

INTRODUCTION

Les écosystèmes sahéliens subissent depuis plusieurs décennies une forte dégradation en raison de la péjoration des conditions climatiques et de l'anthropisation croissante (HARE 1983, ALBERGEL et al., 1985). Cette situation est fort préjudiciable aux conditions de vie des populations et à l'économie des pays sahéliens puisque la végétation spontanée constitue la base de l'alimentation des troupeaux et que la production vivrière repose sur la culture pluviale.

Cette végétation sahélienne a fait l'objet de nombreuses investigations : inventaire floristique, typologie et cartographie réalisés notamment par l'IEMVT, recherches sur certains aspects du fonctionnement développées dans le cadre de grands programmes tels que le P.B.I. (BILLE 1977, BOURLIERE 1978, POUPON 1980), le COMITE LAT de la D.G.R.R.T (BARRY et al., 1983 pour le MALI, TOUTAIN et al., 1983, CHEVALLIER et al., 1985, GROUZIS 1988 pour le BURKINA FASO, BARRAL et al., 1983 pour le Sénégal), P.P.S (PENNING DE VRIES et DJITEYE 1982), PROJET ISRA-FAO (VAN PRAET 1983).

Bien que la variabilité caractéristique du milieu sahélien soit loin d'être suffisamment connue ces recherches ont mis en évidence les variations de la structure spécifique en relation avec les conditions édapho-climatiques (BILLE 1977, CORNET 1981, BARRAL et al., 1983, CISSE 1986 et GROUZIS 1988), certains mécanismes de la mise en place du peuplement herbacé (CISSE 1986, GROUZIS et al., 1986, CARRIERE 1989), les fluctuations spatio-temporelles des cycles de production (BILLE, BARRAL, GROUZIS op. cit.), le déterminisme hydrique (CORNET 1981) et trophique (DE VRIES et DJITEYE 1982) de la production. Des modèles de production des pâturages (RAMBAL et CORNET 1982, HIERNAUX 1984, DE VRIES et DJITEYE 1982, DIEYE 1983) ont été proposés.

La phénologie des ligneux a été reliée aux variations des conditions écologiques (POUPON 1980, GROUZIS et SICOT 1980) et la productivité d'un certain nombre d'espèces ligneuses a été évaluée (POUPON 1980, VAN PRAET 1983, TOUTAIN et al., 1983). Plus récemment des recherches sur la fixation de l'N par les légumineuses tropicales ont été entreprises (DOMMERGUES et DREYFUS 1985) et se développent encore.

Un des problèmes qui paraît être des plus urgents à résoudre dans les régions sahéliennes est la reconstitution des écosystèmes dégradés. Celle-ci doit reposer sur l'association herbacée-ligneux afin de concilier au mieux les nécessités de la production herbacée (cultures, espèces pastorales) et la stabilité du milieu apportée par les ligneux en raison de leur moins grande sensibilité aux perturbations de l'environnement (MENAUT 1983).

On admet généralement (SANCHEZ 1987) l'hypothèse selon laquelle les arbres améliorent les conditions de milieu (propriétés physiques du sol, niveaux trophiques) et favorisent le développement de la végétation herbacée. On doit cependant reconnaître que, les connaissances sur les interactions arbre-herbe sont relativement peu développées en milieu sahélien (JUNG 1970, BERNARD-REVERSAT 1981), contrairement à d'autres zones bioclimatiques telles que : l'Europe du Sud (VACHER 1984, HAMIDOU 1987, JOFFRE 1988), le CHILI (OVALLE et AVENADO 1987, 1988), et les savanes (WALKER et NOY-MEIR 1982, ANONYME 1988a), où les recherches sont relativement avancées.

L'objectif de ce travail est donc d'étudier les interactions entre les ligneux et les herbacées afin de préciser les relations de compétition ou de complémentarité entre ces deux composantes de l'écosystème, en caractérisant les niches exploitées et les mécanismes qu'elles mettent en jeu pour l'utilisation des ressources notamment l'eau et les éléments nutritifs.

La connaissance des propriétés écophysologiques des espèces et des processus d'allocation des ressources permettra de mieux définir les moyens techniques à mettre en oeuvre : (1^e) pour la régénération des écosystèmes dégradés en vue de la stabilité du milieu, (2^e) pour la sélection des espèces autochtones les plus appropriées compte-tenu de leur efficacité (tolérance à la sécheresse, enrichissement du sol) et (3^e) pour le choix des densités de plantation dans la mise en place ou l'amélioration des systèmes agroforestiers.

Quatre opérations de recherche constituent ce programme mené à différents niveaux d'analyse (niveau du secteur écologique, niveau stationnel, et celui de la plante entière) et conduit d'une part en milieu naturel (Férlo, nord Sénégal) et d'autre part en conditions semi-contrôlées (station expérimentale). Les travaux portent sur:

I) l'influence du couvert ligneux sur l'organisation spatiale et la structure spécifique de la strate herbacée.

L'objectif est d'une part de déterminer l'effet de l'arbre sur l'hétérogénéité de la végétation herbacée et sa composition floristique et d'autre part, de réunir les paramètres écologiques (rayonnement, fertilité, texture) caractéristiques des niches hors et sous couvert. Outre ces deux aspects fondamentaux, cette approche permet aussi d'orienter l'échantillonnage et de constituer une référence pour l'extrapolation des résultats issues des investigations à plus grande échelle.

II) les modifications induites par l'arbre sur les propriétés physiques du sol notamment sa réserve hydrique.

Cette étude, conduite en conditions naturelles, se propose d'évaluer le bilan hydrique de la strate herbacée, de la strate

ligneuse et des zones lisières, afin de préciser les processus d'utilisation et de partage de l'eau entre les espèces arborescentes et herbacées d'une steppe sahélienne.

III) les réponses adaptatives des végétaux aux modifications des conditions écologiques liées au couvert ligneux.

Les relations de compétition et/ou de complémentarité entre les composantes de l'écosystème seront caractérisées. On précisera en particulier si les espèces co-existantes non seulement herbacées et ligneuses mais encore les différentes espèces ligneuses, compte-tenu du caractère plurispécifique de la végétation, stratifient dans l'espace et étalent dans le temps l'utilisation des ressources (DAVIES et MOONEY (1986)), où si elles exploitent les mêmes niches écologiques, ce qui engendrerait une importante compétition (KNOOP et WALKER (1985))

L'étude des interactions sera conduite au niveau du fonctionnement global (étude comparée des cycles phénologiques et de la phytomasse hors et sous couvert) et au niveau des mécanismes physiologiques de régulation, développés par les taxons pour maintenir l'équilibre hydrique et s'adapter aux contraintes du milieu.

IV) l'étude des caractéristiques adaptatives de deux espèces ligneuses (Acacia raddiana et Acacia senegal) au niveau de la plante entière, en termes d'équilibre hydrique et de nutrition azotée. Cette étude sur le comportement comparé des deux Acacia en réponse à différents niveaux d'alimentation hydrique et azotée est réalisée en cases lysimétriques.

I. MATERIEL ET METHODES

1. Les caractères généraux du milieu naturel

La zone d'étude (Ferlo, Sénégal) est soumise à un climat tropical sec de type sahélien. Les précipitations de DAGANA (figure 1, ANONYME 1988b) s'élèvent à 309 mm. Elles se caractérisent par une forte variabilité spatiale et temporelle (coefficient de variation : 37 %). La zone subit depuis les années 1970 un déficit pluviométrique persistant (BARRAL et al., 1983). L'ETP (PENMAN) est de 1685 mm par an. Le diagramme pluie / ETP montre que la saison de croissance s'étale entre juillet et septembre, sur près de 80 jours,.

(1) Le paysage se caractérise par des formations dunaires non orientées, de faible amplitude, délimitant de petites dépressions fermées. Le substrat édaphique de texture sablo-argileuse à argilo-sableuse correspond à un sol brun rouge faiblement évolué sur sables siliceux (MAGNIEN 1965).

Le Ferlo est le domaine des steppes à épineux. La végétation est constituée par des formations mixtes associant

(1) cette famille n'est pas sablo-argileuse. Elle est localisée sur la partie SO du Ferlo chuintant vers le Sud.
- les boctins plus argileux (SA, PAS) sont ceux de "l'arg oncos" (cf. LEPRAND)

plantes ligneuses généralement épineuses et plantes herbacées annuelles.

2. La station d'étude

Le site expérimental (16°20'99" N et 15°25'40" W, à 400 km de Dakar, à 20 km de Dagana et à proximité du lieu dit Souilène) est situé dans un groupement dominé par *Acacia raddiana* Savi, *Balanites aegyptiaca* (L.) Del et *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. associées à *Chloris prierii*, *Aristida mutabilis*, *Digitaria horizontalis*,...

Tableau 1. Caractéristiques du peuplement ligneux de la station d'étude (2)

Espèces	Densité n.ha ⁻¹	Surf.terrière m ² .ha ⁻¹
<i>Acacia raddiana</i>	53	2,03
<i>Balanites aegyptiaca</i>	65	1,76
<i>Boscia senegalensis</i>	33	0,08
Total	151	3,87

La densité à l'hectare est de 151 individus, ce qui est nettement inférieure à celle rapportée par POUPON(1980) pour la station de FETE OLE (841 individus.ha⁻¹). La surface terrière est par contre près de deux fois plus élevée, ce qui indique un peuplement nettement plus âgé dans notre cas.

Les populations de *Balanites aegyptiaca* et de *Boscia senegalensis* sont assez proches de l'équilibre ; celle d'*Acacia raddiana* traduit une régénération difficile.

3. Protocoles

L'analyse de l'influence des ligneux sur l'organisation spatiale de la végétation herbacée a été réalisée à partir de 114 relevés phytoécologiques de 50m² chacun (72 sous couvert et 42 hors couvert) effectués fin septembre 1989 dans quatre des groupements définis par DIALLO et VALENZA (1)972).

