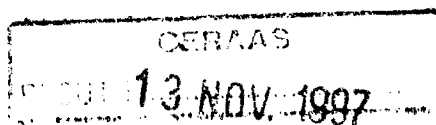


CR001078



MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE
ECOLE NATIONALE DES CADRES RIJRAUX
DEPARTEMENT : PRODIUCTIONS VEGETALES

CENTRE D'ETUDE REGIONAL POUR
L'AMELIORATION DE L'ADAPTATION
A LA SECHERESSE

**EFFETS DE LA DENSITE DE SEMIS SUR LA
CONSOMMATION EN EAU, LE DEVELOPPEMENT
ET LA PRODUCTIVITE CHEZ L'IGNAME HARICOT
(*PACHYRHIZUS EROSUS* (L.) URBAN) variété EC 114**

∴

MEMOIRE PRESENTEE ET SOUTENUE POUR L'OBTENTION DU

DIPLOME D'INGENIEUR DES TRAVAUX AGRICOLES

PAR

M. Pape Malick SALL

Maître de stage

M Ibrahima MBODJI
Formateur, ENCR

Tuteur de stage

M. Omar DIOUF
Chercheur, CERAAS

NOVEMBRE 1997

SALL
AGRO 4

REMERCIEMENTS

Que l'occasion me soit offerte de remercier :

Mr S. H. CAMARA, Directeur de l'ENCR de Bambey, pour son soutien sans faille aux étudiants.

Dr H. ROY-MACAULEY Directeur du CERAAS, qui a bien voulu nous accepter dans son laboratoire durant 4 mois avec autant de sympathie.

Mr O. DIOUF, chercheur, mon tuteur de stage. Je ne saurais l'apprécier à travers cette page, tellement il m'a apporté durant mon stage; sur le plan pédagogique avec la physiologie et tous les domaines qui touchent la recherche. du style, et même du comportement.

Dr B. SARR, chercheur et responsable scientifique du CERAAS, il s'est dévoué corps et âme pour me mettre dans de bonnes conditions de travail aussi bien sur le plan matériel que pédagogique. Il m'a beaucoup apporté dans le domaine de la bioclimatologie.

Dr M. DIOUF, chercheur, symbole de gentillesse , de sympathie, et de respect, il a guidé mes premiers pas sur les mesures physiologiques.

Mr B. NDAO, Directeur des études de l'ENCR, pour son soutien constant aux étudiants.

Mr S.M. MBOUP, chef de département de la production végétale, pour ses nombreux conseils.

A Mr I MBODJI, mon maitre de stage, qui n'a ménagé aucun effort pour que mon travail soit bien fait.

A Mrs TINE, SARR, FAYE, DIAKHO, NIANG, **BÂ**, FALL, DIOP, GUEYE.

A tout le personnel du CERAAS, pour leur sympathie et leur collaboration.

A tout le personnel de l'ENCR pour leur respect aux étudiants.

A Mr M. NDIAYE, secrétaire général de l'ENCR, pour sa gentillesse et son esprit de compréhension.

DEDICACES

A mon père A. SALL, qui a su éduqué et orienté ses enfants à tant mais aussi dans la discrétion.

A ma mère D. SY, exemplaire, je ne s'aurais le remercier ici.

A. A. SALL, qui nous a quitté miraculeusement, très tôt, dans ce monde.

A mes frères V. SALL, B SALL, L SALL, pour leur soutien indéfectible.

A Mme SALL née M. GUEYE pour son attachement à notre famille

A mes soeurs D. SALL. F. SALL, S. SALL, M. SALL, A SALL pour leur sympathie

A Mlle A SALL et K B. SALL. que Dieu les préservent.

A A.N.FAYE, mon tandem durant le mémoire, amitié sincère éternelle.

A mon ami I GUEYE dit AGRI, symbole de l'amitié sincère.

A Mlle S. DIAKHOUMPA pour sa sympathie

A M .A BÂ, D. DIALLO, S. NDIONE, O. SY, A. DIA

A M S. SIDIBE mon promotionnaire et ami ,exemplaire dans ses actes

A mes amis S. M. DEME. A. KASSE, D. SARR, K N 'DIAYE, amitié sincère

A Mlle SEYNABOU TOURE, exemplaire dans sa gentillesse et sa sympathie.

A M A.BÂ amitié éternelle

A Mlles M. F, pour son soutien à l'ENCR

A M. C MBAYE et S BÂ grande estime

A Mlles N. DIOUF, K DIOUF, B DIOUF pour leur amitié.

A tous les étudiants de la 32^e, 33^e, 34^e promotion de l'ENCR NICHOLE, A SAMB, O. LY, A D. DIALLO, A. DIONE, A. TALL, MBODJI

A tous les étudiants de l'ENSA, qui m'ont vite intégré dans leur milieu

A M.F. NIANG symbole de gentillesse.

A Mlle. T.DIALLO, symbole de la sympathie.

A C. M SALL, mon frère, amitié éternelle

A A. SY et I SY, mes oncles, symbole de l'estime

RESUME

Le *Pachyrhizus erosus* ou igname-haricot, originaire d'Amérique Latine est une légumineuse tubérifère à intérêts agroéconomiques. Elle est photopériodique, ce qui induit une variabilité dans la croissance d'où la nécessité pour chaque date de semis de connaître la densité de semis à adopter. Ce travail a pour objectif d'étudier l'effet de la densité pour une période semis en jours longs (10 juin). L'étude bibliographique a permis de faire connaissance avec les caractéristiques botaniques de la plante ainsi que ses avantages alimentaires et phytosanitaires. L'étude agrophysiologique a permis d'obtenir des résultats sur l'effet de 3 densités de semis (D1 : 30 x 60; D2 : 20 x 40; D3 : 15 x 30) sur la consommation en eau, le développement et la productivité chez la variété EC 114. Elle a montré ainsi que les densités D1 et D2 assurent un meilleur rendement en tubercules, un meilleur indice de récolte et une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau par rapport aux tubercules. Ces paramètres sont obtenus par évaluation de la consommation en eau, des paramètres de développement et de production. Ces résultats constituent un pas dans l'identification des densités de semis appropriées aux dates de semis.

AVANT PROPOS

Depuis les années 1970 les pays du Sahel vivent une situation particulièrement contrastante. Au moment où les besoins alimentaires s'accroissent de plus en plus à cause de la forte pression démographique, la production agricole connaît une baisse notable. Selon LOYNET et KERE (1991), le déficit vivrier dans les pays membres du CILSS atteignait **1771500** tonnes en 1984-1985. L'analyse des données démographiques montre qu'en l'an 2000, il y aura au Sahel 50 millions d'habitants soit 60% de plus qu'en 1990 ce qui leur permet d'estimer le déficit à plus de 3 millions de tonnes si la production n'évolue pas. Par conséquent l'amélioration voire l'augmentation de la production alimentaire constitue un défi majeur à relever dans les pays sahéliens.

Les plantes tubérifères très nutritives par leur richesse en amidon, sucres, protéines et en d'autres éléments essentiels comme les oligo-éléments et vitamines contribuent à la diversification de l'alimentation et assurent une part importante des besoins énergétiques alimentaires dans cette zone. Aussi faut-il remarquer que depuis quelques années elles sont devenues une cible privilégiée pour l'alimentation des animaux et les matières premières industrielles servant à la production d'alcools, d'acétone, d'insecticides et d'amidon pour les industries textiles et pharmaceutiques. Cette demande industrielle pourrait constituer pour le monde rural une source de revenu substantielle.

Les plantes tubérifères telles que le manioc et la pomme de terre sont déjà adaptées aux conditions agroclimatiques et interviennent dans l'alimentation des populations. A côté de celles-ci, il existe une autre catégorie moins acclimatée comme les espèces de **Pachyrhizus** ou igname haricot. Ce sont des légumineuses originaires d'Amérique Centrale et qui sont en voie d'acclimatation dans nos zones semi-arides. En plus des avantages inhérents aux plantes tubérifères, les espèces du genre **Pachyrhizus** présentent une teneur en protéines plus élevée et contribuent au maintien de la fertilité des sols dans les systèmes agricoles.

C'est en vertu de ces potentialités sous exploitées que le CERAAS a initié en 1992 les recherches sur ces plantes dans le but de leur introduction au Sénégal. C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail au CERAAS. Le CERAAS est un laboratoire national à vocation sous régional. Il a été créé en 1989 sous mandat des pays membres de la CORAF et du CILSS. Ses objectifs spécifiques sont :

- d'améliorer les connaissances sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées dans les PED ;
- de préciser la génétique des espèces concernées afin de proposer des stratégies de sélection et de création variétale réalistes ;
- d'intégrer ces connaissances dans une approche pluridisciplinaire du problème afin de mettre en place, pour chaque situation, des programmes de sélection performants ;
- de proposer à la vulgarisation du matériel végétal amélioré et adapté aux formes de contrainte hydrique rencontrées dans chaque situation.

Du point de vue des ressources humaines, le projet vise à renforcer les capacités de recherches des équipes des institutions des PED par le développement d'actions conjointes et coordonnées dans une dimension régionale.

INTRODUCTION	2
1 GENERALITES	2
1.1. La sécheresse	2
1.2. Notion d'adaptation à la sécheresse	2
2. PROBLEMATIQUE, OBJECTIF ET PLAN DE TRAVAIL	3
1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	5
1.1. DESCRIPTION TAXONOMIQUE	5
1.2. PHENOLOGIE DE LA PLANTE	5
1.3. VALEURS NUTRITIONNELLES ET AGRONOMIQUES DE LA PLANTE	10
1.3.1. Valeurs nutritionnelles	10
1.3.2. Plante insecticide et fongicide	10
1.4. PAITHOLOGIE	10
1.5. AIRE DE DISTRIBUTION ET CONDITIONS DE CULTURE DE LA PLANTE	11
1.6. ETATS DES RECHERCHES AU SENEGAL	11
2. MATERIEL ET METHODES	13
2.1. MATERIEL VEGETAL	13
2.2. METHODES	13
2.2.1. Le site expérimental	13
2.2.2. Techniques et conditions de culture	13
2.2.3. Dispositif expérimental	13
2.2.4. Paramètres étudiés et techniques de mesure	14
2.2.4.1. Mesures agronomiques	14
2.2.4.1.1. Suivi des paramètres climatiques	14
2.2.4.1.2. Mesure de l'état hydrique du sol	14
2.2.4.1.3. besoins en eau et coefficients culturaux	18
2.2.4.1.4. Suivi du développement morphophénologique de la culture	19
2.2.4.1.5. Les composantes du rendement	19
2.2.4.2. Mesures physiologiques	19
3. RESULTATS ET DISCUSSIONS	21
3.1. CONDITIONS CLIMATIQUES	21
3.2. CONDITIONS D'ALIMENTATION EN EAU ET ETAT HYDRIQUE DE LA CULTURE	21
3.3. EFFETS DE LA DENSITE DE SEMIS SUR LA CONSOMMATION EN EAU DE LA CULTURE	26
3.4. EFFETS DE LA DENSITE SUR 1.1: DEVELOPPEMENT DE LA CULTURE	31
3.5. EFFETS DE LA DENSITE SUR LA PRODUCTION	35
3.5.1. Rendement	35
3.5.2. Efficacité d'utilisation de l'eau	35
3.6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	39
LISTE DES ABREVIATIONS	40
BIBLIOGRAPHIE	42

INTRODUCTION

1. Généralités

1 .I. La sécheresse

Le caractère relatif de la sécheresse ne permet pas d'en donner une définition précise. En effet selon que l'on soit dans une région tempérée ou aride et selon l'utilisation qui est faite de l'eau, la sécheresse apparaîtra comme un phénomène fréquent ou rare, catastrophique ou normal. Il est donc nécessaire, pour en donner une définition acceptable par le plus grand nombre, de rester à un niveau de perception relativement simple comme en rend compte la définition formulée par RASMUSSEN (1987) : "la sécheresse correspond à une période étendue de diminution des pluies par rapport à un régime autour duquel l'environnement local et l'activité humaine se sont stabilisés". Cette définition indique clairement que la sécheresse peut être évaluée soit à un niveau exclusivement pluviométrique ou au niveau de ses effets sur la productivité.

La sécheresse climatique est généralement évaluée à partir d'analyses statistiques de base sur plusieurs années. Par contre les manifestations précoces de ces changements seront évaluées par des analyses mensuelles ou saisonnières. Cette approche permet d'effectuer un premier niveau de caractérisation des zones semi-arides (BAILEY, 1979; BERRY: 1984) à un niveau régional. Elle permet aussi de confirmer l'existence des variations substantielles de la sécheresse climatique en zones semi-arides (KHALFAOUI et ANNEROSE, 1987). Cependant elle reste insuffisante pour apprécier les effets de la sécheresse sur la productivité végétale.

Dans une approche agronomique la sécheresse peut être définie comme la manifestation de période de déficit hydrique dans le sol, la plante ou l'atmosphère, provoquant une baisse de la productivité.

En effet l'évaluation de la sécheresse peut être améliorée grâce à la prise en compte des concepts de bilan hydrique, d'évapotranspiration et d'état hydrique de la culture. Ces concepts sont maintenant suffisamment maîtrisés pour estimer la quantité d'eau disponible pour les cultures ainsi que l'utilisation qui en sera faite en fonction des caractéristiques des plantes et des conditions environnementales (ANNEROSE et DIAGNE, 1990).

1.2. Notion d'adaptation à la sécheresse

La notion d'adaptation à la sécheresse est explicitée en termes de dynamique réactionnelle à la contrainte hydrique. Les modalités très diverses par lesquelles elle

s'exprime constituent autant de stratégies de résistance au facteur contraignant. Trois types majeurs d'adaptation, résultant de la spécificité de la réponse au concept physique de contrainte peuvent être distingués (TURNER, 1979; JONES, 1986)

• l'esquive de la sécheresse : la plante boucle son cycle avant l'accentuation du déficit hydrique; seulement la productivité baisse même si les conditions redeviennent favorables en cours de cycle.

• l'évitement à la sécheresse : la plante est à même de supporter la sécheresse grâce à un état interne d'hydratation. La plante acquiert cet état soit par un système racinaire bien développé pour le maintien de l'approvisionnement en eau, soit par la réduction des pertes en eau grâce à la régulation stomatique, la réduction de la surface foliaire. "enroulement des feuilles, la présence de cuticule épaisse, de poils, de cryptes...

