1990), Côte-d'Ivoire : 8 : SOUVELLET (1992), Burkina Faso ; 9 : BLANFORT (1991), Sénégal ; 10 : DE MIRANDA (1980), Niger . 11 FOURNIER (1991), Côte-d'Ivoire

Une plus grande variabilité existe pour les résultats relatifs aux bioclimats arides et semi-arides. Les résultats de RAYNAL (1964) et de POUPON (1980) sont en particulier bas par rapport à la tendance générale. Ces valeurs sont cependant facilement interprétables. Elles sont dues d'une part à la dégradation de la végétation de certaines stations (Fété-Olé) et d'autre part à la dominance dans les zones arides et semi-arides des plantes annuelles qui épousent le plus la variabilité interannuelle des précipitations.

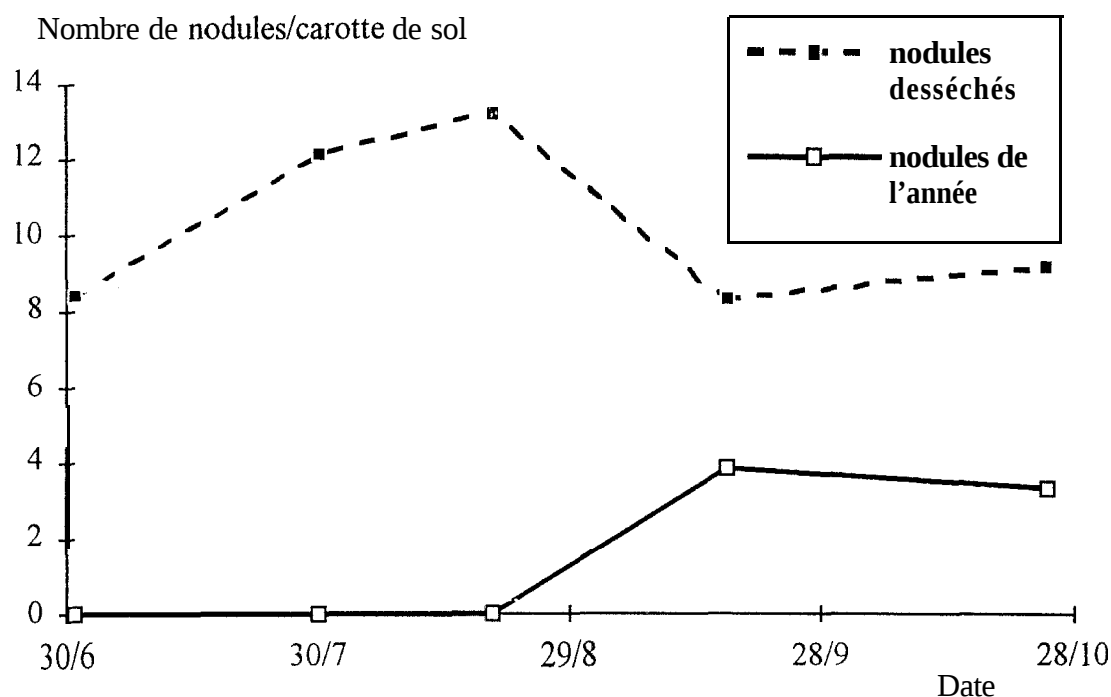


Figure 2 : Evolution du nombre moyen de nodules par carotte de sol sous *A. raddiana* dans le Ferlo.

B. ISOLEMENT ET CARACTERISATION DES RHIZOBIUM

B. 1. Isolements bactériens

Au cours de cette année, nous avons continué l'isolement de *Rhizobium* à partir de légumineuses présentes dans les régions arides du Sénégal, afin d'avoir une approche de la diversité la plus large possible. Comme pour la première année, les isolements ont été effectués soit à partir de nodules récoltés in situ, soit à partir de nodules obtenus au laboratoire après inoculation de germinations axéniques des légumineuses par des suspensions de sol. Une attention particulière a été portée sur l'isolement de souches associées à *Pterocarpus lucens* et *Pterocarpus erinaceus*, qui sont deux espèces particulièrement intéressantes en foresterie, mais qui ont été peu étudiées en ce qui concerne leurs capacités symbiotiques.

60 nouveaux isolats ont été mis en collection (tableau 1) et viennent compléter les 113 obtenus durant la première année du projet.

B.2. Caractérisation des isolats

Les études de caractérisation des rhizobiums ont été poursuivies, et étendues à un plus grand nombre d'isolats.

Deux approches ont été menées simultanément :

- nous avons d'une part étudié le spectre d'hôte de différents isolats ;
- nous avons d'autre part cherché à mieux cerner la diversité de l'ensemble des isolats, en précisant leur position taxonomique

Tableau 1. Isolats obtenus à partir de sols de régions arides et semi-arides du Sénégal, mis en collection au cours de la seconde année :

Plante d'isolement	Origine des isolats	n° ORS
<i>Acacia forfilis</i>	Souilène	40, 46
	Vers barrage de Diama	1281, 1282
<i>Acacia seyal</i>	Vendou Thiengoli	962 , 963, 964, 965
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	Bel Air	17, 18
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Bel Air	21
<i>Indigofera asfragalina</i>	Bel Air	14
<i>Indigofera cosfafa</i>	Mbour	26
<i>Indigofera hirsufa</i>	Bel Air	30
<i>Indigofera fincforia</i>	Mbour	28, 29
	Pal	31
<i>Pferocarpus erinaceus</i>	Environs de Vélingara	253, 254, 255, 258
	Environs de Linguère	230, 231
	Environs de Yonoféré	242
<i>Pferocarpus lucens</i>	Environs de Linguère	195, 196, 197, 228, 229
	Environs de Yonoféré	232, 233, 234, 235, 236, 237, 238,
		239, 240,
		241, 243, 244, 245, 246, 247, 248,
		259, 260,
		262,262
	Environs de Vélingara	249, 250, 251, 252, 256, 257, 263,
		264
<i>Rhynchosia minima</i>	Bel Air	11
<i>Tephrosia villosa</i>	Bel Air	23, 24

B. 2. 1. Infectivité et effectivité : étude du spectre d'hôte

L'étude du spectre d'hôte consiste à tester sur quelles espèces végétales une souche de *Rhizobium* parvient à former des nodules (= infectivité) et fixer l'azote (= effectivité).

Cette étude a été menée en inoculant des cultures bactériennes à des plantes cultivées en conditions axéniques dans des tubes contenant du milieu nutritif gélosé (milieu Jensen, Vincent, 1970). 18 souches représentatives des différentes légumineuses et des différents sites d'étude ont été testées sur 30 espèces de légumineuses rencontrées fréquemment au Sénégal : *Abrus sfictosperma*, *Acacia albida*, *Aeschynomene sensitiva*, *Aiysicarpus glumaceus*, *A. ovalifolius*, *A. rugosus*, *Bryaspis lupulina*, *Crotalaria glaucoides*, *C. goreensis*, *C. hyssopifolia*, *C. lathyroides*, *C. ochroleuca*, *C. perrotteti*, *C. refusa*, *Cyamopsis senegalensis*, *Desmodium velutinum*, *Eriosema glomeratum*, *Indigofera astragalina*, *I. hirsuta*, *I. macrocalyx*, *I. microcarpa*, *I. senegalensis*, *I. stenophylla*, *I. terminalis*, *I. tinctoria*, *Rhynchosia minima*, *Sesbania rostrata*, *Stylosanthes mucronata*, *Tephrosia purpurea*, *T. villosa*.

L'apparition des nodules a été suivie pendant 4 semaines, et indique l'infectivité des isolats. Dans une première approche, du fait du grand nombre d'isolats et de plantes testés, l'efficacité a été estimée par l'observation de la croissance et de la couleur des plantules, comparées à des témoins non inoculés. Une étude plus fine sur un nombre restreint d'isolats et de plantes représentatives est en cours.

L'analyse des résultats fait apparaître deux groupes d'isolats (tableau 2) :

- le premier groupe comprend la majeure partie des isolats est capable de noduler l'ensemble des espèces de légumineuses testées ; certains (ORS 26, ORS 28, ORS 29, ORS 31, ORS 88, ORS 978) forment des nodules avec 26 des 30 espèces ;
- le deuxième groupe est formé par quatre isolats présentant un spectre d'hôte très réduit : trois (ORS 835, ORS 837 et ORS 839) ne sont capables de former des nodules que sur une seule des espèces testées (*Indigofera microcarpa*) et l'un (ORS 833) ne forme des nodules qu'avec 3 espèces (*Indigofera microcarpa*, *I. stenophylla* et *I. tinctoria*).

Il est particulièrement intéressant de noter que le premier groupe ne contient que des isolats à croissance lente sur milieu YMA (Yeast extract, Mannitol, Agar), alors que les quatre isolats à spectre réduit montrent une croissance rapide sur ce même milieu. La vitesse de croissance a longtemps été un des critères principaux de différenciation des rhizobiums, le genre *Rhizobium* sensu stricto regroupant les souches à croissance rapide, et le genre *Bradyrhizobium* les souches à croissance lente. De plus, jusqu'à la fin des années 70, on a cru que seuls les *Bradyrhizobium* étaient présents en milieu tropical. Cette forte spécificité des souches à croissance rapide pourrait expliquer ces observations par un plus faible pourcentage de plantes nodulées in situ.