Pour chaque relevé, la liste floristique est établie et le recouvrement de chaque espèce noté. Des observations sur la granulométrie, le carbone, la matière organique, l'azote, le phosphore (horizons 0-10 et 45-55 cm), le rayonnement global instantané et la phytomasse herbacée complètent les relevés de végétation pour définir les conditions qui prévalent à chaque situation.

Au niveau de l'approche globale l'étude des interactions est réalisée par le suivi de la phénologie des populations

(2) conforme le diagnostic "ergonomie"

d'espèces herbacées et ligneuses (GROUZIS et SICOT 1980) et l'évolution saisonnière des phytomasses hors et sous ombrage (méthode de la récolte intégrale).

Les observations sur les mécanismes porteront sur six espèces ligneuses du Ferlo regroupées en trois entités distinctes en raison de la dynamique différente des populations (SHARMAN 1987). Ce sont : *Acacia senegal*, *Combretum glutinosum* (espèces en régression), *Acacia raddiana*, *Ziziphus mauritiana* (espèces plus ou moins stables), *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis* (espèces en extension).

Pour les espèces herbacées on retiendra (Cf. tableau 2b) : *Brachiaria ramosa*, *Chloris pilosa* (préférentiellement sous couvert), *Aristida mutabilis*, *Tragus berteronianus* (préférentiellement hors couvert), *Chloris prierii*, *Digitaria horizontalis*, *Dactyloctenium aegyptium* (espèces indifférentes).

Pour ce qui concerne l'étude du comportement des espèces en cases lysimétriques, les individus semés en gaines (décembre 1989), ont été repiqués dans les lysimètres le 26 janvier 1990. *Acacia raddiana* provient de la collection de l'ISRA/CNRF (lot 84/1070); *Acacia senegal* provient de la collection du Laboratoire de Génétique ORSTOM-Dakar (lot Labgar/88/5).

Pour ce qui concerne les différents niveaux d'alimentation, la dose d'irrigation journalière maximale (V_{CC}) dans le traitement sans stress hydrique, doit reconstituer la réserve utile sans provoquer de drainage. La quantité d'eau apportée pour le traitement "stress hydrique modéré" et pour le traitement "stress hydrique sévère" est respectivement égale à 67 % de V_{CC} et à 33 % de V_{CC} . Le choix de ces trois niveaux d'irrigation repose sur les travaux de NIZINSKI et SAUGIER (1989)

Quant à l'azote, le niveau d'azote limitant correspond à la disponibilité en azote du sol sableux choisi pour la culture (sol sableux de dune). Le niveau d'azote non limitant correspond à cette même disponibilité avec apport d'engrais azoté ($NH_4^+ + NO_3^-$) (engrais commercial N.P.K.). Les doses d'engrais à apporter sont calculées à partir d'une quantité théorique potentielle d'azote prélevée par la plante.

4. Mesures

4.1. Equation du bilan hydrique

L'expression du bilan hydrique du sol, en l'absence de ruissellement et de nappe phréatique peut s'écrire sous la forme suivante:

$$P_i = T + I_n + D + dR/dt \quad (1) \quad (\text{mm.j}^{-1})$$

$$\text{où } ETR = T + I_n \quad (2) \quad (\text{mm.j}^{-1})$$

$$\text{et } I_n = P_i - (P_s + E_c) \quad (3) \quad (\text{mm.j}^{-1})$$

avec: P_i - précipitations incidentes ; T - transpiration ; I_n - interception nette, en ; D - drainage, en mm/j^{-1} ; dR - variation de la réserve en eau du sol, en mm; dt - pas de temps

(1) ? mis pour $(\frac{dR}{dt})\Delta t$?

des calculs, en jours; ETR - évapotranspiration réelle du peuplement ; Ps - précipitations au sol, en mm.j⁻¹; Ec - écoulement le long des troncs, en mm.j⁻¹.

Cette expression suppose négligeable l'évaporation directe du sol et de la litière, approximation raisonnable en période de dessèchement. Les mesures portent sur la réserve en eau du profil du sol (R), les précipitations incidentes et au sol ainsi que l'écoulement le long des troncs ; les valeurs du drainage , de l'interception nette et de la transpiration sont calculées en supposant ETR=ETP en période humide (réserve à la capacité au champ) et au contraire un drainage nul en période sèche (réserve inférieure à la capacité au champ). Ceci permet de calculer respectivement le drainage et l'ETR:

Si $R \geq R_{CC}$ alors $ETR=ETP$
 et $D=Ps-ETP-dR/dt$ (mm.j⁻¹) (4)

Si $R < R_{CC}$ alors $D=0$
 et $ETR=Ps-dR/dt$ (mm.j⁻¹) (5)

L'hypothèse d'un drainage nul lorsque $R < R_{CC}$ est liée à la texture sableuse du sol de la station, qui implique une chute très rapide de la conductivité hydrique avec le dessèchement du sol. Elle n'est strictement vraie que lorsque l'humidité de l'horizon le plus profond est devenue inférieure de quelques points en dessous de sa valeur à la capacité au champ. Dans les deux cas (sol humide ou en dessèchement) la transpiration du peuplement est calculée à l'aide de la relation (6) :

$$T = ETR - I_n \tag{6}$$

Ces calculs utilisent les notions de capacité de rétention en eau maximale du sol de la zone racinaire du peuplement (capacité au champ: R_{CC}), de la capacité de rétention minimale (point de flétrissement permanent: R_{pfp}) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP). La zone prise en compte comme étant la zone racinaire du peuplement ligneux a été fixée à cinq mètres et celle du peuplement graminéen a été fixée à 0.60 m (POUPON, 1980 ; GROUZIS, 1988).

Dans les cases lysimétriques compte-tenu de la présence d'un écran protecteur supprimant l'évaporation de l'eau du sol et l'entrée des précipitations incidentes, l'équation du bilan devient :

$$I = T + D + dR/dt \tag{7}$$

La réserve en eau du profil du sol (R), les apports d'eau (irrigation) (I) et le drainage (D) sont mesurés ; la transpiration (T) est calculée à partir de l'équation (1)

4.2. Dispositif expérimental des mesures du bilan d'eau in situ

* Rétention en eau du sol (R). Nous utilisons une sonde à neutrons de type "Solo 25" dont l'étalonnage a été fait par la méthode gravimétrique. Le dispositif expérimental est décrit sur la figure 2. Les mesures sont effectuées tous les 10 cm jusqu'à 1 mètre de profondeur, puis tous les 20 cm jusqu'à 2 mètres et tous les 50 cm jusqu'à 5 mètres de profondeur. Le potentiel hydrique matriciel du sol est mesuré à l'aide d'hygromètres-sondes à point de rosée WESCOR, reliées à un microvoltmètre HR-33T. Les sondes sont situées à : 0,50, 1,50, 3,50 et 5 m.

* **Précipitations.** Les précipitations incidentes (P_i) sont relevées à l'aide d'un pluviomètre de type ARG100 de Campbell (Fig.2) ; les précipitations au sol (P_s) sont recueillies à l'aide de trois pluviomètres (de type "association") installés sous couvert ligneux (Fig.2).

* **Ecoulement le long des troncs (E_c).** Le tronc des arbres échantillonnés est entouré d'une gouttière en matière plastique étanche en forme d'hélice débutant à 1,30 m du sol et s'en arrêtant à 0,50 m, hauteur à laquelle le volume d'eau qui s'écoule par la gouttière est mesuré.

* **Evapotranspiration potentielle (ETP).** L'ETP est calculée à partir de la formule de PENMAN (1948) modifiée par VAN BAVEL (1966):

* **Fréquence des mesures et stockage des données.** La réserve hydrique du sol est mesurée mensuellement en saison sèche et toutes les décades au cours de la saison des pluies. Les précipitations incidentes, au sol, l'écoulement le long des troncs et les autres variables nécessaires à l'estimation de l'évapotranspiration potentielle sont mesurées toutes les heures. Ces données sont stockées en continu sur une centrale d'acquisition de données Micrologger 21 X.

4.3. Mesures du potentiel hydrique et de la résistance stomatique;

Les potentiel hydrique de base (équilibre), minimal, et de récupération sont mesurés à l'aide d'une chambre à pression portable PMS Instrument Co, Corvallis, USA.

Pour quantifier l'effet du stress hydrique sur la croissance (Cf. cases lysimétriques) on utilise la notion de somme de déficit hydrique x temps, introduite par SCHULZE et al. (1980a,b) par analogie à la notion de somme des degrés-jours. C'est la somme des potentiels hydriques d'équilibre cumulés sur une période donnée. La croissance de la plante peut alors s'interpréter en fonction de cette grandeur qui rend compte de l'état hydrique moyen de la plante pendant la période retenue (MEYERS, 1988; MEYERS et LANDSBERG, 1989).

La résistance stomatique, la transpiration la température foliaire et les paramètres microclimatiques (rayonnement visible (PAR), température de l'air (t_a), humidité (H, VPD)) sont mesurés à l'aide d'un poromètre portable LICOR-1600. Le suivi du comportement stomatique et des potentiels hydriques débute le matin et s'achève au coucher du soleil (exception faite pour les périodes de pluie). L'échantillonnage des feuilles prend en compte la variabilité de la résistance stomatique en fonction de l'âge de la feuille, de son éclaircissement, de sa localisation spatiale.

Notons enfin que la structure de l'appareil stomatique des différentes espèces ligneuses est observée en microscopie électronique à balayage pour mettre en évidence des modifications morphologiques visant à limiter la transpiration et donc favorisant la tolérance à l'aridité (VARTANIAN et LEMEE 1984).

5. Echelle temps des mesures

Les observations sont réalisées à deux échelles de temps.