• la tolérance à la sécheresse : elle traduit la capacité de la plante à maintenir une intégrité structurale et fonctionnelle face à la sécheresse. Elle se traduit par :

* le maintien de la turgescence : il s'agit d'une condition essentielle au maintien de la croissance et du fonctionnement des tissus déshydratés (LOCKART, 1965, HSIAO 1973; LEVITT 1980. cités par DIOUF, 1993). Ce mécanisme peut être dû soit à un ajustement osmotique causé par l'accumulation de solutés, soit à l'augmentation de l'élasticité des parois cellulaires et à la contraction des cellules).

* la résistance protoplasmique à la déshydratation : elle se traduit par la capacité des membranes cellulaires, des protéines cytoplasmiques et enzymatiques à conserver leur stabilité dans des conditions de sécheresse accentuée (VIEIRA DA SILVA et al., 1974; VIEIRA DA SILVA, 1976; SOGBENON, 1992, cités par DIOUF, 1993).

2. Problématique, objectif et plan de travail

Les espèces du genre *Pachyrhizus* à l'exception de *P. ahipa* répondent à la photopériode; c'est ainsi que les jours courts contrôlent l'induction et l'initiation de la floraison et de la tubérisation (Zinsou, 1992) d'où l'importance de la date de semis

Des essais date de semis effectués dans nos conditions climatiques (rapport CERAAS, 1997) ont montré une augmentation de la production de tubercule par rapport à celle des fanes conséquence de la réduction du délai d'initiation florale et tubérale, liée à la durée du jour. En effet un semis effectué durant les jours longs conduit après 4 mois à un développement végétatif accentué de la plante et une mauvaise productivité en tubercule alors que si le semis s'effectue en jours courts la production de tubercules est privilégiée avec le mois d'août comme période optimale.

La densité conditionne en partie le taux de couverture d'une culture. intervient dans la perception du rayonnement et donc sur :

- la photosynthèse, processus physiologique fondamental de la production végétale.
- le partage des ressources hydrominérales,
- l'évapotranspiration et la température du sol et du couvert

A partir de toutes ces considérations, c'est à dire des variations du rapport **tubercules/parties** aériennes en fonction de la date de semis et de l'importance de la densité, il apparaît nécessaire de déterminer la densité optimale pour chaque date de semis. Dans le cadre de cet objectif général, cette étude a pour but spécifique de déterminer l'efficience d'utilisation de l'eau en fonction de la densité pour une période de semis correspondant au mois de juin.

Ce travail est réparti en trois chapitres :

- Etude bibliographique;
- Matériel et méthodes mises en oeuvre pour évaluer la consommation en eau, le développement et la productivité de la plante en fonction de la densité
- Résultats et discussions permettant la formulation de conclusions et perspectives.

1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Description taxonomique

Les principales informations sur la taxonomie du genre *Pachyrhizus* Rich ex. de Candolle ont été fournies par SORENSEN (1988). Le genre *Pachyrhizus* a été séparé du genre *Dolichos* L. par Du Petit-Thouars sous le nom de *Cacara* qui sera changé en *Pachyrhizus* par de Candolle, nom tiré de l'herbier de L.C.M. Richard. Il appartient à la famille des *Fabaceae*, à la sous famille des *Faboideae*, à la tribu des *Phaseolideae* et à la sous tribu des *Diocleinae*. Il est caractérisé par un port ramifié, poilu, rampant ou semi dressé avec des feuilles composées trifoliées, des inflorescences axillaires en racèmes et des tubercules racinaires. Le stigmate et le style ont une structure unique avec à la surface de l'ovaire, de courts poils s'étendant jusqu'au stigmate et formant une "barbe" le long du style recourbé. De plus le stigmate possède une excroissance médiane ou subterminale à sa surface. Le genre comprend cinq (5) espèces dont trois cultivées (*P. erosus*, *P. tuberosus*, *P. ahipa*) et deux uniquement à l'état sauvage (*P. ferrugineus*, *P. panamensis*). A l'exception de *P. ahipa* qui a un port dressé ou semi-dressé, toutes les autres espèces ont un port grimpant ou rampant. Les tiges sont herbacées mais *P. ferrugineus* présente une partie ligneuse au dessus des tubercules racinaires (photos).

L'espèce *P. erosus* est caractérisée par des folioles à forme variée (entière, dentée, palmée, lobée ...). L'espèce est définie par l'absence de poils sur les pétales, le nombre de fleurs (4-11) par axe inflorescentiel latéral et la longueur de l'inflorescence (8-45 cm). Les graines peuvent avoir une couleur vert-olive, brune, rouge-verdâtre avec une forme plate, carrée ou arrondie (figure 1).

1.2. Phénologie de la plante

Pachyrhizus erosus est une plante autogame (GRUM, 1990) avec un nombre chromosomique de base $n = 11$ (LACKEY 1981, cité par DIOUF, 1993). La multiplication est possible soit par les tubercules soit par les graines. La germination hypogée donne lieu à une plantule avec deux premières feuilles simples (figure 2) En zone sahélienne, la tubérisation précède toujours la floraison (Rapport annuel CERAAS, 1996). Il y a une compétition entre les graines et les tubercules pour l'utilisation des assimilats et l'ablation florale favorise le développement des tubercules (NODA et al., 1983 ; CERAAS, 1994).

Une échelle établie par GRUM (1990) et basée sur les changements morphologiques et physiologiques permet de distinguer des stades végétatifs et des stades reproductifs (tableau 1).

Photos : montrant les parties aériennes et souterraines



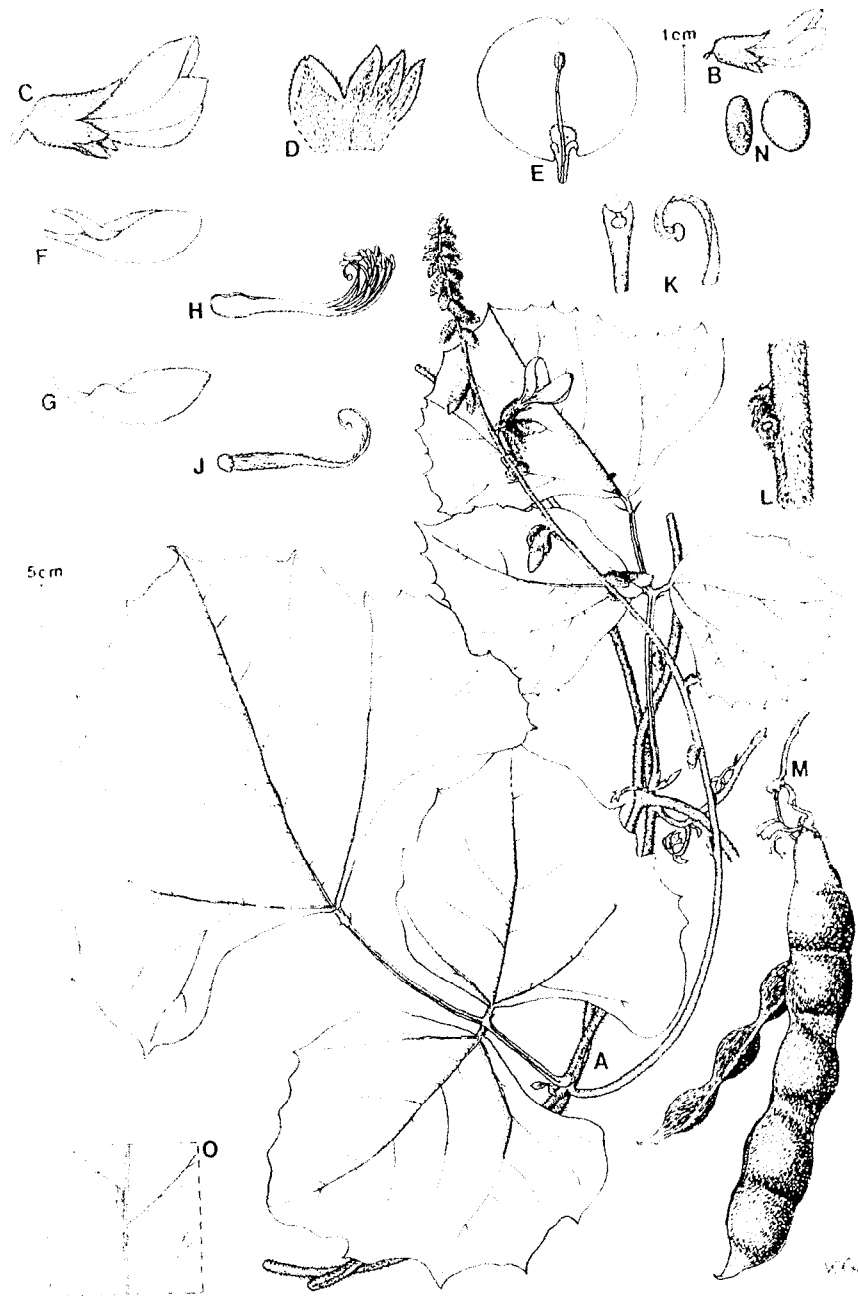


Figure 1 *P. erosus*. A. Port. B. Fleur. C. Fleur, vue de côté. D. Calice ouvert E Étaendard avec étamine médiane libre F. Aile. G. Carène. H. Etamines J Pistil avec disque basal. K. Vue de côté et de face du style et du stigmate. L. Axe inflorescentiel latéral. M. Gousses mûres. N. Vue de côté et de dessus de graine. O Coupe de la surface inférieure de la feuille. (Source : Sorensen, 1988)

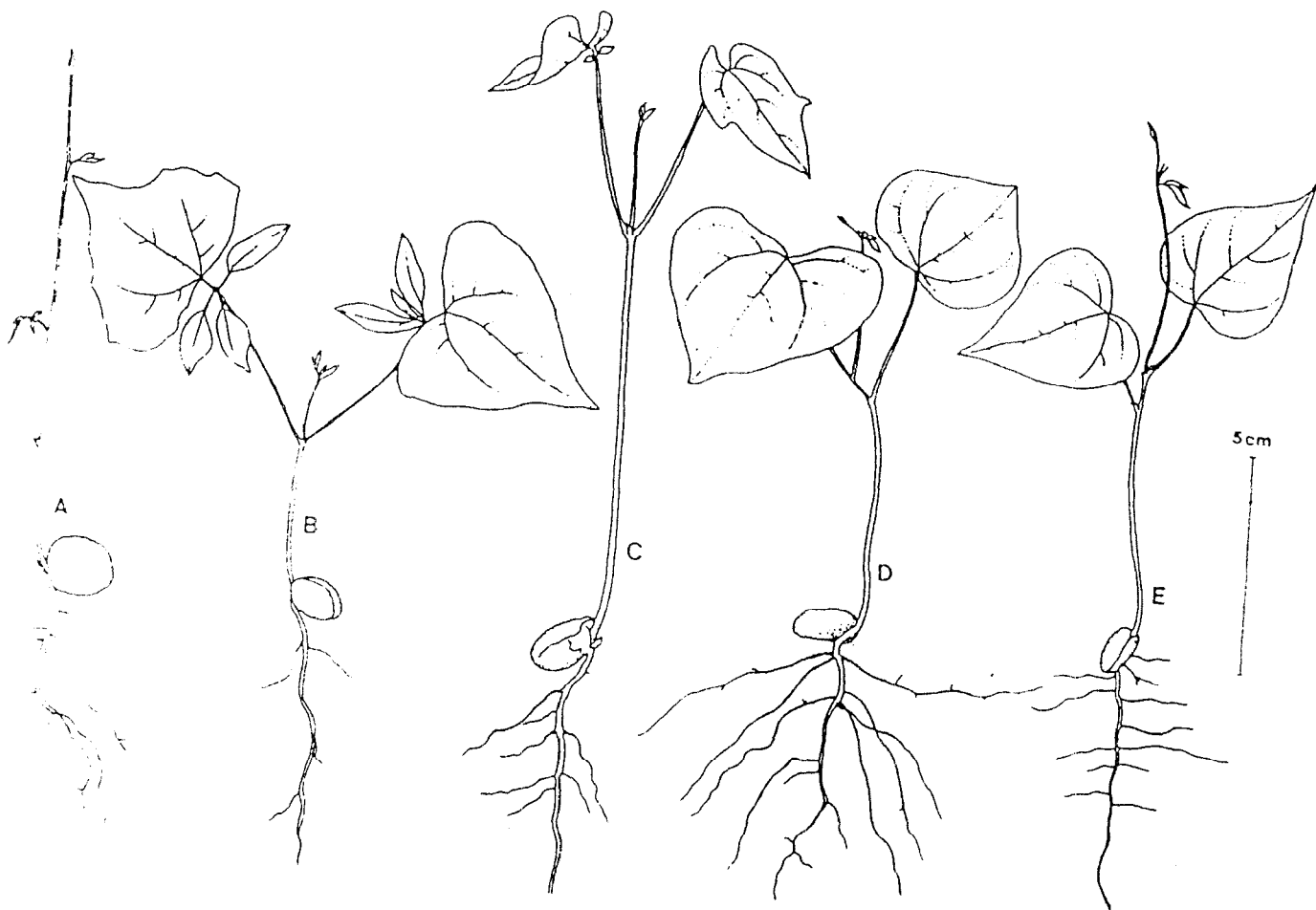


Figure 2 : Plantules de *Pachyrhizus* spp. - A. *P. ferrugineus* (de Sorensen 44, Depto. Izabal, Guatemala). - B. *P. tuberosus* (de Clausen C43-25, BH). - C. *P. ahipa* [de Sorensen 102, Prov. Tarija, Bolivia). - D. *P. erosus* (de Sorensen 6, Oaxaca, Mexico). E. *P. panamensis* (Sorensen 55, Madden Dam, Panama). Source : Sorensen, 1988.

TABLEAU 1 Stades de développement des plantes de *Pachyrhizus spp*, d'après M. GRUM (1990)

Stades	Descriptions
V0	Germination : absorption d'eau par la graine, apparition de la racine et sa transformation en racine primaire.
V1	Levée : apparition des feuilles juvéniles et épicotile.
V2	Feuilles juvéniles complètement déroulées.
V3	Première feuille trifoliolée : la première feuille trifoliolée s'ouvre et la seconde feuille trifoliolée apparaît.
V4	Troisième feuille trifoliolée : la troisième feuille trifoliolée s'ouvre et les bourgeons sur les noeuds inférieurs produisent des rameaux.
R5	Préfloraison : le premier bouton floral ou le premier racème apparaît.
R6	Floraison : la première fleur s'ouvre.
R7	Formation et remplissage des gousses : la première gousse apparaît avec plus de 2,5 cm de long. Les gousses commencent à se remplir (croissance de la graine). A la fin de ce stade les graines sont pleinement développées et les cosses deviennent dures.
R8	Post-croissance des gousses : les gousses sont remplies et dures.
R9	Maturité physiologique : senescence foliaire. La défoliation commence.