SOUCHES	978	26	28	29	31	88	1228	938	89	830	85	937	1216	91	833	835	837	839		
Croissance sur	YMA	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	R	R	R	R		
Plante d'isolement	Inse	Inco	Inar	Inti	Inar	Tepu	Inas	Rh	mi	Tepu	Alov	Inas	Rh	mi	Inse	Tepu	Caro	Crpe	Indi	Teli
Site d'isolement	23	1	2	3	9	27	37	23	27	27	37	23	19	27	4R1	27	27	27		
PLANTES HOTES																				
<i>Crotalaria glaucoïdes</i>	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	E	
<i>Indigofera microcarpa</i>	E	e	E	E	I	e	O	E	O	I	E	E	E	E	E	E	E	E	E	
<i>Indigofera stenophylla</i>	E	E	E*	E	E*	e	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	O	O	O	
<i>Indigofera tinctoria</i>	E	E	E	E*	E	e	E	E	E	E	E	E	I	E	e	O	O	O		
<i>Desmodium velutinum</i>	E	e	I	e	E	E	I	E	I	I	E	E	I	E	O	O	O	O		
<i>Bryaspis lupulina</i>	E	E	E	E	E	I	E	E	E	E	E	E	E	E	O	O	O	O		
<i>Alysicarpus glumaceus</i>	E	I	e	e	E	E	E	E	E	E	I	E	E	E	O	O	O	O		
<i>Rhynchosia minima</i>	e	I	E	e	E	e	E	E*	E	e	E	e*	I	E	O	O	O	O		
<i>Acacia albida</i>	E	E	E	E	e	E	I	E	E	e	e	E	e	e	O	O	O	O		
<i>Stylosanthes mucronata</i>	E	E	I	E	e	e	E	E	I	e	E	E	I	I	O	O	O	O		
<i>Indigofera terminalis</i>	E	E	E	I	e	E	E	E	E	E	E	E	E	E	O	O	O	O		
<i>Indigofera astragalina</i>	E	E	E	E	E	e	E*	E	E	E	e*	E	1	E	O	O	O	O		
<i>Indigofera macrocalyx</i>	E	E	E	E	E	E	E	E	I	E	E	E	I	e	O	O	O	O		
<i>Cyamopsis senegalensis</i>	e	E	E	E	E	E	E	E	I	I	1	E	I	1	O	O	O	O		
<i>Crotalaria hyssopifolia</i>	I	E	E	I	E	E	E	E	E	E	E	E	e	E	O	O	O	O		
<i>Crotalaria lathyroides</i>	E	E	e	E	e	E	e	E	E	E	e	E	I	I	O	O	O	O		
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	E	E	e	e	e	e	I	E	e	E	e	E	E	I	O	O	O	O		
<i>Indigofera hirsuta</i>	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	I	E	O	O	O	O		
<i>Tephrosia purpurea</i>	E	E	E	E	E	E*	E	E	E*	E	E	E	e	E*	O	O	O	O		
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	E	E	E	E	E	E	I	E	E	E*	E	E	E	E	O	O	O	O		
<i>Tephrosia villosa</i>	E	E	e	E	E	I	E	E	E	E	E	E	I	E	O	O	O	O		
<i>Indigofera senegalensis</i>	E*	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E*	I	O	O	O	O		
<i>Eriosema glomeratum</i>	e	e	E	e	e	E	e	e	E	E	I	E	e	e	O	O	O	O		
<i>Crotalaria retusa</i>	E	1	E	e	e	1	e	e	1	e	E	E	e	E	O	O	O	I		
<i>Alysicarpus rugosus</i>	E	I	E	E	I	e	E	E	I	E	E	E	e	O	O	O	O	O		
<i>Crotalaria goreensis</i>	E	E	e	e	e	I	I	E	E	I	O	O	O	O	O	O	O	O		
<i>Abrus stictosperma</i>	I	I	I	E	E	E	I	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
<i>Aeschynomene sensitiva</i>	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
<i>Crotalaria perrotteti</i>	O	I	O	O	O	I	O	I	O	O	I	O	O	O	O	O*	I	O		
<i>Sesbania rostrata</i>	I	O	O	O	O	O	O	I	O	O	O	I	O	I	O	O	O	O		

Tableau 2 :Infectivité et effectivité de différents isolats.
E = très efficace ; e = moyennement efficace ; I = inefficace ; 0 = non infectif.
Vitesse de croissance sur YMA : L = croissance lente

B. 3. Diversité taxonomique des isolats

1. *Analyse des isolats par étude des profils protéiques (SDS-PAGE)*

L'étude des profils protéiques est une des techniques qui nous a permis de mettre en évidence l'existence au Sénégal de nouvelles espèces de *Rhizobium* (contrat CEE/ORSTOM TS2*0169-F(EDB)).

Plus de 400 souches sont actuellement en cours d'analyse en collaboration avec le laboratoire de Microbiologie de l'Université de Gent. Cette analyse comprend les souches isolées dans le cadre de ce contrat, des souches isolées de sols de régions plus humides du Sénégal (Contrat CEE TS3*-CT93-0220) et d'autres pays d'Afrique de l'ouest, ainsi que des souches de référence. Les premières analyses renforcent les observations déjà faites sur la grande diversité des isolats, tout en mettant en évidence un certain effet du site d'origine et de l'espèce végétale d'isolement.

Par ailleurs, nous avons testé cette technique au laboratoire de l'ORSTOM à Dakar afin de faciliter l'analyse des souches isolées dans le cadre du projet. Nous souhaitons en particulier caler la méthode sur celle utilisée au laboratoire de Microbiologie de Gand, afin de pouvoir comparer les résultats, échanger des informations et profiter de la base de données qui existe dans ce laboratoire. Les analyses faites à Dakar donnent des résultats globalement semblables à ceux obtenus à Gent, mais ne sont pas directement comparables souche par souche. Il semble donc difficile d'utiliser directement la banque de données de Gent.

2. *Analyse des isolats par RAPD.*

Afin de compléter l'analyse des isolats faite par SDS-PAGE, et pour maîtriser une technique permettant un screening rapide du grand nombre d'isolats obtenus dans le cadre du projet, nous avons développé à Dakar la technique de RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) (Williams et al., 1990).

La première étape a été de vérifier la bonne concordance entre les résultats obtenus avec cette technique et ceux obtenus par les techniques traditionnelles de caractérisation. Nous avons pu montrer en particulier que les espèces nouvellement décrites pour des souches isolées d'*Acacia* sahéliens et de *Sesbania spp.* (de Lajudie et al., 1994) étaient correctement regroupées (figure 3). Le degré de résolution de cette technique est cependant tel que, si elle permet un bon regroupement des souches qui sont proches et une analyse fine de la diversité intraspécifique, elle ne permet pas, par contre, d'estimer le degré de proximité de souches distantes,

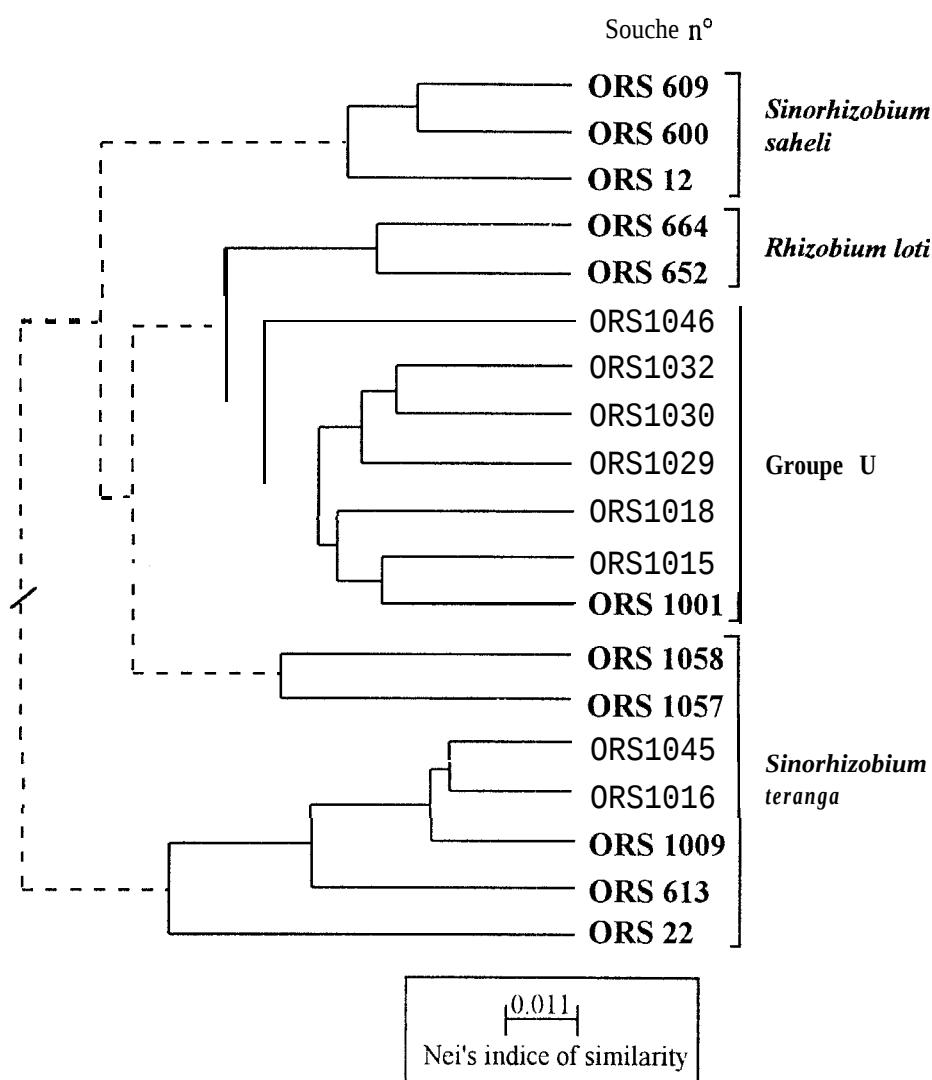


Figure 3 : Dendrogramme montrant les relations entre isolats appartenant à *Sinorhizobium saheli*, *S. teranga*, *R. loti* et au groupe U (souches isolées de différents *Acacia* sahéliens), Analyse obtenue en combinant les données RAPD obtenues avec trois primer-s différents (OP B10, OP B12, OP B14).