A l'échelle saisonnière les mesures de potentiel, de transpiration, d'humidité et du potentiel du sol sont effectuées mensuellement cours de la saison sèche et toutes les décades au cours de la saison des pluies.

A l'échelle journalière sont réalisées les cinétiques de transpiration et de résistance stomatique pour les étapes représentatives du cycle pluviométrique : fin de saison sèche (maximum de déficit hydrique), début de saison des pluies (phase de réhydratation du profil), coeur de la saison des pluies (minimum de déficit hydrique), fin de la saison des pluies, début de saison sèche (phase de déshydratation du profil). Les données recueillies au cours de ces cinétiques journalières permettront de préciser les relations entre paramètres physiologiques et paramètres du milieu.

III. RESULTATS

1. Influence des ligneux sur l'organisation spatiale et la structure de la strate herbacée : les déterminants écologiques

Bien que l'ensemble des résultats ne soit pas encore disponible (analyse des sols notamment) le traitement des données relatives au groupement à *Balanites aegyptiaca* et à *Acacia raddiana* nous permettra de montrer la sensibilité de la strate herbacée à l'influence de l'arbre.

L'analyse des correspondances (ANACOR, programmathèque BIOMEKO, CNRS/CEFE MONTPELLIER) a été appliquée à la matrice espèces (57) X relevés (30).

L'agencement des relevés dans le plan factoriel des deux premiers axes, qui absorbent près de 25 % de la variabilité totale, montre une très nette séparation suivant l'axe 1 des relevés sous couvert (abscisses négatives) et des relevés hors couvert (abscisses positives : figure 4). Cette répartition conduit à interpréter cet axe comme représentant le gradient de lumière.

L'opposition le long de l'axe 2 des relevés de dune et ceux des bas de pente, et non des relevés relatifs à *Acacia raddiana* et *Ziziphus mauritiana* comme on aurait pu s'y attendre s'il y avait un effet essence ligneuse, nous autorise à interpréter ce deuxième axe comme représentatif du gradient topographique.

L'arbre joue donc un rôle déterminant sur la strate herbacée. Des phytocénoses inféodées non seulement à la couronne et à l'extérieur des arbres, mais encore celles répondant à des variations topographiques peuvent être identifiées dans cet exemple. Cette organisation spatiale peut s'interpréter plus facilement en termes de mosaïques d'éléments de végétation (GOUNOT 1969) que de gradient.

Tableaux 2. Richesse et cortège floristiques des phytocénoses

(a) Richesse floristique

Nombre d'espèces exclusives	SOUS - COUVERT	HORS - COUVERT
		21
Indifférentes	28	
Nombre total	57	

(b) Cortège floristique

Espèces sous couvert	<i>Achyranthes argentea</i> , <i>Momordica balsamina</i> , <i>Brachiaria ramosa</i> , <i>Chloris pilosa</i> , <i>Commelina forskalii</i> , <i>Jacquemontia tamnifolia</i> ...
Espèces hors couvert	<i>Mollugo nudicaulis</i> , <i>Limeum diffusum</i> , <i>Gisekia pharnaceoides</i> , <i>Sesamum alatum</i> , <i>Euphorbia aegyptiaca</i> , <i>Eragrostis tremula</i> , <i>Aristida mutabilis</i>
Espèces Indifférentes	<i>Chloris prieurii</i> , <i>Digitaria horizontalis</i> , <i>Dactyloctenium aegyptium</i> , <i>Cassia obtusifolia</i> , <i>Tribulus terrestris</i> , <i>Zornia glochidiata</i> , <i>Alysicarpus ovalifolius</i>

Les résultats consignés dans les tableaux 2 (a et b) renseignent sur la richesse et le cortège floristiques des phytocénoses identifiées. Il y apparaît que l'arbre augmente significativement la richesse floristique puisque les espèces associées exclusivement au couvert ligneux représentent plus du tiers (37 %) de la flore inventoriée dans cette unité de végétation. Quelques espèces caractéristiques de chaque phytocénose sont données dans le tableau 2b.

Il apparaît par ailleurs que l'arbre a une influence positive sur la production de la strate herbacée. En effet la production est environ deux fois plus élevée sous couvert ligneux (figure 5).

L'influence générale de l'arbre sur la strate herbacée se manifeste donc sur (1) la structure spécifique, (2) la richesse floristique, (3) sur la production de phytomasse. Bien que ces premiers résultats demandent à être confirmés par le traitement des données des autres groupements inventoriés et complétés par les observations relatives aux conditions écologiques, ils viennent déjà confirmer pour le Sahel, les conclusions retenues pour d'autres systèmes écologiques du monde : savanes soudaniennes (MENAUT 1983) ; zone méditerranéenne sub-humide du Chili (OVALLE et AVENADO 1987, 1988) ; dehesas d'Espagne (VACHER 1984) ; formations herbeuses annuelles californiennes (PARKER et MULLER 1982).

Tout en admettant la complexité des interactions arbre/herbe, on peut considérer compte-tenu des travaux antérieurs (JOFFRE 1988, MONTOYA 1982, PARKER et MULLER op. cit.) que l'influence générale de l'arbre est due à une amélioration des conditions hydriques et trophiques. .

2. Modifications induites par l'arbre sur les propriétés physiques du sol, sa réserve hydrique

Nous avons isolé un bosquet à *Acacia raddiana* (tubes 1, 2 et 3), un bosquet dominé par *Balanites aegyptiaca* (tubes 4, 5 et 6) et une zone strictement herbacée (tubes 7, 8, 9, 12 et 13). Les résultats portent sur la période allant du 9 août 1989 au 17 janvier 1990 qui a été décomposée en quatre phases en fonction de la pluviométrie: phase I (9 août -21 septembre, $P_i=155,6$ mm) ; phase 2 (22-23 septembre, $P_i=0.3$ mm); phase 3 (24 septembre-2 novembre, $P_i=3.7$ mm) ; phase 4 (3 novembre 1989-17 janvier 1990, $P_i=1.9$ mm). Les précipitations incidentes annuelles ont été de 228.7 mm et l'ETP (Penman) annuelle de 2333 mm.

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle issues de l'équation (5) présentées ici correspondent à des périodes de drainage nul.

D'après la Fig.6b la consommation en eau des espèces herbacées et arborescentes dans les premiers 60 cm de sol au cours de la phase pluvieuse 1, est similaire (3.25, 3.44 et 3.29 mm.jour⁻¹). Au fur et à mesure du dessèchement du sol, les espèces herbacées utilisent préférentiellement l'eau de ces premiers 60 cm de sol (2.01, 1.72 et 1.50 mm.jour⁻¹). Au cours des phases 3 et 4 leur consommation est deux fois plus importante que celle des espèces arborescentes (respectivement 0.44 et 0.21 (herbacées), 0.23-0.26 (*Acacia*) et 0.10-0.13 mm.jour⁻¹ (*Balanites*)) ; les espèces arborescentes utilisent alors l'eau de la zone située au-delà de ces 60 premiers cm.

Les bosquets (arbres+herbes sciaphiles) ont une ETR supérieure à celle des zones colonisées uniquement par des espèces herbacées (Fig.6a et 6c), en supposant qu'une profondeur de 475 cm de sol rend compte de la quasi totalité de la zone exploitée par les espèces de cette steppe, et donc de leur consommation en eau. Les ETR présentées pour la saison des pluies (phase 1) sont comparables à celles de CORNET (1981): 3.31 mm.jour⁻¹ pour une profondeur de 60 cm (3,5 mm.jour⁻¹ pour 1 mètre de profondeur d'après CORNET, 1981); 4.47 mm.jour⁻¹ pour une profondeur de 475 cm (4.6 mm.jour⁻¹ pour 3 mètres de

profondeur d'après CORNET, 1981).

Notons enfin que le bosquet à *Acacia raddiana* a une ETR supérieure à celui du bosquet dominé par *Balanites aegyptiaca* (Fig.6a, b, c). Pour la phase 1, l'ETR du bosquet dominé par la première espèce s'élève à 3.44 et 5.04 mm.jour⁻¹ respectivement pour 60 et 475 cm de profondeur, alors que celui du bosquet dominé par *Balanites aegyptiaca* atteint 3,29 et 4.15 mm.j⁻¹ pour les mêmes horizons.

L'état d'avancement de nos travaux ne nous permet pas encore d'expliquer l'origine de cette différence. Elle peut être due soit à une interception plus élevée d'*Acacia raddiana* en raison de son port étalé, soit à une absorption/transpiration plus importante de cette espèce.

Ces premiers résultats nous permettent d'affirmer qu'à partir d'un seuil de dessèchement du sol (seuil à préciser), il y a partage dans l'espace de l'eau disponible entre les espèces herbacées et arborescentes, ces dernières exploitant les zones profondes du sol.

3. Dynamique des interactions entre les composantes de l'écosystème

Les observations débutées en janvier 1990 ne concernent que les espèces ligneuses car la végétation herbacée ne s'établit qu'au cours de la saison des pluies (juillet-octobre).

A titre d'exemple la figure 7 illustre la cinétique journalière du potentiel hydrique de tige, de transpiration et de conductance stomatique, couplées à des mesures de micrométéorologie.

La présence de brume sèche engendre des conditions climatiques particulières où le rayonnement visible (PAR) et le déficit de saturation de l'air (DVP) sont relativement faibles. En effet, le PAR enregistré se stabilise en milieu de journée autour de 500 mM.m⁻².s⁻¹ au lieu des 1500 à 2000 théoriquement attendu dans ces zones pour cette période de l'année. Le DVP ne dépasse pas 30 mbar.

La cinétique de potentiel hydrique de tige montre que l'arbre démarre la journée avec un potentiel de base faible (-17 bar). Celui-ci atteint -30 bar en milieu de journée pour revenir très rapidement à son potentiel d'équilibre peu après le coucher du soleil.