V = végétatif; R = reproductif

1.3. Valeurs nutritionnelles et agronomiques de la plante

1.3.1. Valeurs nutritionnelles

D'après PECKOLT (1880,1883) et PECKOLT (1922) en accord avec PORTERFIELD (1951), AGUILAR (1958), DUKE (1981), KAWABATA (1986), la teneur en sucre des tubercules de *Pachyrhizus* est supérieure à celles du manioc et leur teneur en protéines est 3 à 5 fois plus élevée que celle des plantes à tubercules comme le manioc, la patate douce (Tropical légumes, 1979). Les tubercules sont mangés crus ou cuits dans divers plats. Ils sont plus appréciés au stade jeune c'est à dire si la récolte s'effectue 3 à 5 mois après semis. Lorsque le tubercule atteint sa taille maximale, il devient fibreux et est destiné souvent à l'alimentation animale

1.3.2 Plante insecticide et fongicide

Grâce à sa teneur élevée en roténone au niveau des gousses et des graines mûres séchées, *Pachyrhizus* a un effet insecticide et fongicide. C'est ainsi qu'elles sont utilisées soit en poudre ou en solution pour le stockage des semences de niébé et d'arachide) ou la protection des cultures (NORTHON, 1943; HANSBERRY *et al.*, 1947; DUKE, 1981; ADJAHOUSSOU, 1992; HALAFIHI, 1994; DELOBEL *et al.*, -1996;).

1.4. Pathologie

Les principaux ennemis de la plante généralement rencontrés sont le nématode *Heterodera* qui attaque les racines (DUKE, 1981), la punaise farineuse (*Ferrisia virgata*) et le thrips américain (*Frankliniella occidentalis*) provoquant la chute prématurée des boutons floraux (CLAUSEN, 1945, DUKE, 1981).

Les maladies fongiques sont dues à *Pythium aphanidermatum* qui provoque la pourriture radiculaire (YU, 1945) et *Cercospora canescens* créant des tâches foliaires aboutissant à une défoliation de la culture (MOHANTY et BEHERA, 1961). Une seule maladie bactérienne est connue, elle est due à *Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola* (Birch, 1981).

En ce qui concerne les maladies virales , "*Sincama mosaïque*" reste le plus virulent (FAJARDO et MARANON, 1932:). Elle induit la chlorose et les taches foliaires selon le stade de l'infection. Elle est surtout fatale en période de germination. Les dommages qu'elle peut causer sont

la chute des boutons floraux, la perte de fertilité des pollens, la modification de la composition chimique des tubercules.

1.5. Aire de distribution et conditions de culture de la plante

Pachyrhizus erosus est originaire de l'Amérique centrale : Mexique, Costa Rica, Belize, Colombie, Pérou, Bolivie, Guatemala, etc... Son aire de distribution est aujourd'hui assez étendue

-Caraïbes : Antigua, Cuba, Dominique, Jamaïque

-Sud Amérique : Brésil, Venezuela

-Afrique : Cameroun, Ghana, Tanzanie? Zaïre

-Océan indien : Ile Maurice, Réunion

-Asie : Cambodge, Malaisie, Vietnam

-Océan pacifique : Formose, Philippines

Le *Pachyrhizus* s'adapte à beaucoup de conditions agroclimatiques. Il peut être cultivée en sol argileux, sableux à argilo-sableux d'altitude comprise entre 0 et 2000 m, avec une pluviométrie de 250 à 1500 mm (SORENSEN, 1988). Il requiert un climat chaud avec une humidité modérée. Il est sensible au froid. Le sol doit être léger et bien drainer. La plante peut être cultivée en monoculture ou en associations avec le maïs et les haricots (HEREDIA Z., 1985).

1.6. Etats des recherches au Sénégal

Les recherches conduites par le CERAAS sur les plantes du genre *Pachyrhizus* au sein du réseau " The yam bean project " regroupant 9 institutions de recherches, ont porté essentiellement sur leur physiologie et leur comportement agronomique afin de déterminer leur adaptabilité en zone semi-aride.

Les études physiologiques (ANNEROSE et DIOUF, 1992) ont montré deux stratégies de comportement vis à vis de la sécheresse : une réponse conservatrice (*P. erosus*) et une réponse évasive (*P. ahipa*). De plus en condition de sécheresse, l'ablation florale, tout en induisant un accroissement de la production de tubercules, améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau (DIOUF et al. 1995).

L'évaluation agronomique à travers un dispositif d'expérimentation multilocal et pluriannuelle a permis d'observer une grande variabilité des rendements (10 à 70 t/ha) avec une forte interaction site x année (ANNEROSE et DIOUF, 1996; Rapport CERAAS. 1996). L'analyse d'adaptabilité montre que d'autres facteurs (liés au sol au climat et aux maladies) en interaction ou non avec le facteur hydrique devraient déterminer la réponse de la culture (ANNEROSE et DIOUF, 1996).

Parallèlement à ces études l'évaluation de l'effet insecticide des graines en stockage post-récolte démontre la possibilité de limitation des attaques de brûches avec une rémanence de 150 jours (DELQBEL *et al.*, 1996). Les études dans ce domaine se poursuivent et devraient permettre de déterminer la dose appropriée et l'effet du traitement sur la contamination aflatoxique.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal

Parmi la trentaine de variétés évaluées au départ, cinq ont montré un comportement agronomique satisfaisant dans nos conditions. La variété EC 114, objet de notre étude fait partie de ces 5 variétés et appartient à l'espèce *Pachyrhizus erosus*. Son cycle complet peut aller de 6 à 9 mois suivant la date de semis. Dans notre situation la culture a été limitée à environ 4 mois (120 jours).

2.2. Méthodes

2.2.1. Le site expérimental

L'essai a été réalisé à l'ENSA de Thiès (altitude : 50m, latitude : 14°81'N, longitude 16°28') du 10 juin au 21 novembre 1997. Le site se trouve sur un sol ferrugineux tropicaux peu évolué (ZANTE, 1983). L'analyse chimique a montré qu'il est de tendance sableux à sableux argileux (90.1% de sable, 6.3 % d'argile), saturation (V=96 % , 85 %), avec un pH légèrement alcalin (pH eau = 7.79; pH KCl = 7.48). Le climat de type Sahélo soudanienne est caractérisé par des valeurs moyennes de température de 27.9°C, d'humidité relative de 70%; de vitesse du vent de 2.12 m/s; de durée d'insolation journalière de 8.9h, de pluviométrie de 541 mm d'évaporation journalière de 2.95 mm et d'ETP de 7,53 mm.

2.2.2. Techniques et conditions de culture

L'essai a été installé sur une parcelle à précédent patate douce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Le semis a été effectué sur des parcelles bien labourées avec 3 graines par poquet. Ces graines ont été préalablement imbibées dans de l'eau pour faciliter leur germination. Toutes les parcelles sont irriguées avec des rampes pivotantes, deux fois par semaine afin de maintenir la culture à l'ETM durant toutes les périodes sans pluies significatives. Le démariage a été effectué 23 jours après semis, à raison d'un pied par poquet. Un apport d'engrais (8-18-27) à raison de 150 kg/ha a été effectué à la levée. Un jaunissement des feuilles observées au 68 jss sur les densités D3 et D1 a entraîné un deuxième épandage d'engrais. Le sarclage a été fait au besoin. Un traitement phytosanitaire avec du furadan a été appliqué contre les fourmis. A partir de 100 jss, une ablation florale est opérée chaque semaine dans le carré de rendement.

2.2.3. Dispositif expérimental

L'étude porte sur une seule variété (EC 114) et le dispositif expérimental comprend 3 traitements (densité D1 = 60cm x 30cm, D2 = 40 cm x 20cm, D3 = 30 cm x 15cm) et 4

répétitions disposées en blocs complets randomisés (figure 3) soit au total 12 parcelles. La dimension des parcelles est de 6m x 6m avec des espaces entre parcelles de 1.5m. Dans chaque parcelle un carré de 2,4m x 2,4m est délimité pour la mesure des paramètres de rendement. L'espace compris entre ce carré et la ligne de bordure est réservée aux prélèvements de pieds et aux mesures morphophysiologiques *in situ*.

2.2.4. Paramètres étudiés et techniques de mesure

Le maintien en bon état des fonctions de la plante voire sa production sont en corrélation directe avec l'état hydrique de la plante. En effet lorsque les besoins en eau de la plante sont bien satisfaits durant tout le long de son cycle, les indicateurs du rendement sont à leur valeur optimale. La satisfaction de ces besoins en eau dépend aussi bien de la disponibilité de l'eau dans le sol que des pertes par évapotranspiration. L'évolution de ces deux paramètres le long du cycle conditionne en grande partie le développement et la croissance de la culture. Plusieurs paramètres liés à l'état hydrique du sol et des plantes, au développement végétatif et à la production des plantes ont été suivis au cours de l'expérimentation

2.2.4.1. Mesures agronomiques

2.2.4.1.1. Suivi des paramètres climatiques

Les paramètres climatiques, température, durée d'insolation, vitesse du vent, humidité relative d'une part et la pluviométrie d'autre part ont été relevés respectivement à partir de la station météorologique de Thiés et d'un pluviomètre installé dans l'enceinte de l'ENSA.

2.2.4.1.2. Mesure de l'état hydrique du sol

Deux méthodes sont utilisées pour déterminer l'humidité volumique du sol, la méthode neutronique et la méthode gravimétrique.

a) Méthode neutronique

C'est une méthode radioactive, elle est privilégiée par rapport à la gravimétrie car elle est plus rapide, non destructive et elle permet la réalisation du suivi de l'humidité *in situ* dans le temps et dans les couches profondes. La méthode utilise une sonde à neutrons (type TROOXLER 3300) et des tubes d'accès installés au milieu de chaque parcelle.

Son principe repose sur le fait que des neutrons rapides irradiés dans le sol à travers le tube en PVC entre en collision avec d'autres atomes de masse voisine, tel que l'hydrogène (HENIN, 1977). La sonde est munie à la fois d'une source annulaire de neutrons rapides et d'un compteur de neutrons lents. La source est constituée d'un mélange Américium-Beryllium (Am-Be). L'Am étant radioactif émet des particule α qui

agissent sur le Be. Ce dernier libère des neutrons rapides dont le ralentissement par les atomes d'hydrogène est matérialisé sur un compteur. Le compteur est lié à la source localisée au centre du volume sphérique de sol couvert par les neutrons émis

Le diamètre de la sphère d'influence est inversement proportionnel au nombre d'atomes d'hydrogène présents dans le sol, c'est à dire la teneur en eau de ce sol. A partir des données neutroniques lues sur le compteur, le comptage corrigés est déterminé

$$N_c = (N / N_e) * 1000$$

1000 Comptage de référence de l'eau pure

N Comptage in situ

N_e : Comptage étui

L'appareil nécessite un étalonnage préalable en fonction du sol car certains éléments (B, Cl) et l'eau de structure (argile et matière organique) peuvent absorber les neutrons ralentis. Cet étalonnage est effectué en reliant les mesures neutroniques aux mesures gravimétriques en différentes conditions d'humidité

La liaison entre Hv et N_c est établie à l'aide d'une régression linéaire (figure 4)

b) Méthode gravimétrique:

Cette méthode donne des résultats plus fiables. Des échantillons de sol sont prélevés dans des boîtes en aluminium à deux profondeurs différentes. Ils sont aussitôt pesés au laboratoire et leur poids frais (PF) est déterminé. Le poids sec (PS) est déterminé après passage de la boîte pendant 48h à l'étuve sous une température de 105°C. L'humidité pondérale (HP), exprimée en pourcentage du poids sec, est égale à :

$$HP = ((PF-PS)/PS) * 100.$$

L'humidité volumique est alors calculée à partir de l'HP et de la densité apparente (Da) soit $HV = HP * Da$. La densité apparente du sol, c'est à dire la densité volumique moyenne du sol, est déterminée par rapport à l'eau dont la densité est égale à 1. La détermination de cette densité apparente a été faite par :

• gravimétrie et correspond à $Da = Pa (\text{à } 105^\circ) / Va$

avec Pa le poids de terre séchée à 105° en g et Va le volume apparent.

• lecture directe à l'aide d'un Gamma Densimètre type 3400 / B.