Nous avons appliqué cette technique RAPD à des isolats obtenus à partir de nodules d'*Acacia raddiana* du Sénégal et de la Tunisie. L'analyse montre un regroupement des souches isolées de sols tunisiens, ce qui indique une forte proximité entre ces souches, et, de plus, une différence nette avec les souches du Sénégal testées (Figure 4).

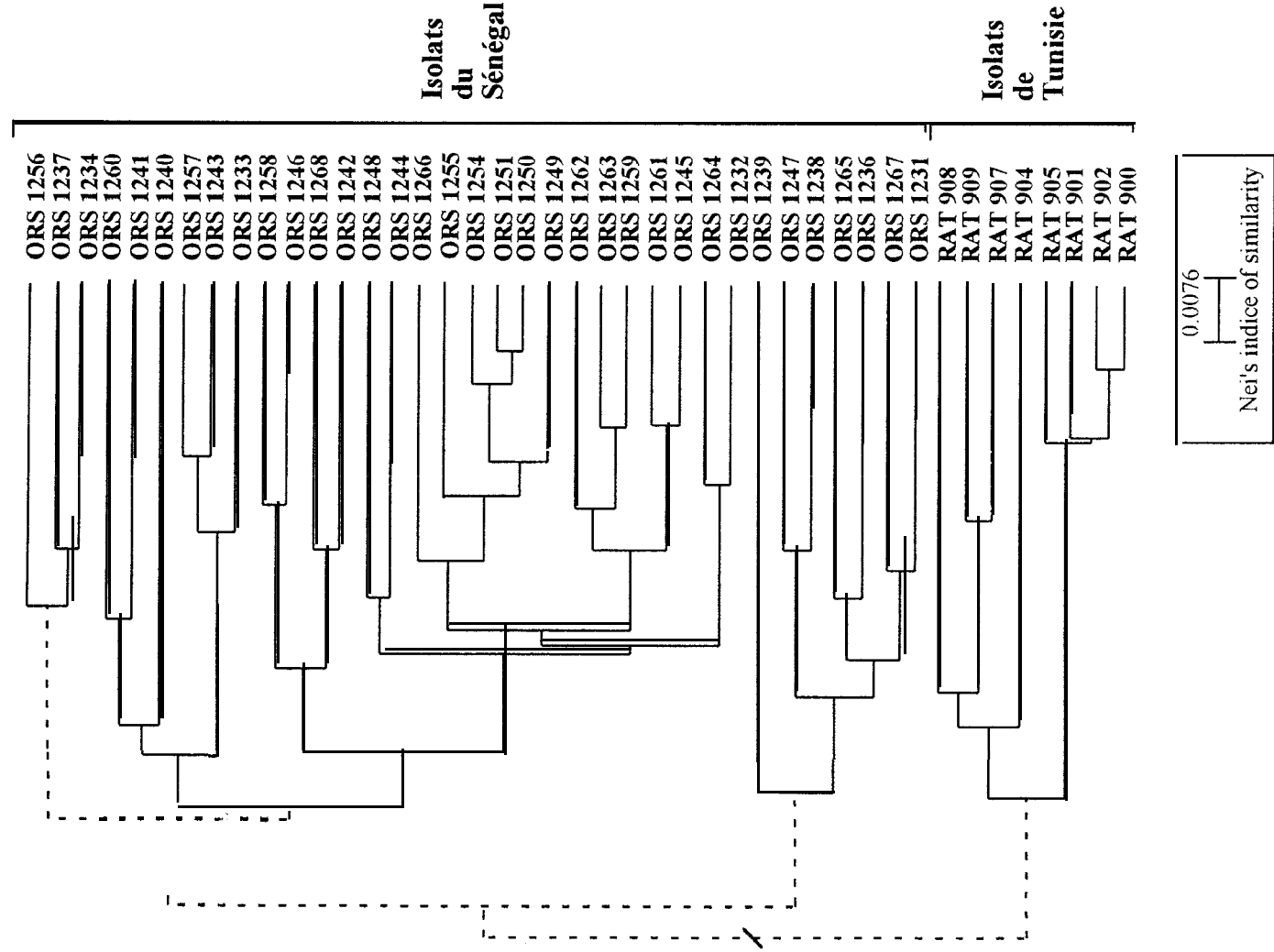


Figure 4 : Analyse par RAPD d'isolats obtenus à partir de nodules d'A *ia raddiana* du Sénégal et de la Tunisie (primer OP B14).

3. Analyse des isolats par *PCR-RFLP*.

Les analyses par SDS-PAGE et RAPD ne répondant que partiellement au besoin de maîtriser à Dakar une technique de screening rapide des isolats, nous sommes en train de développer une technique l'étude de la diversité de la zone comprise entre l'ADN codant pour l'ARN 16S et l'ADN codant pour l'ARN 23S par *PCR-RFLP*. Cette approche a été décrite récemment dans la bibliographie comme permettant une

Ainsi :

- *Tephrosia purpurea* et *Rynchosia miminima*, recensés dans le système pastoral, constituent d'importantes plantes fourragères pour le système pastoral. Elles sont dans la strate basse de la végétation naturelle et cette position peut leur être affectée lorsqu'on envisage, comme nous le verrons plus loin, leur intégration dans la conception de formations pluristrates artificielles à base de légumineuses pérennes (FPLP) ;
- toujours dans le système pastoral (Boulal), l'utilisation des légumineuses pour la réhabilitation des parcours peut reposer sur *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* et dans ce cas l'existence dans ce système d'enclaves agricoles posent des problèmes d'aménagement et de gestion des terroirs. ;
- *Faidherbia albida* offre au niveau du système Agricole du Bassin Arachidier, des potentialités commerciales (source de revenus par la vente des gousses en ville) et agroforestières (élément de restauration de la fertilité des champs). Cependant, l'absence de garantie de droits de propriété et d'usage sur l'arbre et aussi l'absence d'intégration de techniques de régénération au niveau des exploitations agricoles individuelles sont des problèmes à résoudre.

C'est dans le système agricole irrigué que s'affirment le plus, les usages multiples des LP : production de bois de feu et de service, production de fourrage ligneux, brise-vent, restauration de la fertilité. D'une façon générale, c'est la non prise en compte de ces rôles dans la conception des aménagements hydroagricoles qui en limite les potentialités d'utilisation.

12 • RESULTATS DES INVENTAIRES ECOLOGIQUES ET DES ENQUETES

12.1 • Enquêtes

Les enquêtes montrent la place non négligeable qu'occupent les légumineuses pérennes : 30 à 50 % des espèces pérennes des terroirs agricoles appartiennent aux LP, la sous-famille des *Mimosaceae* est la mieux représentée et l'espèce *Faidherbia albida* est la plus fréquente. Elles ont permis de confirmer la situation actuelle des différentes LP au niveau des exploitations agricoles (champs de cultures, parcelles irriguées ou parcours).

Ainsi, il apparaît des espèces en régression (cas de *Tamarix indica*, *Detarium microcarpum*) : d'autres sont menacées (*Acacia nilotica* var. *adansonii*, *Pterocarpus erinaceus*). Les espèces comme *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* sont stables et s'avèrent adaptées aux conditions écologiques actuelles, avec une intense régénération. Il y a adéquation entre les perceptions des populations sur la situation des LP et les conditions actuelles de terrain marquées par la sécheresse, la surexploitation de certaines LP (*Acacia senegal*, *Pterocarpus erinaceus*, *Acacia tortilis* subsp. *raddiana*) ou les aménagements hydroagricoles marginalisant le rôle des LP (système de culture irrigué).

13 - PERSPECTIVES

Il est prévu d'étendre l'année prochaine le diagnostic à la partie la plus humide de la zone semi-aride dominé par les systèmes agricoles plus diversifiés sur le plan des cultures. Des diagnostics complémentaires seront conduits dans les différents systèmes de productions étudiées l'an passé. Cela permettra de mieux cerner les contraintes et potentialités quant à l'utilisation des LP tant au niveau communal des terroirs qu'au niveau individuel des exploitations.

L'approche participative sera encore adoptée pour mieux associer les utilisateurs des LP à l'identification des contraintes à leur utilisation et des solutions. La MARP sera utilisée aussi pour recueillir les perceptions et attitudes des villageois sur les problèmes liés à la dégradation de l'environnement et à la désertification.