Les mesures de porométrie ont été effectuées sur des feuilles initiées et développées en fin de saison humide après destruction complète de l'appareil foliaire par les criquets. Les résultats montrent que les stomates s'ouvrent tôt le matin et qu'un seuil transpiratoire est rapidement atteint. Vers les 15h, on observe une diminution de la conductance stomatique pour des conditions de rayonnement inchangées avec un DVP non limitant d'après les résultats de ULLMANN (1985). Ceci semble indiquer qu'une régulation stomatique se manifesterait pour des potentiels hydriques de tige voisins de 30 bar.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par ULLMANN (1989), qui a observé un pic élevé de conductance stomatique le matin suivi d'une diminution dans la journée. Cette divergence peut sans doute s'expliquer comme le suggère LANGE et al. (1987) par des conditions microclimatiques peu sévères ce qui se traduit alors par une conductance élevée en milieu de journée.

La photographie a (fig.8) prise en microscopie électronique à balayage d'échantillons de feuille préparés selon la méthode de BAUJARD et PARISELLE (1987) montre une vue d'ensemble de la répartition des stomates d'*Acacia raddiana*. Celle-ci est adaxiale et abaxiale. On peut remarquer une importante couche de matières uniformément répartie sur la feuille (ph b). Comme le montre la photographie c, certains stomates sont presque entièrement obstrués par ces matières. Celles-ci représenteraient des cires caractéristiques de feuilles développées en atmosphère sèche (PALLARDY et KOZLOWSKI 1980). Des observations ultérieures viendront préciser ces résultats. S'il ne s'agissait pas d'un artifice apparu au cours de la préparation de l'échantillon, ces matières joueraient un grand rôle au niveau des échanges gazeux.

Pour comparaison, les valeurs des différents potentiels (base, minimal et récupération) des espèces étudiées sont présentées dans le tableau 3. Deux espèces se distinguent très nettement, par un potentiel soit élevé (*Combretum glutinosum*), soit très faible (*Boscia senegalensis*). Les autres forment au mois de janvier un lot relativement homogène.

Enfin, il est intéressant de constater que le potentiel minimal présente une variabilité importante (échantillonnage des tiges au sein de la couronne ?). Les valeurs de potentiel hydrique obtenues par ULLMANN (1985) au Niger pour *Acacia raddiana* et *senegal* sont nettement moins négatives pour une saison sèche beaucoup plus avancée, ce qui souligne les conditions climatiques particulièrement drastiques du Ferlo Sénégalais. Ces premiers résultats semblent indiquer aussi qu'il existe une répartition de l'exploitation des ressources hydrique comme l'ont observée DAVIS et MOONEY (1986) pour les espèces ligneuses du Chaparal californien.

Tableau 3. Variations saisonnières du potentiel de base Yb, du potentiel minimal Ym et de récupération Y_r (2 h après le coucher du soleil) exprimés en bar.

Espèces	Y	19/1/90	24/2/90
Combretum glutinosum	Yb	- 8,1	- 9,3
	Ym	-21,1	-25,8
	Yf		-11,4
Acacia senegal	Yb	-19,8	-23,9
	Ym	-32,9	-28,2
	Yf		-23,2
Ziziphus mauritiana	Yb	-21,8	-26,3
	Ym	-36,5	-40,7
	Yf		-25,4
Acacia raddiana	Yb	-14,8	-15,8
	Ym	-24,7	-30,2
	Yf		-17,0
Balanites aegyptiaca	Yb	-19,2	-20,0
	Ym	-45,9	-41,6
	Yf		-23,8
Boscia senegalensis	Yb	-47,0	-49,8
	Ym	<-68,0	<-68,0
	Yf		-55,6

4. Comportement comparé en conditions semi-contrôlées d'Acacia raddiana Savi. et d'Acacia senegal (L.) Wild : influence de l'alimentation en eau et de la nutrition azotée

On trouvera ci-après des résultats préliminaires (résistance stomatique et transpiration) relatifs à Acacia senegal dans une gamme restreinte de potentiels hydriques foliaires, de températures foliaires et de déficits de saturations de l'air, c'est à dire des conditions qui ne correspondent qu'à une partie seulement des conditions expérimentales exposées dans cette étude. De même l'effet du stress hydrique sur la croissance n'a pas encore été quantifié.

* Effet du rayonnement visible (PAR) sur la résistance stomatique et la transpiration. La courbe de la fig.9a, établie pour un ensemble de dix individus, rend compte d'une très faible dispersion des points expérimentaux, aussi bien pour la résistance stomatique que pour la transpiration. La résistance stomatique est une fonction puissance négative ($r^2=0.88$) du PAR, fonction pour laquelle on distingue deux phases: 1^e) pour un PAR compris entre 0 et 400 $\mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$, la résistance stomatique diminue de 15 s.cm^{-1} à 3 s.cm^{-1} et puis 2^e) au-delà

d'un PAR de $400 \mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$, la résistance stomatique reste quasiment constante (2 à 3 s.cm^{-1}). La transpiration augmente de façon exponentielle en fonction du PAR ($r^2=0.76$), le maximum de transpiration observé ($6.5 \mu\text{g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$) correspond à un PAR de $1780 \mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ (potentiel foliaire, température foliaire et déficit de saturation de l'air non limitants).

* Effet du déficit de saturation de l'air (VPD) sur la résistance stomatique et la transpiration (fig.9b). Classiquement (FARQUAR et al., 1980; EL-SHARKAWY et al., 1984; 1985), la relation entre la résistance stomatique moyenne et le déficit de saturation de l'air peut se décomposer en deux phases: une 1^e phase pour des VPD inférieurs ou égaux à VPD critique, où la résistance stomatique est minimale et constante (âge foliaire, PAR, T_f , P_f non limitants), puis une 2^e phase, où la résistance stomatique augmente de façon exponentielle en fonction du VPD, jusqu'à la fermeture complète des stomates. Dans nos conditions expérimentales, nous nous situons uniquement dans la 1^e phase, nous n'avons pas atteint des VPD suffisants pour entrer en phase de régulation stomatique.

* Effet de la température de la feuille (T_f) sur la résistance stomatique et la transpiration (fig.9c). Classiquement (JARVIS et MORISON, 1981) la relation r_s/T_f est du type "courbe en cloche inversée", avec un optimum pour les espèces tropicales qu'HALL et al., 1976 situent à 35°C . Nous nous situons dans une gamme de températures foliaires de 23°C à 32°C pour laquelle on observe une légère diminution de la résistance stomatique (de 3 à 2 s.cm^{-1}) en fonction de T_f ; l'optimum de la résistance stomatique d'Acacia senegal se situe au-delà de 32°C .

* Effet du potentiel hydrique des feuilles (P_f) sur la résistance stomatique et la transpiration. La relation r_s/P_f est du même type que la relation r_s/VPD ; dans nos conditions expérimentales, nous situons en dehors de la phase de régulation stomatique; et même la chute du P_f jusqu'à -21.9 bars (à alimentation en eau non limitante) n'a pas entraîné l'amorce de la fermeture stomatique ni le début de la réduction de la transpiration.

CONCLUSION GENERALE

Ce programme de recherche a pour objectif l'étude des interactions entre les composantes ligneuses et herbacée d'un écosystème aride du Ferlo (Sénégal) et de préciser les processus qu'elles mettent en jeu pour le partage et l'utilisation des ressources notamment l'eau et les éléments nutritifs.

C'est en effet la connaissance du comportement des végétaux dans leur environnement et de leurs caractères d'adaptation aux contraintes du milieu qui faciliteront le choix des taxons les plus appropriés et les techniques à mettre en oeuvre, pour la régénération des systèmes écologiques sahéliens profondément ébranlés par l'action conjuguée de la persistance des conditions climatiques défavorables et de la pression anthropique croissante.

Pour répondre à ces objectifs, cette étude développe des approches complémentaires (analytique, expérimentale) à différents niveaux d'analyse (peuplement, population, individus). Ce travail ne s'adresse cependant qu'au seul modèle naturel. Il gagnerait donc à être complété par des recherches utilisant une méthodologie comparable portant sur un modèle artificiel (type plantation) ou sur un système agroforestier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M., 1985. - Péjoration pluviométrique au Burkina Faso : incidences sur les ressources en eaux et les productions végétales. Cah., ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XXI, 1, 3-19.
- ANONYME 1988a. - Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (nord Cameroun), Rapport final contrat CEE, R3S Ed., MONTPELLIER, 232 p.
- ANONYME 1988b. - Introduction au projet "Ecosystèmes pastoraux sahéliens", GEMS, série SAHEL, PNUE, FAO Ed., ROME, 146 p.
- BARRAL H. et al., 1983. - Systèmes de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo. A.C.C. GRIZA (LAT). Ministère de la Recherche et de l'Industrie, GERDAT-ORSTOM, 172 p.
- BARRY J.P. et al., 1983. - Etudes des potentialités pastorales et de leur évolution en milieu sahélien du Mali. A.C.C. GRIZA (LAT), 116 p.
- BAUJARD P., PARISELLE A., 1987. - Fabrication de microtamis et préparation de nématodes pour l'observation au microscope à balayage. Revue Nématol., 10(4), 477-481.
- BERNHARD-REVERSAT F. 1981. - Biogeochemical cycle of nitrogen in semi-arid savanna. Oikos, 38, 321-332.
- BILLE J.C., 1977. - Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Trav. et Doc. de l'ORSTOM, n° 65, 81 p.
- BOURLIERE F., 1978. - La savanne sahélienne de Fété Olé, Sénégal, 187-229, in "Problèmes d'Ecologie : Structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. Masson et Cie Ed., Paris.
- CARRIERE M., 1989. - Les communautés végétales sahéliennes en Mauritanie (Région de Kaedi) ; analyse de la