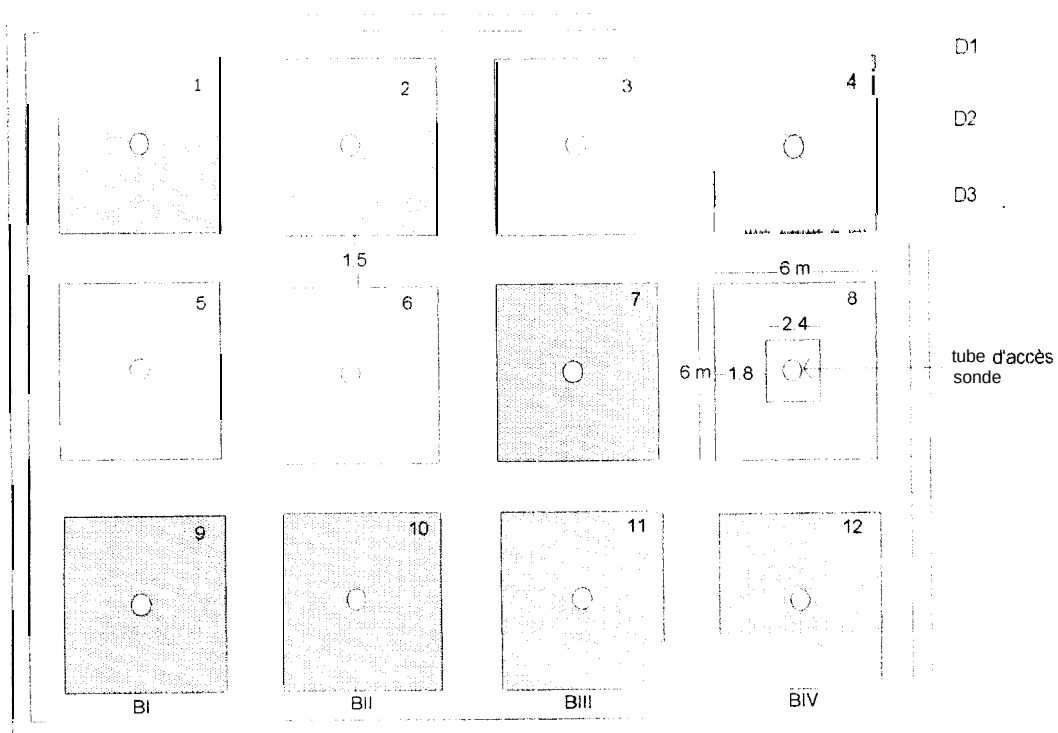


Figure 3 Plan du dispositif expérimental

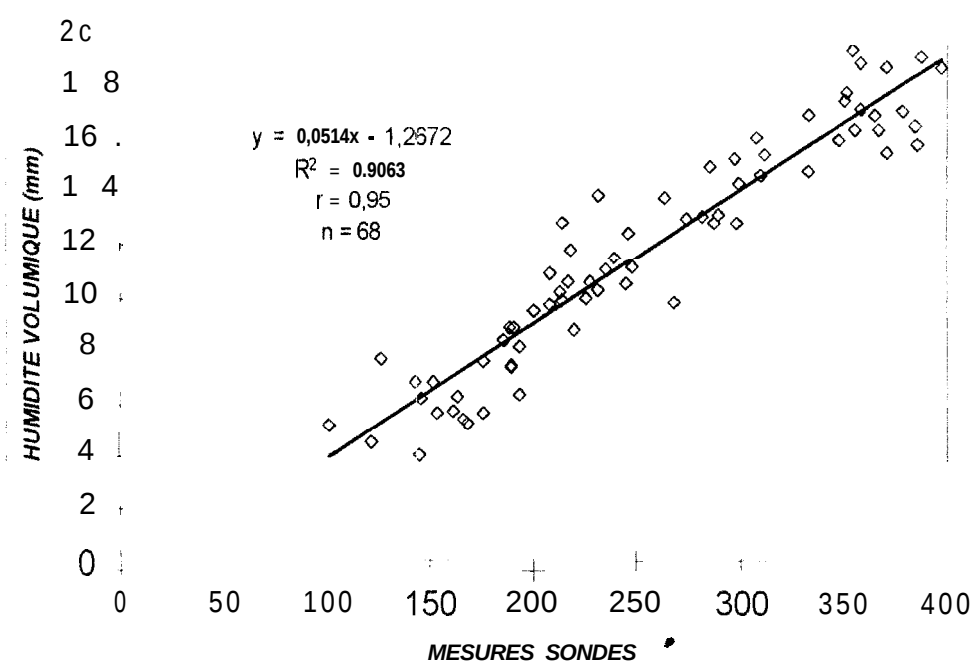


Figure 4 Courbe d'étalonnage de l'humidimètre à neutron avant l'expérimentation

2.2.4.1.3. Besoins en eau et coefficients culturaux

Le bilan hydrique consiste à faire une confrontation entre les apports d'eau assurés par les irrigations ou les pluies et les pertes d'eau résultant de la transpiration, de l'évaporation du sol, du drainage profond, du ruissellement,

Les besoins en eau des cultures (ETM) est sous la dépendance de la demande imposée par les conditions climatiques (ETP), et de l'offre qui est égale à la quantité d'eau reçue et stockée par le sol (eau disponible). Elle peut être appréciée à partir du bilan hydrique.

a) Evapotranspiration potentiel (ETP)

L'évaporation qui alimente l'atmosphère en vapeur d'eau consomme de l'énergie. Sous un climat donné, cette énergie varie, d'où la notion d'évapotranspiration potentielle ou ETP, véritable donnée climatique qui représente la perte d'eau maximum, par évaporation du sol et transpiration de la plante possible en un lieu. Elle est égale alors aux pertes résultant de l'évaporation du sol et de la croissance d'un végétal l'évaporation du sol en pleine croissance, couvrant bien le sol et dont l'alimentation hydrique n'est pas limitante. La notion d'échelle est donc très importante lorsqu'on parle de l'ETP.

L'ETP est calculée à partir de la formule de PENMAN (1948). Elle utilise les bilans d'énergie et comprend un terme radiatif (rayonnement global, durée d'insolation) et un terme advection (température, humidité, vitesse du vent, évaporation).

b) Evapotranspiration maximale (ETM) et coefficient cultural (Kc)

Face à la demande climatique (ETP) les plantes réagissent en fonction de leur stade végétatif et leurs caractères morpho-phénologiques. L'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la consommation en eau d'une culture donnée. Lorsque l'eau n'est pas limitante on parle alors d'Evapotranspiration réelle maximale (ETRM_{MAX} ou ETM) et si en plus le couvert végétal est suffisamment étendu en surface ($IF \geq 4$), ETR_m correspond sensiblement alors à l'ETP. On est amené ainsi à définir un coefficient cultural pour chaque stade de développement d'une culture donnée à partir de la référence climatique ETP.

Les données de l'humidimètre à neutrons, traitées avec le logiciel Bipode (IRAT-SOPRA, version 2.2), permettent de déterminer l'humidité volumique, le stock d'eau du sol (mm) et de tracer les profils hydriques. Ainsi en appliquant la formule du bilan hydrique, on détermine l'ETR.

$$ETR = I + P \pm AS \pm Rui \pm Dr$$

avec I = irrigation, P = pluie; ΔS = variation de stock; RUI = ruissellement et Dr = drainage. Le ruissellement a été rendu négligeable du fait du buttage des parcelles.

La connaissance de l'ETM permettra de calculer les coefficients culturaux K_c pour chaque stade de développement par la formule,

$$ETM \text{ (Besoins en eau)} = ETP \times K_c = E_{vac} \times K'_c$$

2.2.4.1 4. Suivi du développement morphophénologique de la culture

L'indice foliaire définit le rapport de la surface foliaire à l'unité de surface de sol. Elle traduit ainsi la structure du couvert c'est à dire le feuillage et sa distribution. De ce fait il influence la pénétration du rayonnement solaire incident, la température du couvert et du sol, l'évaporation, l'interception des pluies et la productivité. Il est mesuré par le LAI 2000 qui utilise la différence entre le flux quantique mesuré au dessus du couvert et celui mesuré en différents points et sous plusieurs angles en dessous du couvert. Ainsi l'interception du rayonnement solaire par le couvert fournit une estimation de la structure du couvert à partir du modèle de transfert radiatif. Les mesures sont faites une fois par semaine. Trois répétitions sont effectuées sur une parcelle avec pour chacune une mesure au dessus du couvert et quatre mesures en dessous du couvert.

Le développement de la culture a été aussi suivi par prélèvement de trois pieds chaque quinzaine dans chaque parcelle. Les pieds prélevés sont mis dans une étuve à 85° pendant 5 jours. Le poids sec des parties aériennes et souterraines est ensuite déterminé. En même temps le nombre de feuilles est compté sur trois pieds fixes.

Des observations phénologiques sont réalisées et consistent à noter les dates à 50 % de levée, de ramification, de tubérisation, de floraison, d'apparition des gousses. Sont aussi notées d'autres observations liées à l'état sanitaire de la culture (maladies: carences, attaques..).

2.2.4.1 5. Les composantes du rendement

A la récolte, les composantes du rendement (poids frais des tubercules et des fanes ainsi que leurs poids secs) sont mesurées sur le carré du rendement.

2.2.4.2. Mesures physiologiques

a) Le Contenu Relatif Eau (CRE)

Le CRE foliaire permet de caractériser l'état hydrique par estimation du volume hydrique cellulaire. Il est déterminé par la technique des pesées à l'aide d'une balance de précision (Mettler). Un échantillon de 78.5 mm² prélevé à l'aide d'une emporte pièce sur la 4^{ème} feuille à partir du sommet de la tige est placé dans une fiole, fermé soigneusement et taré au préalable. L'ensemble est conservé au frais jusqu'au retour

au laboratoire. Le poids de la fiole contenant le disque foliaire est pesé (PF) et l'échantillon mis à réhydrater dans l'eau distillée pendant 4 H. Son poids à turgescence (PT) maximale est mesuré puis il est mis à sécher à l'étuve à 80°C. Au bout de 24 h son poids sec (PS) est déterminé. Le CRE, au rapport entre la teneur en eau de l'échantillon prélevé et celle de l'échantillon en pleine turgescence, est alors égal à :

$$\text{CRE}(\%) = ((\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PT} - \text{PS})) * 100 \quad (\text{WEATHERLEY, 1950})$$

b) Le potentiel hydrique foliaire

Le potentiel hydrique permet d'apprécier l'état hydrique d'un végétal donné. Dans la plante, il est égale à la somme des potentiel osmotiques et de turgescence (ROY, 1980); soit $\Phi_h = \Phi_{os} + \Phi_t$ avec Φ_h et $\Phi_{os} < 0$; et $\Phi_t \geq 0$. Le potentiel hydrique permet d'évaluer l'état énergétique de l'eau dans la plante et de prévoir le sens des échanges d'eau entre le sol et la plante et entre les différents parties de la plante. Il est défini par rapport au potentiel de référence de l'eau pure égale à 0; et sera donc exprimé négativement en unité de pression. Dans les feuilles le potentiel varie au cours de la journée.

Sa mesure est basée sur la théorie de la cohésion introduite à la fin du 19^{ème} siècle et réactualisée par SCHOLANDER et al (1965). La sève brute, qui constitue une colonne d'eau dans les vaisseaux du xylème des plantes vasculaires, est presque toujours sous tension sous l'effet de l'appel exercé par la transpiration foliaire. Ainsi la section d'un organe de la plante (feuille, rameau feuillé) annule cette tension et la colonne d'eau se rétracte. La pression requise pour amener le potentiel du tissu à 0 est égale au signe près à la valeur du potentiel hydrique de la feuille avant sa mise sous pression en estimant que les gradients de potentiel hydrique sont réduits.

Le potentiel hydrique foliaire a été mesurée à l'aide d'une chambre à pression type PMS 1001. Elle consiste à couper une feuille, à la placer dans la chambre étanche de manière à ce que le bout sectionné du pétiole ou du rameau dépasse un peu à travers le bouchon utilisé pour assurer l'étanchéité de la chambre. On augmente progressivement la pression à l'intérieur de la chambre grâce à une arrivée d'air comprimé à partir d'une bouteille à gaz. Cette pression est maintenue jusqu'à la réapparition du ménisque de sève sur la surface de section des vaisseaux du xylème. La pression à l'intérieur de la chambre est ainsi mesurée à l'aide d'un manomètre; puis le gaz est expulsé et l'échantillon retiré.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Conditions climatiques

Les plantes se sont développées du semis jusqu'à 102 jas en jours longs (≥ 12 h) puis en jours courts (≤ 12 h) jusqu'à la récolte. La durée du jour a varié entre 12,87 et 11,5 h avec une moyenne de 12,35 h (figure 5a).

Les températures minimales ont été comprises entre 21,21°C et 25,5 °C les maximales entre 30,4°C et 39,4°C avec des moyennes des minima et maxima de 23,25°C et 34,47°C respectivement (figure 5b).

Les humidités relatives de l'air ont varié entre 82 % et 97% pour les maxima et entre 23% et 65% pour les minima avec des moyennes respectives de 57 % et 89 % (figure 5c).

La durée d'insolation est comprise entre 9,3 et 5,11 h pour une moyenne de 8,34 h (figure 5d).

La vitesse du vent est comprise entre 2,89 et 1,1 m/s avec une moyenne de 2,12 m/s (figure 5e).

L'ETP Penman calculée à partir de ces paramètres climatiques, oscille entre 7,30 mm et 4,48 mm (figure 5f).

Les pluies ont été relativement tardives et la pluviométrie enregistrée au cours du cycle cultural est de 447,5 mm (figure 5g).

3.2. Conditions d'alimentation en eau et état hydrique de la culture

Jusqu'à 49 jas les plantes ont été alimentées uniquement par irrigation à l'aide d'un système de rampes pivotantes. Du 49^{ème} jas au 77^{ème} jas l'irrigation est apportée en appoint durant les périodes sans pluies. Au delà de 77 jas l'arrosage a été entièrement assuré par la pluie. La quantité d'eau apportée par irrigation s'élève à 291 mm d'où une quantité totale de 738,5 mm, irrigation et pluie comprises (figure 5g).

Ces conditions d'alimentation hydrique ont permis d'assurer une hydratation satisfaisante des plantes, essentielle à l'accomplissement des fonctions fondamentales de production (photosynthèse, transpiration,...). Cet état hydrique satisfaisant a été caractérisé à l'aide du suivi du CRE (figure 6) et du potentiel hydrique (figure 7) foliaires. En effet, durant cette période le CRE reste maintenu à des niveaux relativement élevés et a varié entre 74,9 et 95,12 % sans différences significatives au seuil de 5%, entre les densités sauf au 19^e jas. Ces valeurs de CRE s'accompagnent de niveaux de potentiel hydrique élevés qui varient sans différences significatives

entre densités. Le potentiel hydrique a été compris tout le long de l'expérimentation entre -0,76 à -1,04 MPa pour D1; -0,75 à -0,96 MPa pour D2; -0,74 à -1.02 MPa pour D3.