Des parcelles seront délimitées au niveau des parcs agro-forestiers des différentes zones agro-écologiques pour suivre l'évolution de la structure des peuplements et leur productivité.

Un accent particulier sera mis aussi sur l'identification et la mise au point de technologies utilisant les LP pour la restauration des terres dégradées. La MARP sera utilisée pour recenser les savoirs traditionnels locaux et les savoirs scientifiques et techniques en vue de leur combinaison pour améliorer les modes de valorisation et de gestion des LP.

II - MISE EN PLACE DES FORMATIONS PLURISTRATES LEGUMINEUSES PERENNES (FPLP)

22 - L'ESSAI

L'essai intitulé "Formation Pluristrate expérimentale" a été mis en place en Août 1994. Son but est d'anticiper ce volet initialement prévu pour les troisième et quatrième année du projet afin de tester déjà les possibilités de germination et d'établissement des petites LP encore mal connues. Il s'agit d'un essai localisé à Dahra et qui associe l'équipe DRPF de Dahra et celle du Laboratoire d'Ecologie Végétale de l'ORSTOM (Dr Michel GROUZIS).

Le protocole d'essai prévoit :

- *Tephrosia purpurea* et *Rynchosia minima* comme LP de la strate basse,
- *Acacia raddiana* subsp. *tortilis* comme LP de la strate haute,
- les combinaisons deux à deux des trois légumineuses pérennes à côté d'une formation naturelle où les LP seront spontanées - les quatre cas constituent quatre variantes de FPLP .

- des dispositions particulières : les petites LP de l'essai proviennent de graines germées puis élevée 3 mois d'attente en pépinière. Elles ont été transplantées entre les lignes d'une plantation de *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* âgée de 6 ans avec un écartement de 7 m x 7 m, les petites LP sont plantées en lignes espacées de 1 m avec le même écartement sur la ligne,
- le suivi pour chaque variante de FPLP (biomasse totale annuelle - au *standing crop*) produite, les profils d'humidité du sol, le statut chimique du sol : taux de matière organique, d'azote et de phosphate, l'activité microbiologique : *Rhizobium* et mycorhizes.

Pour chaque paramètre la situation de référence est donnée par leurs valeurs enregistrées au moment de la mise en place. Les mesures sont effectuées une fois, par an sauf pour les profils d'humidité, qui sont évaluées mensuellement en saison sèche et après chaque pluie en hivernage.

22 • PERSPECTIVES

Deux voies seront explorées pour la mise en place de formations pluristrates à légumineuses pérennes :

- la première, qui est intensive, prolongera l'essai mis en place cette année. Il s'agira de réduire les coûts d'établissement par les méthodes suivantes : réduction du temps d'élevage de plants allant jusqu'aux semis directs des graines avec ou sans prétraitement, travail préparatoire du sol et désherbage ;
- la deuxième voie exploratoire pour ces formations expérimentales est plutôt extensive et concerne surtout l'amélioration directement sur les parcours. Les actions prévues sont : la détermination du stock grainiers des légumineuses prioritaires dans les parcours (*Acacia tortilis* subsp. *raddiana*, *Acacia senegal*, *Tephrosia purpurea*, *Rhynchosia minima*), l'évaluation de la régénération spontanée des dites légumineuses dans des situations différenciées par l'influence de l'homme, des animaux ou par les facteurs édapho-topographiques, des tentatives d'amélioration des parcours par mise en défens et/ou semis dans les formations pluristrates à LP.

III • VOLET FORMAT103

31 • STAGES EFFECTUES

Deux stages ont été financés dans le cadre du projet :

- le premier est celui de Mamadou NDIAYE, pour la réalisation du mémoire de DESS (Spécialité Protection de l'Environnement et Amélioration des Systèmes Agraires Sahéliens). Il a pour titre "Place des Légumineuses Pérennes dans les Systèmes de Production des Zones Arides et Semi-Arides du Sénégal". L'encadrement a été effectué par Dr Michel GROUZIS du Laboratoire d'Ecologie de l'ORSTOM dans le cadre de la collaboration ISRA/DRPF-ORSTOM ;

• le deuxième stage a été effectué en deux fois par Mamadou DIONE pour la préparation de sa thèse de Doctorat de l'Université P. SABATIER de Toulouse (FRANCE). Le thème de thèse est "Valorisation des Données Biologiques et Ecologiques dans la Gestion des Ressources Naturelles : cas de la Production de Gomme Arabique Sénégal". Le Laboratoire d'accueil est l'Institut de la Carte Internationale de la Végétation. La soutenance est prévue en 1995.

32 • PERSPECTIVES

Les contacts avec des universités pour l'inscription de Mamadou NDIAYE en DEA Master ou Doctorat sont en cours pour donner suite à son DESS évoqué plus haut. La formation au niveau Master en Amérique du Nord serait possible mais l'enveloppe financière nécessaire s'avère hors de portée étant donné le Budget prévu à cet effet dans le Projet STDIII.

Dans ces conditions un stage de 1 à 2 mois au Département Systèmes Agro-Alimentaires et Ruraux (SAR) du CIRAD/France est envisagé en attendant de meilleures opportunités.

Dans la mesure des disponibilités budgétaires du projet, un voyage à Toulouse (FRANCE) sera demandé pour la soutenance de thèse de Mamadou DIONE évoquée plus haut.

III • PUBLICATION

Deux (2) projets de publication ont été mis en chantier en 1994 :

- La première est le mémoire de Mamadou NDIAYE évoqué plus haut et qui a été retenue pour paraître dans les annales du CREA/Université de Niamey,
- la deuxième "Place des légumineuses pérennes dans les systèmes de production de la zone aride et semi-aride au Sénégal" qui a pour co-auteurs Michel GROUZIS, Mamadou NDIAYE, Mamadou DIONE, Mamadou DIEDHIOU, Pape ND. SALL, est proposée à la revue Cahiers des Sciences Humaines de l'ORSTOM.

IV • CONCLUSIONS • POURSUITE DES ACTIVITES

Au niveau du groupe DKPF de Dahra, la première moitié de parcours du Programme, a permis d'avoir des résultats importants. Ainsi la place des LP dans les Systèmes de Production est bien située maintenant et les Légumineuses prioritaires à utiliser pour restaurer les terres dégradées ou prioritaires à être elles même restaurées en tant que ressources spécifiques, sont connues.

Des tests de mise en place de formation pluristrate basées sur les LP sont en cours et les formations expérimentales tests seront améliorées.

Les prochaines années vont permettre de mieux prendre en compte les perceptions et préférences des villageois sur la dégradation des LP et leur utilisation pour la restauration. Les contraintes et les opportunités quant à l'établissement de formations pluristrates dans les terroirs et les exploitations agricoles individuelles seront mieux cernées pour permettre l'élaboration de technologies appropriées de mise en place de formations pluristrate à base de légumineuse pérennes.