- reconstitution annuelle du couvert herbacé. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Paris-Sud, Centre d'ORSAY, 237 p.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BRENARD A., 1985; - Pluies et crues au Sahel : hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso 1976-1981), Trav. et Doc. de l'ORSTOM, Paris, n° 190, 251 p.
- CILSS 1984 - Propositions pour une stratégie en 1984 de lutte contre la sécheresse et le développement au Sahel. OCDE, CILSS, CLUB DU SAHEL, Paris, 56 p.
- CISSE A., 1986. - Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone Sud sahélienne. PPS, CABO, 211 p.
- CORNET, A., 1981. Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 354 pp.
- DAVIS, S.D., MOONEY, H.A., 1986. Water use patterns of co-occurring chaparral shrubs. *Oecologia*, 70, 172-177.
- DIALLO A.K., VALENZA J., 1972.- Etude des pâturages naturels du nord Sénégal, Etudes agrostologiques n°34, IEMVT Ed., MAISONS-ALFORD, carte 1/200 000.
- DIEYE K., 1983. - Evaluation des ressources fourragères naturelles par le bilan hydrique. Cas du Ferlo sénégalais. in "Méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens - Application au développement", VAN PRAET Ed., ISRA-FAO, PNUE, Dakar, 43-58.
- DOMMERMUES Y., DREYFUS B., 1985. - Les légumineuses forestières tropicales. in "Biotechnologies : avenir du développement", ORSTOM, Paris, 13-15.
- EL-SHARKAWY, M.A., COCK, J.H., HELD, A.A.K., 1984. Water use efficiency of cassava. (II) Differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. *Crop Science*, 24, 503-507.
- EL-SHARKAWY, M.A., COCK, J.H., PORTO, M.C.M., 1985. Water use efficiency of cassava. (III) Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field grown cassava. *Crop Science*, 25, 265-272.
- FARQUHAR, G.D., SCHULZE, E.-D., KÜPPERS, M., 1980. Responses to humidity by stomata *Nicotiana glauca* L. and *Corylus avellana* L. are consistent with the optimization of carbon dioxide uptake with respect to water loss. *Australian Journal of Plant Physiology*, 7, 315-327.

- GOUNOT M., 1969. - Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et C¹^e Ed., PARIS, 314 p.
- GROUZIS M., 1988. - Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso), Etudes et Thèses, ORSTOM Ed., PARIS, 336 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 Abeba, 233-240.
- GROUZIS M., LEGRAND E., PALE F., 1986. - Germination des semences des régions semi-arides du sahel. Actes du Colloque "Les végétaux en milieu aride", TUNISIE-JERBA, 8-10 septembre 1986.
- HALL, A.E., SCHULZE, E.-D., LANGE, O.L., 1976. Current perspective of steady-state stomatal responses to environment. In: O.L. Lange, L. Kappen and E.-D. Schulze (Eds), Water and Plant Life, Springer-Verlag, Berlin, 169-187.
- HAMIDOU B., 1987. - Relations herbe-arbre en conditions pâturées. Influence du recouvrement arboré dans les taillis de chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.), Thèse doctorat sciences, USTL. 142 p. + ann.
- HARE F.K., 1983. - Climate and desertification. A revised analysis. World Meteorological Organisation, WCP, 44, 149 p.
- HIERNAUX P., 1984. - Distribution des pluies et production herbacée au sahel : une méthode empirique pour caractériser la distribution des précipitations journalières et ses effets sur la production herbacée. Premiers résultats acquis dans le sahel malien, ILCA, Bamako, 46 p.
- JARVIS, P.G., MORISON, J.I.L., 1981. Stomatal control of transpiration and photosynthesis. In: P.G. Jarvis and T.A. Mansfield (Eds), Stomatal Physiology, Dr. W. Junk. Publ., The Hague, 113-126.
- JOFFRE R., 1988. - Contraintes du milieu et réponses de la végétation herbacée dans les dehesas de la Sierra Norte (Andalousie, Espagne), CNRS/CEFE MONTPELLIER, 201 p. + ann.
- JUNG G., 1970. - Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior), soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida* (Del), Oecol. Plant., V, 113-136.

- KNOOP W.T., WALKER B.H., 1985. - Interactions of woody and herbaceous vegetation in a southern african savanna. *Journal of Ecology*, 73, 235-253.
- LANGE, O.L., ULLMANN, I., TENHUNEN, J.D., BANNISTER, P., 1987. Stomatal conductance and transpiration of the two faces of *Acacia phyllodes*. *Trees*, 1, 110-122.
- MENAUT J.C., 1983. - The vegetation of african savannas. in "Ecosystems of the world", Tropical savannas, n°13, BOURLIERE Ed., Elsevier Scient. Publis., Oxford, 109-149
- MEYERS, B.J., 1988. Water stress integral a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology*, 4, 315-323.
- MEYERS, B.J., LANDSBERG, J.J., 1989. Water stress and seedling growth of two eucalypt species from contrasting habitats. *Tree Physiology*, 5, 207-218.
- MONTOYA J.M., 1982. - Efectos del arbolado de las dehesas sobre los factores ecologicos que actuan al nivel del sotobosque. *Anal. INIA, ser. forestal*, 5, 61-86
- NIZINSKI, J., SAUGIER, B., 1989. Dynamique de l'eau dans une chênaie (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) en forêt de Fontainebleau. *Annales des Sciences Forestières*, 46(2), 173-186.
- OVALLE C., AVENADO J., 1987. - Interactions de la strate ligneuse avec la strate herbacée dans les formations d'*Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. au Chili. I. Influence de l'arbre sur la composition floristique, la production et la phénologie de la strate herbacée. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, vol.8 (4), 385-404
- OVALLE C., AVENADO J., 1988. - Interactions de la strate ligneuse avec la strate herbacée dans les formations d'*Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. au Chili. II. Influence de l'arbre sur quelques éléments du milieu : microclimat et sol. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, vol.9 (2), 113-134.
- PALLARDY S.G., KOZLOWSKI T.T., 1980.- Cuticle development in the stomatal region of *Populus* clones. *New Phytol.*, 85, 363-368.
- PARKER V.T., MULLER C.H., 1982. - Vegetational and environmental changes beneath isolated live oak trees (*Quercus agrifolia*) in California annual grassland. *Am. Midl. Nat.*, 107, 69-81
- PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society London A*, 193, 120-145.

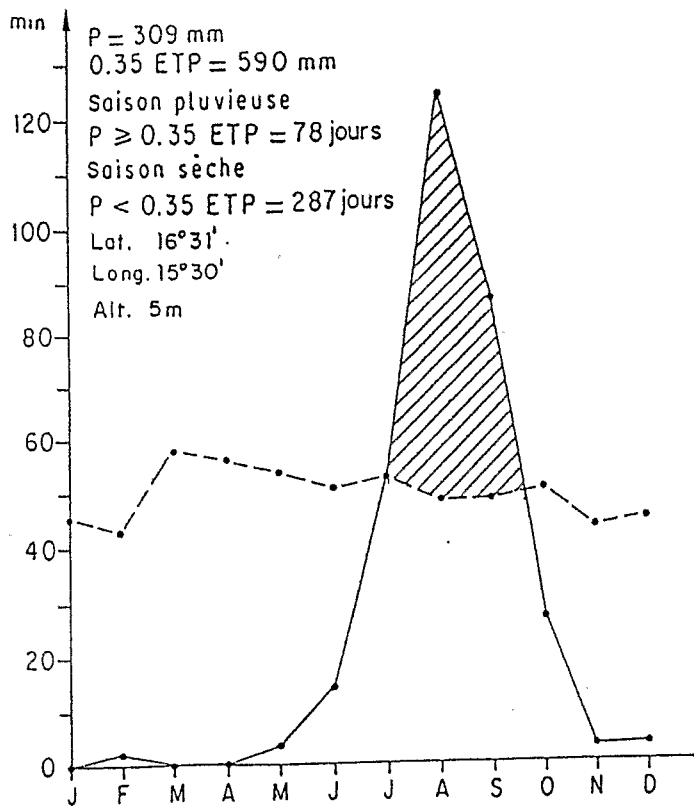
- PENNING DE VRIES F.W.T., DJITEYE M.A., 1982. - La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. CABO, Wageningen, 525 p.
- POUPON H., 1980. - Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Trav. et Doc. de l'ORSTOM, 317 p. + ann.
- RAMBAL S., CORNET A., 1982. - Simulation de l'utilisation de l'eau et de la production végétale d'une phytocénose sahélienne du Sénégal. Acta Oecologica, Oecol. Plant., vol. 3 (17), n° , 381-397.
- SANCHEZ P.A., 1987. - Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. IN "Agroforestry, a decade of development", ICRAF Ed., NAIROBI, 205-223.
- SCHULZE, E.-D., HALL, A.E., LANGE, O.L., EVENARI, L., KAPPEN, L., BUSCHBOM, U., 1980a. Long term effects of drought on wild and cultivated plants in the Negev desert. (I) Maximal rates of net photosynthesis. Oecologia, 45, 11-18.
- SCHULZE, E.-D., HALL, A.E., LANGE, O.L., EVENARI, L., KAPPEN, L., BUSCHBOM, U., 1980b. Long term effects of drought on wild and cultivated plants in the Negev desert. (II) Diurnal patterns of net photosynthesis and daily carbon gain. Oecologia, 45, 19-25.
- SHARMAN M. 1987. Végétation ligneuse sahélienne. GEMS, série SAHEL, n°7, PNUE, FAO Ed., NAIROBI, 85 p.
- TOUTAIN et al. 1983. - Espèces ligneuses et herbacées dans les écosystèmes sahéliens pâturés de Haute-Volta, ACC GRIZA (LAT), GERDAT, 124 p.
- ULLMANN, I., 1985. Diurnal courses of transpiration and stomatal conductance of sahelian and Saharian Acacias in the dry season. Flora, 176, 383-409.
- ULLMANN, I., 1989. Stomatal conductance and transpiration of Acacia under field conditions: similarities and differences between leaves and phyllodes. Trees, 3, 45-56.
- VACHER J., 1984. - Les pâturages de la Sierra Norte. Analyse phyto et agro-écologique des dehesas pastorales de la Sierra Norte (Andalousie occidentale, Espagne), CNRS Ed., MONTPELLIER, 195 p.
- VAN BAVEL, C.H.M., 1966. Potential evaporation: The combination concept and its experimental verification. Water Resources Research, 2(3), 455-467.
- VAN PRAET L., 1983. - Méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens. Application au développement. Actes du Colloque de Dakar, 16-18 novembre 1983, ISRA, FAO, PNUE.