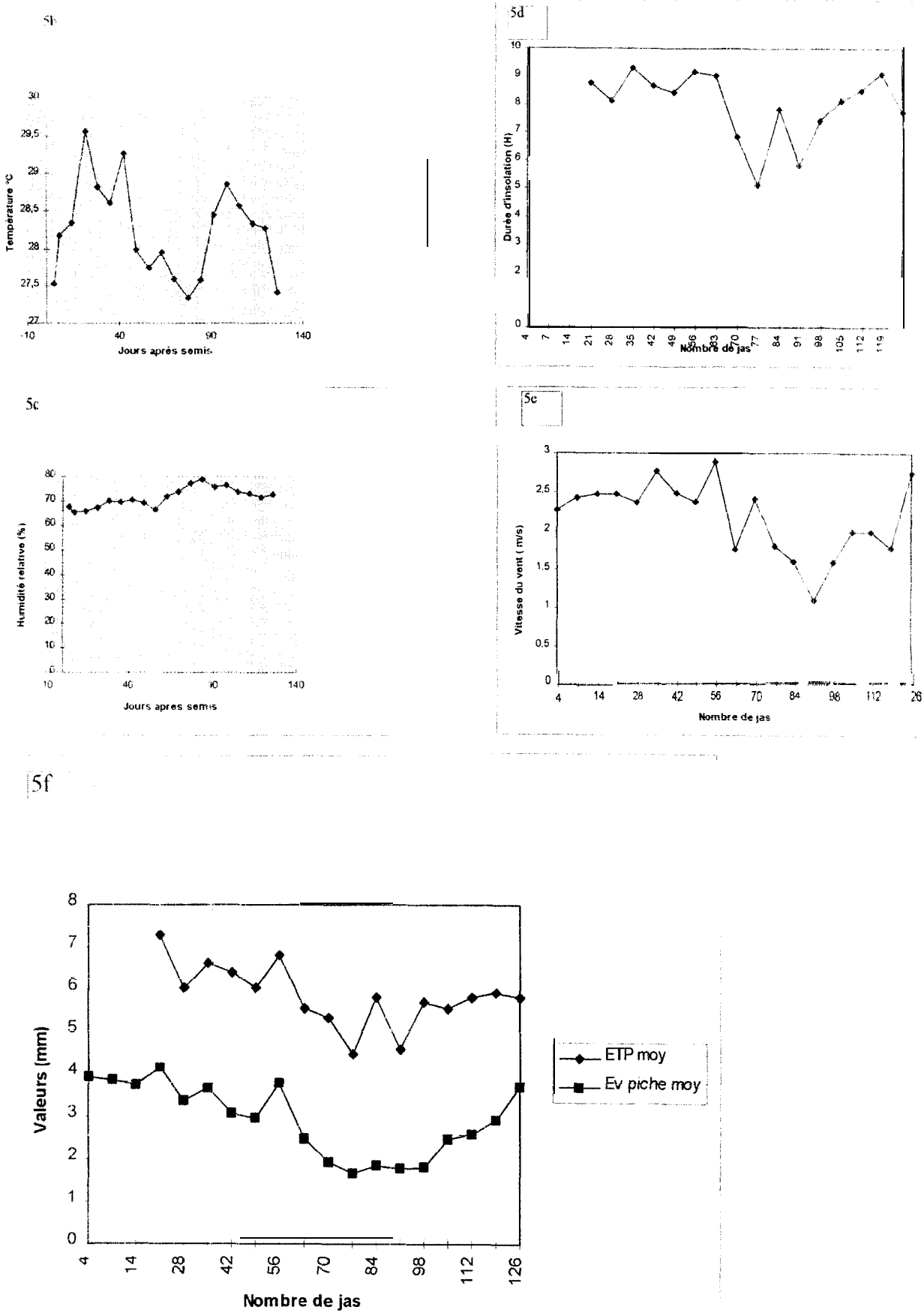
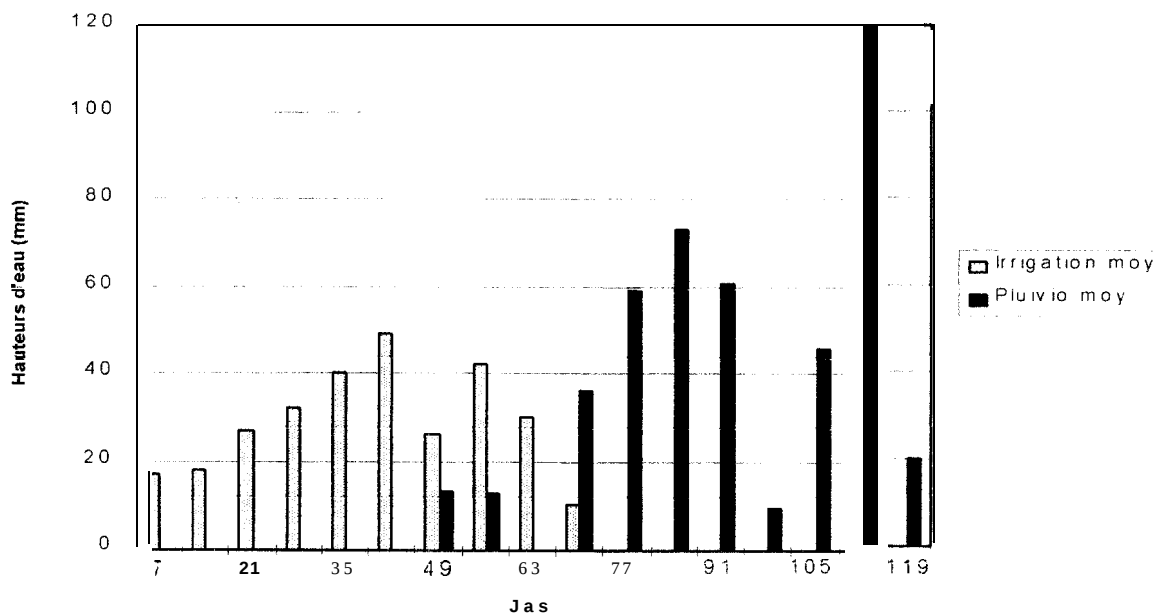


Figure 5 : Evolution des paramètres climatiques en fonction du Jas

5g



5a

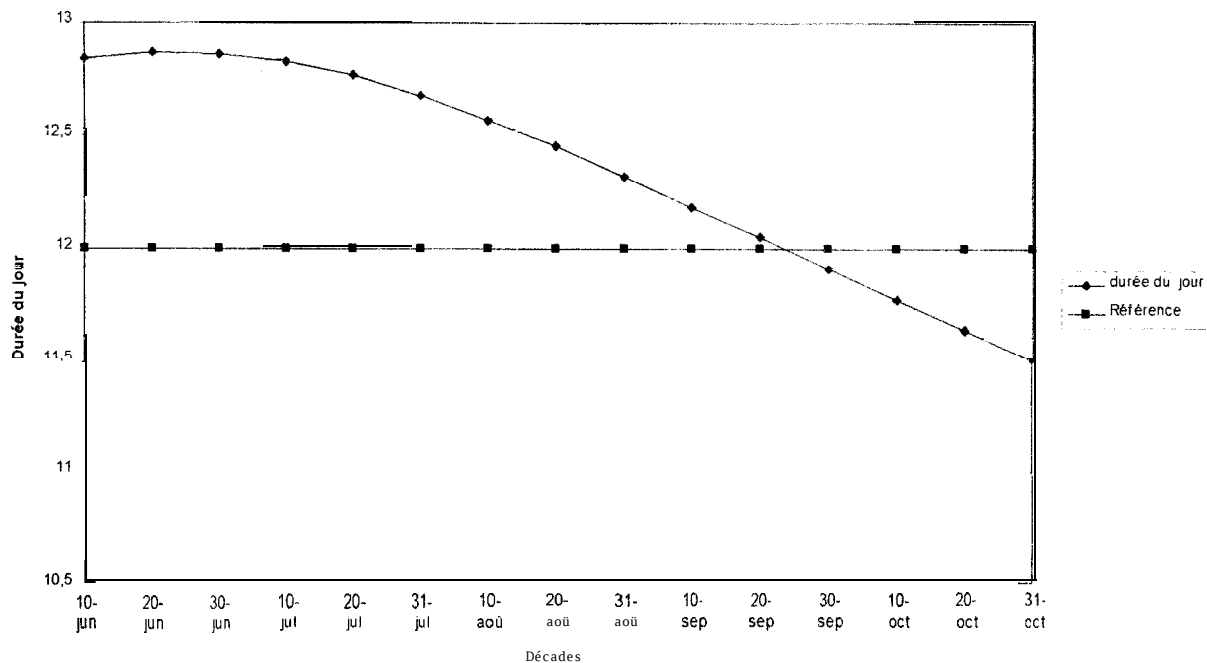


Figure 5 : Evolution des paramètres climatiques en fonction du Jas

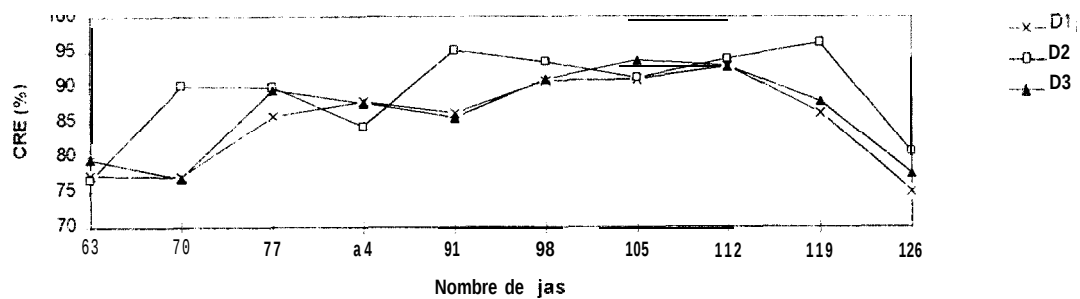


Figure 6 : Evolution du CRE au cours du temps en fonction des densités

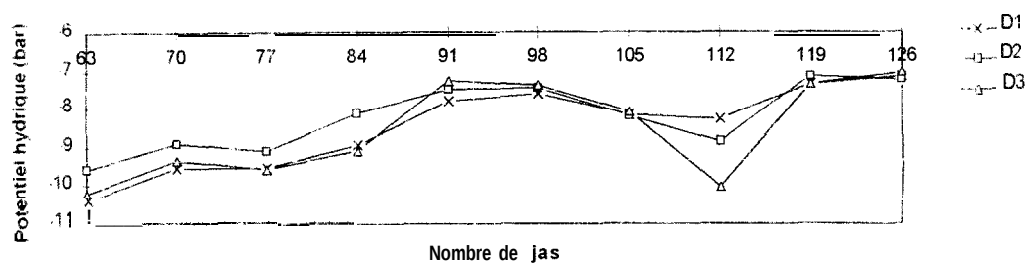


Figure 7 : Evolution du potentiel au cours du temps en fonction des densités de semis

Ces résultats montrent que l'alimentation hydrique des plantes n'a pas été limitante et que toute différence observée serait due à l'effet de la densité de semis. Cette situation est idéale pour une bonne estimation de la consommation optimale des plantes.

3.3. Effets de la densité de semis sur la consommation en eau de la culture

Le drainage et le sens des flux hydriques sur certaines parcelles, au delà des tubes d'accès sonde, n'ont pas pu être déterminés. Ainsi par manque de représentativité, l'analyse statistique n'a pas été appliquée à la consommation en eau. Par conséquent les résultats liés à la consommation en eau ont été analysés en terme de tendance.

Les consommations en eau tout le long du cycle (ETR cycle) augmentent lorsque la densité augmente, avec des différences assez importantes. La densité D3 avec un ETR cumulé de 641,33 mm apparaît plus consommatrice d'eau que les autres, Ces dernières présentent des valeurs d'ETR cycle comparables avec 560,36 mm pour D2 et 54,77 mm pour D1 (figure 8).

Les différents stades phénologiques observés au cours de l'expérimentation ont permis d'évaluer les besoins en eau des plantes pendant chaque phase de développement. L'évolution des consommations en eau durant le cycle est traduite par les coefficients culturaux (LEJAILLE, 1988). Ces coefficients culturaux (figure 9, tableau 2) varient suivant les phases phénologiques et la demande climatique exprimant ainsi les besoins en eau de chaque culture pour une situation donnée. Ainsi du semis à l'initiation tubérale (S -IT56 jas), le coefficient cultural augmente en même temps avec la densité. Il varie ainsi de 0,38 à 0,51 pour D1, de 0,46 à 0,70 pour D2 et de 0,71 à 0,78 pour D3. De l'IT à la formation des gousses, le Kc augmente pour atteindre ses valeurs maximales soit 1,24 pour D1, 1,31 pour D2 et 1,36 pour D3. Durant la phase de formation des gousses jusqu'à la récolte, le Kc diminue pour atteindre des valeurs de 0,70 pour D1, 0,78 pour D2 et 1,07 pour D3. Les besoins en eau les plus élevés sont obtenus sur la période comprise entre la floraison et la formation des gousses.

L'examen de l'ETR par stade de développement (figure 10) montre que le stade S -IT56jas comparé aux autres stades est plus consommatrice en eau. Cette ETR ne traduit pas uniquement les besoins intrinsèques des plantes mais aussi une évaporation importante du sol conséquence des valeurs d'ETP élevées. En fait, cette période correspondant à la saison sèche présente ainsi des caractéristiques différentes de celles des périodes suivantes. Durant l'hivernage, l'évolution de l'ETR traduit mieux les besoins des plantes. Le sol étant couvert, la composante transpiration de l'ETR devient dominante. Des écarts nets de consommation en eau entre densités ont été obtenus durant les première et dernière phases du développement de la culture, la densité D3 étant plus consommatrice (figure 10).

Les différences observées dans les consommations en eau pourraient être expliquées par les paramètres de développement.