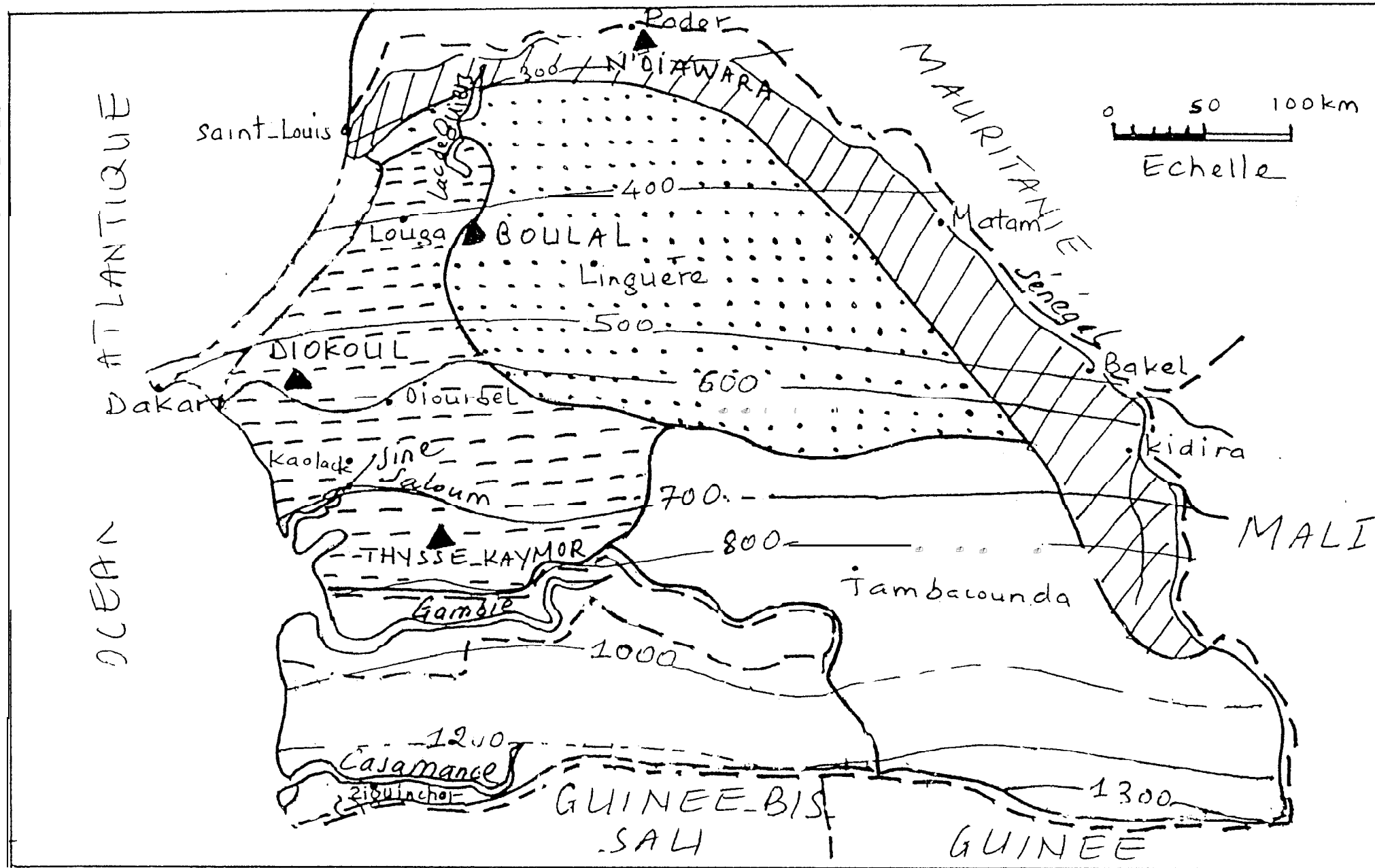


Fig 1: Zonage Agro-Ecologique, pluviométrie et Localisation des sites d'enquête. Légende: — 300 — Isohyètes (Période 1951-1980) en mm,

▲ : sites d'enquêtes socio-économiques, Zones agro-écologiques; ▨ Vallée du Fleuve
 ▤ Zone Sylvopastorale ▦ Bassin Arachidier

RAPPORT V

**LABORATOIRE de MICROBIOLOGIE
ORSTOM - DAKAR**

B. DREYFUS, M. NEYRA, Ph. DE LAJUDIE
et al.
(Novembre 1994)

I. ACTIVITES DE RECHERCHE

A. PHENOLOGIE DE LA NODULATION D'ACACIA *RADDIANA*

L'étude de la nodulation d'Acacia *raddiana* adultes in situ a été entreprise, en collaboration avec le Laboratoire d'Ecologie (M. Grouzis). Des travaux antérieurs ayant montré que 80 à 90 % de la biomasse racinaire de surface de ces arbres dans le Ferlo étaient situées dans le premier mètre, l'étude a été limitée à cette zone superficielle.

L'étude a été conduite sur un peuplement naturel dans la station expérimentale de Souilène, dans le Ferlo. Nous avons d'une part estimé la densité de nodules en fonction de la distance depuis le tronc, et d'autre part suivi l'évolution de cette densité de nodules au cours de l'année dans la zone de densité maximum.

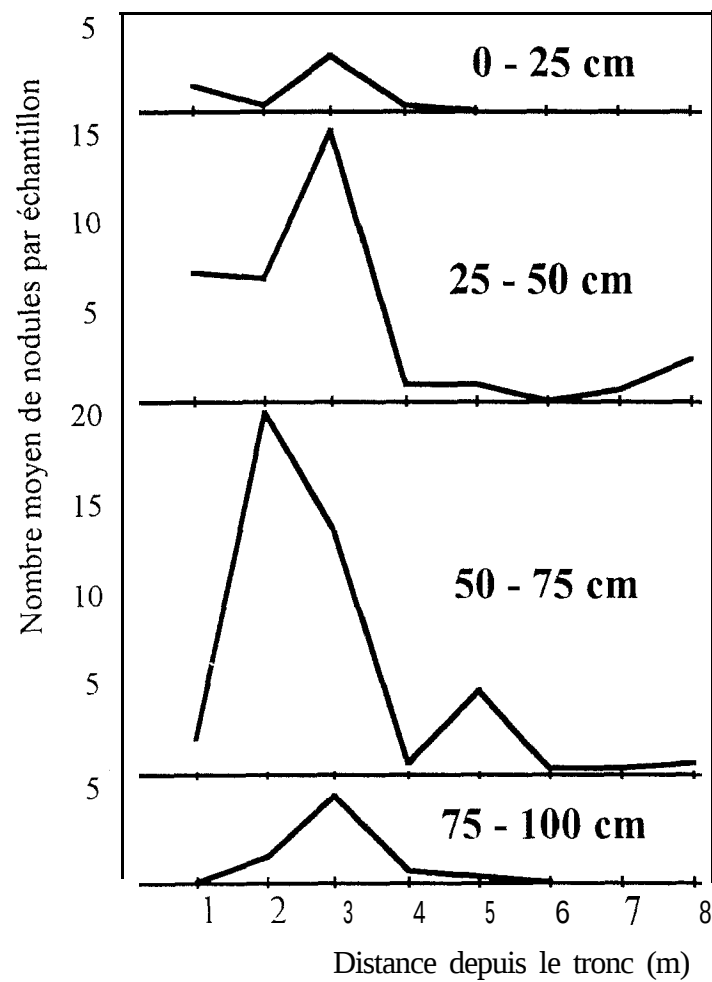


Figure 1 : Répartition des nodules sur les racines superficielles d'un *A. raddiana* dans le Ferlo (Souilène).

Des prélèvements de sols ont été effectués à l'aide d'un carrotier métallique de 7 cm de diamètre intérieur, enfoncé à l'aide d'une masse. La colonne de sol a été fractionnée en 4 segments de 25 cm. Les échantillons de sol ont été rapportés au laboratoire et triés sur un tamis de 1 mm pour séparer les racines et les nodules du sol. Les nodules ont été dénombrés, et le poids des racines et des nodules a été mesuré après séchage à l'étuve.

A. 1. Localisation des nodules

Pour étudier la localisation des nodules sur les racines de surface, des séries de prélèvements ont été effectuées sur différents arbres de taille équivalente, tous les mètres entre 1 m et 8 m du tronc ; 3 lignes parallèles de prélèvement ont été effectuées pour chaque arbre, à 20 cm les unes des autres. L'analyse des résultats montre une densité de nodules maximale dans la zone comprise entre 2 et 3 mètres du tronc, et à une profondeur comprise entre 25 et 75 cm. A titre d'exemple, la répartition du nombre de nodules en fonction de la profondeur et de la distance du tronc est montré pour un arbre (figure 1).

A. 2. Evolution de la nodulation au cours de l'année.

L'évolution de la nodulation a été suivie au cours de l'année sur 4 arbres présentant un aspect identique, dans la zone supposée contenir le maximum de nodules. Les prélèvements ont eu lieu en fin de saison sèche (fin juin), puis tout au long de la saison des pluies (fin juillet, fin août, mi septembre et fin octobre). Sur chacun des arbres un prélèvement a été effectué à chaque point cardinal, en décalant de 20 cm à chaque date de prélèvement. A chaque date, 16 prélèvements ont donc été effectués pour chaque profondeur.

Les résultats montrent une assez grande hétérogénéité, qui rend difficile l'analyse statistique. Cependant il est intéressant de noter que :

- en fin de saison des pluies on observe la présence de nodules secs, vestiges de la saison des pluies précédente, ou peut-être même plus anciens encore ;
- des nodules frais apparaissent au mois de septembre, près de 2 mois après les premières pluies ;
- ces nodules semblent très actifs : ils présentent une couleur interne rouge, caractéristique de la présence de leghémoglobine indispensable pour la fixation d'azote, et surtout la présence de la nitrogénase est indiquée par la forte activité réductrice d'acétylène montrée par ces nodules ;
- ces nodules ont une durée de vie apparemment courte, puisque dès le mois d'octobre ils commencent à se dessécher.

L'évolution au cours du temps du nombre total de nodules observés par carotte de 1 m de profondeur est montré par la figure 2 (chaque point est la moyenne de 4 prélèvements sur 4 arbres).

Le présent rapport est un résumé des activités de recherche et de formation effectuées depuis le début du projet STD III “Réhabilitation des Terres Dégradées au Nord et au Sud du Sahara” par l’équipe DRPF basé à Dahra-Djolo. L’équipe intervient sur 2 volets correspondant aux parties successives suivantes du rapport :

- place des légumineuses dans les systèmes écologiques ;
- essai de mise en place des formations pluristrates.

Le volet formation constitue la troisième partie, suivie des conclusions générales et les perspectives.

I • PLACE DES LEGUMINEUSES DANS LES SYSTEMES ECOLOGIQUES

L’utilisation des légumineuses pérennes (LP) pour la “Réhabilitation des terres dégradées” suppose au préalable la connaissance de leurs rôles et fonctions dans les différents systèmes écologiques. Les recherches concernant la place des LP dans les systèmes ont été effectuées en deux phases :

- la première est un diagnostic général de la place des LP dans les terroirs villageois de la zone semi-arides du pays (Figure 1 en annexe). Elle a été effectuée selon la méthode d’approche et de recherche participative (MARF)
- la deuxième partie est une étude approfondie sur la place des légumineuses dans les systèmes de production. Elle a été conduite au moyen d’un inventaire écologique et d’enquêtes par questionnaire.

Les deux phases ci-dessus ont été précédées d’une revue bibliographique qui nous a mené à travers les bibliothèques et services de documentation des organismes de recherche et divers projets de développement surtout forestiers.

Les principales conclusions de ces étapes sont exposées dans les paragraphes suivants.