VARTANIAN N., LEMEE G., 1984.- La notion d'adaptation à la sécheresse. Bull. Soc. bot. Fr., 131, Actual. bot., (1), 7-15.

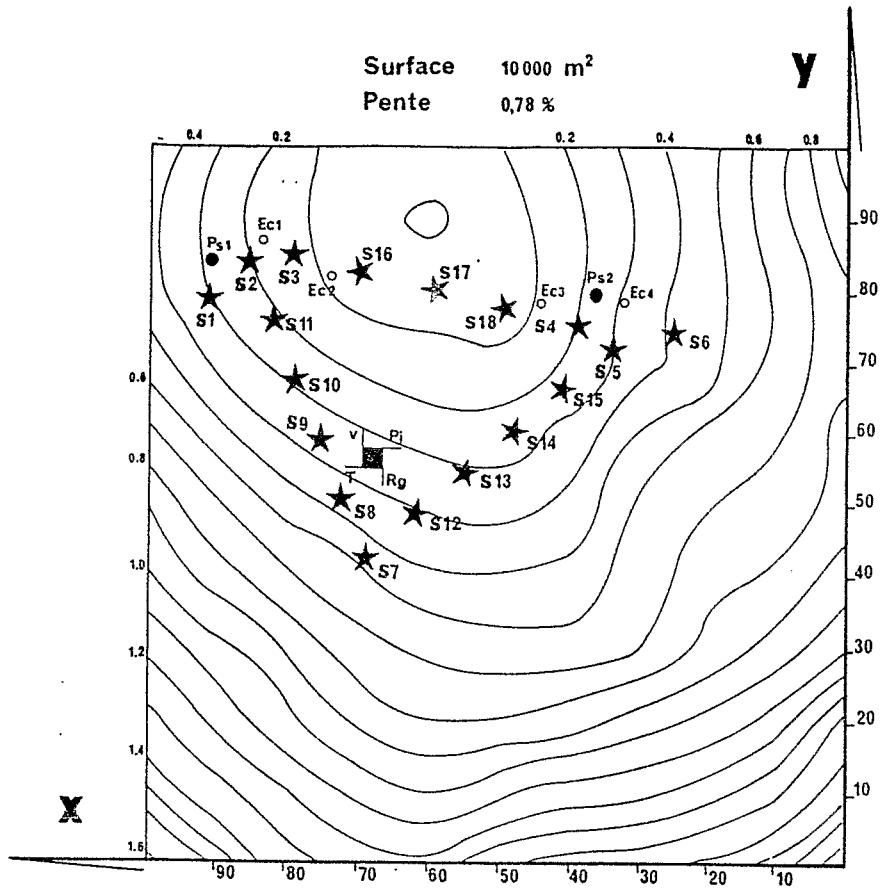
WALKER B.H.; NOY-MEIR I., 1982. - Aspects of the stability and resilience of savanna ecosystems, in "Ecology of tropical savannas", HUNTLEY B.J. and WALKER B.H. Ed., 556-590, Springer-Verlag, Berlin.

Légendes des figures

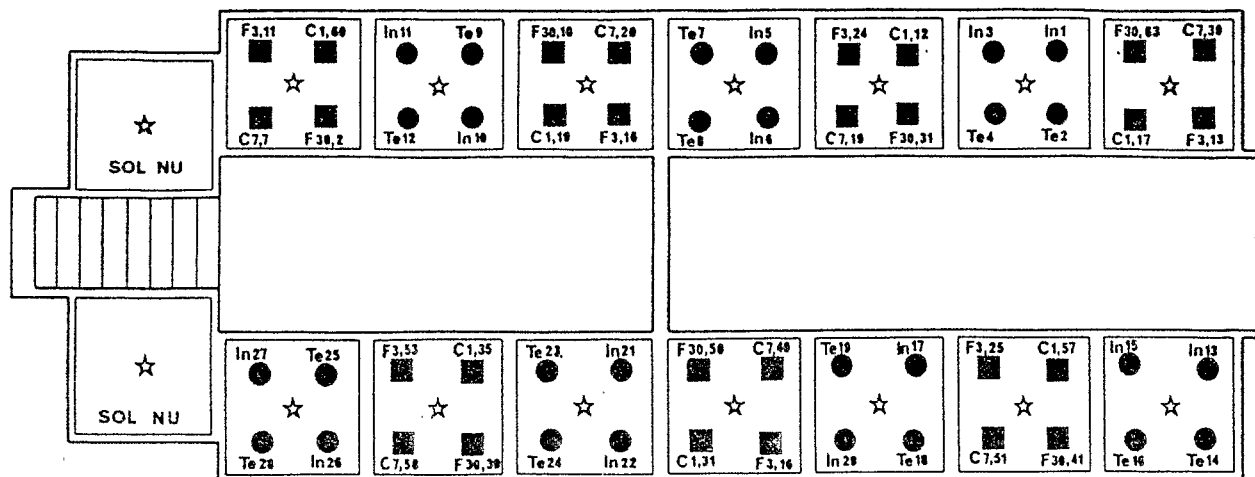
- Fig. 1. Saison sèche et saison pluvieuse à DAGANA
- Fig. 2. Plan de la station de Souilène
- Fig. 3. Plan des lysimètres
- Fig. 4. Analyse factorielle des correspondances (plan 1/2) des ensembles espèces/relevés du groupement à *Balanites aegyptiaca* et *Acacia raddiana* (PA4, DIALLO et VALENZA 1972)
- Fig. 5. Biomasse comparée hors et sous couvert ligneux
- Fig. 6. ETR des différents éléments de végétation
- Fig. 7. Cinétique journalière du rayonnement photosynthétique actif (PAR), du déficit de saturation de l'air (VPD), du potentiel hydrique de tige (Yt), de la transpiration (Tr) et de la conductance stomatique (Gs) mesurés sur *Acacia raddiana* dans le Ferlo sénégalais (janvier 1990)
- Fig. 8. Structure de la feuille d'*Acacia raddiana* observée au microscope à balayage
- Fig. 9 - Evolution de la résistance stomatique (r_s , en s/cm) et de la transpiration (Tr, en $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) d'*Acacia senegal* en fonction: (a) du rayonnement visible (PAR, en $\mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{cm}^2$); (b) du déficit de saturation en humidité de l'air (VPD, en mbar) (pour les valeurs de PAR \geq à $450 \mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{cm}^2$ et $25^\circ\text{C} < T_f < 32^\circ\text{C}$); (c) de la température de la feuille (T_f , en $^\circ\text{C}$) (pour les valeurs de PAR \geq à $450 \mu\text{mol}/\text{s} \cdot \text{cm}^2$ et $25^\circ\text{C} < T_f < 32^\circ\text{C}$)