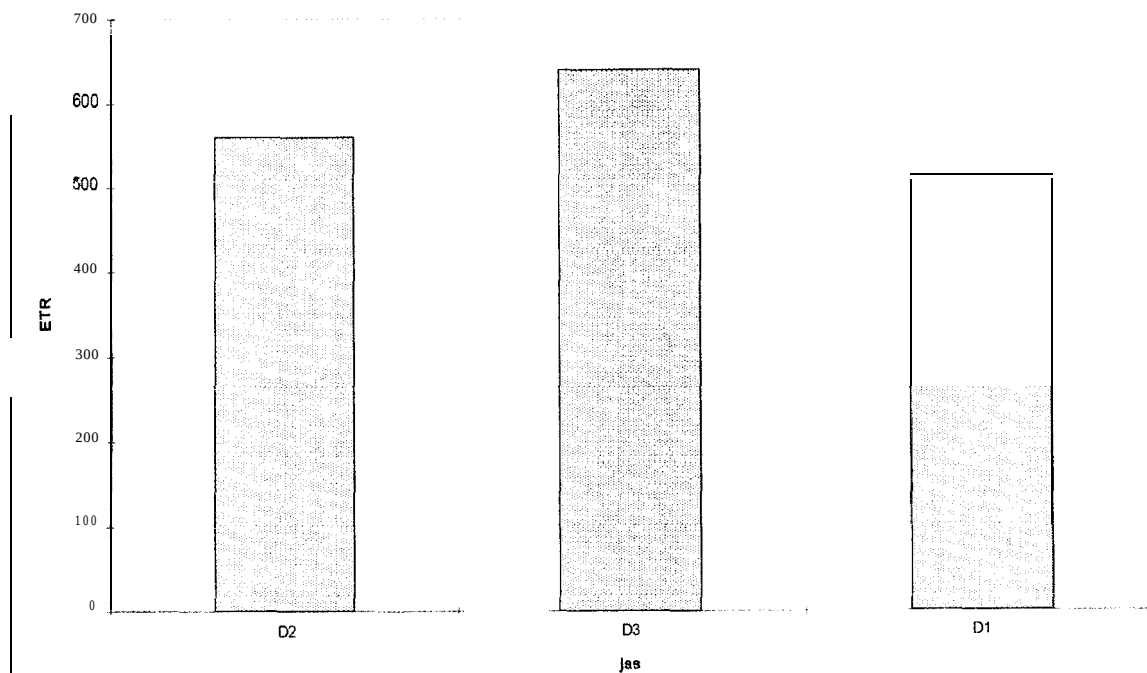


Figure 8 : Evolution de l'ETR cycle en fonction de la densité de semis

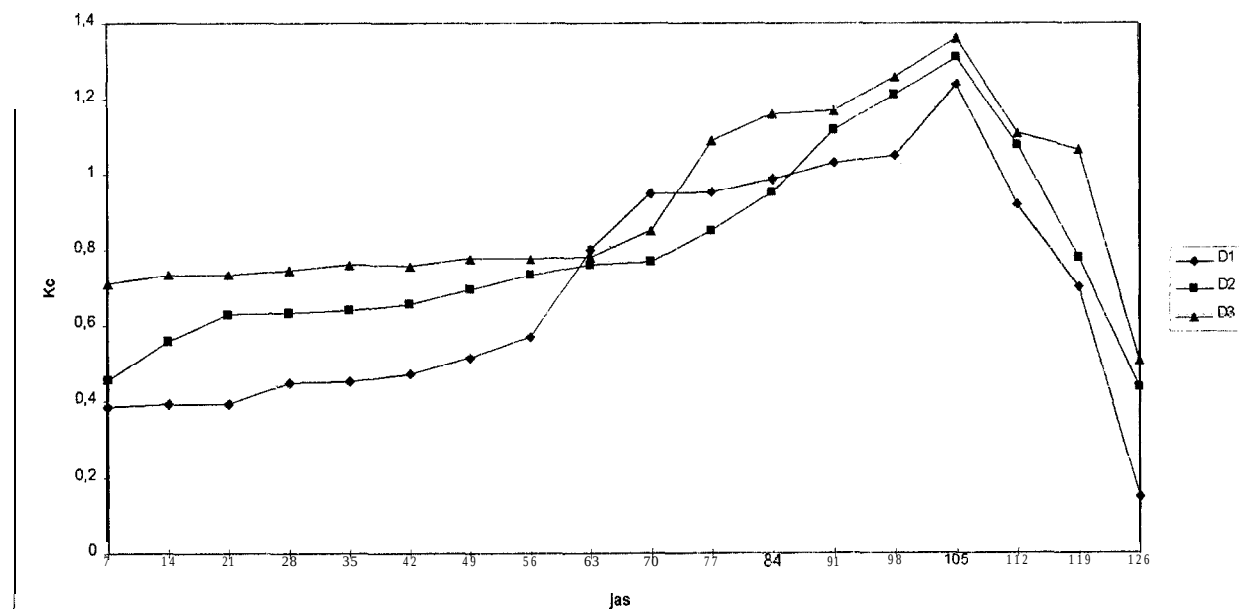


Figure 9 : Evolution du Kc dans le temps en fonction de la densité de semis

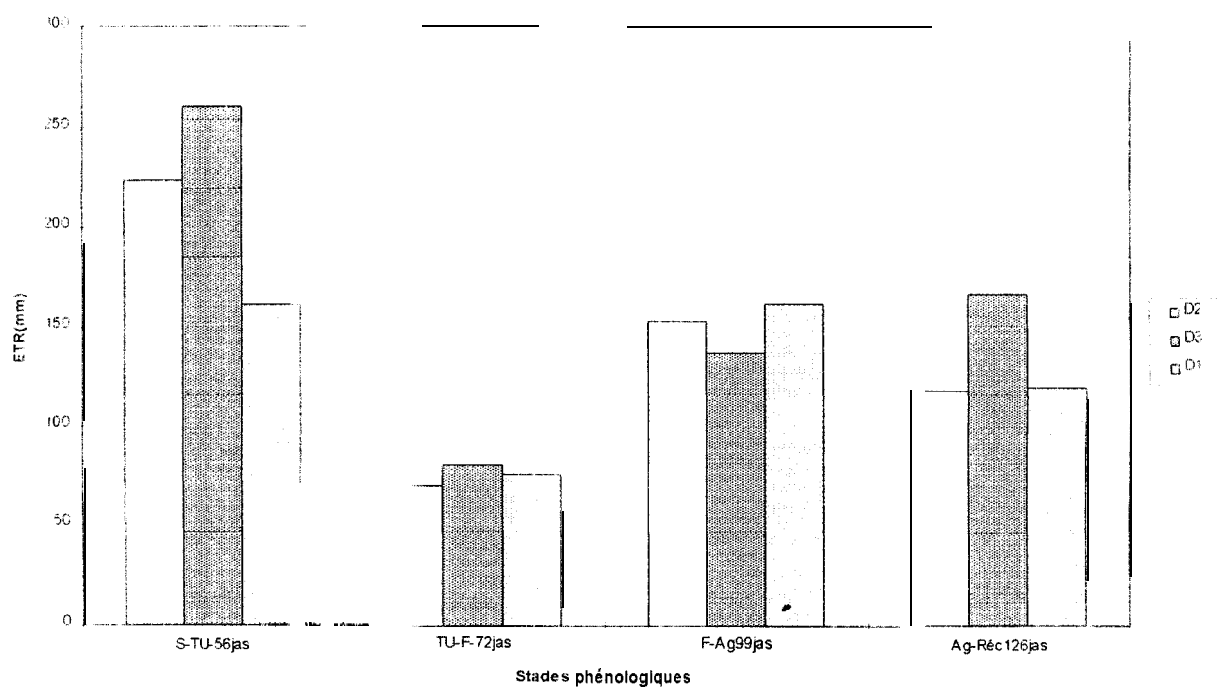


Figure 10 : Evolution de l'ETR en fonction des stades phénologiques

Tablica 2. Coeficiente calculado en cada ciclo

	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126
D1	0,38	0,39	0,39	0,45	0,45	0,47	0,51	0,57	0,80	0,95	0,95	0,99	1,03	1,05	1,24	0,92	0,70	0,15
D2	0,46	0,56	0,63	0,63	0,64	0,65	0,70	0,74	0,76	0,77	0,85	0,95	1,12	1,21	1,31	1,08	0,78	0,44
D3	0,71	0,73	0,73	0,75	0,76	0,76	0,78	0,78	0,78	0,85	1,09	1,16	1,17	1,26	1,36	1,11	1,07	0,50

3.4. Effets de la densité sur le développement de la culture

L'indice de surface foliaire (LAI), défini comme la surface de feuilles par unité de surface, traduit la quantité et la structure du feuillage et intervient dans la réception du rayonnement (BONHOMME, 1994). Par conséquent, il influence directement la photosynthèse et la transpiration. Ceci explique le fait que l'évolution du LAI en fonction des stades phénologiques soit comparable à celle du Ko.

En dehors du 70^e et 1 12^e jas, aucune différence significative au seuil de 5% n'a été observée entre les densités. Cependant, à partir de 56 jas jusqu'à la récolte le LAI de D3 est par tendance supérieure à celui des autres densités (figure II).

Le LAI présente sa valeur maximale en pleine floraison après les jours longs qui déterminent la taille de la source photosynthétique comme évoqué par Zinsou (1992) A la formation des gousses; le LAI commence à diminuer.

La diminution du LAI observée à l'initiation tubérale et à la formation des gousses s'expliquerait par une redistribution des assimilats des sources photosynthétiques (feuilles) vers les puits (tubercules et graines) que par la chute observée des feuilles basales. En fait, cette chute ne s'est pas traduite par une diminution du nombre des feuilles (figure 12). L'analyse de ce paramètre montre qu'il existe une différence significative au seuil de 5 % entre les densités. Le test de NEWMAN - KEULS (seuil 5 %) montre que la D1 est supérieure aux autres densités. La densité D1 favorise une ramification et une émission de feuilles plus importantes alors que les autres densités D2 et D3 induisent une croissance foliaire (feuilles larges) plus élevée. Cette dualité des réponses aboutit par compensation à des LAI sans différences statistiquement significatives.

Les poids de matière sèche aérienne (PMSA) et souterraine (PMSS) ne montrent pas de différences significatives au seuil de 5% entre les densités (figure 13 et 14). Leur évolution ne suit pas la même allure que les paramètres de développement cités plus haut. On observe d'abord une augmentation jusqu'en début de tubérisation (84 jas) aussi bien pour le PMSA que pour le PMSS. Durant cette période le taux de croissance du PMSA est plus élevé que celui du PMSS. Ceci s'explique par le fait que la mise en place des sources photosynthétiques est privilégiée avant le remplissage des puits (tubercules et gousses). A partir de 84 jas jusqu'à 98 jas, c'est à dire à la formation des gousses, le PMSS augmente tandis que le PMSA diminue. La formation des gousses à 98 jas vient inverser cet ordre de croissance en matière sèche en faveur du PMSA jusqu'à 112 jas où des chutes de feuilles basales ont été observées. Cette alternance traduit la compétition entre les parties aériennes et souterraines plus précisément entre le tubercule et les gousses d'où l'importance de l'ablation florale (HEREDIA, 1971, Rapport CERAAS, 1994; DIOUF *et al.*, 1995) si l'on veut favoriser la tubérisation. Cette

variation de l'importance relative des puissances des puits persiste jusqu'à la maturité des gousses (Paull et al., 1988; Zinsou et Venthou-Dumaine, 1987)

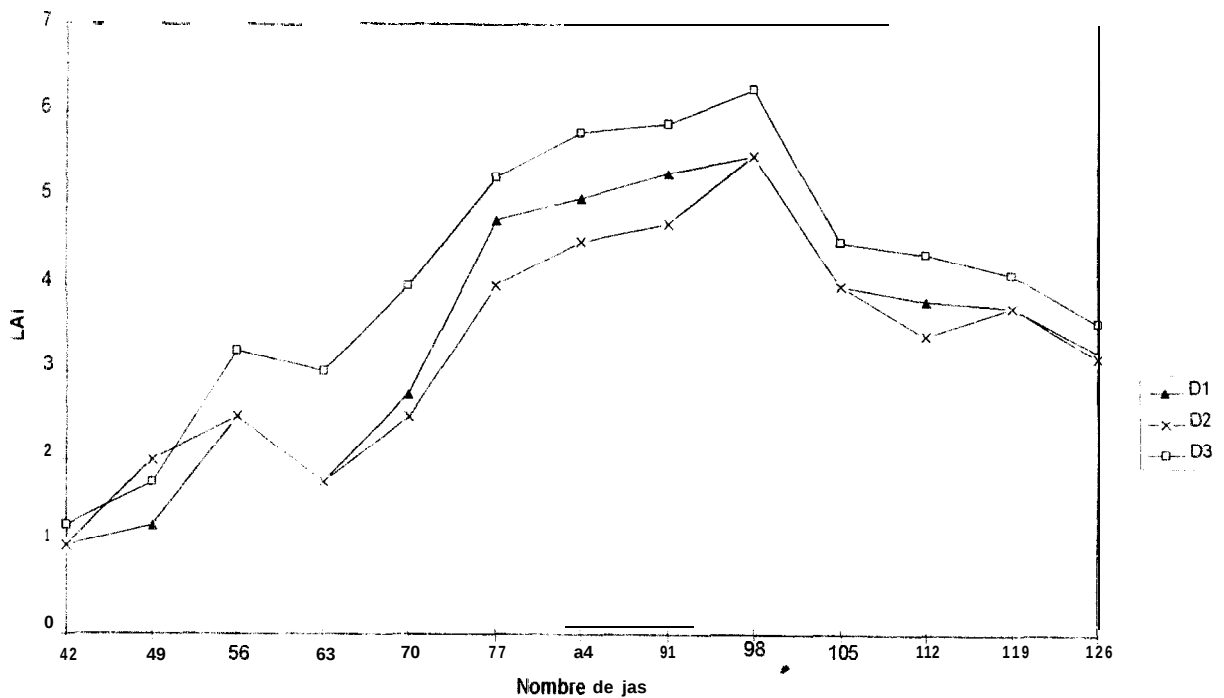


Figure 11 : Evolution du LAI au cours du temps en fonction de la densité

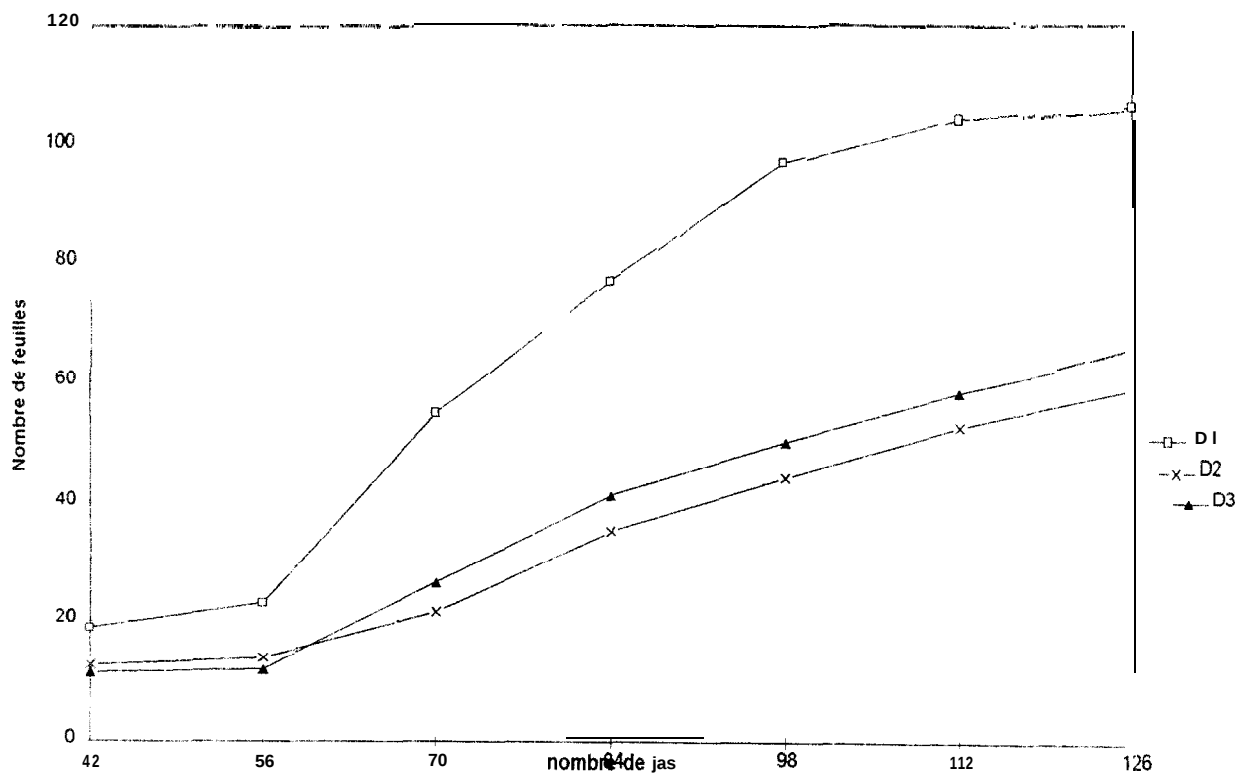


Figure 12 Evolution du nombre de feuilles au cours du temps en fonction de la densité