11 • RESULTATS DE L’ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET DU DIAGNOSTIC DES LEGUMINEUSES PERENNES DANS LES TERROIRS

La revue bibliographique a permis de fixer les zones agro-écologiques de l’étude et avoir une vue assez générale des systèmes d’utilisation des terres dans chacune des dites zones. C’est dans ce contexte qu’ont été examinés les problèmes de la dégradation des terres et des solutions de réhabilitation envisageables. Ainsi, les aspects suivants ressortent de l’étude.

La désertification est définie par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) comme étant "la dégradation des sols dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches qui résultent d'activités humaines destructives". C'est un phénomène permanent au Sahel, son impact est toujours présent et ses effets amplifiés par la pression agro-démographique sur les terres et la surexploitation des ressources. Le diagnostic relatif aux légumineuses pérennes et à leur utilisations dans les terroirs (cf. sites d'enquêtes, Figure 1) a conduit aux conclusions dont les détails sont inclus dans le rapport sur les aspects socio-économiques des légumineuses pérennes dans les systèmes écologiques (DRPF/ISRA, août 1993).

Dans la plupart des cas, les rôles dévolus aux LP sont très nets et l'influence de l'homme peut être déterminant dans le type de paysage présent dans le terroir ; c'est le cas des parcs agroforestiers présents dans le système pastoral ou le système agricole du bassin arachidier et définis comme étant un espace cultivé et/ou pâturé, occupé avec régularité par une formation ligneuse naturelle consistante, de composition souvent plurispécifique, évoluant dans le temps et susceptible de fournir de façon significative les services et produits attendus²).

Les LP peuvent avoir des fonctions économiques intrinsèques : lorsqu'il s'agit par exemple de la vente de leur gousses (*Acacia raddiana*, *Faidherbia albida*, *Tamarindus indica*) ou de leur gomme (*Acacia senegal*) qui procurent directement des revenus aux villageois. Souvent, elles sont utilisées comme ressources entrant dans un type de production donnée : c'est le cas des gousses d'acacias servant de fourrage ligneux dans le système pastoral au Nord, ou des feuilles de *Faidherbia albida* dont la chute constitue une litière assurant la restauration de la fertilité des champs dans les systèmes agricoles au Sud.

Les LP interviennent dans de nombreux usages en alimentation humaine et pharmacopée ; c'est le cas des écorces et gousses de *Tamarindus*, gomme de *Acacia senegal*, feuilles de *Piliostigma reticulata*, écorce de *Acacia tortilis* var. *adansonii*, etc...

Finalement, les LP s'avèrent être des essences à usage multiple, Cette qualité peut leur conférer des statuts particuliers et des méthodes de gestion traditionnelle confirmées dans les terroirs : c'est le cas de *Faidherbia albida* dans le bassin arachidier.

Les résultats du diagnostic de la dynamique des LP dans les terroirs et ceux relatifs à l'évaluation des préférences des villageois montrent pour chaque zone la situation des différentes espèces : certains sont à considérer comme de simples ressources commerciales ou de consommation directe. D'autres offrent des potentialités quant à leur utilisation pour la restauration des terres dégradées.

¹ BAUMER, M., 1991 : Concepts et définitions, Sécheresse, 3, vol. 2 : 228-230

² SALL, P., 1993 : Les parcs agroforestiers au Sénégal. Etat des connaissances et perspectives, DRPF/ISRA

ISRA-Direction Recherches Productions Forestières

Les producteurs souhaitent la présence des LP dans les espaces de culture et les espaces pastoraux, et dans une grande part des cas, des droits de propriété. La moitié environ des producteurs joue un rôle actif dans le développement et le maintien des LP en favorisant la régénération naturelle (41 % des enquêtes) ou par la plantation (6 %). Il y a encore beaucoup à faire en matière de sensibilisation, éducation et vulgarisation pour la seconde moitié des producteurs qui a une attitude passive.

12.2 - Inventaires écologiques

L'étude concernant les aspects écologiques ont montré que, dans les formations naturelles, la proportion des légumineuses pérennes, en terme de diversité, décroît du Nord (80 %) au Sud (9 %). Au nord, le genre *Acacia* est dominant. Au Sud, les légumineuses à larges feuilles, telles que *Pterocarpus erinaceus*, *Piliostigma thynnii*, *Cordia pinnata* sont plus fréquentes.

Pour une même zone géographique, la proportion de légumineuses pérennes dans les parcs agroforestiers est plus élevée que dans les formations naturelles. Ces mêmes tendances sont conservées quand on s'adresse au critère densité, mais de 8 à 10 % plus faible. La contribution à la biomasse dans les formations peu anthropisées peut être très élevée (90 % à Ndiawara). Globalement, cette proportion diminue du Nord au Sud, ce qui confirme les résultats relatifs à la diversité.

Cette différence observée entre parcs agroforestiers et formations spontanées confirme le rôle de l'homme dans la gestion des ressources naturelles lorsqu'il favorise les espèces qui l'intéressent, même si le potentiel du milieu est faible. Cela confirme le fait que la présence des légumineuses pérennes dans les champs ne saurait être un simple hasard. Elles la doivent à leurs rôles et fonctions qu'elles jouent dans la vie socioéconomique des populations rurales.

12.3 - Conclusion

Dans le système de culture irriguée, il n'existe pas une réalité de végétation à parc. Pour se justifier, les populations évoquent plusieurs raisons. Cette attitude rend compte de l'insuffisance de l'impact des nombreux projets installés dans cette région depuis quelques années. De ce constat, il s'avère nécessaire d'adopter les techniques de vulgarisation aux conditions socio-économiques des populations locales. Il serait souhaitable dans cette démarche de privilégier les espèces locales dont les rôles et fonctions sont plus connus par les populations utilisatrices.

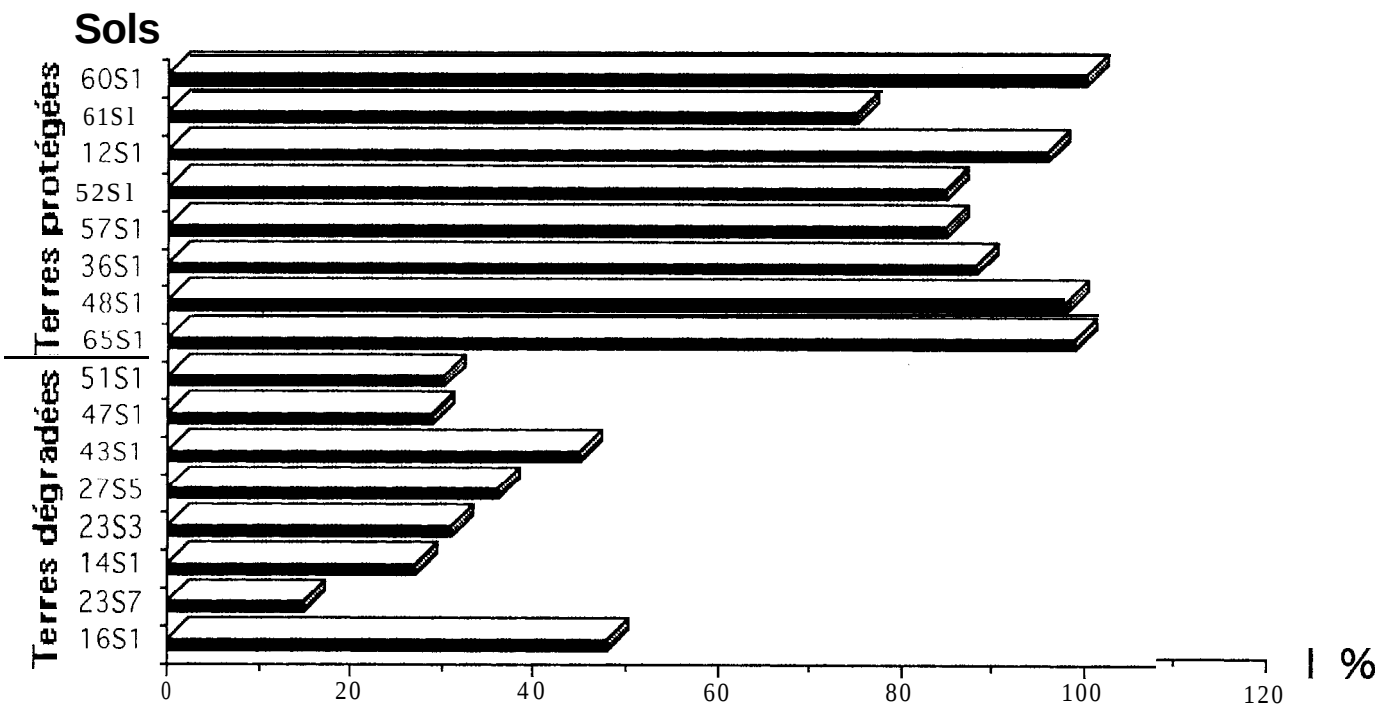
Dans les autres systèmes étudiés, les légumineuses sont fort utilisées et bien connues. Les populations savent évaluer leur dynamique et maîtrisent les rôles et fonctions de ces espèces.