STATION D'ETUDE

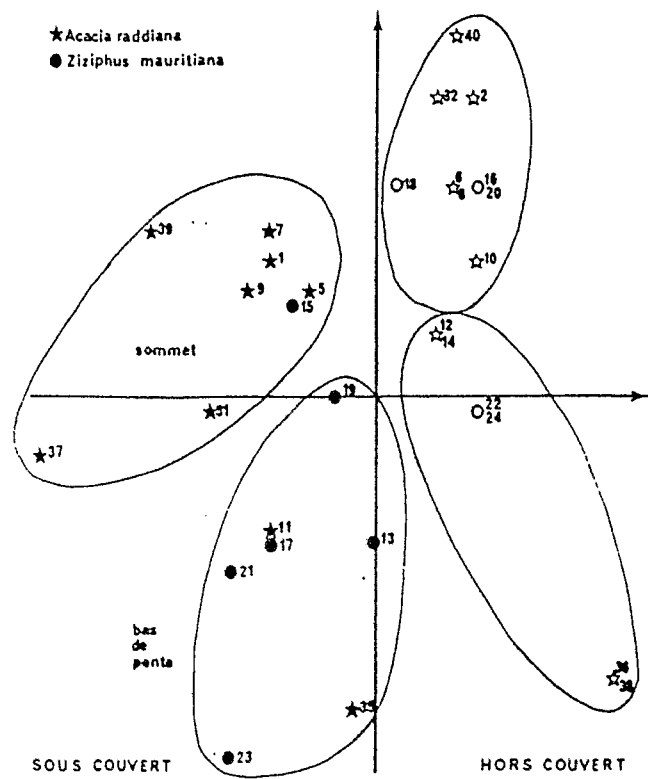


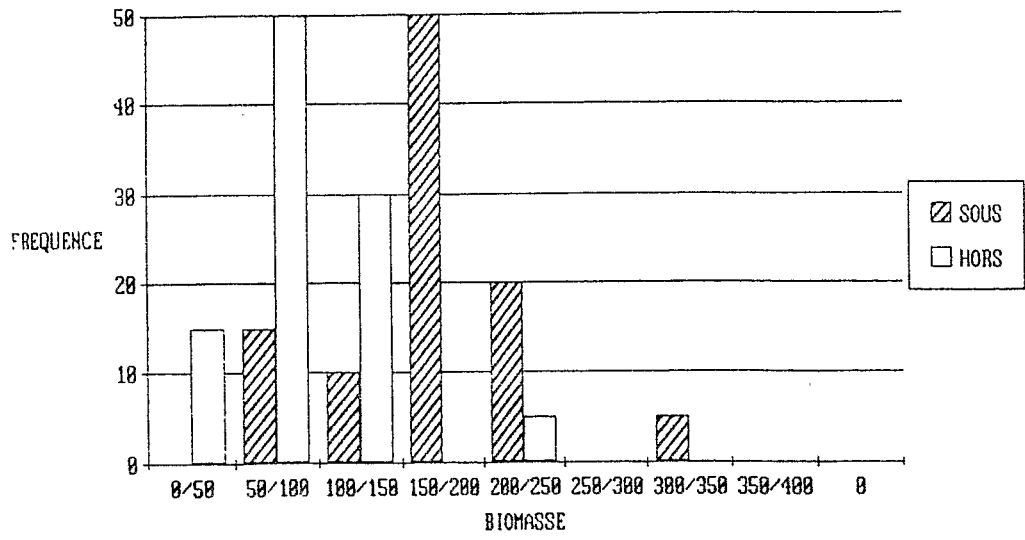
- Légende:
- | | | |
|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| | Station meteorologique | Pi - précipitations incidentes |
| | Tube d'accès pour la sonde a neutrons | Rg - rayonnement global |
| | Pluviometre | T - températures |
| | Goutlière | v - vitesse du vent |
| | S1 Numéro du tube | Ps - précipitations au sol |
| | | Ec - écoulement le long des troncs |



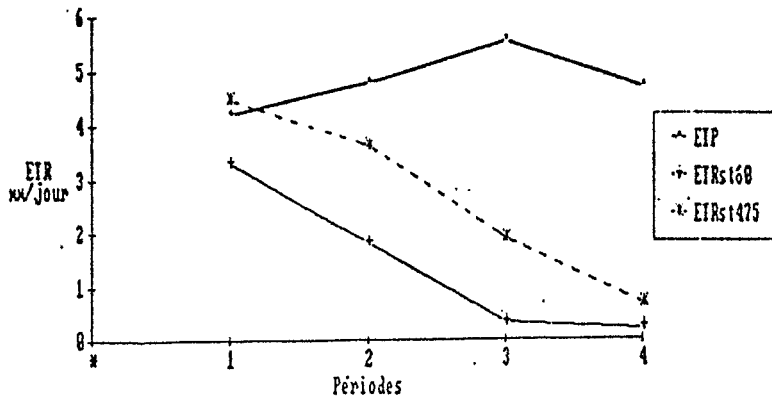
Légende

- In ACACIA RADDIANA "Inocule"
- Te ACACIA RADDIANA "Témoin"
- F ACACIA SENEGAL
- C ACACIA SENEGAL
- ☆ TUBE D'ACCES DE LA SONDE A NEUTRONS

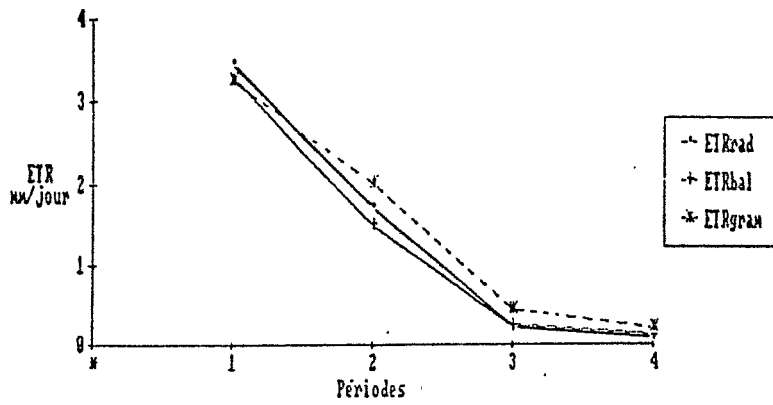




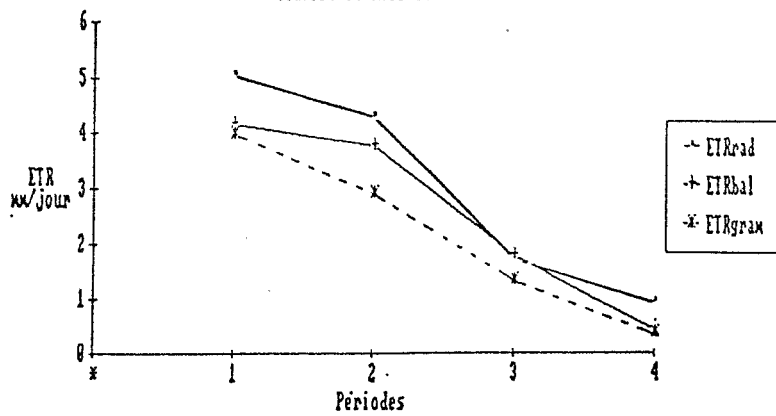
Evapotranspiration réelle de la steppe
2 profondeurs de la zone racinaire
60 et 475 cm