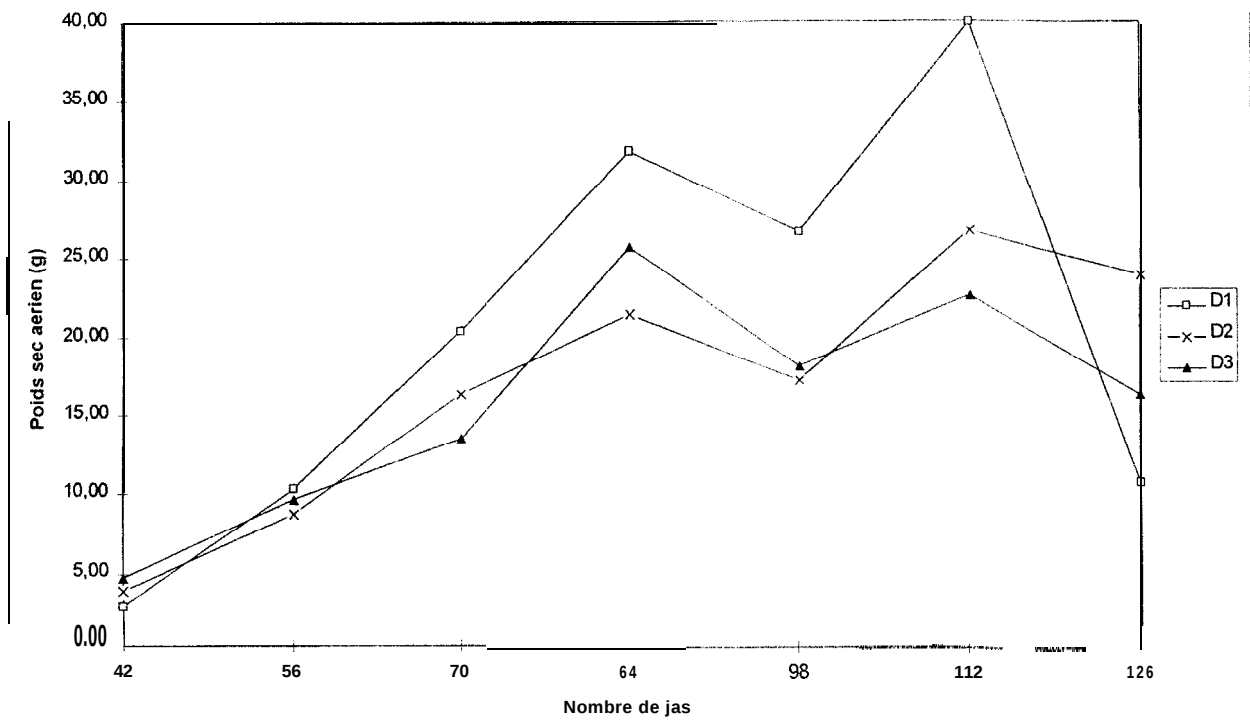


Figure 13 : Evolution du poids sec aérien dans le temps en fonction de la densité de semis

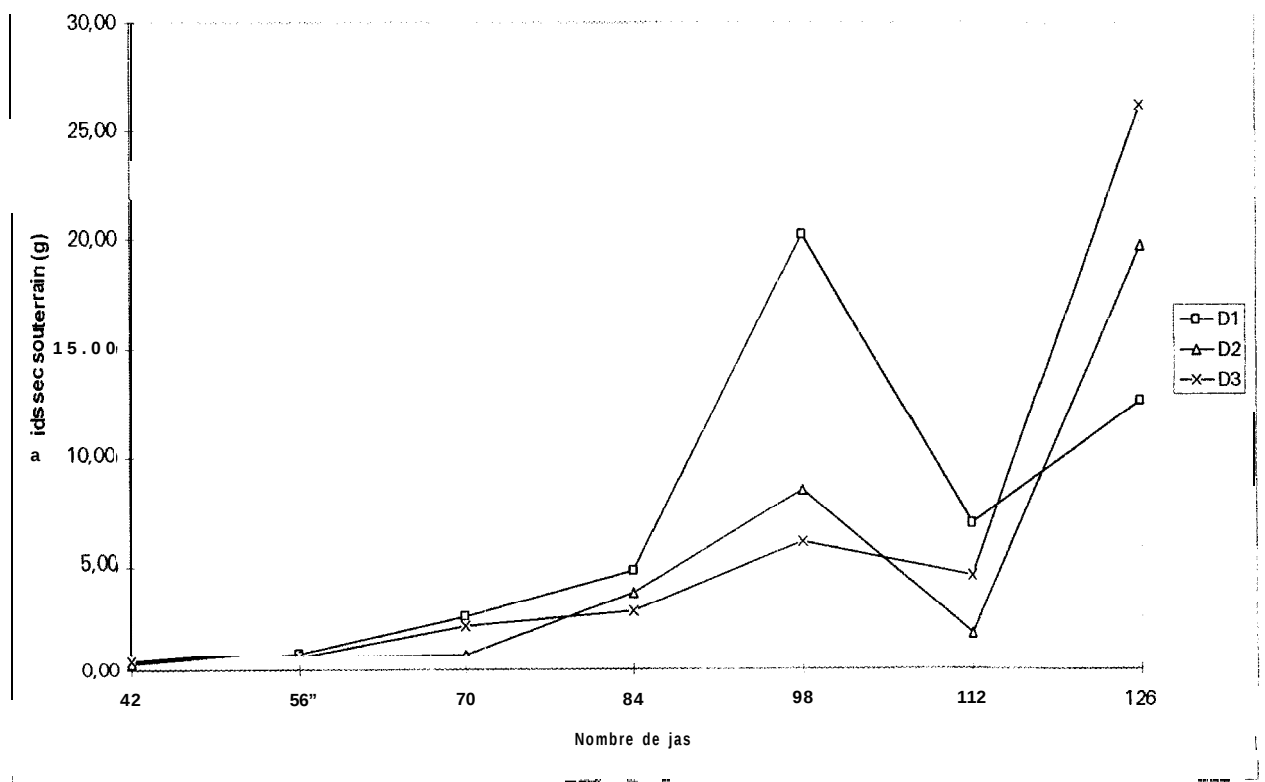


Figure 14 : Evolution du poids sec souterrain en fonction de la densité de semis

Les différences relatives entre les densités, observées sur certains paramètres étudiés permettent-elles d'induire des productivités différentes?

3.5. Effets de la densité sur la production

3.5.1. Rendements

On n'a pas observé de différence significative au seuil de 5 % entre les densités de semis sur les rendements en tubercules et fanes frais et leur pourcentage en matière sèche. Néanmoins en terme de **tendance** le rendement en tubercules frais de D2 a été meilleur avec 6,07 t/ha, suivi de D1 et D3 soit respectivement 5,50 t/ha et 5,17 t/ha (figure 15). Suivant la même approche le rendement en fanes frais apparaît meilleur pour D3 avec 11,41 t/ha suivi de D2, 9,1 t/ha et en fin de D1, 8,23 t/ha (figure 15).

Les pourcentages de matière sèche des tubercules (%MST) sont identiques pour les densités D3 (16,93%) et D2 (16,8%). Ils sont supérieurs de l'ordre de 8 % à celui de D1 (9,13%)

Le pourcentage de la matière sèche des fanes diminue lorsque la densité augmente soit 47,2 % pour D1, 45,47% pour D2 et 35,45% pour D3. L'indice de récolte (figure 16) défini par le rapport de la production de tubercules à la biomasse totale, varie de la même façon sans différence significative avec 0,40 pour D1, 0,39 pour D2 et 0,31 pour D3.

Les rendements en fane sont globalement meilleurs que les rendements en tubercules pour les trois traitements. Cela s'explique par le fait que les plantes ont commencé leur développement en **jours longs** (figure 5a) favorables à l'allongement du stade V4 donc à la mise en place des organes végétatifs aériens. Comme le précise KHAN (1978) et Zinsou (1992), les processus de tubérisation et de floraison-fructification sont contrôlés par les jours courts.

La confrontation des consommations en eau et la production de matière sèche permet de déterminer l'efficacité de l'eau évapotranspirée.

3.5.2. Efficacité d'utilisation de l'eau

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) correspond à la production de matière sèche par gramme d'eau évapotranspirée.

Par rapport à la production de matière sèche tubercule (MST), l'EUE est plus importante de 28% pour les densités D1 et D2 (0,011) par rapport à D3 (0,008). Par contre, en ce qui concerne la matière sèche fane, elle devient plus élevée de 12% pour D3 (0,018) par rapport à D1 et D2 (0,016). La compensation dans l'EUE par rapport à

MST et MSF se traduit par des EUE liées à la biomasse totale qui sont assimilables soit 0,027 pour D1 et D2 et 0,026 pour D3 (tableau 3).

La meilleure efficacité d'utilisation de l'eau par rapport à la matière sèche tubercule est obtenue avec D1 et D2 tandis que celle en matière sèche fane avec D3.

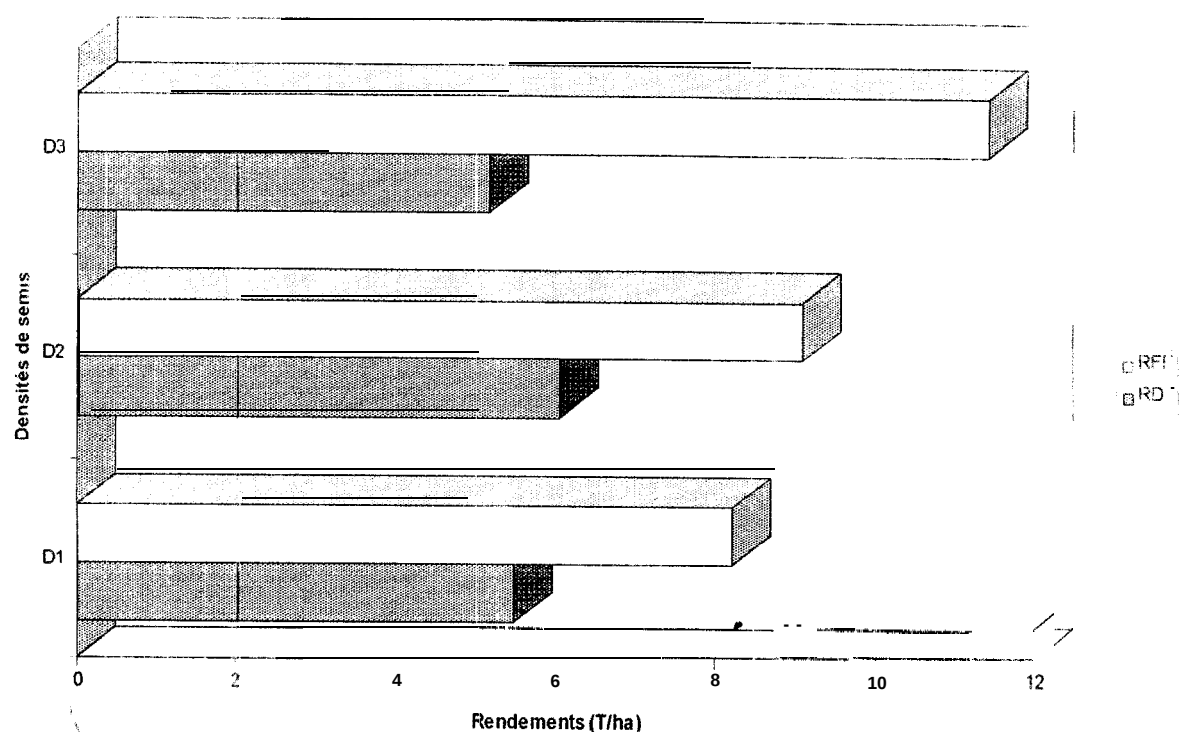


Figure 15 : Evolution des rendements en fanes et tubercules en fonction de la densité de semis

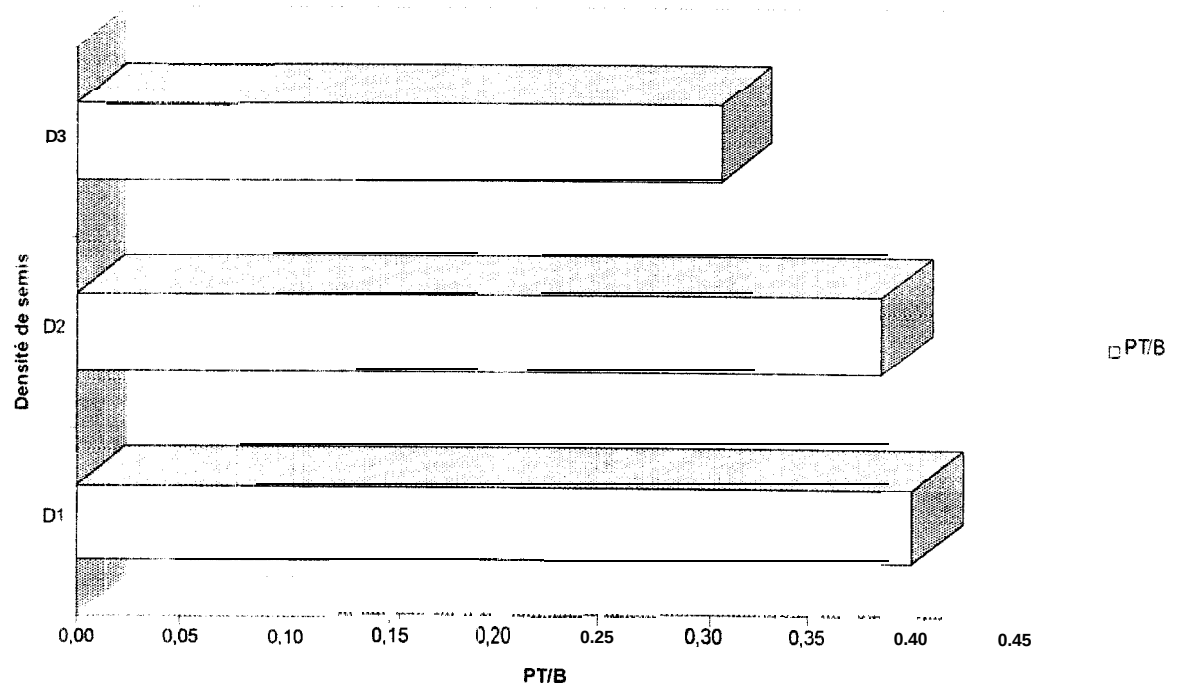


Figure 16 : Indice de récolte (PT/B) en fonction de la densité

Tableau 3 : Efficacités de l’eau en fonction de la densité de semis

	EUEIMST	EUE/MSF	EUE/BT
D2	0,011	0,016	0,027
D1	0,011	0,016	0,027
D3	0,008	0,018	0,026

3.6. Conclusions et perspectives

Au terme de cette étude, nous pouvons avancer quelques résultats sur les effets de la densité sur la consommation en eau, le développement et par conséquent la productivité de la variété de *Pachyrhizus*, EC 114.