SOLS	S 20	S 5	s 21	S 23	S 3 4	S 6	s 19	S 2 4	S 3
1 %	35	37	40	45	68	71	77	78	79

SOLS	s 13	s 30	S 25	S 32	S 16	S 8	S 27	S 28	s 29
1 %	82	82	84	85	86	87	87	88	88

SOLS	s7	S9	s14	S26	S36	S10	s35	s 4	s 1	S33
1 %	89	91	91	91	94	96	96	97	99	100

TABLEAU 3 : INTENSITE D'INFECTION DES RACINES DE ACACIA **TORTILIS**
A PARTIR DES SOLS DE TUNISIE



**Figure 1: infection endomycorhizienne de
Acacia tortilis à partir des sols du Sénégal**

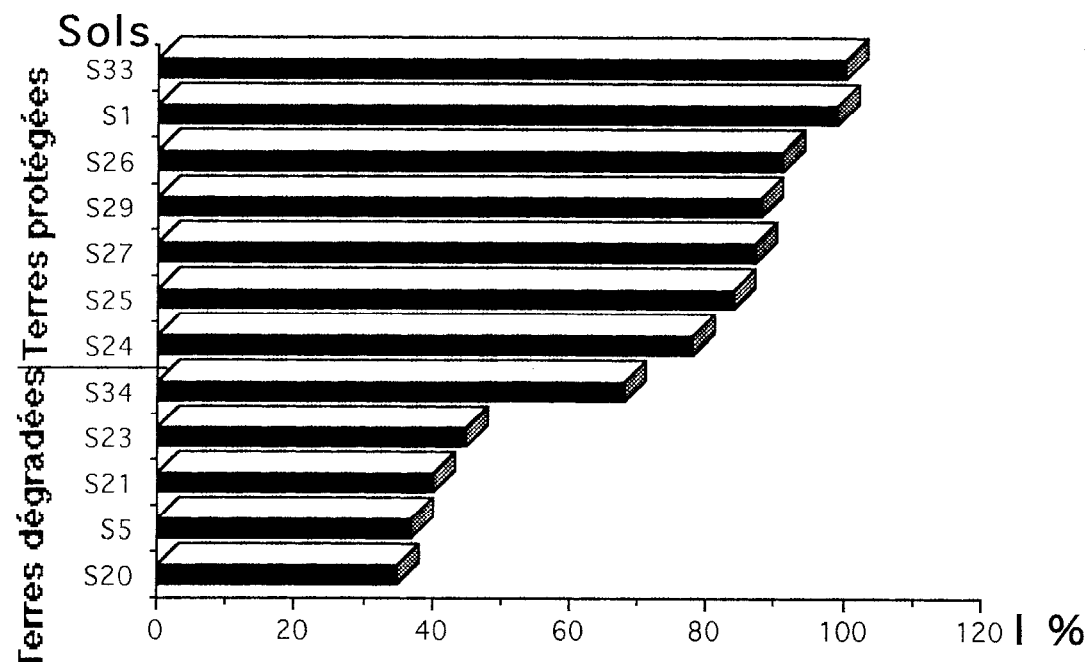


Figure 2: Infection endomycorhizienne de Acacia tortilis à partir des sols de Tunisie

50% des racines observées ont été mycorhizées à l'exception de celles de *P. africana*. Ce taux de mycorhization dépend de la souche et de la plante hôte. C'est ainsi que les plantes inoculées avec *G. fasciculatum* n'ont été mycorhizées qu'entre 35 et 72 %, *G. margarita* a infecté entre 57 (*P. chilensis*) et 80 % (*A. tortilis*) des racines inoculées. *G. mosseae* a infecté le plus de racines : 77 (*P. cineraria*) à 100% (*P. chilensis*). L'intensité de l'infection endomycorhizienne a été en général inférieure à 50 % (tableau 4). Elle a été de 14 (*A. tortilis*) à 39 % (*P. cineraria*) avec *G. fasciculatum* et 12 (*P. chilensis*) à 45 % (*P. juliflora*) avec *G. margarita*. Seul *G. mosseae* a infecté *P. chilensis* et *P. cineraria* avec des intensités respectives de 53 et 66 %. Il est à noter que les intensités d'infection obtenues avec *G. margarita* ne sont pas statistiquement différents selon les espèces. De même avec *G. fasciculatum* seule l'intensité obtenue chez *P. cineraria* est différente de celles observées chez les autres hôtes. Il est intéressant de remarquer que *P. juliflora* et *A. tortilis* ont donné des réponses pratiquement identiques à l'inoculation des trois symbiotes. *P. chilensis* semble répondre efficacement qu'à l'inoculation de *G. mosseae*. Par contre *P. cineraria* avec une intensité totale de 48 % semble répondre mieux à l'inoculation des trois champignons. Si l'intensité de l'endomycorhization est relativement faible, les résultats semblent montrer que *G. mosseae*, grâce à une intensité totale de 41, 5 % est l'une des espèces de CAV introduites les plus infectives sur les légumineuses arborescentes utilisées au Sénégal. Il a déjà été utilisé à plusieurs occasions dans l'inoculation des arbres de la région (Cornet et Diem, 1982).

5- CONCLUSION

Si les champignons à arbuscules et à vésicules sont indispensables au maintien des arbres dans les terres dégradées ils doivent être soustraits des perturbations du milieu pour assurer une meilleure symbiose avec leur hôte. Dans le cas d'une réhabilitation de ces terres il est donc important de penser à réintroduire les champignons symbiotiques nécessaires au rétablissement des arbres, à augmenter leur nombre et surtout à sélectionner les plus effectives et aptes à se développer dans les nouvelles conditions de milieu.

INSTITUT SENEGALAIS
DE
RECHERCHES AGRICOLES

DIRECTION DES RECHERCHES
SUR LES
PRODUCTIONS FORESTIERES

PROGRAMME STDIII
"REHABILITATION DES TERRES DEGRADEES
AU NORD ET AU SUD DU SAHARA"

Rapport **d'activite** de l'équipe
DRPF/ISRA de dahra
élaboré pour l'Atelier de mi-parcours
GABES (Tunisie) 20 au 22 novembre 1994,

par

Mamadou DIONE
Chercheur

Mamadou NDIAYE
Assistant de Recherche

pendant 1 h avant d'être semées dans les sachets précités. L'arrosage a été effectué régulièrement tous les jours avec de l'eau stérile. Les plants ont été placés en pépinière.

3.3. Coloration des racines

A la fin de l'expérience, les racines fines ont été colorées selon la procédure de Phillips et Hayman (1970) modifiée. Elles ont été lavées puis placées dans des tubes contenant une solution de KOH à 10 % et autoclavées à 120° C pendant 10 minutes. Après plusieurs rinçages (au moins trois) les racines ont été recouvertes avec une solution de H₂O₂ à 3 % pendant 10 minutes puis rincées à l'eau de robinet. Elles ont été ensuite acidifiées par agitation dans une solution contenant 500 ml de glycérol, 50 ml de HCl à 1 %, 450 ml d'eau et 0,05 % de bleu trypan. L'ensemble a été autoclavé à 120° C pendant 10 minutes puis mis dans une solution de glycérol acidifié jusqu'à l'observation des racines.

3.4. Estimation de l'infection des racines

Après coloration, les racines ont été coupées en fragments de 1 cm de long puis montée entre lames et lamelles selon la méthode de Giovannetti et Mosse (1980) légèrement modifiée. Vingt fragments pris au hasard de chaque échantillon ont été placés par groupe de 5 sous le microscope. L'infection a été estimée d'abord en pourcentage de nombre de fragments colonisés par les CAV puis en intensité d'infection. Cette dernière a été estimée par le pourcentage de longueur de chaque fragment effectivement infectée par rapport à la longueur totale du fragment.

3.5. Culture de champignons à arbuscules et à vésicules.

Des souches de CAV (*Glomus mosseae*, *G. fasciculatum*, *Gigaspora margarita* et *Scutellospora heterogama*, *G. aggregatum* et *G. deserticola*) ont été obtenues de l'étranger sous forme de spores et de racines infectées mélangées à un sol préstérilisé. Elles ont été mises en culture et multipliées à partir de plantes maraîchères : la culture a eu lieu dans des pots en terre cuite contenant du sol argilo-sableux à pH neutre et pauvre en phosphore. Une couche de gravier a été mise au fond des pots et une autre à la surface du sol. L'ensemble a été stérilisé à l'autoclave. Ensuite 5 g d'inoculum provenant de chaque souche ont été mélangés au sol de culture avant les semis des graines des plantes hôtes. Les pots ont été régulièrement arrosés à l'eau stérile et maintenus en conditions ambiantes en pépinière.

3.6. Test d'infection des CAV

Des fragments de racines ont été prélevés à partir des souches de CAV cultivées dans les pots décrits antérieurement. Ces racines ont été observées pour vérifier leur infection avant de servir comme inoculum pour les espèces suivantes : *Prosopis a fricana*, *P. juliflora*, *P. chilensis*, *P. cineraria* et *Acacia tortilis*. Le test d'infection a eu lieu dans des sachets de polyéthylène contenant du sol argilo-sableux préalablement stérilisé à l'autoclave. L'inoculation a été faite à raison de 1 g de racines fraîches par plant avant les semis . Le dispositif a été complètement randomisé et placé en pépinière.

4- RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Infection mycorhizienne et caractéristiques géoclimatiques

Parmi les 45 sols prélevés au Sénégal, 34 ont renfermé des CAV capables d'infecter les racines d'*A. tortilis* avec une intensité de plus de 50 % (Tableau 1). Vingt (20) sols ont entraîné une infection à plus de 75 %. Dans ce dernier groupe on retrouve des sols prélevés dans des zones géographiques très différentes au point de vue climatique (du Nord au Centre du Sénégal) et au point de vue édaphique (humidité, pH, teneur en N, P et en sels du sol) (tableau 2). Par ailleurs un même sol (23 S) peut renfermer des CAV infectant *A. tortilis* avec des intensités très différentes (15, 31, 62 et 86 %). En Tunisie, 22 **des 28** sols prélevés renfermaient des CAV infectant *A. tortilis* à plus de 75 %. Pourtant ils étaient très distants et différents les uns des autres (tableau 3). Cette variation dans l'infection endomycorhizienne **peut** être due à la présence de plusieurs espèces de champignons dans les milieux étudiés ou par l'effet de certaines caractéristiques du milieu (pH, salinité...) sur l'intensité d'infection d'une espèce de champignon donnée.

4.2. Infection mycorhizienne et points de prélèvement des sols.

Cette étude a montré que l'infection de *A. tortilis* par les CAV ne dépend pas du couvert végétal sous lequel ont été prélevés les sols. C'est ainsi que les sols 12 S 1, 65 S1 et 62 S 1 prélevés au Sénégal respectivement sous *Acacia nilotica*, *A. t or tilis* et *Tephrosia purpurea* **ont** entraîné pratiquement les mêmes intensités d'infection (96 à 99 %). Les sols prélevés en Tunisie sous *Ratema retam* (S 5, S 6, S 4) , contenaient des CAV qui ont infecté *A. tortilis* à des taux variant entre 37 et 97 % (tableau 3). Il faut souligner que les sols prélevés sous la plante hôte *A. tortilis* n'ont pas toujours été à l'origine des plus fortes infections.

SOLS	23 S7	14 S1	47 S1	51 S1	23 S3	54 S1	27 S5	43 S1
1 %	15	27	29	30	31	32	36	45

SOLS	16 S1	33 s2	64 S2	29 S1	53 S1	42 S1	23 S1	41 S1
1 %	48	50	50	53	53	55	62	63

SOLS	64 S3	18 S1	59 S2	61 S1	63 S4	27 S3	38 si	45 S1
1 %	67	70	73	75	75	81	81	81

SOLS	35 S1	23 S8	52 S1	57 S1	23 S2	37 S1	36 S1	63 S3
1 %	84	85	85	85	86	87	88	94

SOLS	64S1	63S2	12S1	40si	62S1	34S1	48S1	65S1	60S1
1 %	94	95	96	96	97	98	98	99	100

TABLEAU 1 : INTENSITE D'INFECTION DES RACINES DE *ACACIA TORTILIS* A PARTIR DES SOLS DU SENEGAL

4.3. Effet des perturbations du milieu.

Au Sénégal, les sols qui ont été à l'origine des plus faibles infections endomycorhiziennes (< 50 %) ont été en général les plus soumis à l'occupation humaine (14 S, 23 S, 51 S) ou à l'érosion éolienne ou hydrique (16 S, 47 S). Par contre les sols protégés (12 S, 48 S), les anciennes jachères (52 S), les zones forestières (36 S, 57 S), les stations expérimentales (61 S, 65 S) ou tout simplement les zones délaissées par les populations (60 S) ont été à l'origine d'au moins 75 % d'infection racinaire (tableau 1) (figure 1).

En Tunisie, les sols soumis à une forte érosion éolienne (S 5), les dunes sahariennes (S 20), les zones perturbées par l'occupation humaine (S 21) et les versants érodés des **Matmatas** (S 23) ont été à l'origine des infections endomycorhiziennes les plus faibles (35 à 45 %). Au niveau des zones non ou peu perturbées comme les parcs (S 24 à S 27 et S 29) les sols sous couvert arboré (S 28) et l'oasis de Gabès (S 33) les CAV ont infecté entre 78 et 100 % les racines de *A. tortilis* (tableau 3) (figure 2).

Ces résultats montrent que les différentes causes de dégradation du milieu naturel peuvent entraîner une diminution importante du pouvoir infectieux des CAV en affectant probablement les structures de ces champignons telles que les hyphes (Jasper et *al.*, 1989). La faible infectivité des CAV des zones érodées peut aussi s'expliquer par la perte des surfaces arables où ont lieu la plupart des activités biologiques (Powell, 1980). La diminution des populations mycorhiziennes peut non seulement entraîner une faible infection racinaire, mais également perturber la bonne croissance des plantes hôtes (Moorman and Reeves, 1979). De même nous avons pu observer que certaines pratiques culturelles pouvaient altérer l'infection par les CAV comme l'ont souligné aussi certains auteurs (Abbott et Robson, 1991).

4.4. Test d'infection des champignons à arbuscules et à vésicules

Parmi les six espèces de CAV de collection cultivées à partir des plantes maraîchères, seules *Glomus mosseae*, *G. fasciculatum* et *Gigaspora margarita* ont infecté leurs hôtes. *Solanum aethiopicum* et *Lycopersicum esculenta* ont été les plus infectés et ont donné le plus de racines. Ils ont été par la suite utilisés comme support d'inoculum de CAV. Les souches précitées ont été inoculées aux espèces suivantes : *Prosopis africana*, *P. chilensis*, *P. cineraria*, *P. juliflora* et *Acacia tortilis raddiana*. Les résultats obtenus après 3 mois de culture sont consignés dans le tableau 4.

D'une manière générale, et après trois mois de culture, au moins

SOLS	12s	14s	16s	18s	23s
pH(KCl)	4.58	6.09	8.67	5.27	5.62
C %.	2.19	2.42	1.19	3.38	4.01
N %.	0.29	0.29	0.15	0.34	0.47
Pt (ppm)	197	108	137	278	218
ECms20°	0.055	0.041	0.055	0.017	0.036

SOLS	27s	29s	30s	33s	34s
pH(KCl)	4.48	6.15	5.78	4.06	5.55
C %.	2.87	2.67	2.50	6.55	4.33
N %.	0.27	0.30	0.26	0.73	0.37
Pt (ppm)	47	43	53	90	45
ECms 20"	0.016	0.051	0.027	0.027	0.028

TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS
PRELEVES AU SENEGAL

SOLS	48S	51S	52S	53s	54s	57s
pH(KCl)	3.91	4.70	4.05	4.44	4.97	5.0
C %.	6.20	5.55	6.21	3.55	5.78	14.42
N %.	0.54	0.51	0.61	0.30	0.50	1.07
Pt (ppm)	101	86	112	22	49	118
ECms20°	0.022	0.023	0.025	0.018	0.033	0.032

SOLS	58S	59s	60S	62S	63S	64S	. 65S
pH (KCl)	6.69	5.68	6.88	5.99	7.64	6.62	8.38
C %.	13.35	18.88	8.27	1.93	2.50	2.46	3.21
N %.	1.31	1.24	0.79	0.18	0.27	0.23	0.46
Pt (ppm)	91	133	121	39	95	65	782
ECms (20°)	2.410	5.600	0.132	0.031	0.081	0.065	0.136

TABLEAU 2 (suite) : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS PRELEVES AU SENEGAL

RAPPORT IV

DIRECTION DES RECHERCHES SUR LES PRODUCTIONS FORESTIERES ISRA - DAKAR

P. SALL, O. DIAGNE, M. DIONE, M. NDIAYE

et al.
(Novembre 1994)

1 - INTRODUCTION

Il est universellement connu que les champignons mycorhiziens contribuent efficacement à l'établissement et au maintien des arbres dans des conditions écologiques très rudes (Le Tacon et *al.*, 1987). Certains arbres ne peuvent même pas pousser sans être associés à des champignons mycorhiziens (Janos, 1987). Grâce aux hyphes extramatriciels, les racines mycorhizées explorent un volume de sol plus important que les racines non mycorhizées. Cette qualité permet ainsi aux arbres d'avoir accès et surtout d'absorber plus de substances nutritives et d'eau nécessaires à leur croissance et leur fonctionnement. Les mycorhizes permettent également aux arbres de lutter contre certains facteurs adverses de l'environnement tels que les sols très acides ou très alcalins, la salinité et la présence de pathogènes (Marx, 1969 ; Reeves, 1987; Duchesne, 1993).

Malgré l'importance des champignons mycorhiziens, peu d'études ont été faites concernant leur association avec les légumineuses arborescentes des terres dégradées d'Afrique.

L'utilisation de ces légumineuses comme **Acacia tortilis** constitue une grande priorité pour la réhabilitation des zones dégradées, au Nord et au Sud du Sahara. La présente étude a pour but d'évaluer l'infection des racines **d'Acacia tortilis** par les champignons à arbuscules et à vésicules présentes dans ces zones dégradées.

3 - MATERIEL ET METHODES

3.1. Prélèvements de sols

A la suite de plusieurs prospections effectuées au Nord et au Sud du Sahara 73 échantillons de sols ont été prélevés dont 28 en Tunisie et 45 au Sénégal. Ces échantillons ont été prélevés soit **sous Acacia tortilis**, soit sous d'autres espèces, soit encore en dehors du couvert végétal.

3.2. Piègeage de champignons à arbuscules et à vésicules.

Les sols prélevés ont été mélangés à du sable stérilisé puis répartis dans des sachets en polyéthylène à raison de 3 sachets par échantillon. Les graines d'**A. tortilis** ont été scarifiées à l'acide sulfurique concentré pendant 30 mn puis trempées dans de l'eau stérile