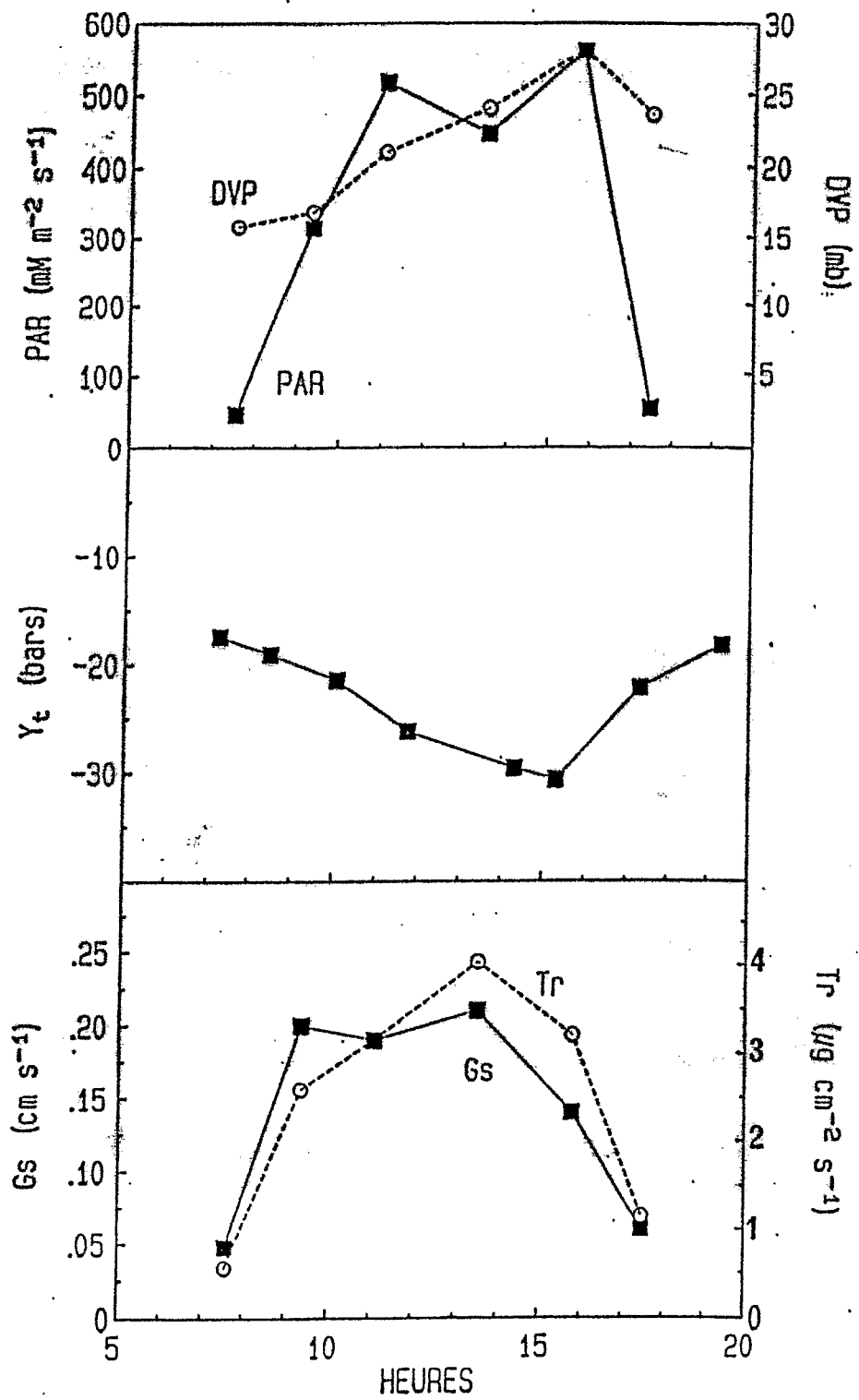


Zone racinaire de 0 à 60 cm
Evapotranspiration réelle
couvert et hors couvert

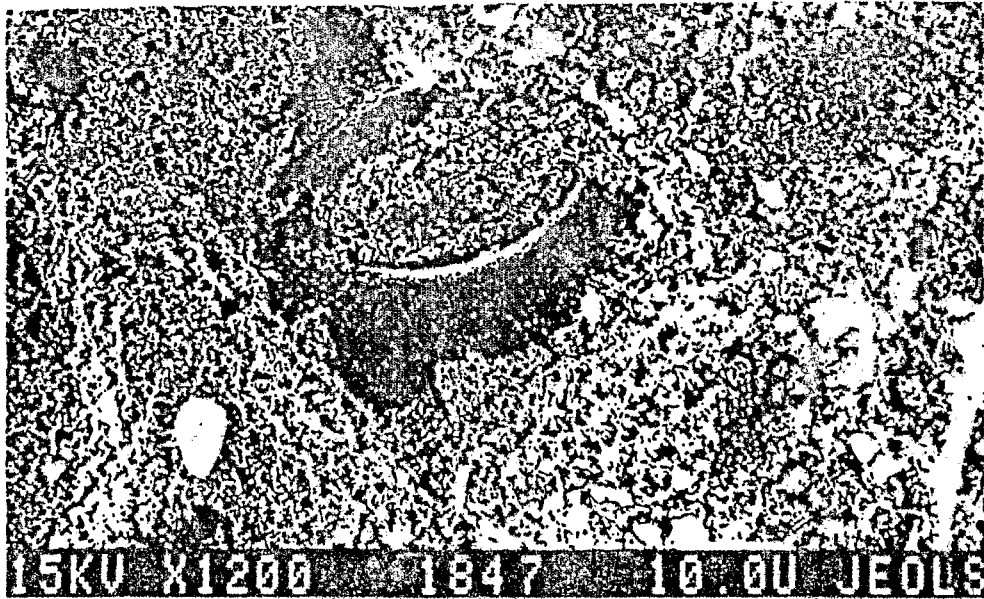


Zone racinaire de 0 à 475 cm
Evapotranspiration réelle
couvert et hors couvert

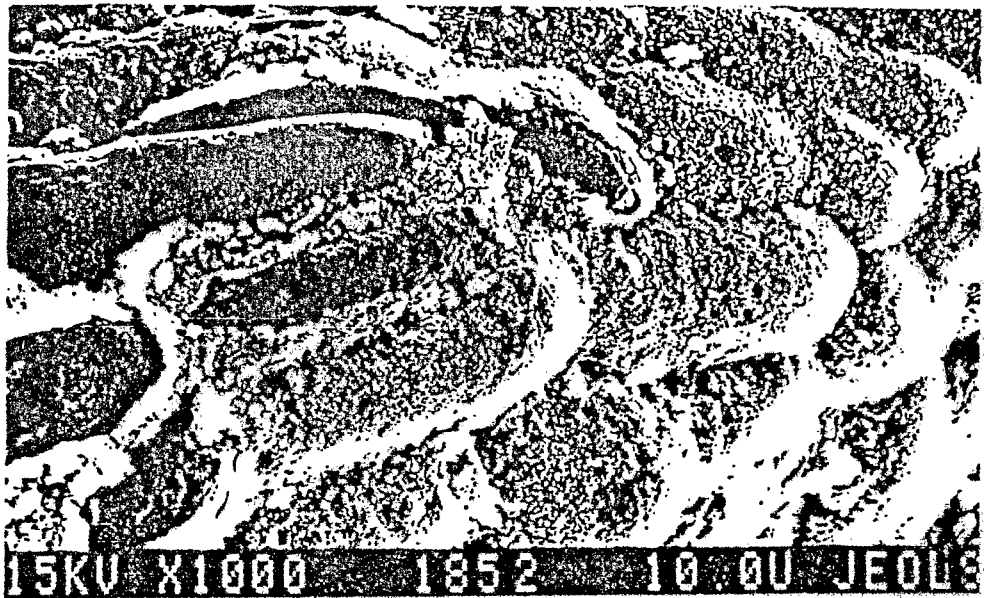




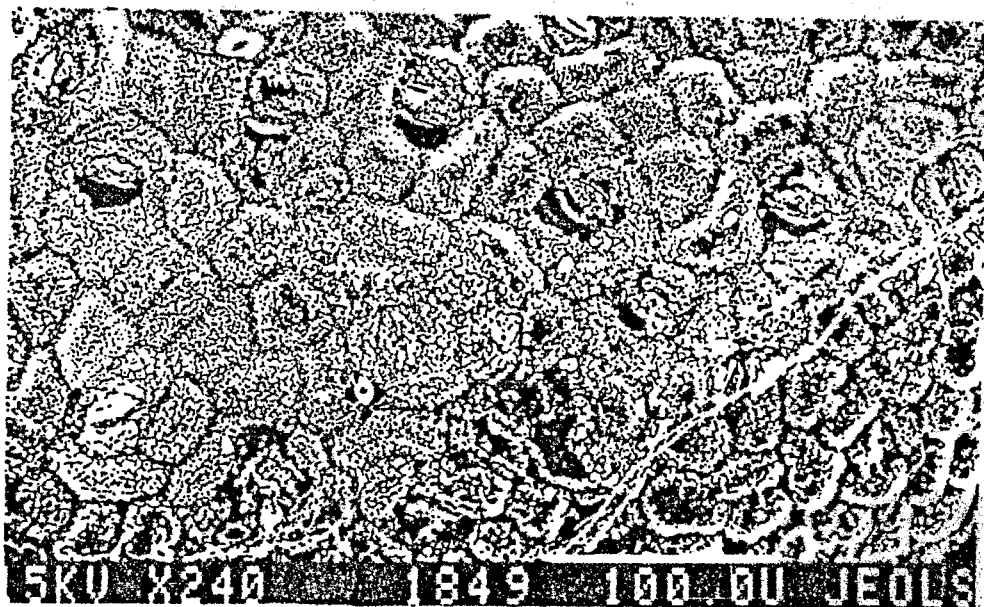
fr. 7



0



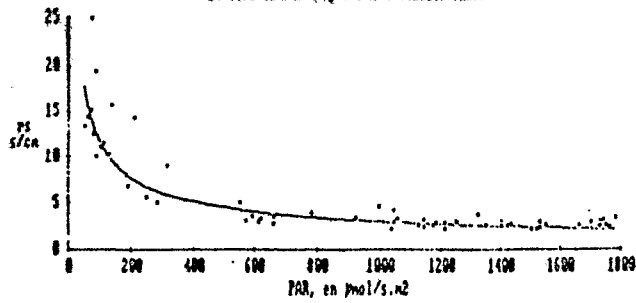
0



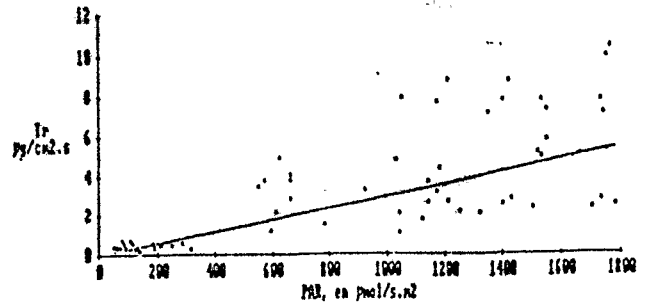
0

1849

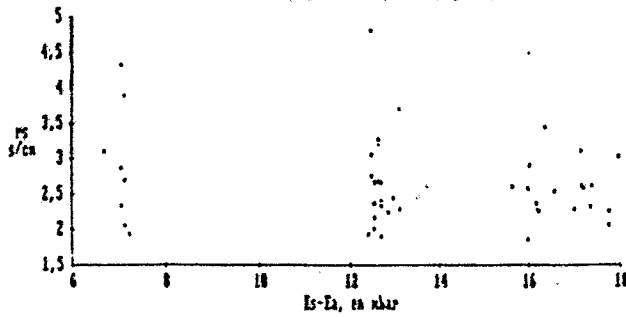
Acacia senegal
Résistance stomatique
en fonction du rayonnement visible (PAR)



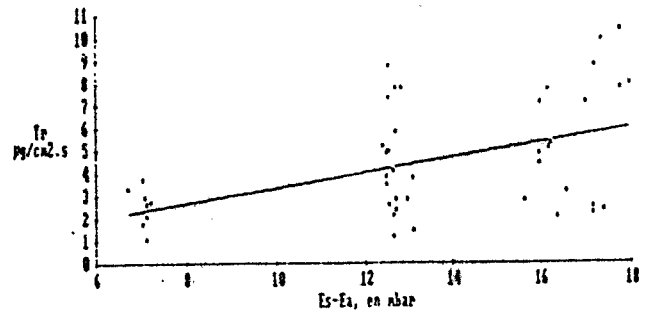
Acacia senegal
Transpiration
en fonction du rayonnement visible (PAR)



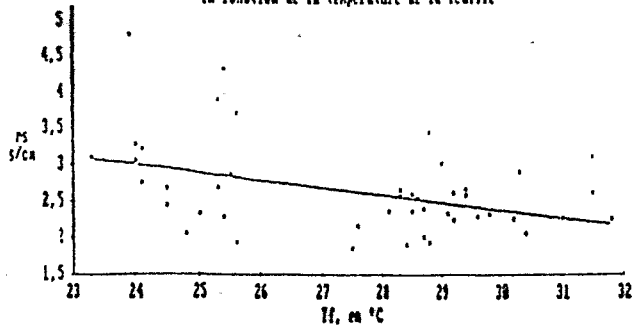
Acacia senegal
Résistance stomatique
en fonction du déficit de saturation de l'air



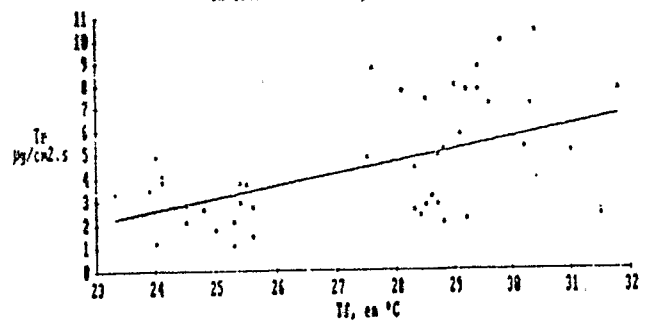
Acacia senegal
Transpiration
en fonction du déficit de saturation de l'air



Acacia senegal
Résistance stomatique
en fonction de la température de la feuille



Acacia senegal
Transpiration
en fonction de la température de la feuille



573