Les résultats montrent que les densités élevées D2 et D3 présentent une consommation en eau plus importante. Cette différence dans les besoins en eau, traduits par les coefficients culturaux, est surtout marquée durant les phases phénologiques semis - initiation tubérale (S -IT56 jas) et formation gousses - récolte. L'examen de l'indice foliaire durant ces phases explique l'origine de cette différence de réponse.

Cependant, les comportements différents entre les trois densités n'induisent pas des différences statistiquement significatives entre les rendements. Mais, en terme de tendance, les densités D1 et D2, qui assurent la plus faible consommation en eau, présentent les meilleurs rendements en tubercules frais. Par contre leur rendement en fane fraîche est moins élevé. Ce qui fait que l'indice de récolte est meilleur chez D1 et D2 que chez D3.

Par ailleurs, le pourcentage de matière sèche tubercule et fane qui traduit la qualité de la production permet d'aboutir à un classement différent. En effet, le %MST augmente avec la densité soit de D1 à D3 tandis que le %MSF diminue.

La comparaison des trois densités, basée sur l'intégration de la consommation et de la productivité, permet de passer à un niveau plus expressif de ces résultats : l'efficacité d'utilisation de l'eau. C'est ainsi que les densités D1 et D2 ont une efficacité d'utilisation de l'eau supérieure de 28 % à celle de D3 pour la MST. Par contre, pour la MSF leur efficacité est inférieure de 12 % à D3.

Ce paramètre (EUE) permet ainsi de classer D1 et D2 comme étant les meilleures densités pour cette date de semis (juin) qui correspond aux jours longs. Cependant, le jaunissement observé sur D2 et non sur D1 permet d'orienter le choix sur ce dernier en conditions de basse fertilité du sol surtout lorsque la fixation symbiotique n'est pas fonctionnelle.

Les plantes répondant à la photopériode par une croissance et un développement différents, il apparaît nécessaire de conduire cette étude avec une date de semis se situant en jours courts (Septembre à Février). De même, la prise en compte de la surface foliaire et des poids sec séparés des feuilles, des tiges et des gousses pourrait permettre de mieux expliquer les relations sources-puits et les transferts des assimilats.

LISTE DES ABREVIATIONS

A m	américium
B	bore
Be	beryllium
°C	degré Celcius
cm	centimetre
CERAAS	Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la sécheresse
CILSS	Comité permanent Inter-Etats de la Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
C	chlore
Cm ²	centimètre carré
CRE	contenu relatif en eau
CORAF	Conférence des Responsables de la Recherche Agronomique Africaines
Da	densité apparente
EUE	efficacité d'utilisation de l'eau
ENCR	Ecole Nationale des Cadres Ruraux
ENSA	Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture
ETM	évapotranspiration Maximale (mm)
ETP	évapotranspiration potentielle
ETR	évapotranspiration Réelle
F-FG98	phase, floraison à formation gousses
FG-Rec	phase, formation gousses à la récolte
g	gramme
h	heure
ha	hectare
HP	humidité pondérale
Hv	humidités volumiques

IT-F72	phase, initiation tubérale à la floraison
IF	indice foliaire
INRAT	Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières
Jas	jour après semis
Kc	coefficient cultural
LAI	Leaf Area Index
mm	millimètre
MPa	mégapascal
MSF	matière sèche fane
MST	matière sèche tubercule
NC	comptage neutronique
PED	pays en voie de développement
Pa	poids apparent
PF	poids frais
pH	potentiel hydrogène
PMSA	poids matière sèche aérienne
PMSS	poids matière sèche souterraine
PS	poids sec
S-IT56 jas	phase semis à l'initiation tubérale
R ²	coefficient de détermination
T	tonne
V	Taux de saturation
va	volume apparent
Φh	potentiel hydrique
Φos	potentiel osmotique
Φt	potentiel de turgescence

BIBLIOGRAPHIE

- ADJAHOUSSOU. D.F. and SOGBENON, 1992** . Effet insecticide de l'extrait aqueux de *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban sur les parasites de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*. Communication in "First international symposium on tuber legumes." Gosier (Guadeloupe), Avril 1992
- AGUILAR. J. I. 1958.** Relacion de unos aspectos de la flora útil de Guatemala
- ANNEROSE D. J. M et O. DIOUF. 1992.** Some aspects of response to drought in the genus *Pachyrhizus*. Communication in "First international symposium on tuber legumes." Gosier (Guadeloupe), Avril 1992.
- ANNEROSE D. J. M. 1990.** Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse de doctorat. Université Paris VII. 282 pages.
- ANNEROSE D. J. M. and O. Diouf, 1996.** Studies on the adaptation to drought of *Pachyrhizus spp* in semi arid zones. In "Proceedings of the second international on tuberous legumes, Celaya, GTO. MEXICO, August 4 - 8, 1996
- BAILEY, H. P., 1979.** Semi arid climates : Their definition and distribution. - In : Hall A. E., Cannell G.H. et Lawton H.W. (eds), *Agriculture in Semi - Arid Environments*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New-York. pp 71-97
- BERRY, S.K., 1977.** Characteristics of the seed of four-angled bean *Psophocarpus tetragonolobus* (L.) - DC. *Malaysian Applied Biology*, 6, 1 : 33-38. Abstract in the *Winged bean Flyer*, 3 , 1 : 15
- BIRCH R. G., A. M. ALVAREZ et S. S. PATIL. 1981.** A bacterial leaf spot caused in Yam bean by *Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola*. *Phytopathology* 71: 1289-1 293.
- CLAUSEN R. T. 1945.** A botanical study of the Yam Beans (*Pachyrhizus*). *Mem. Cornell Univ. Agric. Exp. STAT.* 264 : 1-38.
- DUKEJ. A. 1981.** *Handbook of Legumes of World Economic Importance*. Plenum Press, New York et London.
- DELOBEL A, O. DIOUF, A., KANE, A.MAYEU et A TRAND. 1996.** Conservation de l'arachide en milieu paysan: analyse des pertes post-récolte, relation insecticide aflatoxine, essai de protection. Doc ISRA/ITA/CERAAS. 23 pages.

- FAJARDO T. G. et J. MARANON. 1932.** The mosaic disease of Sincamas, *Pachyrhizus erosus* (Linnaeus) Urban. - Philipp. J. Sci. 48, 2: 129-140.
- GRUM M. **1990.** Breeding *Pachyrhizus* Rich. ex. DC.: a review of goals and methods
- GRUM M., O. STOLEN et M. SORENSEN. 1990.** Yam bean (*Pachyrhizus spp.*) variety trials in Tonga, South Pacific: fresh tuber yield, dry matter and nitrogen contents.
- HALAFIHI, M., 1992.** Effect of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) seed extract for controlling insect pests in head cabbage (*Brassicae oleracea* L. va. KK-cross) - (this publication)
- HANSBERRY R., R. T. CLAUSEN et L. B. NORTON. 1947.** Variations in the chemical composition and insectidal properties of the yam bean (*Pachyrhizus*). - J. Agric. Rés. 74 : 55-64.
- HEREDIA Z. A. 1985.** Guia para cultivar jicama en el Bajío. Folleto para Productores, num. 15 Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos. 11 pp.
- HEREDIA Z. A. 1992.** San Juan y La Vega de San Juan, dos nuevas variedades de Jicama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) para la region agricola de Bajío, Guanajuato, Mexico. Communication in "First international symposium on tuber legumes." Gosier (Guadeloupe), Avril 1992.
- HSIAO T. C. 1973.** Plant response to water stress. ann. rev. Plant physiol., 24, pages 519-570.
- JONES, D. T. 1986.** IBPGR donation to Rimba Ilmu, Lamaysia for Citrus documentation. - Botanic Gardens Conservation News, 1, 9 : 8.
- KAWABATA A., S. SAWAYAMA, del R. ROSARIO et M. G. NOEL. 1986.** Effects of storage and heat treatment on the sugar constituents in Cassava and Yam bean roots. J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol. 33, 6 : 441-449.
- KHALFAOUI J.L.B et D.J.M. ANNEROSE. 1987.** Création variétale d'arachide adaptée aux contraintes pluviométriques des zones semi-arides In "Actes du symposium : Agrométéorologie de l'arachide " ICRISAT, OMN, FAO, Août 1988, Niamey. Pages 127- 134
- LACKEY J. A. 1980** Chromosome numbers in the *Phaseoleae* (*Fabaceae-Faboideae*) and their relation to taxonomy. - Amer. J. Bot. 67: 595-602.
- LEVITT J. 1980.** Response of plant to environmental stress. Vol. II. Water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York.
- LOCKHART J. A. 1965.** An analysis of irreversible plant cell elongation. J. THEOR. BIOL., 8 : pages 264-276.

- LOYNET et KERE. 1991.** Amélioration variétale du mil, sorgho, niébé et maïs au Sahel : 1984-1985. Synthèse des résultats et bibliographie **sélective**
- MOHANTY N. N. et B. C. BEHERA. 1961.** Leaf spot of *Pachyrhizus angulatus* Rich. Sci. Nat. 27, 5 : 254.
- NODA H et W. E. KERR. 1983.** The effects of staking and inflorescence pruning on the root production of yam bean (*Pachyrhizus erosus* Urban). Trop. Grain Leg. Bull. 27 : 35-37.
- NORTON L. B. 1943.** Rotenone in the yam bean (*Pachyrhizus erosus*). J. Amer. Chem. Soc. 61: 2259-2260.
- NORTON L. B. et R. HANSBERRY. 1945.** Constituents of the insecticidal resin of the yam bean (*Pachyrhizus erosus*). J. Amer. Chem. Soc. 67 : 1609-1614.
- O. DIOUF. ROY - MACAULEY and DJ M ANNEROSE, 1995.** Tubers-pods Competition and Drought Responses in Yam bean (*Pachyrhizus spp*). In "Proceedings of Interdrought 95, Montpellier, FRANCE, August 31 - September 2 1995.
- ANNEROSE D. J. M. et M. DIAGNE. 1990.** Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. I. Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée au Sénégal. OLEAG., 45 : 547-554.
- BONHOMME. 1994,** Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques
- D. J. M. Annerose and O. Diouf, 1992.** Some Aspects of Response to Drought in the genus *Pachyrhizus* Rich. ex. DC. In "Proceedings of the first international symposium on tuberous legumes, GUADELOUPE, F. W. I. 21 - 24 April 1992.
- ZANTE. P. 1983.** Etude pédologique du domaine de l'Institut National De Développement Rural (Thiès Sénégal), 129
- ZINSOU, C., Ventou-Dumaine, A. and Vansuyt G., 1987.** Croissance et développement du *pachyrhizus erosus* (Urban). Effets de l'acide gibberellique et du chlorure de chlorocholine en jours courts.- Agronomie, 677-683
- O. DIOUF.1993.** *Pachyrhizus Rich.* ex de candolle, légumineuse tubérifère à haute potentialité alimentaire et économique : premiers résultats sur l'adaptation à la sécheresse : 65

- PAULL, R. E., Cheng, N. and FA.KUDA, S. K., 1988.** Planting dates related to tuberous root yield , vine lenght quality attributes of yam bean. - NAS, Washington D.C. pp. 21 - 27
- PECKOLT G. 1922.** Jacutupe. Characas & Quintais 25, 3 : 187-189 and 25, 4 275-276.
- PECKOLT T. 1880.** Jacutupe. Bot. Jahresber. 8, 1 : 451-452.
- PECKOLT T. 1883.** Jacutupe. Bot. Jahresber. 8, 1 : 451-452.
- PORTFIELD. W. M. 1951.** The Yam bean as a source of food in China, New York Bot. Gard. Journ. 40 : 107-108.
- RAPPORT ANNUEL. 1996.** Projet Pachyrhizus. CERAAS
- RASMUSSEN . E .M. 1987.** The prediction of drought : a meteorological perspective. endeavour new series. Vol 11, P. 175-182
- ROY J. 1980.** Comportement photosynthétique et hydrique de la feuille chez *Dactylis glomerata* L. Adaptation phénologique et génotypique à la sécheresse.
- SORENSEN M. 1988.** Taxonomic revision of the genus *Pachyrhizus* (*Fabaceae-Phaseoleae*).
- SORENSEN M. 1989b.** Cross breeding experiments : compatibility pollen fertility and germination percentages of interspecific hybrids, F1, F2 & F3 in the genus *Pachyrhizus* Rich ex. DC (*Fabaceae; Phaseoleae*). Proceeding of the CFCS Meeting, Guadeloupe 2-8 July 1989. 39 pp.
- SORENSEN M. 1990.** Observation on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing legume genus *Pachyrhizus* Rich. ex. DC.
- TROPICAL LEGUMES. 1979** Resources for the future. National Academy of Sciences. Washington. D. C.
- TURNER N. C. 1986.** Adaptation to water deficits: A changing perspective. Aust. J. Plant Physiol., 13 :175-190.
- VIEIRA DA SILVA J. B. 1976.** Water stress, ultrastructure and enzymatic activity. In "Water and plant life : problems and modern approaches". LANE O.L., L. KAPPEN et E.D. SCHLUZE (eds.) Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. ECOLOCAL STADIES, 19 : 207-224.
- VIEIRA DA SILVA J. B. 1984.** Synthèse introductive. "La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée ".Colloque International de DAKAR, Septembre 1984, CIRAD/ISRA. pages 165-167.

- WEATHERLEY P. E. 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytol.* 50:36-51.
- YU T. F., W. F. CHIN, N. T. CHENG et T. T. WU. 1945. Studies on *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitz. in China. *Lignan Sci. J.* 21, 14 : 45-62.